

COMMISSION EUROPEENNE  
DIRECTION GENERALE JRC  
JOINT RESEARCH CENTER (centre commun de recherche)  
Institute for Prospective Technological Studies (Séville)  
Technologies for Sustainable Development  
Bureau Européen PRIP

**Prévention et réduction intégrées de la pollution (PRIP)**

**Document de référence  
sur les Meilleures Techniques Disponibles  
dans l'Industrie Papetière**

**Décembre 2001**

## RESUME DETAILLE

Le présent Document de Référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie de la pâte à papier et du papier reflète l'échange d'informations auquel il a été procédé conformément à l'article 16(2) de la Directive 96/61/CE du Conseil. Ce document doit être considéré à la lumière de la préface, qui en décrit les objectifs et l'utilisation.

Le papier consiste essentiellement en une feuille de fibres à laquelle on a ajouté un certain nombre de produits chimiques qui influent sur ses propriétés et sa qualité. En plus des fibres et des produits chimiques, la fabrication de la pâte et du papier exige de grandes quantités d'eau de process et d'énergie, sous la forme de vapeur et d'énergie électrique. Il s'ensuit que les principaux problèmes écologiques liés à la fabrication de la pâte à papier et du papier concernent les émissions dans les cours d'eau, les émissions dans l'atmosphère et la consommation d'énergie. Les déchets devraient devenir un sujet d'inquiétude toujours plus important pour l'environnement.

La pâte destinée à la fabrication du papier peut être obtenue à partir de fibres vierges par des procédés chimiques ou mécaniques, ou encore par la réutilisation de papiers de récupération. Une usine de papier peut se contenter de reconstituer de la pâte produite ailleurs, ou être intégrée sur le même site avec les opérations de fabrication de la pâte.

Le présent document couvre les aspects environnementaux de la fabrication de la pâte à papier et du papier à partir de différentes matières fibreuses dans des usines de pâte à papier et de papier, intégrées ou non. Les usines de pâte non intégrée (pâte marchande) se limitent à produire de la pâte à papier qui est ensuite commercialisée sur le marché. Les usines de papier non intégrées utilisent de la pâte qu'elles achètent pour produire leur papier. Dans les usines intégrées, les activités de fabrication de la pâte et du papier se déroulent sur un seul et même site. Les usines de pâte kraft fonctionnent indifféremment selon le mode intégré ou non intégré, alors que les usines de pâte au sulfite sont généralement intégrées avec la production de papier. La production de pâte par le procédé mécanique et le traitement des fibres recyclées font habituellement partie intégrante de la production de papier, mais c'est devenu une activité indépendante dans quelques cas isolés.

Les activités en amont jouant un rôle pour l'environnement, tels que l'exploitation forestière, la production de produits chimiques en dehors du site et le transport des matières premières vers le site de fabrication, de même que les activités en aval, comme la transformation du papier ou l'impression, ne sont pas inclus dans le présent document. Celui-ci ne traite pas non plus, ou seulement de façon succincte, des aspects environnementaux qui ne sont pas directement liés à la production de la pâte et du papier, comme le stockage et la manutention des produits chimiques, la protection contre les accidents du travail / les maladies professionnelles et les risques de danger, les installations de chauffage et électriques, les circuits de refroidissement et de vide et le traitement des eaux brutes.

Le présent BREF (Document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles ou MTD), comprend une introduction (Généralités, chapitre 1) et cinq chapitres principaux :

- le processus de fabrication de la pâte kraft (chapitre 2)
- le processus de fabrication de la pâte au sulfite (chapitre 3)
- la fabrication de pâte mécanique ou mi-chimique (chapitre 4)
- l'utilisation des fibres recyclées (chapitre 5) et
- la fabrication du papier et les processus connexes (chapitre 6).

Chacun de ces chapitres comprend cinq sections principales en conformité avec le schéma général des Documents de référence PRIP MTD. La majorité des lecteurs n'aura pas besoin de lire la totalité du document mais seulement les chapitres ou sections présentant un intérêt pour l'usine concernée. Par exemple les usines de pâte kraft marchande ne sont concernées que par le chapitre 2 ; les usines intégrées de pâte kraft et de papier sont concernées par les chapitres 2 et 6 ; les informations

pertinentes sur les usines intégrées utilisant des Fibres Cellulosiques de Récupération (FCR) se trouvent dans les chapitres 5 et 6.

A la fin du document, vous trouverez une liste des références et un glossaire des termes et abréviations destinés à en faciliter la compréhension.

Les Généralités (chapitre 1) comprennent des données statistiques sur la consommation de papier en Europe, la répartition géographique de la production de pâte à papier et de papier sur le continent européen, quelques aspects économiques, un aperçu sommaire de la production de pâte à papier et de papier et des principales questions liées à l'environnement, et un classement des usines de pâte à papier et de papier en Europe. Le chapitre Généralités s'achève avec quelques considérations générales sur la détermination des MTD pour ce secteur qui est caractérisé par une très grande diversité de produits et de (combinaisons de) procédés impliqués et un degré élevé de solutions techniques intégrées dans les processus industriels.

Chacun des 5 chapitres principaux donne des renseignements sur les aspects suivants : processus et techniques utilisés; principaux sujets d'inquiétude pour l'environnement tels les besoins en ressources naturelles et en énergie, les émissions et les déchets; description des techniques adéquates pour réduire les émissions, minimiser les déchets et réaliser des économies d'énergie; identification des Meilleures Techniques Disponibles et techniques émergentes.

S'agissant des chiffres communiqués concernant les émissions et les consommations, il ne faut pas oublier que, compte tenu des différences dans les méthodes de mesure utilisées dans les différents États Membres, les données ne sont pas toujours parfaitement comparables d'un pays à l'autre (voir Annexe III pour plus d'informations à ce sujet, mais les différentes méthodes utilisées ne modifient en rien les conclusions du présent document).

La discussion sur les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD suit toujours le même schéma et comprend une brève description de la technique, les principaux résultats obtenus sous l'angle de l'environnement, son applicabilité, les effets réciproques entre les différents milieux, les expériences fonctionnelles, les aspects économiques, les motivations pour mettre en œuvre cette technique, des exemples d'installations et une bibliographie. La section sur les Meilleures Techniques Disponibles inclut les plages de niveaux d'émissions et de consommation associées à l'utilisation des MTD. Les conclusions concernant les MTD sont fondées sur des expériences provenant d'exemples concrets dans le monde et de l'avis autorisé du TWG.

La fabrication de la pâte à papier et du papier est un domaine complexe qui recouvre un grand nombre d'étapes de transformation et de produits différents. Cela dit, pour simplifier la discussion, il est possible de ramener le vaste éventail de matières premières utilisées et les process impliqués dans la fabrication de la pâte à papier et du papier à un certain nombre d'opérations unitaires. Le présent document décrit séparément les questions d'environnement et les techniques appropriées pour prévenir et réduire les émissions / déchets et réduire la consommation d'énergie et de matières premières pour les cinq grandes classes (chapitres 2 à 6). Lorsque cela est jugé nécessaire et pertinent, ces grandes classes sont elles-mêmes subdivisées en sous-classes.

Ce document traduit au niveau sectoriel la variété rencontrée dans l'industrie européenne du papier en termes de matières premières, de sources d'énergie et de produits et de process. Cependant, dans certains cas particuliers à l'intérieur de chaque grande catégorie de produits, il y a une certaine gamme de matières premières et de spécifications relatives au produit qui s'écartent de la production de qualité standard et peuvent avoir une incidence sur les conditions de fonctionnement et le potentiel d'amélioration. Cela est particulièrement vrai pour les usines de papiers spéciaux produisant une grande quantité de qualités différentes de façon séquentielle sur leurs machines ou pour les usines produisant des papiers dits de "qualité spéciale".

Cet échange d'informations a permis d'aboutir à des conclusions sur les MTD. Il convient de se reporter aux sections de chaque chapitre qui décrivent les MTD pour bien comprendre ces dernières et les émissions s'y rapportant. Les résultats clés sont résumés ci-dessous.

## **MTD générales pour tous les procédés**

Au cours de l'échange d'informations, il est apparu que le moyen le plus efficace pour réduire les émissions/la consommation et améliorer le rendement économique consiste à mettre en œuvre le meilleur procédé disponible et les meilleures techniques de réduction, associés aux mesures suivantes :

- formation, instruction et motivation du personnel et des responsables,
- optimisation de la gestion des procédés,
- maintenance adéquate des unités techniques et des techniques associées de réduction de la pollution,
- système de gestion de l'environnement permettant d'optimiser la gestion, d'assurer une meilleure prise de conscience et comprenant des objectifs et des mesures, une formation aux procédés de production et aux tâches etc.

## **MTD pour la fabrication de la pâte kraft (Chapitre 2)**

Le procédé au sulfate ou kraft est le principal procédé mondial de fabrication de la pâte à papier en raison des propriétés de résistance de la pâte ainsi obtenue et parce qu'il est applicable à toutes les essences de bois. Dans la fabrication de la pâte kraft, ce sont les rejets d'effluents, les émissions dans l'atmosphère de gaz malodorants et la consommation d'énergie qui sont au centre des préoccupations. Dans certains pays également, on s'attend à ce que la question des déchets devienne préoccupante. Les principales matières premières sont des ressources naturelles (bois et eau) et des produits chimiques utilisés pour le lessivage-cuisson et le blanchiment. Les rejets dans l'eau sont principalement des substances organiques. Les effluents de l'installation de blanchiment, qui fait appel à des produits chimiques de blanchiment à base de chlore, contiennent des composés organiques de chlore, mesurés en tant que AOX (composés halogénés adsorbables). Certains composés rejetés par les usines ont des effets toxiques sur les organismes aquatiques. Les émissions de substances colorées peuvent avoir une incidence négative sur les espèces vivantes dans le milieu récepteur. Les émissions de substances nutritives (azote et phosphore) peuvent contribuer à l'eutrophisation du milieu récepteur. Les métaux extraits du bois sont rejetés en faibles concentrations, mais compte tenu de l'importance des débits, la charge peut devenir significative. On a pu obtenir une réduction importante des substances organiques tant chlorées que non chlorées dans les effluents des usines de pâte à papier grâce principalement à des mesures internes.

On considère que les meilleures techniques disponibles pour les usines de pâte kraft sont :

- l'écorçage à sec du bois,
- une délignification plus poussée avant blanchiment grâce à une cuisson prolongée ou modifiée et à des stades "oxygène",
- un lavage hautement efficace et une épuration en circuit fermé de la pâte écrue,
- un blanchiment exempt de chlore élémentaire (ECF) avec un faible rejet en AOX, ou totalement exempt de chlore (TCF),
- le recyclage d'une partie de l'eau de process essentiellement alcaline provenant de l'installation de blanchiment,
- un système efficace de surveillance, de rétention et de récupération des fuites,
- le « stripping » et la réutilisation des condensats d'évaporation,
- une capacité suffisante de l'installation d'évaporation de la liqueur noire et de la chaudière de récupération pour traiter la charge additionnelle en liqueur et en matières sèches,

- la collecte et la réutilisation des eaux de refroidissement non polluées,
- la mise en place de bacs tampons d'une capacité suffisante pour stocker les fuites de liqueurs noires provenant des installations de cuisson et de récupération ainsi que les condensats pollués, pour éviter des pointes soudaines de charge et des dysfonctionnements dans l'installation de traitement des effluents,
- en plus de ces mesures internes, on estime que le traitement primaire et le traitement biologique des effluents font partie des Meilleures Techniques Disponibles pour les usines de pâte kraft.

Pour les usines de pâte kraft blanchie ou non blanchie, les niveaux d'émissions dans l'eau des MTD, qui sont associés à l'utilisation d'une combinaison acceptable de ces techniques sont les suivants :

	<b>Débit m<sup>3</sup>/Adt</b>	<b>DCO kg/Adt</b>	<b>DBO kg/Adt</b>	<b>MES kg/Adt</b>	<b>AOX kg/Adt</b>	<b>Total N (azote) kg/Adt</b>	<b>Total P (phosphore) kg/Adt</b>
Pâte blanchie	30 - 50	8-23	0.3-1.5	0.6-1.5	< 0.25	0.1-0.25	0.01-0.03
Pâte non blanchie	15 - 25	5-10	0.2-0.7	0.3-1.0	-	0.1-0.2	0.01-0.02

Ces niveaux d'émissions concernent uniquement des moyennes annuelles. Le débit d'eau est basé sur l'hypothèse que l'eau de refroidissement et les eaux non polluées sont rejetées séparément. Les valeurs concernent uniquement la partie relative à la fabrication de la pâte. Dans les usines intégrées, il faut y ajouter les émissions de la fabrication du papier (voir chapitre 6) en fonction de la proportion des produits fabriqués.

L'autre problème lié à l'environnement est celui des effluents gazeux de différentes sources. Les émissions dans l'atmosphère proviennent de la chaudière de récupération, du four à chaux, de la chaudière à écorce, du stockage des copeaux, du lessiveur, du lavage de la pâte, de l'installation de blanchiment, de la préparation des produits chimiques de blanchiment, de l'évaporation, de l'épuration, du lavage, de la préparation de la liqueur blanche et de divers bacs. Une partie est représentée par les émissions diffuses qui s'échappent de différents points du process. Les principales sources ponctuelles sont la chaudière de récupération, le four à chaux et les chaudières auxiliaires. Les émissions consistent essentiellement en oxydes d'azote, composés soufrés tels que le dioxyde de soufre et composés du soufre réduit malodorants. On observe en outre des émissions de particulaires.

Les meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions sont :

- le captage et l'incinération des gaz concentrés malodorants et la surveillance des émissions de SO<sub>2</sub> qui en résultent. Les gaz forts peuvent être brûlés dans la chaudière de récupération, dans le four à chaux ou dans un four distinct à faible taux de NO<sub>x</sub>. Les effluents gazeux provenant de ce dernier ont une forte concentration de SO<sub>2</sub> qui est récupéré dans un épurateur.
- Les gaz dilués malodorants de différentes sources sont également recueillis et incinérés, et le SO<sub>2</sub> qui en résulte est contrôlé.
- Les émissions de TRS ou STR(soufre total réduit) de la chaudière de récupération sont réduites par un contrôle efficace de la combustion et la mesure du CO.
- Les émissions de TRS (STR) du four à chaux sont réduites par le contrôle de l'excédent d'oxygène, grâce à un combustible pauvre en soufre et au contrôle du sodium soluble résiduel dans la boue de chaux qui alimente l'installation.
- Les émissions de SO<sub>2</sub> de la chaudière de récupération sont réduites en utilisant une liqueur noire à forte concentration en matières sèches dans la chaudière de récupération et/ou en utilisant un épurateur d'effluents gazeux (« scrubber »).

- Le contrôle des émissions de NO<sub>x</sub> provenant de la chaudière de récupération (par exemple en assurant un mélange correct et la répartition de l'air dans la chaudière), du four à chaux et des chaudières auxiliaires en contrôlant les conditions de l'incinération et aussi par une conception appropriée des installations neuves ou modifiées.
- Les émissions de SO<sub>2</sub> des chaudières auxiliaires sont réduites si l'on utilise des écorces, du gaz, du fioul ou du charbon pauvre en soufre ou en contrôlant les émissions de S à l'aide d'un scrubber.
- Les effluents gazeux des chaudières de récupération, des chaudières auxiliaires (dans lesquelles on incinère d'autres bio-combustibles et/ou combustibles fossiles) et du four à chaux disposent généralement d'électrofiltres pour réduire les émissions de poussières.

Pour les usines de pâte kraft blanchie ou non blanchie, les niveaux d'émissions des MTD dans l'atmosphère provenant du processus, qui sont associés à une combinaison de ces techniques, sont indiqués dans le tableau ci-après. Ces niveaux correspondent à des moyennes annuelles et à des conditions standard. Les émissions des chaudières auxiliaires, dues par exemple à la production de vapeur servant au séchage de la pâte et/ou du papier, ne sont pas prises en considération. Pour ces niveaux d'émissions des chaudières auxiliaires, il convient de se référer à la section MTD pour les chaudières auxiliaires, plus loin dans le présent document.

	<b>Poussières kg/Adt</b>	<b>SO<sub>2</sub> (en S) kg/Adt</b>	<b>NO<sub>x</sub> (en NO<sub>2</sub>) kg/Adt</b>	<b>TRS (en S) kg/Adt</b>
Pâte kraft blanchie et non blanchie	0.2-0.5	0.2-0.4	1.0-1.5	0.1-0.2

Ces valeurs concernent uniquement la part de la fabrication de la pâte. Cela signifie que, dans les usines intégrées, les chiffres relatifs aux émissions du processus ne concernent que la production de pâte kraft et n'incluent pas les émissions dans l'atmosphère des chaudières à vapeur ou des installations pouvant être exploitées pour fournir l'énergie nécessaire à la fabrication du papier.

Les Meilleures Techniques Disponibles pour réduire les déchets consistent à minimiser la production de déchets solides et, chaque fois que cela est possible, à récupérer, recycler et réutiliser ces produits. Il peut s'avérer avantageux, pour atteindre cet objectif, de collecter les différents déchets à la source et de les stocker provisoirement. Lorsque les déchets recueillis ne sont pas réutilisables dans le process, une MTD consiste à utiliser ces résidus/déchets en dehors de la fabrication en tant que substituts, ou à incinérer les matières organiques dans des chaudières conçues à cet effet avec récupération de l'énergie.

Il existe un certain nombre de mesures permettant de réduire la consommation de vapeur fraîche et d'énergie électrique et d'augmenter la production de vapeur et de courant dans le cycle interne. Dans les usines de pâte non intégrées ayant un bon rapport d'efficacité énergétique, la chaleur générée par la liqueur noire et l'incinération de l'écorce dépasse la demande en énergie de tout le process de production. On aura néanmoins besoin quelquefois de fioul dans certaines occasions, par exemple pour assurer le démarrage et également, dans certaines usines, dans le four à chaux.

Dans les usines de pâte kraft et de papier ayant un bon rapport d'efficacité énergétique, la consommation de chaleur et d'énergie est la suivante :

- usines de pâte kraft blanchie non intégrées : 10 à 14 GJ/Adt de chaleur de process et 0,6 à 0,8 MWh/Adt d'énergie;
- usines de pâte kraft blanchie et de papier intégrées (par exemple papier fin non couché): 14 à 20 GJ/Adt de chaleur de process et 1,2 à 1,5 MWh/Adt d'énergie;
- usines de pâte kraft non blanchie et de papier intégrées (par exemple papier couverture kraft): 14 à 17,5 GJ/Adt de chaleur de process et 1 à 1,3 MWh/Adt d'énergie;

## MTD pour la production de pâte sulfite (chapitre 3)

La production de pâte sulfite est bien inférieure à celle de la pâte kraft. La fabrication de la pâte peut se faire en utilisant différents produits chimiques dans les "lessiveurs". Le présent document se concentre sur la fabrication de pâte sulfite en présence de magnésium en raison de son importance en termes de capacité et de nombre d'usines fonctionnant en Europe.

Sous de nombreux aspects, les processus au sulfate (kraft) et au sulfite présentent des similitudes notamment en ce qui concerne la possibilité de mettre en œuvre différentes mesures tant internes qu'externes pour réduire les émissions dans l'environnement. Les principales différences entre ces deux procédés de fabrication de pâte chimique d'un point de vue écologique résident dans les produits chimiques utilisés pour l'opération de cuisson-lessivage, dans le système de préparation et de récupération des produits chimiques, et dans le blanchiment requis compte tenu du fait que la pâte sulfite est au départ plus claire que la pâte sulfate.

Comme dans la fabrication de la pâte kraft, dans la fabrication de la pâte sulfite aussi ce sont les effluents liquides et les émissions dans l'atmosphère qui sont au centre des préoccupations. Les principales matières premières sont des ressources renouvelables (bois et eau) et des produits chimiques pour le lessivage et le blanchiment. Les rejets dans les cours d'eau sont essentiellement des substances organiques. Certains composés rejetés par les usines présentent des effets nocifs pour les organismes aquatiques. Les émissions de matières nutritives (azote et phosphore) peuvent contribuer à l'eutrophisation du milieu récepteur. Les métaux extraits du bois sont éliminés en faibles concentrations mais en raison de l'importance des débits, la charge peut être assez importante. Pour le blanchiment de la pâte sulfite, on évite généralement d'utiliser des produits chimiques de blanchiment contenant du chlore, c'est-à-dire que l'on a recours au blanchiment TCF (totalement exempt de chlore). Il s'ensuit que les effluents de l'installation de blanchiment ne contiennent pas de quantités importantes de composés organiques chlorés.

Les renseignements concernant les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD sont généralement beaucoup plus limités pour les usines utilisant le procédé au sulfite que pour celles produisant de la pâte kraft. C'est pourquoi, compte tenu des informations restreintes fournies par les membres du TWG (groupe de travail technique) dans le cadre de l'échange d'informations sur les MTD, on a décrit moins de techniques que pour la fabrication de pâte kraft. Les données disponibles sont relativement limitées. On pourrait compenser cela partiellement en utilisant les similitudes inhérentes aux deux procédés de fabrication au sulfite et au sulfate. Un certain nombre de techniques relatives à la prévention et à la limitation de la pollution pour les usines de pâte kraft sont également valables, sous de nombreux aspects, pour la fabrication de la pâte sulfite. Lorsqu'il existe des différences particulières entre les techniques kraft et sulfite, on s'est efforcé de recueillir les renseignements nécessaires. Mais on n'a pu exploiter que des renseignements fournis par l'Autriche, l'Allemagne et la Suède pour décrire les techniques et formuler des conclusions sur les MTD. Des mesures internes ont permis de réduire notablement les émissions dans les cours d'eau.

On estime que les meilleures techniques disponibles pour les usines de pâte au sulfite sont :

- l'écorçage à sec du bois,
- une délignification plus poussée en amont de l'installation de blanchiment par une intensification ou une modification du lessivage-cuisson,
- un lavage hautement efficace et une épuration en circuit fermé,
- un système efficace de surveillance, de rétention et de récupération des fuites,
- la fermeture des circuits de blanchiment lorsque l'on utilise des procédés de lessivage-cuisson à base de sodium,
- un blanchiment totalement exempt de chlore,

- la neutralisation de la liqueur faible avant passage dans les évaporateurs suivie d'une réutilisation de la majeure partie du condensat dans le process ou d'un traitement anaérobie,
- la mise en place de bacs tampons d'une capacité suffisante pour stocker les liqueurs de cuisson et de régénération du process et les condensats pollués, afin d'éviter des charges excessives et des dysfonctionnements dans l'installation de traitement des effluents,
- en plus des mesures internes, on estime qu'un traitement primaire et un traitement biologique des effluents représente une MTD pour les usines de pâte sulfite.

Pour les usines de pâte au sulfite blanchie, les niveaux d'émissions dans l'eau des MTD, qui sont associés à l'utilisation d'une combinaison convenable de ces techniques, sont les suivants :

	<b>Débit m<sup>3</sup>/Adt</b>	<b>DCO kg/Adt</b>	<b>DBO kg/Adt</b>	<b>MES kg/Adt</b>	<b>AOX kg/Adt</b>	<b>Total N kg/Adt</b>	<b>Total P kg/Adt</b>
Pâte blanchie	40 - 55	20-30	1-2	1.0-2.0	-	0.15-0.5	0.02-0.05

Ces niveaux d'émissions concernent uniquement des moyennes annuelles. Le débit des effluents liquides est basé sur l'hypothèse que l'eau de refroidissement et les eaux non polluées sont rejetées séparément. Les valeurs concernent uniquement la part de la fabrication de la pâte. Dans les usines intégrées, il faut y ajouter les émissions provenant de la fabrication du papier (voir chapitre 6) en fonction de la proportion des produits fabriqués.

L'autre problème important lié à l'environnement est celui des effluents gazeux provenant de différentes sources. Les émissions dans l'atmosphère proviennent de différentes sources, dont les plus importantes sont la chaudière de récupération et la chaudière à écorces. Des rejets à plus faible teneur en SO<sub>2</sub> concentré proviennent des opérations de lavage et d'épuration et des événements des évaporateurs et des différents bacs. Une partie de ces émissions s'échappe de façon diffuse de différents points du processus. Elles consistent essentiellement en dioxyde de soufre, oxydes d'azote et poussières.

Les meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions dans l'atmosphère sont :

- le captage des rejets de SO<sub>2</sub> concentré et leur récupération dans des capacités avec différents niveaux de pression,
- le captage des rejets de SO<sub>2</sub> diffus provenant de différentes sources et leur introduction dans la chaudière de récupération en tant qu'air comburant,
- le contrôle des émissions de SO<sub>2</sub> provenant de la (des) chaudière(s) de régénération, grâce à un système de précipitation électrostatique et d'épurateurs à cascade des effluents gazeux, et au captage et à l'épuration des gaz des divers événements,
- la réduction des émissions de SO<sub>2</sub> provenant des chaudières auxiliaires, en utilisant de l'écorce, du gaz, du carburant ou du charbon pauvre en soufre, ou en contrôlant les émissions de S,
- la réduction des gaz malodorants grâce à des systèmes de captage efficaces,
- la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> provenant de la chaudière de récupération et des chaudières auxiliaires, en contrôlant les réglages du brûleur,
- le traitement des effluents gazeux des chaudières auxiliaires, au moyen de dispositifs de précipitation électrostatique efficaces pour réduire les émissions de poussière,
- une optimisation de l'incinération des résidus avec récupération de l'énergie.

Les niveaux d'émissions MTD provenant du processus qui sont associés à une combinaison de ces techniques sont indiqués dans le tableau ci-après. Les émissions des chaudières auxiliaires, correspondant par exemple à la production de vapeur servant au séchage de la pâte et/ou du papier, ne sont pas prises en considération. Pour les niveaux d'émissions de ces installations associés aux MTD, il convient de se référer à la section MTD pour les chaudières auxiliaires plus loin dans le présent document.



	<b>Poussières kg/Adt</b>	<b>SO<sub>2</sub> (en S) kg/Adt</b>	<b>NO<sub>x</sub> (en NO<sub>2</sub>) kg/Adt</b>
Pâte blanchie	0.02 - 0.15	0.5 - 1.0	1.0 – 2.0

Ces niveaux d'émissions correspondent à des moyennes annuelles et à des conditions standard. Ces valeurs concernent uniquement la partie relative à la fabrication de la pâte. Cela signifie que, dans les usines intégrées, les chiffres relatifs aux émissions du process ne concernent que la production de pâte et n'incluent pas les émissions dans l'atmosphère des chaudières à vapeur ou des installations pouvant être exploitées pour fournir l'énergie nécessaire à la fabrication du papier.

Les Meilleures Techniques Disponibles pour réduire les déchets consistent à minimiser la production de déchets solides et, chaque fois que cela est possible, à récupérer, recycler et réutiliser ces produits. Il peut s'avérer avantageux, pour atteindre cet objectif, de collecter séparément les différents déchets à la source et de les stocker provisoirement. Lorsque les déchets recueillis ne sont pas réutilisables dans le process, une MTD consiste à utiliser ces résidus/déchets en dehors de la fabrication en tant que produits de substitution, ou à incinérer les matières organiques dans des chaudières conçues à cet effet avec récupération de l'énergie.

Il existe un certain nombre de mesures permettant de réduire la consommation de vapeur et d'énergie électrique et d'augmenter la production de vapeur et de courant au niveau interne. Les usines de pâte sulfite sont autonomes pour leurs besoins en chaleur et en énergie grâce à l'utilisation de la chaleur de la liqueur concentrée, de l'écorce et des déchets de bois. Dans les usines intégrées, on a en revanche besoin d'un complément de vapeur et d'électricité, qui est produite par des centrales implantées sur le site ou en dehors. Les usines intégrées de pâte sulfite et de papier consomment 18 à 24 GJ/Adt de chaleur de process et 1,2 à 1,5 MWh/Adt d'électricité.

## **MTD pour la fabrication de pâtes mécaniques et mi-chimiques (chimicomécaniques) (Chapitre 4)**

Dans la fabrication des pâtes mécaniques, les fibres du bois sont séparées les unes des autres par des procédés mécaniques. Le but est de conserver la majeure partie de la lignine de façon à atteindre un rendement élevé avec des propriétés de résistance et un degré de blancheur acceptables. On distingue deux procédés principaux :

- la pâte mécanique de meule : les grumes sont râpées contre une meule en rotation en présence d'eau agissant simultanément et,
- la pâte mécanique de raffineur, qui est obtenue par défibrage des copeaux de bois entre des disques de raffinage.

On peut modifier les caractéristiques de la pâte en augmentant la température du process et, en cas de raffinage, en soumettant les copeaux à un prétraitement chimique. Le procédé de fabrication de la pâte dans lequel le bois est attendri au préalable à l'aide de produits chimiques et raffiné sous pression est dit procédé chimico-thermo-mécanique (CTMP) et il est également couvert par le présent document.

La plupart des usines de pâte mécanique sont intégrées à la fabrication du papier. De ce fait, les niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD sont donnés pour des fabriques de pâte à papier et de papier intégrées (sauf pour la CTMP).

Dans les usines de pâtes mécaniques et mi-chimiques, les effluents liquides et la consommation d'électricité, pour l'entraînement des meules ou des dispositifs de raffinage, sont au centre des préoccupations. Les principales matières premières sont des ressources renouvelables (bois et eau) ainsi que certains produits chimiques pour le blanchiment (et aussi, dans le cas de la CTMP, pour le

pré-traitement chimique des copeaux). En vue de faciliter le process et pour améliorer les propriétés du produit fini, différents adjuvants sont utilisés au cours de la fabrication du papier. Les émissions dans les cours d'eau sont essentiellement des substances organiques, sous forme dissoute ou en dispersion. Si la pâte mécanique est blanchie au cours d'une ou deux étapes au peroxyde alcalin, on observe une augmentation significative des polluants organiques. Le blanchiment au peroxyde entraîne des charges supplémentaires de DCO avant traitement externe, de l'ordre de 30 kg O<sub>2</sub>/Adt. Certains composés rejetés par les usines présentent des effets toxiques pour les organismes aquatiques. Les émissions de matières nutritives (azote et phosphore) peuvent contribuer à l'eutrophisation du milieu récepteur. Les métaux extraits du bois sont éliminés en faibles concentrations mais en raison de l'importance des débits, la charge peut être assez importante.

Une partie importante des techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD concerne la réduction des émissions dans l'eau. Dans les procédés de fabrication de la pâte mécanique, les circuits d'eau sont habituellement très fermés. Les eaux claires excédentaires provenant de la machine à papier sont habituellement utilisées pour compenser l'eau sortant du circuit avec la pâte et les rejets.

On estime que les meilleures techniques disponibles pour les fabriques de pâte mécanique sont :

- l'écorçage à sec du bois,
- la minimisation des pertes dans les rejets,
- un recyclage de l'eau dans la fabrication de la pâte mécanique,
- un système efficace de surveillance, de rétention et de récupération des fuites,
- une séparation efficace entre les circuits d'eau au niveau de la pâte et de la fabrication de papier, par des épaisseurs,
- une utilisation des eaux depuis la machine à papier vers la fabrication de pâte en fonction du degré d'intégration,
- la mise en place de bacs tampons d'une capacité suffisante pour stocker les eaux usées concentrées du process (principalement pour la pâte CTMP),
- un traitement primaire et biologique des effluents et, dans certains cas, également une floculation ou une précipitation chimique.

Pour les usines de pâte CTMP, une combinaison de traitement anaérobie et aérobie des effluents peut aussi être considérée comme un système de traitement efficace des effluents. Enfin l'évaporation des effluents les plus pollués avec l'incinération du concentrat et un traitement biologique à boues activées pour le reste, peut constituer une solution particulièrement intéressante.

Les niveaux d'émissions qui sont associés à une combinaison convenable de ces techniques, sont présentés séparément pour les usines CTMP non intégrées et les usines intégrées de pâte et de papier. Il s'agit de valeurs moyennes annuelles :

	<b>Débitm<sup>3</sup>/t</b>	<b>DCO kg/t</b>	<b>DBO kg/t</b>	<b>MES kg/t</b>	<b>AOX kg/t</b>	<b>Total N kg/t</b>	<b>Total P kg/t</b>
Usines CTMP non intégrées (part de la fabrication de la pâte seulement)	15-20	10-20	0.5-1.0	0.5-1.0	-	0.1-0.2	0.005-0.01
Usines intégrées pâte mécanique et papier (telles que fabriques de papier journal, papier surcalandré, et papier couché léger)	12-20	2.0-5.0	0.2-0.5	0.2-0.5	< 0.01	0.04-0.1	0.004-0.01

Dans le cas des usines CTMP intégrées, il faut ajouter les émissions provenant de la fabrication du papier (voir chapitre 6).

Pour les usines intégrées de pâte mécanique et papier, les niveaux d'émissions s'appliquent tant à la fabrication de la pâte qu'à celle du papier et sont exprimés en kg de polluants par tonne de papier produit.

Dans la fabrication des pâtes mécaniques, les rejets en DCO dépendent du blanchiment, un blanchiment au peroxyde se traduisant par des charges plus élevées en substances organiques avant traitement externe. Le seuil supérieur de la gamme d'émissions associées aux MTD s'applique aux usines de papier dans lesquelles la proportion de TMP blanchie au peroxyde est élevée.

Les émissions dans l'atmosphère sont essentiellement des émissions provenant de la génération de chaleur et d'électricité dans les chaudières auxiliaires et de composés organiques volatils (COV). Les sources d'émissions de COV sont les stockages de copeaux et l'évacuation à l'air des bacs utilisés pour le lavage des copeaux de bois et des autres bacs, et les condensats de la récupération de la vapeur des raffineurs qui sont pollués par les éléments volatils du bois. Une partie de ces émissions s'échappe de différents points du process.

Les Meilleures Techniques Disponibles pour réduire les émissions dans l'atmosphère consistent en une récupération efficace de la chaleur des raffineurs et en une réduction des émissions de COV de la vapeur polluée. Outre les émissions de COV, la fabrication de pâte mécanique génère des rejets dans l'atmosphère qui ne sont pas liés au process mais provoqués par la génération d'énergie sur le site. La chaleur et l'énergie sont le résultat de la combustion de différents types de combustibles fossiles ou résidus de bois tels que l'écorce. Les MTD pour les chaudières auxiliaires font l'objet d'une discussion ci-après dans le présent document.

Les Meilleures Techniques Disponibles pour réduire les déchets consistent à minimiser la production de déchets solides et, chaque fois que cela est possible, à récupérer, recycler et réutiliser ces produits. Il peut s'avérer avantageux, pour atteindre cet objectif, de collecter séparément les différents déchets à la source et de les stocker provisoirement. Lorsque les déchets recueillis ne sont pas réutilisables dans le process, une MTD consiste à utiliser ces résidus/déchets en dehors de la fabrication en tant que produits de substitution, ou à incinérer les matières organiques dans des chaudières conçues à cet effet avec récupération de l'énergie, ce qui se traduit par une minimisation de l'évacuation des rejets vers les décharges.

Il existe un certain nombre de mesures permettant de réduire la consommation de vapeur et d'énergie électrique. Dans les usines de pâte mécanique et de papier ayant un bon rapport d'efficacité énergétique, la consommation de chaleur et d'énergie s'établit comme suit :

- CTMP non intégrée : pour le séchage de la pâte, on peut utiliser la chaleur de process, c'est-à-dire que l'on n'a pas besoin de vapeur primaire. La consommation d'électricité est de 2 à 3 MWh/Adt.
- Les usines de papier journal intégrées consomment de 0 à 3 GJ/t de chaleur de process et 2 à 3 MWh/t d'électricité. La demande de vapeur dépend de l'apport en fibres et du taux de récupération de vapeur des raffineurs.
- Les fabriques de couché léger (LWC) consomment de 3 à 12 GJ/t de chaleur de process et de 1,7 à 2,6 MWh/t d'électricité. Il faut noter que l'apport en fibres du papier couché léger consiste habituellement en environ un tiers de PWG (pâte de meule sous pression) ou de TMP (pâte thermomécanique), le reste consistant en pâte kraft blanchie et en charges et colorants. Si la production de pâte kraft blanchie se fait sur le même site (usine intégrée), il faut ajouter la part de la demande en énergie provenant de la fabrication de la pâte kraft, en fonction de la composition de l'apport en fibres pour cette fabrication.
- Les fabriques de papier SC (surcalandré) consomment de 1 à 6 GJ/t de chaleur de process et de 1,9 à 2,6 MWh/t d'électricité.

## MTD pour les procédés utilisant des fibres recyclées (Chapitre 5)

La fibre de récupération est devenue une matière première indispensable pour l'industrie papetière en raison de son prix intéressant par rapport aux qualités correspondantes de pâte vierge, et en raison des efforts déployés par de nombreux pays européens en matière de recyclage des papiers de récupération. L'utilisation des papiers de récupération dépend de la qualité du papier à fabriquer, par exemple papier d'emballage, papier journal, papier couverture, papier à usage sanitaire et domestique et de la qualité de la matière première utilisée.

En règle générale, on distingue deux grandes catégories utilisant des Fibres Cellulosiques de Récupération (FCR) :

- la production de papier couverture, papier pour ondulé, carton et carton compact,
- la production de papier journal, papier à usage sanitaire et domestique, papiers d'impression et de reprographie, papiers presse/magazine (surcalandré / couché léger - SC/LWC), quelques types de carton ou de DIP (pâte désencrée) marchande, nécessitant le désencrage des FCR.

Les matières premières pour la production de papier à base de FCR consistent essentiellement en papier de récupération, eau, adjuvants chimiques et en énergie sous la forme de vapeur et d'électricité. On utilise d'importantes quantités d'eau comme eau de process et eau de refroidissement. Pendant la fabrication du papier, on incorpore différents additifs en tant qu'auxiliaires de traitement et pour améliorer les propriétés du papier. L'impact sur l'environnement du traitement des papiers de récupération inclut fondamentalement les émissions dans l'eau, les déchets solides (en particulier si l'on a eu recours au désencrage, par exemple dans les usines de papier à usage sanitaire et domestique) et les émissions dans l'atmosphère. Ces dernières sont principalement liées à la génération d'électricité par combustion de combustibles fossiles ou gaz dans les centrales.

La plupart des usines de utilisant des papiers de récupération sont intégrées à la fabrication de papier. Par conséquent, les niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD sont donnés pour des usines intégrées.

Une partie importante des techniques à étudier pour déterminer les MTD porte sur la réduction des émissions dans l'eau.

On estime que les MTD pour les usines de traitement des papiers de récupération sont :

- l'action de séparer les eaux les moins polluées des eaux polluées, et le recyclage de l'eau dans le process,
- la gestion optimale de l'eau, la clarification de l'eau par sédimentation, flottation ou filtration et le recyclage de l'eau de process pour différents usages,
- la séparation rigoureuse des circuits et de la circulation à contre-courant de l'eau de process,
- la génération d'eau épurée pour les installations de désencrage (flottation),
- la mise en place d'un bassin tampon et d'un traitement primaire,
- le traitement biologique des effluents. Parmi les options efficaces pour les qualités avec désencrage et, parfois aussi pour celles sans désencrage, citons le traitement biologique aérobie et, dans certains cas également, la floculation et la précipitation chimique. Le traitement primaire suivi d'un traitement biologique anaérobie-aérobie représente une solution pour les qualités sans désencrage. Les usines doivent généralement traiter des effluents concentrés en raison du niveau élevé de fermeture du circuit d'eau.
- le recyclage partiel de l'eau traitée après un traitement biologique. Le taux possible de recyclage de l'eau dépend des qualités de papier spécifiques produites. Pour les qualités non désencrées, cette technique est une MTD. Cela dit, il convient d'en peser soigneusement les inconvénients et les avantages et il faut en général prévoir un traitement tertiaire.
- les traitements internes.

Les niveaux d'émissions qui sont associés à une combinaison adaptée de ces techniques, sont présentés séparément pour les usines CTMP non intégrées et les usines intégrées de pâte et de papier. Il s'agit de valeurs moyennes annuelles :

	<b>Débit m<sup>3</sup>/t</b>	<b>DCO kg/t</b>	<b>DBO kg/t</b>	<b>MES kg/t</b>	<b>Total N kg/t</b>	<b>Total P kg/t</b>	<b>AOX kg/t</b>
Usines intégrées de papier FCR sans désencrage (par ex. papier pour ondulé, papier couverture, papier dossier blanc, carton etc.)	< 7	0.5-1.5	<0.05-0.15	0.05-0.15	0.02-0.05	0.002-0.005	<0.005
Usines de papier FCR avec désencrage (par exemple papier journal, papier d'impression et d'écriture)	8 - 15	2-4	<0.05-0.2	0.1-0.3	0.05-0.1	0.005-0.01	<0.005
Usines de papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR	8-25	2.0-4.0	<0.05-0.5	0.1-0.4	0.05-0.25	0.005-0.015	<0.005

Les niveaux d'émissions des MTD sont des moyennes annuelles et sont présentés séparément pour les procédés avec et sans désencrage. Le débit d'eau usée repose sur l'hypothèse que l'eau de refroidissement et les autres eaux propres sont rejetées séparément. Les valeurs concernent des usines intégrées, c'est-à-dire procédant sur le même site au traitement des papiers de récupération et à la fabrication du papier.

On estime aussi que le traitement conjoint des effluents d'une usine de papier FCR ou d'un groupement d'usines de papier FCR dans la station municipale d'épuration des eaux usées est une MTD lorsque le système de traitement convient au traitement des effluents de l'industrie papetière. Avant de considérer cette option comme MTD, il faut évaluer l'efficacité d'élimination du traitement commun des effluents, et comparer les rendements d'élimination ou les concentrations des rejets.

Les émissions dans l'atmosphère provenant des usines de papier à base de FCR concernent principalement des installations servant à la production de chaleur et, dans certains cas, à la cogénération d'électricité. En économisant l'énergie, on réduit également les émissions dans l'air. Ces installations productrices d'énergie sont habituellement des chaudières standard et elles peuvent être traitées comme n'importe quelle autre centrale électrique. Pour réduire la consommation d'énergie et les émissions dans l'air, on peut considérer les mesures suivantes comme des MTD : co-génération de chaleur et d'électricité, amélioration des chaudières existantes et, lorsque le matériel est remplacé, utilisation d'un matériel consommant moins d'énergie. S'agissant des niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD, se référer à la section MTD sur les chaudières auxiliaires ci-après dans le présent document.

Les meilleures techniques disponibles pour réduire les déchets solides consistent à minimiser la production de déchets solides et, chaque fois que cela est possible, à récupérer, recycler et réutiliser ces matériaux. Il peut s'avérer avantageux, pour atteindre cet objectif, de collecter séparément les différents déchets à la source et de les stocker provisoirement. Lorsque les déchets recueillis ne sont pas réutilisables dans le process, une MTD consiste à utiliser ces résidus/déchets en dehors de la fabrication en tant que produits de substitution ou à incinérer les matières organiques dans des chaudières conçues à cet effet avec récupération de l'énergie. On peut réduire la quantité de déchets solides en optimisant la récupération des fibres via l'amélioration des installations de préparation de la pâte, l'optimisation de la chaîne de préparation de la pâte, la mise en place d'un système de flottation à air dissous (DAF) comme traitement interne des circuits d'eau pour récupérer les fibres et les produits

de charge et clarifier l'eau de process. Il convient de trouver un équilibre entre la propreté de la pâte, les pertes de fibres et les besoins en énergie et les coûts, qui dépend généralement des types de papier. La réduction de la quantité de déchets solides à évacuer vers la décharge est également une MTD. On peut y parvenir grâce à des opérations efficaces de traitement des rejets et des boues sur le site (élimination de l'eau) pour augmenter la teneur en déchets solides et procéder ensuite à l'incinération des boues/rejets avec récupération de l'énergie. Les cendres produites peuvent servir de matière première pour l'industrie des matériaux de construction. Il existe différentes options pour l'incinération des rejets et des boues. La mise en œuvre d'une option est conditionnée par la taille de l'usine et, dans une certaine mesure, par le combustible utilisé pour la production de vapeur et d'énergie.

Les usines à base de vieux papiers ayant une bonne efficacité énergétique consomment les quantités suivantes de chaleur et d'énergie :

- papeteries intégrées à base de FCR sans désencrage, (par exemple testliner, fluting) : 6 à 6,5 GJ/t de chaleur de process et 0,7 à 0,8 MWh/t d'électricité,
- usines intégrées de papier tissue à usage sanitaire et domestique avec installation de pâte désencrée (DIP) : 7 à 12 GJ/t de chaleur de process et 1,2 à 1,4 MWh/t d'électricité,
- usines intégrées de papier journal ou de papier d'impression écriture, avec installation de pâte désencrée (DIP) : 4 à 6,5 GJ/t de chaleur de process et 1 à 1,5 MWh/t d'électricité,

## **MTD pour la fabrication du papier et procédés connexes (Chapitre 6)**

La production des fibres utilisées pour la fabrication du papier a été décrite dans les chapitres 2 à 5. Dans le chapitre 6, la fabrication du papier et du carton est décrite indépendamment de la fabrication de la pâte. On a choisi cette méthode car l'industrie papetière requiert les mêmes unités de production pour le papier et le carton dans toutes les papeteries, qu'elles soient intégrées ou non à la production de pâte. La description de la fabrication du papier intégrée à la production de pâte ne ferait qu'accroître la complexité de la description technique. Enfin, la plupart des papeteries en Europe ne sont pas intégrées.

Pour les papeteries intégrées, le présent chapitre s'applique en ce qui concerne la fabrication du papier.

Le papier est fabriqué à partir de fibres, d'eau et d'additifs chimiques. On a en outre besoin d'une grande quantité d'énergie pour alimenter l'ensemble du processus. L'énergie électrique sert avant tout à l'entraînement des différents moteurs et au raffinage lors de la préparation de la pâte. La chaleur est utilisée principalement pour chauffer l'eau, les autres liqueurs et l'air, pour faire évaporer l'eau dans la sécherie de la machine à papier, et pour convertir la vapeur en énergie électrique (dans le cas d'une co-génération). D'importantes quantités d'eau servent comme eau de process et eau de refroidissement. Comme auxiliaires de fabrication et pour améliorer les propriétés du papier, on peut utiliser différents adjuvants au cours de la fabrication.

Les problèmes d'environnement de l'industrie papetière sont dominés par les émissions dans l'eau et par la consommation d'énergie et de produits chimiques. Elle produit également des déchets solides. Les émissions dans l'atmosphère sont principalement dues à la production d'énergie par la combustion de combustibles fossiles dans les centrales.

Meilleures Techniques Disponibles pour réduire les émissions :

- minimiser l'utilisation d'eau pour les différentes qualités de papier en augmentant le recyclage des eaux de process avec un système de gestion de l'eau,
- contrôler les inconvénients potentiels de la fermeture des circuits d'eau,
- construire un système équilibré de stockage de l'eau blanche, des filtrats (clairs) et des cassés de fabrication et utiliser, dans la mesure du possible, des équipements consommant peu d'eau. Cela se

fait normalement lorsqu'on remplace des équipements ou des éléments, ou en cas de modernisation (rénovation),

- mettre en œuvre des mesures tendant à réduire la fréquence et les incidences de déversements accidentels,
- recueillir et réutiliser les eaux propres de refroidissement ou de joints hydrauliques, ou prévoir une évacuation distincte,
- procéder à un pré-traitement séparé des effluents provenant du couchage,
- remplacer les substances potentiellement nocives par des substances moins dangereuses,
- traiter les effluents liquides efficacement en créant un bassin régulateur,
- prévoir un traitement primaire, un traitement secondaire biologique et/ou, dans certains cas, un traitement par précipitation ou floculation des effluents. Si l'on se limite à un traitement chimique, les rejets de DCO seront un peu plus importants mais composés principalement de matières facilement dégradables.

Pour les papeteries non intégrées, les niveaux d'émissions qui sont associés à l'utilisation des MTD sont présentés séparément pour le papier fin couché et non couché et le papier à usage sanitaire et domestique dans le tableau ci-dessous. Cela étant, les différences entre les qualités de papier ne ressortent pas de façon très évidente.

Paramètres	Unités	Papier fin non couché	Papier fin couché	Papier tissu à usage sanitaire et domestique
DBO <sub>5</sub>	kg/t de papier	0.15-0.25	0.15-0.25	0.15-0.4
DCO	kg/t de papier	0.5-2	0.5-1.5	0.4-1.5
MES	kg/t de papier	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.4
AOX	kg/t de papier	< 0.005	< 0.005	< 0.01
Total P	kg/t de papier	0.003-0.01	0.003-0.01	0.003-0.015
Total N	kg/t de papier	0.05-0.2	0.05-0.2	0.05-0.25
Débit	m <sup>3</sup> /t de papier	10-15	10-15	10-25

Les niveaux d'émissions MTD indiqués sont des moyennes annuelles et excluent la part due à la fabrication de la pâte. Bien que ces valeurs s'appliquent à des usines non intégrées, elles peuvent également être utilisées pour évaluer de façon approximative les émissions dues à la fabrication du papier dans les usines intégrées. Le débit d'effluents est basé sur l'hypothèse que l'eau de refroidissement et les autres eaux propres sont évacuées à part.

On estime aussi que le traitement conjoint des effluents d'une papeterie ou d'un groupe de papeteries dans la station municipale d'épuration des eaux usées est une MTD lorsque le système de traitement est adapté au traitement des effluents de l'industrie papetière. Avant de considérer cette option comme MTD, il convient de calculer les rendements d'élimination de la station de traitement commun des eaux usées, et de déterminer les rendements comparables ou les concentrations des rejets.

Les émissions dans l'atmosphère des papeteries concernent principalement les chaudières à vapeur et les installations de production d'énergie. Il s'agit généralement de chaudières standard sans différences par rapport aux autres installations de combustion. On suppose qu'elles sont régulées comme n'importe quelle autre chaudière auxiliaire de même capacité (voir ci-après).

Les MTD concernant les déchets solides consistent à minimiser la production de déchets solides, et, dans la mesure du possible, à récupérer, réutiliser et recycler les matériaux réutilisables. Il peut être avantageux de prévoir une collecte séparée et un stockage provisoire des différents types de déchets à la source pour pouvoir en réutiliser ou en recycler une plus grande quantité au lieu de les envoyer à la décharge. La réduction des pertes de fibres et de charges, la mise en place d'une ultrafiltration pour récupérer les eaux usées du couchage (uniquement pour les qualités couchées), une déshydratation efficace des résidus et des boues pour obtenir plus de déchets solides secs, sont d'autres techniques



disponibles. Autre MTD : la réduction des quantités de déchets à envoyer à la décharge, grâce à l'identification des opérations possibles de récupération et - si cela est faisable - l'utilisation des déchets pour le recyclage ou l'incinération avec récupération d'énergie.

Dans ce secteur, en général, on considère comme MTD l'utilisation de techniques ayant un bon rapport d'efficacité énergétique. Il existe de nombreuses options pour économiser l'énergie à de nombreux stades de la fabrication. D'habitude ces mesures sont liées à des investissements pour remplacer, moderniser ou améliorer le matériel technique. On remarque que, le plus souvent, les mesures visant à des économies d'énergie ne sont pas mises en œuvre dans ce seul but. Les investissements visent surtout la productivité, l'amélioration de la qualité des produits et la réduction des coûts globaux. On peut réaliser des économies d'énergie en mettant en place un système de surveillance de l'utilisation et du rendement de l'énergie, un égouttage plus efficace de la toile dans la section presses de la machine à papier grâce à l'utilisation de presses à sabots permettant d'augmenter la largeur de contact entre presses, et en recourant à des techniques ayant un bon rapport d'efficacité énergétique, comme une trituration à consistance élevée, un raffinage à bon rapport d'efficacité énergétique, une formation à deux toiles, des circuits de vide optimisés, des entraînements à vitesse variable pour les ventilateurs et les pompes, des moteurs électriques correctement dimensionnés, la récupération des condensats de vapeur, des sauces de size-press plus concentrées, ou des systèmes de récupération de la chaleur en air de sécherie. Le chauffage direct à la vapeur peut être réduit par l'utilisation de la méthode du pincement.

Les papeteries non intégrées avec un bon rapport d'efficacité énergétique consomment les quantités suivantes de chaleur et d'énergie :

- les usines non intégrées de papier fin non couché ont une demande de chaleur de process de 7 à 7,5 GJ/t et une demande d'énergie de 0,6 à 0,7 MWh/t,
- les usines non intégrées de papier fin couché ont une demande de chaleur de process de 7 à 8 GJ/t et une demande d'énergie de 0,7 à 0,9 MWh/t,
- les usines non intégrées de papier à usage sanitaire et domestique à base de fibres vierges ont une demande de chaleur de process de 5,5 à 7,5 GJ/t et une demande d'énergie de 0,6 à 1,1 MWh/t.

## **MTD pour les chaudières auxiliaires**

En fonction de l'équilibre énergétique effectif de la fabrique de pâte et de papier considérée, du type de combustibles extérieurs utilisés et du sort des bio-combustibles possibles tels que l'écorce et les déchets de bois, il faut tenir compte des émissions dans l'atmosphère des chaudières auxiliaires. Les papeteries qui fabriquent de la pâte à partir de fibres vierges utilisent habituellement des chaudières fonctionnant à l'écorce. Pour les papeteries non intégrées ou à base de FCR, les émissions dans l'atmosphère sont principalement liées aux chaudières à vapeur et/ou aux installations de production d'électricité. Il s'agit habituellement de chaudières standard qui ne diffèrent pas des autres installations de combustion. On postule qu'elles sont régulées comme n'importe quelle autre installation de même capacité. En conséquence, le présent document se limite à mentionner brièvement les MTD reconnues pour les chaudières auxiliaires. Ces techniques sont :

- la co-génération de chaleur et d'électricité si le rapport chaleur/énergie le permet,
- l'utilisation de sources renouvelables de combustible comme que le bois ou les déchets de bois, le cas échéant, pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> fossile,
- le contrôle des émissions de NO<sub>x</sub> provenant des chaudières auxiliaires par le contrôle des conditions de combustion, et la mise en place de brûleurs "à bas NO<sub>x</sub>",
- la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> grâce à l'utilisation d'écorce, de gaz ou de combustibles à faible teneur en soufre ou par la limitation des émissions de S,
- l'utilisation d'électrofiltres (ou de dépoussiéreurs à manche) efficaces sur les fumées des chaudières auxiliaires consommant des combustibles solides pour éliminer les poussières.

Les niveaux d'émissions associés aux MTD, en provenance des chaudières auxiliaires dans l'industrie papetière qui brûlent différents types de combustibles, sont résumés dans le tableau ci-dessous. Les valeurs concernent des moyennes annuelles et des conditions standard. Cependant, le total des rejets spécifiques au produit dépend très fortement du site (par exemple type de combustible, taille et type de l'installation, usine intégrée ou non, production d'électricité).

Substances rejetées	Charbon	Fioul lourd	Mazout	Gaz	Combustible "bio" (par ex. écorce)
mg S/MJ de combustible consommé	100 - 200 <sup>1</sup> (50 - 100) <sup>5</sup>	100 - 200 <sup>1</sup> (50-100) <sup>5</sup>	25-50	<5	< 15
mg NO <sub>x</sub> /MJ de combustible consommé	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	45-60 <sup>2</sup>	30 -60 <sup>2</sup>	60 -100 <sup>2</sup> (40-70 SNCR) <sup>3</sup>
mg poussière / Nm <sub>3</sub>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>	10 - 40 <sup>4</sup> à 3 % O <sub>2</sub>	10-30 3% O <sub>2</sub>	< 5 3% O <sub>2</sub>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>
Remarques : 1. Les émissions de soufre provenant des chaudières chauffées au mazout ou au charbon dépendent de la disponibilité de mazout ou de charbon à faible teneur en soufre. On pourrait obtenir une certaine réduction de la teneur en soufre en injectant du carbonate de calcium. 2. Seule la technique de la combustion est mise en œuvre. 3. On applique également des techniques secondaires telles que la réduction non catalytique sélective (SNCR); normalement sur des installations à grande échelle seulement. 4. Valeurs associées lorsqu'on utilise des électrofiltres efficaces. 5. Lorsqu'on utilise un « scrubber » ; ne s'applique qu'aux installations à grande échelle.					

On notera que les chaudières auxiliaires utilisées dans l'industrie papetière sont de tailles très variables (de 10 à plus de 200 MW). Pour celles de petites dimensions, on ne peut envisager que l'utilisation d'un combustible et de techniques de combustion à faible teneur en soufre pour un coût raisonnable, alors que, pour les plus grandes, on peut aussi appliquer des mesures de limitation. Cette différence est reproduite dans le tableau ci-dessus. On estime que les seuils supérieurs représentent des MTD pour les petites installations et qu'on les atteint en prenant des mesures concernant la qualité du combustible et des mesures internes; les niveaux inférieurs (entre parenthèses) sont associés à des mesures de limitation telles que la SNCR et les scrubbers, et sont considérés comme des MTD pour les installations de plus grande taille.

## Utilisation de produits chimiques et d'adjuvants

L'industrie papetière utilise de nombreux produits chimiques, en fonction du type de papier produit, du process employé, et des propriétés voulues. D'une part il faut des produits chimiques pour la fabrication de la pâte, et d'autre part, des adjuvants et des auxiliaires chimiques pour la fabrication du papier. On utilise des adjuvants chimiques pour donner au papier différentes caractéristiques, alors que les auxiliaires chimiques servent à améliorer le rendement et réduire les incidents du processus de fabrication.

S'agissant de l'utilisation de produits chimiques, on considère comme MTD la présence d'une base de données pour tous les produits chimiques et adjuvants utilisés et la mise en œuvre du principe de substitution. Cela signifie que lorsqu'ils sont disponibles, on utilise des produits moins dangereux. On met en œuvre des mesures pour éviter les fuites accidentelles dans le sol et dans les cours d'eau lors de la manipulation ou du stockage des produits chimiques.

## Degré de consensus

Le présent BREF a recueilli l'assentiment de la plupart des membres du TWG et des participants à la 7<sup>ème</sup> Réunion du Forum sur l'échange d'informations. Toutefois, le CEPI - représentant l'industrie papetière - et quelques États membres n'ont pas apporté leur adhésion totale au projet définitif et ont contesté certaines des conclusions présentées dans le présent document. Certains des points clés de dissension sont indiqués ci-dessous, et on trouvera des détails supplémentaires dans le chapitre 7.

Le CEPI et un État membre ont soutenu que l'on n'avait pas suffisamment tenu compte de la différence économique entre les usines nouvelles/existantes et de grande/petite taille, et qu'il aurait fallu formuler des différences claires dans le BREF. En outre, le CEPI et trois États membres estiment qu'une usine type ne sera pas en mesure d'atteindre simultanément tous les niveaux d'émissions et de consommations associés à l'utilisation d'une combinaison convenable des différentes techniques qui sont considérées comme MTD. Ils estiment que l'on n'a pas procédé à une évaluation suffisamment intégrée de tous les paramètres. Toutefois, contrairement à cette opinion, on a identifié des usines qui atteignent tous les niveaux mentionnés en même temps et l'opinion minoritaire ci-dessus n'est pas partagée par la plupart des membres du TWG.

En dehors de ces questions générales, il existe également quelques questions spécifiques qui n'ont pas reçu l'approbation unanime du TWG. Le CEPI et deux États membres estiment que pour les solides totaux en suspension (MES) pour la fabrication de la pâte kraft blanchie, le seuil supérieur de la plage associé à l'utilisation des MTD devrait être fixé à 2,0 kg/Adt au lieu de 1,5 kg/Adt. Le CEPI ainsi qu'un État membre estiment aussi que certaines des plages associées à l'utilisation des MTD pour les diverses qualités de papier sont trop contraignantes. À l'inverse, des membres du TWG estiment que certains niveaux convenus associés à des MTD sont trop cléments si l'on tient compte des résultats les plus récents obtenus par certaines papeteries.

Le Bureau Européen de l'Environnement - représentant les organisations gouvernementales - a exprimé d'autres points de vue divergents - notamment que le blanchiment ECF dans les fabriques de pâte kraft ne répond pas aux critères des MTD concernant les principes de précaution et de prévention et que, de façon générale, le traitement tertiaire des effluents devrait inclure le traitement à l'ozone, au peroxyde ou aux rayons UV suivi par une étape de biofiltration.

## **PREFACE**

### **1. Statut du présent document**

Le présent document fait partie d'une série qui présente les résultats d'un échange d'informations entre les États Membres de l'UE et les industries concernées sur les Meilleures Techniques Disponibles (MTD), les contrôles associés et les développements qu'elles contiennent.

\*[Il est publié par la Commission Européenne en vertu de l'article 16 (2) de la Directive et doit par conséquent être pris en considération conformément à l'Annexe IV de la Directive lors de la détermination des "Meilleures Techniques Disponibles"].

*\* Les crochets seront supprimés lorsque la procédure de publication par la Commission sera terminée.*

### **2. Obligations juridiques applicables de la directive PRIP (IPPC) et définition de MTD**

Pour aider le lecteur à comprendre le contexte juridique dans lequel le présent document a été rédigé, les auteurs décrivent dans sa préface les dispositions les plus importantes de la Directive PRIP, et notamment la définition de l'expression "Meilleures Techniques Disponibles". Cette description est inévitablement incomplète et est donnée à titre d'information seulement. Elle n'a pas de valeur juridique et ne modifie ou ne préjuge en aucun cas les dispositions expresses de la Directive.

L'objet de la Directive est la prévention et la limitation intégrées des pollutions en provenance des activités figurant à l'annexe 1, afin d'atteindre un niveau élevé de protection de l'environnement considéré dans son ensemble. Sa mise en œuvre doit également tenir compte des autres objectifs communautaires, tels que la compétitivité de l'industrie communautaire, contribuant ainsi à un développement durable.

Plus spécifiquement, elle prévoit un système d'autorisation pour certaines catégories d'installations industrielles demandant aux exploitants comme aux contrôleurs d'envisager de façon globale et intégrée le potentiel de pollution et de consommation de l'installation. L'objet global d'une telle approche intégrée doit être d'améliorer la gestion et le contrôle des processus industriels afin de garantir un haut niveau de protection de l'environnement dans son ensemble. Le point clé de cette approche est le principe général énoncé dans l'article 3 selon lequel les exploitants doivent prendre toutes les mesures de prévention contre les pollutions, notamment en ayant recours aux Meilleures Techniques Disponibles leur permettant d'améliorer leurs résultats en matière de protection de l'environnement.

Le terme de "Meilleures Techniques Disponibles" est défini à l'article 2 (11) de la Directive comme étant "le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de certaines techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émissions visant à prévenir et lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble". L'article 2 (11) poursuit en précisant cette définition de la façon suivante :

"techniques" signifie aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, maintenue, exploitée et mise à l'arrêt,

"disponibles" signifie les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient ou non

utilisées ou produites sur le territoire de l'État membre intéressé, pour autant que l'exploitant concerné puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables,

"meilleures" signifie les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

Par ailleurs, l'annexe IV de la Directive comprend une liste des "Considérations à prendre en compte en général ou dans un cas particulier lors de la détermination des meilleures techniques disponibles ... compte tenu des coûts et des avantages pouvant résulter d'une action et des principes de précaution et de prévention".

Ces considérations incluent les informations publiées par la Commission en vertu de l'article 16 (2).

Les autorités compétentes responsables de la délivrance des autorisations doivent tenir compte des principes généraux énoncés à l'article 3 lorsqu'elles établissent les conditions d'autorisation. Ces conditions doivent nécessairement inclure des valeurs limites d'émissions, complétées ou remplacées le cas échéant par des paramètres ou des mesures techniques équivalentes. Conformément à l'article 9 (4) de la Directive, ces valeurs limites d'émissions, les paramètres et les mesures techniques équivalentes doivent, sans préjudice des normes de qualité environnementales, être fondés sur les meilleures techniques disponibles, sans prescrire l'utilisation d'une technique ou d'une technologie spécifique, et en prenant en considération les caractéristiques techniques de l'installation concernée, son implantation géographique et les conditions locales de l'environnement. Dans tous les cas, les conditions d'autorisation doivent prévoir des dispositions relatives à la minimisation de la pollution à longue distance ou transfrontière et garantir un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

En vertu de l'article 11 de la Directive, les États membres sont tenus de veiller à ce que l'autorité compétente se tienne informée ou soit informée de l'évolution des meilleures techniques disponibles.

### **3. Objet du document**

L'article 16 (2) de la Directive demande à la Commission d'organiser "un échange d'informations entre les États membres et les industries intéressées au sujet des meilleures techniques disponibles, des prescriptions de contrôle y afférentes et de leur évolution" et de publier les résultats de ces échanges.

L'objet de cet échange d'informations est énoncé dans le point 25 des attendus de la Directive, qui déclare que "les progrès et les échanges d'informations au niveau communautaire en ce qui concerne les meilleures techniques disponibles permettront de réduire les déséquilibres au plan technologique dans la Communauté, favoriseront la diffusion au plan mondial des valeurs limites et des techniques utilisées dans la Communauté et aideront les États membres dans la mise en œuvre efficace de la présente Directive".

La Commission (DG Environnement) a créé un forum d'échange d'informations (FEI) pour faciliter l'accomplissement des tâches prévues en vertu de l'article 16 (2) et un certain nombre de groupes de travail techniques ont été mis en place sous l'égide du FEI. Ce dernier ainsi que les groupes de travail techniques comprennent des représentants des États membres et des industries intéressées conformément aux dispositions de l'article 16 (2).

L'objet de la présente série de documents est de refléter avec précision l'échange d'informations qui a eu lieu en vertu de l'article 16 (2) et de fournir à l'autorité compétente chargée de délivrer les autorisations des informations de référence dont elle pourra tenir compte pour déterminer les conditions d'autorisation. Grâce aux renseignements pertinents qu'ils contiennent concernant les meilleures techniques disponibles, ces documents devraient constituer des outils précieux pour promouvoir les résultats dans le domaine de l'environnement.

## **4. Sources d'informations**

Le présent document constitue un résumé des informations recueillies auprès d'un certain nombre de sources, et notamment l'avis autorisé des groupes créés pour aider la Commission dans sa tâche, et vérifiées par les services de cette dernière. Toute contribution sera reçue avec gratitude.

## **5. Comment comprendre et utiliser le présent document**

Les informations contenues dans le présent document sont prévues pour être utilisées comme un élément pour déterminer les MTD dans des cas spécifiques. Lors de la détermination des MTD et de l'établissement des conditions d'autorisation fondées sur des MTD, il convient de toujours tenir compte de l'objectif global recherché d'un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

Le reste de la présente section décrit le type d'informations qui sont données dans les différentes sections du document.

Le chapitre 1 comprend des renseignements de caractère général sur le secteur industriel concerné et les premières sections des chapitres 2 à 6 contiennent des informations sur les processus industriels utilisés dans le secteur en question. Les données et les informations relatives aux niveaux d'émissions et de consommation existants sont ensuite présentées dans la deuxième section des chapitres 2 à 6 pour traduire la situation dans les installations existantes à la date de la rédaction.

La troisième section des chapitres 2 à 6 décrit de façon plus détaillée la réduction des émissions et autres techniques considérées comme étant les plus pertinentes pour déterminer les MTD et établir les conditions d'autorisation sur la base des MTD. Ces informations comprennent les niveaux de consommation et d'émissions que l'utilisation de ladite technique devrait permettre d'atteindre, une idée sommaire des coûts et des problèmes d'interaction entre les milieux liés à la technique et la mesure dans laquelle celle-ci est applicable à l'éventail des installations pour lesquelles une autorisation PRIP est requise, par exemple les installations nouvelles, existantes, petites ou grandes. Il n'est pas tenu compte des techniques généralement considérées comme obsolètes.

Une section conclusive sur les Meilleures Techniques Disponibles dans chacun des chapitres 2 à 6 présente lesdites techniques et les niveaux de consommation et d'émissions que l'on estime compatibles avec les MTD au sens général. L'objet est de fournir des indications de caractère général sur les niveaux de consommation et d'émissions que l'on peut considérer comme critère de référence approprié pour faciliter la détermination des conditions d'autorisation sur la base des MTD ou pour établir les prescriptions contraignantes générales prévues à l'article 9 (8). Il convient toutefois de souligner que le présent document ne propose pas de valeurs limites d'émission. Dans la détermination des conditions d'autorisation appropriées, il faudra tenir compte des facteurs locaux spécifiques au site telles que les caractéristiques techniques de l'installation concernée, son implantation géographique et les conditions environnementales locales. Dans le cas d'installations existantes, il faudra également tenir compte de la viabilité technique et économique de leur amélioration. Même le simple but de garantir un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble impliquera souvent de formuler des jugements sur les avantages et inconvénients relatifs de différents types d'impact sur l'environnement et ces jugements seront souvent influencés par des considérations locales.

Bien que l'on ait cherché à aborder certains de ces problèmes, il n'est pas possible de les étudier en détail dans le présent document. Les techniques et les niveaux présentés dans la section conclusive sur les Meilleures Techniques Disponibles dans chacun des chapitres 2 à 6 ne seront pas nécessairement applicables à toutes les installations. En revanche, l'obligation de garantir un niveau élevé de protection de l'environnement, et notamment la minimisation de la pollution à longue distance ou transfrontalière ne peut pas être établie sur la base de considérations purement locales. Il importe donc

au plus haut point que les informations contenues dans le présent document soient toutes prises en considération par les autorités compétentes pour délivrer les autorisations.

Étant donné que les meilleures techniques disponibles évoluent dans le temps, le présent document sera revu et mis à jour selon les besoins. Tous commentaires et suggestions doivent être adressés au bureau européen PRIP à l'Institut pour les études techniques prospectives à l'adresse suivante :

World Trade Center, Isla de la Cartuja s/n, E-41092 Séville - Espagne

Tél. : +34 95 4488 284

Fax : +34 95 4488 426

e-mail : [eippcb@jrc.es](mailto:eippcb@jrc.es)

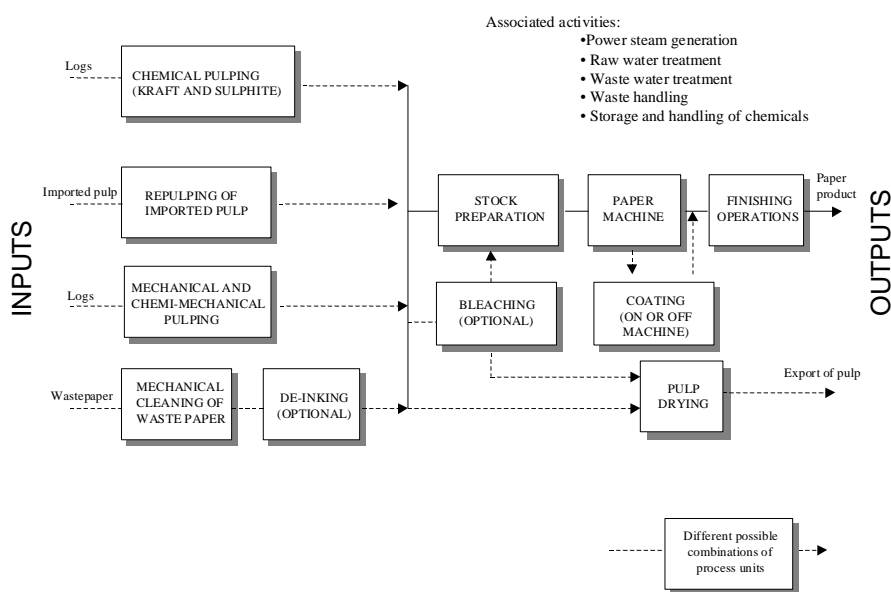
Internet : <http://eippcb.jrc.es>

## OBJET

Une usine de papier peut se contenter de reconstituer de la pâte fabriquée ailleurs ou bien être intégrée avec les opérations de fabrication de la pâte sur le même site. C'est-à-dire que les activités inhérentes à la fabrication de la pâte à papier et au traitement du papier de récupération et celles inhérentes à la fabrication du papier peuvent se dérouler soit indépendamment soit combinées sur un même site. Les usines de pâte à papier et les usines de papier peuvent donc fonctionner soit en étant intégrées soit sans intégration. La fabrication de la pâte mécanique et le traitement des fibres recyclées constituent une opération intégrée dans la fabrication du papier, mais peuvent également constituer des activités à part entière.

Le présent BREF traite des procédés utilisés dans la production de pâte et de papier dans les usines intégrées de pâte et de papier ainsi que dans les usines de pâte à papier non intégrées (pâte marchande) et les usines de papier non intégrées qui achètent de la pâte pour produire du papier.

Les principales opérations couvertes par le présent document sont illustrées dans la figure ci-dessous.



Les descriptions portent sur les principales opérations suivantes :

- fabrication de pâte chimique
  - procédé de fabrication de la pâte kraft (sulfate)
  - procédé de fabrication de la pâte sulfite
- fabrication de pâte mécanique et mi-chimique
- utilisation du papier de récupération, avec ou sans désencrage
- fabrication du papier et processus annexes



Les activités en amont comme l'exploitation forestière, la production de produits chimiques hors du site et le transport des matières utilisées, et les activités en aval, comme la transformation et l'impression du papier, ne sont pas incluses dans le présent BREF. Cela dit, ils ont néanmoins une incidence sur la qualité du papier de récupération et les process de préparation des produits à base de vieux papiers.

Il existe également un certain nombre de process et d'opérations ayant un impact sur l'environnement, qui ne sont pas directement liés à la production de la pâte et du papier, et qui ne seront mentionnés que rapidement dans le présent document: notamment :

- la protection contre les accidents du travail et les risques professionnels
- le traitement des eaux d'alimentation
- la génération de chaleur et d'électricité
- le stockage et la manipulation des produits chimiques
- les systèmes de refroidissement et de génération de vide
- la surveillance des émissions.

## 1 Généralités

### 1.1 La consommation de papier en Europe

Dans les sociétés développées, l'utilisation d'une multitude de produits à base de papier et de carton est une réalité quotidienne pour la plupart des gens. Le papier tel que nous le connaissons aujourd'hui existe depuis plus de deux mille ans et soutient avec succès la concurrence des supports informatiques modernes et des matériaux d'emballage composites ou en matières synthétiques perfectionnés. Un coup d'œil sur les principales utilisations du papier et du carton montre la diversité des produits.

**Tableau 1.1 - Utilisations du papier et du carton**  
[Rapport finlandais sur les MTD, 1997, modifié par EIPPCB]

Utilisation	Types de papiers	Exemples de produits de consommation finale	Grandes tendances
Information - collecte - distribution - stockage	- Papier journal - Papier magazine couché et non couché (surcalandré SC et couché léger (LWC) - Papier d'impression/écriture sans bois couché et non couché	- Journaux - Revues - Livres - Sorties papier d'ordinateur - Xérographie - Encarts - Illustrations	Utilisation croissante des impressions et copies polychromes Supports électroniques remplaçant les documents bancaires et commerciaux Utilisation croissante des produits recyclés comme matière première Utilisation croissante d'adjuvants
Emballage - transport - distribution - protection	- Liner - Sacs - Papier pour ondulé - Carton pour boîte pliante - Carton pour emballage de liquides - Papier d'emballage	- Sacs - Boîtes - Emballages - Conteneurs	Utilisation croissante dans la distribution des produits alimentaires, Augmentation générale du recyclage des matériaux d'emballage Utilisation croissante de composites.
Usages sanitaires - soins corporels - propreté - prévention des maladies	Papier à usage sanitaire et domestique - crêpe sec - crêpe humide	- Papier toilette - Papier essuie-tout - Papier à démaquiller - Serviettes en papier - Essuie-mains - Vêtements d'hôpitaux - Mouchoirs	Utilisation croissante avec l'élévation du niveau de vie général, Fin de la chaîne pour le recyclage des fibres, Utilisation de fibres vierges ("neuves") pour les produits "haut de gamme".
Papiers spéciaux - de nombreuses variétés	Documents officiels - Papiers-filtres - Papiers ignifugés	- Billets - Timbres - Filtres à air - Filtres à café - Feuilles de cuisson	Un nombre sans cesse croissant de nouvelles applications.

Une tendance n'est pas mentionnée ci-dessus, à savoir la combinaison d'un nombre toujours plus important de fonctions dans de nombreux produits, par exemple les impressions apposées sur les paquets ou les serviettes en papier.

La consommation de papier et de carton est étroitement liée aux niveaux de vie et, sur des périodes à long terme, il existe une corrélation étroite entre l'augmentation de la consommation de ces produits et la hausse du PNB (Produit National Brut). Comme il ressort du tableau 1.2, la consommation de papier par habitant varie considérablement dans le monde. Même en Europe, on observe d'importantes différences. Les pays européens qui consomment le plus de papier sont l'Allemagne (23,4 %), le Royaume-Uni (17,5 %), la France (14,3 %), l'Italie (12,6 %), l'Espagne (7,9 %) et les Pays-Bas (4,8 %). Les pays de l'UE qui sont encore au-dessous de la moyenne UE devraient augmenter leur consommation papetière jusqu'au niveau de la moyenne actuelle. On peut estimer que l'industrie papetière sera une industrie en pleine croissance au cours des années à venir.

**Tableau 1.2 - Consommation de papier par habitant en 1995**  
[Pulp and Paper International (PPI), 1996] ([Verband Deutscher Papierfabriken, Papier 1997])

Région	Pays	Consommation de papier par habitant (kg/an) 1995	Consommation de papier en milliers de t (1995)
<b>Europe de l'Ouest</b>		<b>171</b>	<b>65 834</b>
	Autriche	192	1 550
	Belgique	237	2 663*
	Danemark	214	1 134
	Finlande	175	896
	France	164	9 631
	Allemagne	194	15 821
	Grèce	82	857
	Irlande	102	361
	Italie	140	8 076
	Luxembourg	168	* voir Belgique
	Pays-Bas	201	3 120
	Norvège	176	756
	Portugal	82	802
	Espagne	129	5 147
	Suède	210	1 857
	Royaume-Uni	194	11 288
<b>Europe de l'Est</b>		<b>19</b>	
	USA	332	87 409
	Chine	22	26 499
	Indonesie	14	N.N.
	Japon	239	30 019
	Brésil	35	5 433
	Egypte	9	N.N.
<b>Total monde</b>		<b>49</b>	<b>276 231</b>
Note : * On ne dispose que d'un seul chiffre pour la Belgique et le Luxembourg			

## 1.2 L'industrie de la pâte à papier en Europe

L'Europe joue un rôle important dans l'ensemble de l'industrie papetière. C'est le deuxième producteur et consommateur de papier et de carton, l'Amérique du Nord occupant la première place. Son rôle dans l'industrie de la pâte à papier est significatif - sa production annuelle de pâte de bois est d'environ 35 millions de tonnes, ce qui représente environ 1/5 de l'offre mondiale totale.

L'offre de pâte à papier recouvre les producteurs de pâte marchande et les sociétés qui utilisent la majeure partie de leur production de pâte pour leur propre production intégrée de papier et vendent le reste sur le marché libre. En Europe de l'Ouest, le marché de la pâte est approvisionné par un petit nombre de grandes usines situées en Finlande, en Suède, en Espagne, au Portugal, en Autriche, en Belgique et en France. En ce qui concerne la pâte marchande, la qualité prédominante est la pâte kraft blanchie, qui représente plus des trois-quarts de la production totale de 9 millions de tonnes. Sur ce total, 11,4 % de pâte sulfite, 7 % de pâte mécanique et mi-chimique et 3,2 % de pâte sulfate écrue ont été livrées sur le marché.

La Finlande et la Suède sont les principaux producteurs de pâtes de feuillus et de résineux, le Portugal et l'Espagne fournissant d'importantes quantités de pâte de feuillus. Presque toute la pâte kraft de résineux blanchie et environ 90 % de la pâte de feuillus blanchie utilisées en Europe Centrale sont des pâtes marchandes. Environ 3,5 millions t/an proviennent de Finlande et de Suède, alors que le Portugal et l'Espagne exportent quelque 1,5 million de tonnes par an vers les pays de la CE. Les quatre principaux marchés pour la pâte marchande sont l'Allemagne, la France, l'Italie et le Royaume-Uni.

En 1996, les principaux types de pâtes pour la fabrication du papier en Europe étaient les pâtes sulfate blanchies (13 Mt/an, soit 40,8 %) et les pâtes mécaniques et mi-chimiques (12,3 Mt/an soit 38,3 %), suivies par 4,1 Mt/an de pâte sulfate écrue (12,7 %) et 2,4 Mt/an de pâte sulfite (7,5 %).

Sous l'angle de la répartition géographique, les figures 1.1 et 1.2 illustrent la prédominance de la Suède (30,2 %) et de la Finlande (29,9 %) en matière de production de pâte à papier. La péninsule ibérique représente 9,4 %, la France 8 %, la Norvège 7,0 % et l'Allemagne 5,6 % de la production de pâte à papier à base de bois.

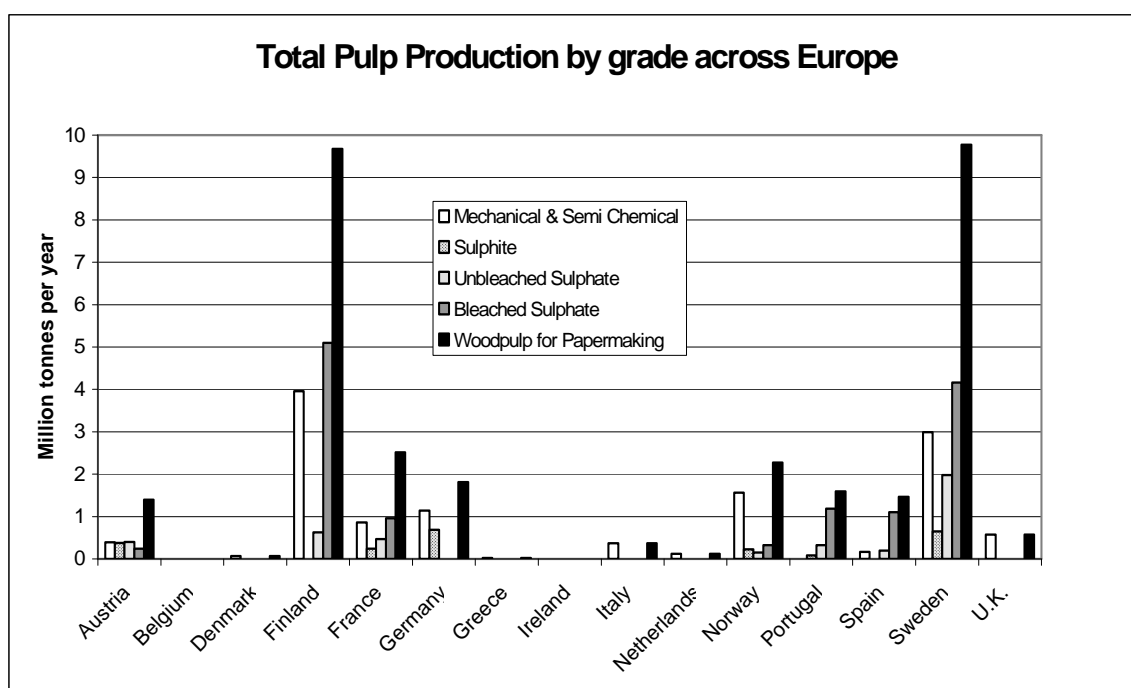
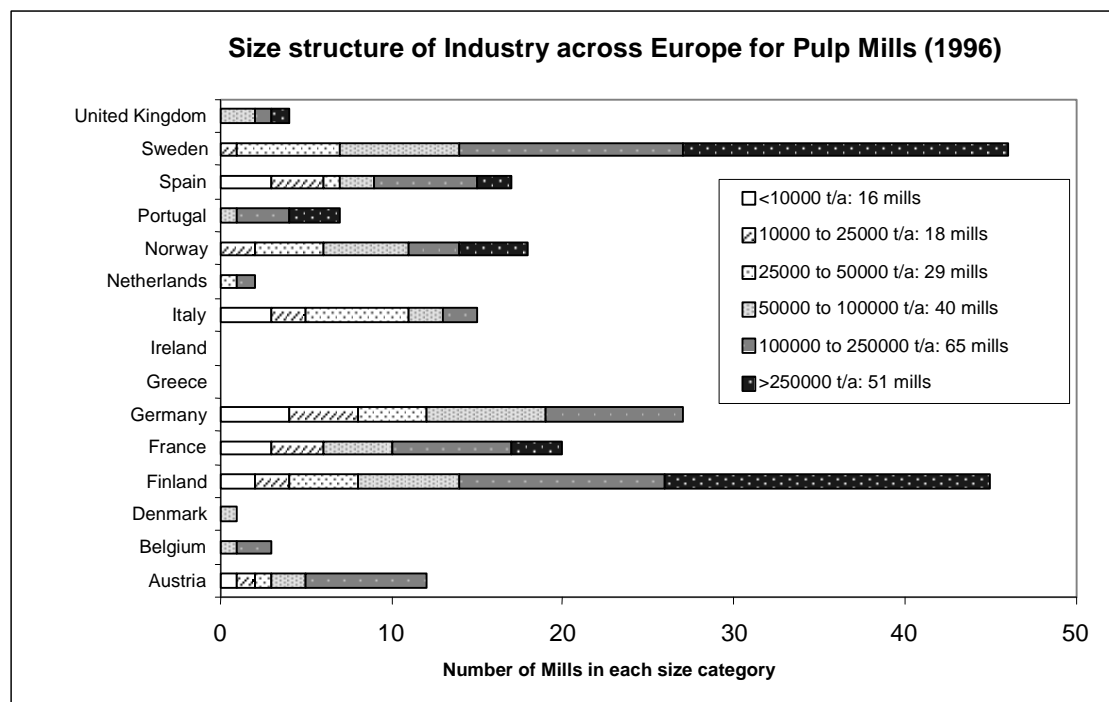


Figure 1.1 - Répartition de la production européenne de pâtes à papier en Europe, par sortes  
[CEPI 1997, Statistiques annuelles 1996]

En Europe, concernant les types de pâtes, la majorité de la production de pâte sulfate (total : 67 usines) se trouve en Finlande et en Suède, le reste en Espagne, au Portugal, en France et en Autriche. La plus grande partie de la production de pâte sulfite (total : 24 usines), est située en Suède, en Allemagne, en Autriche et en France, avec un peu de production en Italie et au Portugal.

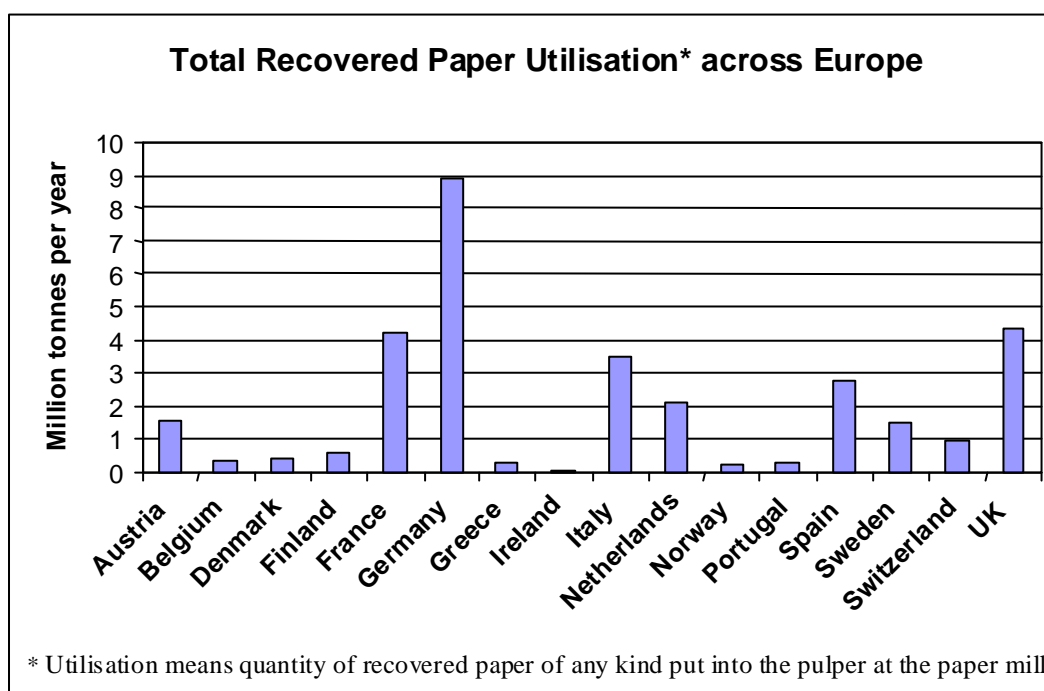
En Europe de l'Ouest, il y a 101 usines produisant de la pâte mécanique, qui sont implantées principalement en Finlande, Allemagne, Suède, France, Italie et Norvège. Les principaux producteurs de pâte mi-chimique (total : 23 usines) sont la Suède, la Finlande, la Norvège et l'Italie.



**Figure 1.2 - Répartition par taille des usines de pâte à papier en Europe**  
[CEPI 1997, Statistiques annuelles 1996]

C'est en Suède et en Finlande que l'on trouve la plupart des grandes usines avec une capacité de plus de 250 000 tonnes par an, et un petit nombre seulement d'usines produisant moins de 10 000 tonnes par an. La taille moyenne des usines de pâte à papier en Europe occidentale est de 180 000 t/an [PPI, 1996]. Sur les 222 usines de pâte à papier en Europe occidentale, 74 produisent de la pâte marchande.

En plus des fibres neuves (ou vierges), l'Europe occidentale utilise environ 30 millions de t/an de fibres recyclées - ce qui correspond à environ 45 pour cent du total des fibres utilisées pour la fabrication du papier. Le taux de consommation est relativement élevé pour le papier journal (49 %), les papiers à usage sanitaire et domestique et autres papiers d'hygiène (66,9 %), le liner et le papier cannelure (fluting) (85,9 %) et les cartons (52,2 %). La production de fibres recyclées est élevée dans des pays à forte densité de population et avec une consommation élevée par habitant, comme l'Allemagne, la France, l'Italie et les Pays-Bas, ainsi que le montre la figure 1.3. Les deux tiers environ des papiers récupérés servent à des utilisations sans désencrage (22 Mt) et environ un tiers des papiers récupérés sert à fabriquer de papiers à base de pâte désencrée (10 Mt) comme le papier journal, les autres papiers à usage graphique et les papiers à usage sanitaire.



**Figure 1.3 - Consommation de papiers de récupération en Europe en 1996**  
[CEPI 1997, Statistiques annuelles 1996]

### 1.3 Répartition géographique de l'industrie papetière en Europe

En 1996 la production européenne de papier s'est élevée à 75 millions de tonnes, soit environ un quart de la production mondiale de papier et de carton. Le terme papier recouvre les papiers et les cartons de tous grammages. Les principaux producteurs de papier sont l'Allemagne (20,2 %), la Finlande (14,2 %), la Suède (12,4 %), la France (11,7 %), l'Italie (9,6 %) et le Royaume-Uni (8,5 %). En 1996, le total des exportations s'est chiffré à 41 millions de tonnes, les importations atteignant 34 millions de tonnes (les chiffres de la présente section proviennent principalement de [CEPI, Statistiques Annuelles, 1996]).

Le papier d'emballage a représenté 40 % environ de la production papetière totale, le papier journal 13 %, les autres papiers à usage graphique (impression/écriture) 38%, et le papier à usage sanitaire et domestique 6 %. La moitié environ de la production de papier impression/écriture a été couchée (12,8 Mt/an).

Les principaux producteurs de papier à usage graphique sont l'Allemagne et la Finlande, suivis par la Suède, la France, l'Italie et le Royaume-Uni. La production de papier journal est traditionnellement concentrée en Finlande et en Suède. En raison du développement de la consommation de fibres recyclées par les producteurs d'Europe centrale, l'industrie s'est déplacée vers les grands centres de consommation, tels que l'Allemagne. Compte tenu de la nature du papier journal, qui est un papier de grande consommation, les unités de production sont importantes en terme de capacité des machines, avec une moyenne de 145 000 t/an en Europe occidentale.

Les papiers d'impression et d'écriture avec bois proviennent essentiellement de Finlande et d'Allemagne, qui représentent environ 60 % de la production totale. Les papiers avec bois sont fournis par des usines intégrées de grande taille.

L'Allemagne, la France, la Finlande, l'Italie, la Suède et l'Autriche sont les leaders de la fabrication de papier d'impression et d'écriture sans bois, un grand volume de papiers étant produit dans la plupart des autres pays européens. La majorité du marché est centrée sur un petit nombre de producteurs à forte concentration.

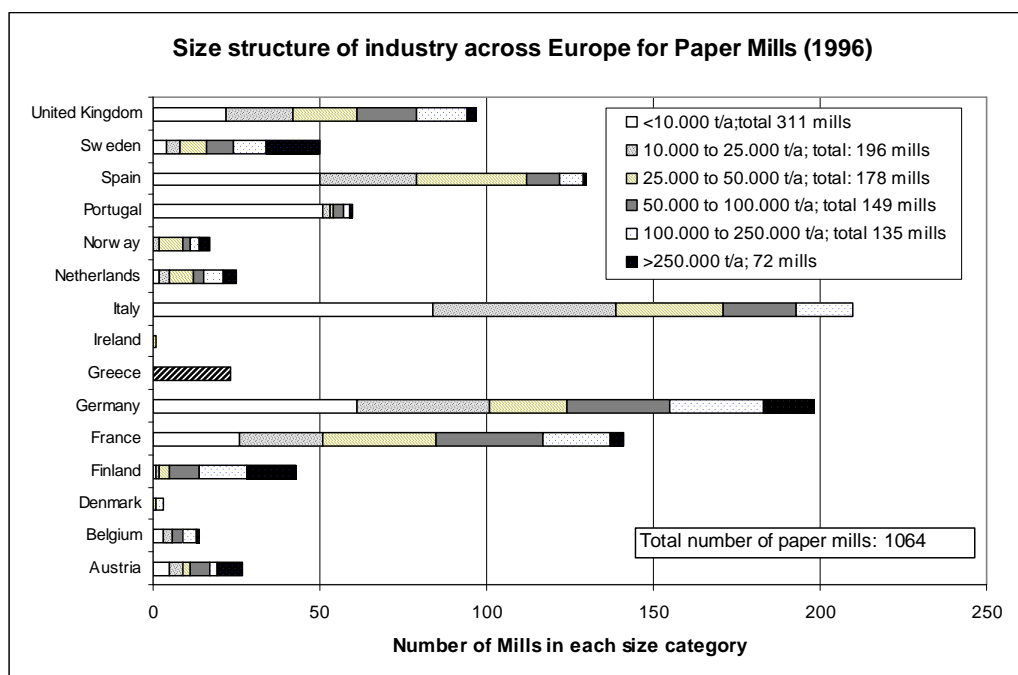
Les principaux producteurs de papiers couverture et cannelure sont l'Allemagne et la France. Ils représentent environ 35 % de la production totale. La production à base de fibres recyclées, concentrée en Europe centrale, s'est développée plus rapidement que celle à base de fibres vierges.

Pour fabriquer des cartons, on utilise comme matière première aussi bien des fibres de récupération que des fibres vierges. Les sortes à base de fibres recyclées proviennent essentiellement de la région d'Europe centrale, alors que la production de cartons pour boîtes pliantes et pour emballages liquides est concentrée dans les pays nordiques. La capacité de production consiste en usines et machines de taille relativement petite, la capacité moyenne d'une machine étant d'environ 33 000 t/an, à l'exception de celles situées en Finlande et en Suède, d'une capacité moyenne de 110 000 t/an par machine.

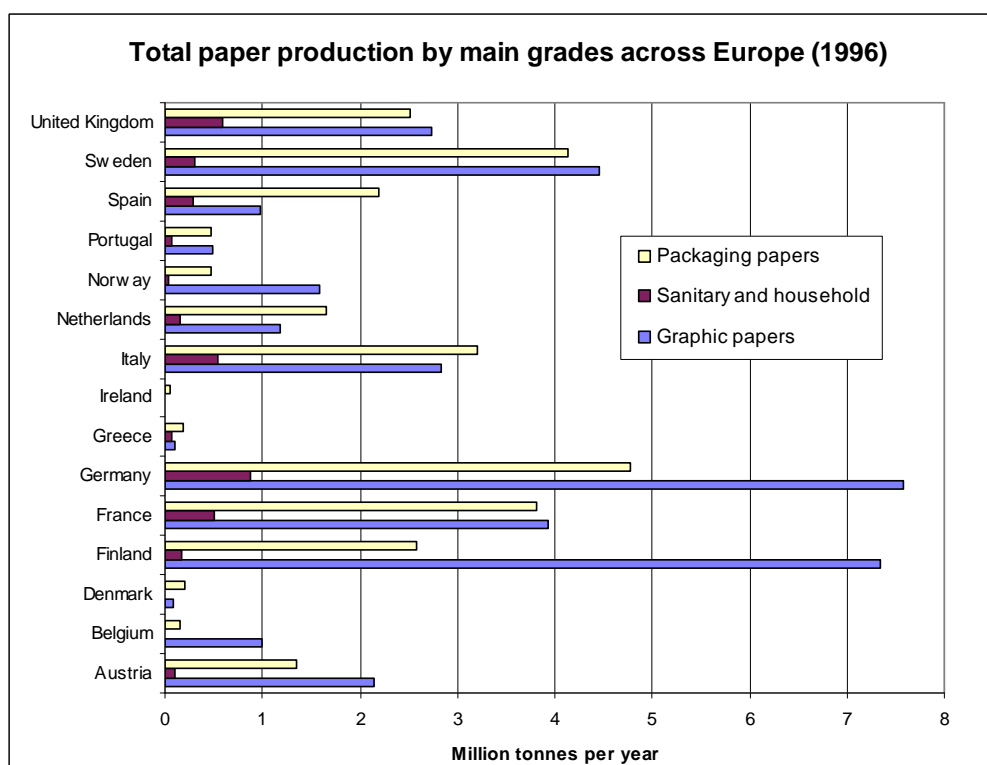
La production de papier à usage sanitaire et domestique est concentrée dans quatre pays, la France, l'Allemagne, l'Italie et le Royaume-Uni, produisant plus de 70 % de ce type de papier. Bien que plus de 60 sociétés au total produisent du papier à usage sanitaire et domestique, trois multinationales, deux américaines et une suédoise, dominent le marché dont elles se partagent plus de 60 %. Il existe encore de nombreuses petites sociétés produisant 10 000 t/an ou moins, qui sont des entreprises privées ou familiales. La taille des machines est très petite, environ 19 000 t/an.

Les figures 1.4 et 1.5 montrent que, en Europe, les usines de papier sont nettement plus disséminées que les usines de pâte à papier.

La figure 1.4 fait une distinction entre les papiers à usage graphique (papier journal, papiers avec bois non couchés, papiers sans bois non couchés, papiers couchés), les papiers à usage sanitaire et domestique (tissue et autres papiers d'hygiène) et les papiers et cartons d'emballage (pour caisses, pour boîtes pliantes, pour emballage jusqu'à 150 g/m<sup>2</sup> et autres papiers d'emballage).



**Figure 1.4 - Répartition de l'industrie papetière en Europe, par taille des usines**  
 Aucune donnée disponible sur la taille des papeteries grecques [CEPI 1997, Statistiques annuelles 1996]



**Figure 1.5 - Répartition des papeteries en Europe, par types de produits [CEPI 1997, Statistiques annuelles 1996]**



L'Europe de l'Ouest compte 1 064 papeteries. La plupart sont implantées en Italie, Allemagne, France et Espagne, représentant au total 679 usines. On ne trouve que 66 très grandes usines dans la catégorie > 250 000 tonnes par an, mais 342 dans la petite catégorie des moins de 10 000 tonnes par an. Comparé à la production de pâte à papier, un nombre relativement élevé de petites et moyennes installations de production de papier sont en exploitation.

Environ 30 % des usines de papier sont intégrées avec une production de pâte à papier. Les papiers avec bois, comme le papier journal, SC et LWC (couché léger), sont en général intégrés à une production de pâte et n'achètent le plus souvent que de petites quantités de pâte chimique. Le niveau d'intégration est particulièrement élevé pour la fabrication de papiers à partir de vieux papiers. Presque toutes les usines utilisant des vieux papiers comprennent une installation de traitement du papier récupéré, certaines d'entre elles y ajoutant de la pâte achetée. Cela dit, en Europe Centrale, la production de papier fin fait appel essentiellement à de la pâte achetée, c'est-à-dire qu'il y a un grand nombre d'entreprises non intégrées, alors que dans les pays nordiques, les usines de papier ont très souvent été construites à côté d'une usine de pâte.

Pendant longtemps les papeteries ont été, et sont encore, situées à proximité d'un cours d'eau, étant donné que l'eau joue un rôle majeur dans le processus de fabrication. On a utilisé les rivières pour produire l'énergie nécessaire à la fabrication de la pâte, pour fournir l'eau du process, et en tant que milieu récepteur pour les rejets de l'usine. On a utilisé les cours d'eau pour transporter aussi bien les matières premières que les produits finis. La taille des usines a commencé à augmenter en même temps que la consommation de papier et de carton, et on a pris l'habitude de construire les usines à proximité des sources de matières premières. La commercialisation grandissante de la pâte et l'utilisation croissante des fibres recyclées favorisent à présent l'implantation des nouvelles papeteries à proximité du marché.

## 1.4 Situation économique

Les industries papetières traversent une phase de consolidation et de mondialisation, qui n'est pas encore terminée. Le processus de concentration va entraîner une réduction du nombre de sociétés. Du fait de ces phénomènes, la structure de l'industrie se transforme notablement. En 25 ans, en Europe, le nombre des machines à papier a diminué de 60 %, alors que la capacité globale a presque doublé. De nombreuses sociétés se sont développées en investissant dans de nouvelles capacités, mais aussi en consolidant un grand nombre de petites usines obsolètes de pâte et de papier. Ainsi l'industrie papetière européenne comprend d'une part un nombre relativement faible de très grandes multinationales, et d'autre part un grand nombre de petites entreprises. Ces dernières se sont positionnées sur des créneaux spécifiques du marché.

On a observé une transformation importante dans la structure de la propriété au cours des 10 dernières années. Cette évolution a été caractérisée notamment par la concentration des producteurs en groupes de plus en plus grands, par l'intégration d'usines de papier avec des producteurs de pâte à papier étrangers, ou par l'établissement de partenariats financiers entre des fabricants européens et étrangers. Des sociétés américaines, sud-africaines ou indonésiennes ont fusionné avec des fabricants européens de papier et de carton, ou ont resserré leurs liens avec eux. De la même façon, on a observé un renforcement des tendances à l'intégration régionale et locale à l'intérieur de certains pays comme la Suède et la Finlande. Cela reflète la nature d'ensemble du secteur papetier aujourd'hui. On prévoit que, en 2010, l'Asie et en particulier la Chine et l'Indonésie, rejoindront les grands marchés des USA, d'Europe et du Japon. Il est vraisemblable que les marchés de l'Asie du Sud-Est vont se développer et devenir les principaux consommateurs de papier. Les échanges internationaux de papiers et de fibres papetières va probablement continuer à jouer un rôle prépondérant, et à se développer encore dans les grandes régions productrices. La croissance la plus rapide devrait concerner le commerce des papiers et cartons, car les pays riches en fibres produisent des articles à valeur ajoutée pour l'exportation.

L'industrie papetière présente une particularité, à savoir que l'on y observe des variations de prix extrêmes, c'est-à-dire des fluctuations du prix de la pâte kraft marchande dues à des excédents de capacité et à des baisses simultanées et temporaires de la demande. Cette variation des prix n'est pas identique pour toutes les pâtes et papiers. Plus une société est proche du consommateur final, moins les fluctuations de prix seront importantes. Par exemple, le prix de la pâte est beaucoup plus instable que celui du papier à usage sanitaire et domestique. Plus les transactions se font sur une petite échelle et plus le client est petit, plus les variations seront réduites.

La demande générale de papier et de carton présente une tendance à la hausse, la consommation mondiale de papier étant passée de 30 millions de tonnes en 1946 à 214 millions de tonnes en 1987. Le rythme de l'accroissement a légèrement ralenti depuis 1987 et la consommation mondiale de papier a été de 280 millions de tonnes environ en 1996. La poursuite de cette croissance dépend essentiellement des développements dans le monde mais l'on prévoit une croissance annuelle de l'ordre de 3 pour cent pour l'industrie du papier et du carton jusqu'en 2010, même si l'on ne s'attend pas aux mêmes variations pour les différents types de papier.

Les principaux producteurs de pâte à papier sont les pays industrialisés de l'hémisphère nord : USA, Canada, Suède, Japon et Finlande. En Europe, la Finlande et la Suède notamment dépendent dans une très large mesure des revenus provenant des exportations de pâte à papier et des produits de l'industrie papetière. Cela est dû au caractère "autarcique" de ces produits, dont la production dépend très peu de certaines importations.

En 1996, en Europe de l'Ouest, l'industrie papetière a employé quelque 260 000 personnes, soit une production de 280 tonnes de papier par employé et par an. Ceci reflète le caractère fortement capitalistique de l'industrie papetière.

## 1.5 L'industrie papetière et l'environnement

L'industrie papetière a toujours été considérée comme grande consommatrice de ressources naturelles (bois) et d'énergie (combustibles fossiles, électricité), y compris l'eau, et comme un facteur significatif de pollution en raison de ses rejets dans l'environnement. Dans les régions où cette industrie est bien développée, il a été possible de réduire les émissions de 80 à 90 %, voire plus, depuis 1980, grâce à un certain nombre de mesures au niveau de l'environnement, tant sur le plan interne que sur le plan externe, visant à améliorer la limitation des émissions.

Pour les usines de pâte à papier, la matière première est une ressource renouvelable (le bois). Certains pays ont mis en œuvre une politique forestière durable. En 1966, la consommation globale de bois de papeterie utilisé pour la fabrication de pâte à papier en Europe de l'Ouest a été de 119,5 millions de m<sup>3</sup>. La consommation de matières premières pour la fabrication du papier a représenté 81,6 Mt, dont 45,9 % de pâte de bois, 39,3 % de vieux papiers, 14,3 % de matières non fibreuses (telles que charges, colorants, etc.) et 0,5 % d'autres pâtes (à base de coton, lin, écorce, chanvre, jute, paille et chiffons).

On observe une tendance aux circuits fermés dans les usines de pâte à papier et de papier, et l'on peut s'attendre à une nouvelle réduction des déchets (avec pour objectif des usines sans rejets). Mais aujourd'hui il n'existe aucune usine de pâte kraft fonctionnant en continu qui récupère la totalité des effluents de l'installation de blanchiment. Une usine de pâte CTMP, une usine de pâte sulfite à base de Na, et quelques producteurs de papier pour ondulé et de testliner utilisant des fibres recyclées ont atteint le stade Zéro effluent dans les cours d'eau.

Depuis quelques années, il est question de la fabrication de pâte à papier avec un minimum d'impact (Axegard, 1997). Cette usine "à impact minimum" représente un concept touchant un large éventail de problèmes et de défis, couvrant la minimisation de la consommation des ressources et des émissions, la minimisation de l'interaction entre les milieux, la prise en compte des aspects économiques et des conditions environnementales d'exploitation.

Il y a quelques années, les usines de pâte à papier causaient de sérieuses émissions de soufre (acidification) mais depuis quelque temps les émissions de soufre dans l'atmosphère ont été considérablement réduites, grâce à d'importants progrès techniques. En Europe de l'Ouest, le recyclage des fibres de récupération a atteint un niveau très avancé et l'on peut s'attendre à une nouvelle progression pour certaines qualités de papier. Il est possible de récupérer de l'énergie à partir des déchets provenant des process de fabrication de la pâte à papier et du papier (déchets, boues), limitant ainsi le problème d'élimination des déchets. Mais, dans ce domaine, on peut encore fortement accroître le nombre et l'efficacité des techniques internes. La fabrication de la pâte chimique ne fait appel à aucune énergie extérieure, mais la demande globale d'énergie pour le process est encore élevée. La fabrication de la pâte mécanique est le process qui consomme le plus d'énergie en raison des besoins en électricité des raffineurs. Le traitement des papiers de récupération et la fabrication du papier sont également des process consommateurs d'énergie. Cela est dû au fait que, pour la fabrication du papier, la concentration d'une solution de fibres en suspension et éventuellement de charges doit être amenée de 1 % à environ 95 % de matières sèches par des opérations de pressage et de séchage (évaporation de l'eau).

Pendant la période avant les années 1970 à 1980, l'industrie papetière a entraîné des rejets importants d'effluents liquides dans les cours d'eau récepteurs. Les conséquences ont quelquefois présenté des aspects dramatiques avec appauvrissement en oxygène et mort de la faune aquatique. Depuis la fin des années 70 jusqu'à récemment, on a mis l'accent essentiellement sur le rôle des substances chlorées rejetées par l'installation de blanchiment. On a détecté des dioxines et des furannes dans certains effluents de usines de pâte, et l'attention s'est focalisée sur les aspects nocifs du blanchiment au chlore. L'inquiétude devant le risque potentiel, pour l'environnement, de l'utilisation du chlore dans les installations de blanchiment, a entraîné une réduction spectaculaire de l'utilisation du chlore

moléculaire en tant que produit chimique de blanchiment au cours de la dernière décennie. Les autorités chargées de la protection de l'environnement de nombreux pays ont imposé des restrictions sévères aux rejets de substances organiques chlorées, mesurées en AOX, dans le milieu aquatique environnant. La combinaison de plusieurs mesures a permis d'aboutir à une réduction en AOX : le chlore moléculaire a été en grande partie remplacé par du dioxyde de chlore et l'utilisation de produits chimiques contenant de l'oxygène, tels que l'oxygène moléculaire, le peroxyde et l'ozone. Grâce à l'importante réduction de la teneur en chlore des effluents, il a été possible de fermer les circuits et de recycler les effluents de l'installation de blanchiment vers le circuit de récupération des produits chimiques de l'usine. Cette réduction des substances organiques tant chlorées que non chlorées dans les effluents des usines de pâte à papier a pu être obtenue en grande partie grâce à des mesures internes, telles qu'une délignification plus poussée avant blanchiment et des stades de traitement à l'oxygène, la récupération des fuites, un lavage efficace et un stripping, et une réutilisation des condensats. Un autre facteur ayant contribué à réduire les émissions en AOX et en toxiques non-chlorés dans le milieu récepteur a été la mise en place de stations de traitement des effluents.

Pour répondre aux exigences du marché et de l'environnement, les tendances actuelles dans l'industrie papetière concernent la réalisation d'installations de blanchiment en circuit fermé, utilisant les procédés ECF (exempt de chlore élémentaire) ou TCF (totalement exempt de chlore) de blanchiment de la pâte à papier.

Dans les usines de papier, on assiste à la réutilisation croissante des eaux de process grâce à la mise en place de systèmes performants de traitement des eaux usées intégrés dans la fabrication. Les rejets d'effluents liquides, la gestion des déchets dans le respect de l'environnement, les économies et la récupération de l'énergie, et les nuisances olfactives locales des usines de pâte kraft devraient continuer à l'avenir à rester des priorités dans le cadre des actions environnementales liées à l'industrie papetière.

## **1.6 Aperçu de la fabrication de la pâte à papier et du papier**

Le papier est essentiellement constitué de fibres de cellulose auxquelles on a ajouté un certain nombre d'adjuvants pour agir sur la qualité de la feuille et son aptitude à l'usage final prévu. Les deux termes de « papier » et « carton » (N° 6.1 b, annexe 1 de la directive PRIP) s'appliquent généralement en fonction du poids du produit en feuille (grammage), le papier allant jusqu'à environ 150 g/m<sup>2</sup>, les feuilles plus lourdes étant considérées comme du carton.

La pâte destinée à la fabrication du papier peut être produite à partir de fibres vierges (ou neuves) au moyen de procédés chimiques ou mécaniques ou à partir de fibres recyclées provenant de papier de récupération (FCR). Dans la fabrication de la pâte, le matériau brut cellulosique est réduit en fibres individuelles. Le bois reste la principale matière première, mais l'on peut également utiliser d'autres matériaux cellulosiques comme la paille, le chanvre, le coton, et d'autres végétaux annuels. La composition exacte du bois varie selon le type et l'essence, mais les éléments les plus importants sont la cellulose, les hémicelluloses et la lignine.

Le bois contient naturellement environ 50 % d'eau, et la fraction solide est typiquement composée de 45 % de cellulose, 25 % d'hémicelluloses, 25 % de lignine et de 5 % d'autres matières organiques et inorganiques. Dans la fabrication de la pâte chimique, on utilise des produits chimiques pour dissoudre la lignine et libérer les fibres. La lignine et de nombreuses autres substances organiques sont alors mises en solution, dont on peut récupérer les produits chimiques et la valeur en énergie de la lignine et des autres matières organiques. Le degré de la récupération dépend de la base chimique utilisée et du procédé. Dans les process de fabrication de la pâte mécanique, on utilise des forces de cisaillement pour séparer les fibres et la plus grande partie de la lignine reste accrochée aux fibres, malgré la dissolution de certaines substances organiques.

Les pâtes à papier produites selon les différents procédés présentent des propriétés différentes, qui les rendent aptes à la fabrication de produits particuliers. La majeure partie de la pâte à papier est produite

en vue de la fabrication ultérieure de papier ou de carton. Une partie est destinée à d'autres usages tels que le carton dur (ou panneau de fibres) ou les produits obtenus à partir de cellulose dissoute.

Le papier produit en utilisant du papier de récupération comme source en fibres nécessitera certains traitements, et peut également nécessiter un désencrage en fonction de la qualité de la matière première et des exigences du produit final. Les fibres peuvent être réutilisées un certain nombre de fois, suivant la qualité du matériau recyclé et la destination du produit final. Le produit papier peut également contenir jusqu'à 45 % de son poids en charges, produits de couchage et autres substances.

L'industrie papetière fournit différents produits, qui peuvent être classés dans les grandes catégories suivantes :

- |   |  |
|---|--|
| . Papier journal                            | . Papiers-cartons d'emballage *          |
| . Papiers d'impression/écriture non couchés | . Papier couverture et cannelure         |
| . Papiers d'impression/écriture couchés     | . Papier à usage sanitaire et domestique |
| . Papiers d'emballage                       | . Papiers spéciaux                       |

\* Depuis le carton fini qualité supérieure jusqu'à différentes gammes de qualités de cartons d'emballage.

Chacune de ces catégories exige des propriétés spécifiques, et la méthode de fabrication la plus appropriée pour obtenir ces produits peut varier considérablement. Par exemple, le papier journal est un produit qui fait l'objet d'une demande en grandes quantités et de façon régulière, mais qui n'a pas besoin de qualités particulières au point de vue résistance, opacité ou imprimabilité, et dont la durée de vie est relativement courte. Ainsi un mode de fabrication offrant un rendement pâte élevé, mais sans viser des degrés supérieurs de résistance, de blancheur et d'épair, peut contribuer à une utilisation rationnelle de la matière première.

A l'opposé, la qualité première des papiers d'emballage est leur résistance, si l'on veut qu'ils répondent à l'usage auquel ils sont destinés. Dans ce cas, il faudra accepter un rendement moindre, lié à une méthode de fabrication différente propre à assurer cette résistance. Les papiers d'impression et d'écriture doivent présenter à la fois de la blancheur, de l'épair, et de la résistance, et certains doivent être conçus pour durer longtemps. Les papiers à usage sanitaire et domestique doivent présenter une bonne résistance aussi bien secs qu'humides pour leur poids, et ne seront habituellement utilisés qu'une seule fois, sans être recyclés en papeterie.

## 1.7 Classification des usines de pâte et de papier

Le niveau élevé d'intégration des procédés dans l'industrie papetière implique que le concept des MTD doit s'appliquer non seulement à des process, systèmes ou chaînes isolés, mais également à l'ensemble des unités intégrées. Par exemple, pour réduire le volume des effluents, il convient de recycler l'eau de l'usine de papier vers l'usine de pâte, en plus du rebouclage des circuits dans les deux unités.

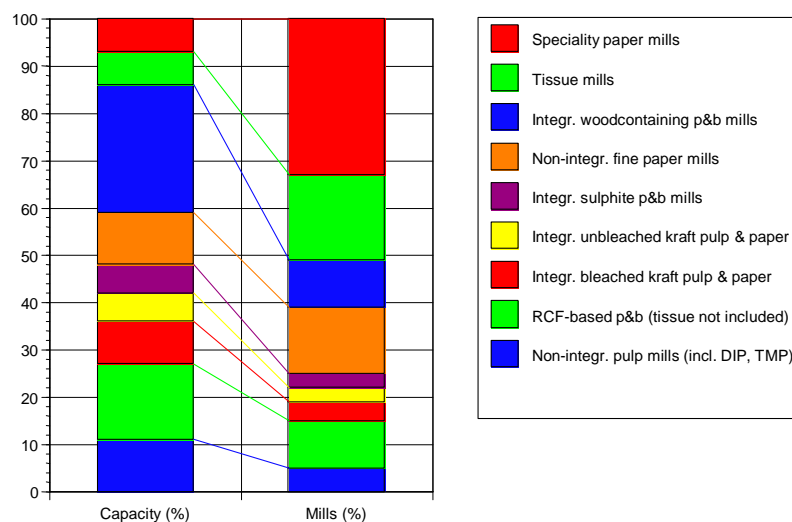
En même temps, un produit donné peut être fabriqué selon différents procédés, et il peut également s'avérer utile de comparer ces différentes options, bien que reposant sur des procédés totalement différents, pour déterminer les MTD. Par exemple, le papier journal peut être fabriqué à partir de différentes variétés de pâte, comme la pâte de meule (SGW) ou la pâte de meule sous pression (PGW), la pâte thermomécanique (TMP), la pâte mécanique de défibreux (RMP), la pâte chimiothermomécanique (CTMP), la pâte sulfite (Si), la pâte kraft de résineux blanchie (BSKP) et/ou la pâte désencrée (DIP). Naturellement, les différentes compositions entraîneront des émissions différentes.

Étant donné que les produits de l'industrie papetière présentent une importante diversité et que l'on peut appliquer des méthodes très différentes pour fabriquer un seul et même produit, il faudra tenir

compte des nombreux aspects de la technologie de production pour garantir un niveau élevé de protection de l'environnement. On ne saurait définir les meilleures techniques pour l'industrie papetière par la simple description des process des différentes unités. Bien au contraire, il faut étudier l'ensemble des installations dans leur intégralité et les considérer comme des entités.

Un document soumis au EIPPCB (J. Pöyry, 1998 b) par la Finlande, contenait une proposition tendant à établir une classification des papeteries en service dans l'Union Européenne selon les propriétés techniques des installations et de leur gamme de produits. Suite à cette proposition, on a présenté les installations de la zone UE en fonction de leurs différences techniques en les répartissant dans neuf grandes catégories. Ce schéma de classification repose sur une distinction par produit, c'est-à-dire qu'il classe les MTD pour les différents produits de l'industrie papetière.

La figure 1.6 illustre le rapport entre le nombre d'usines et les capacités au niveau européen sur la base de cette classification.



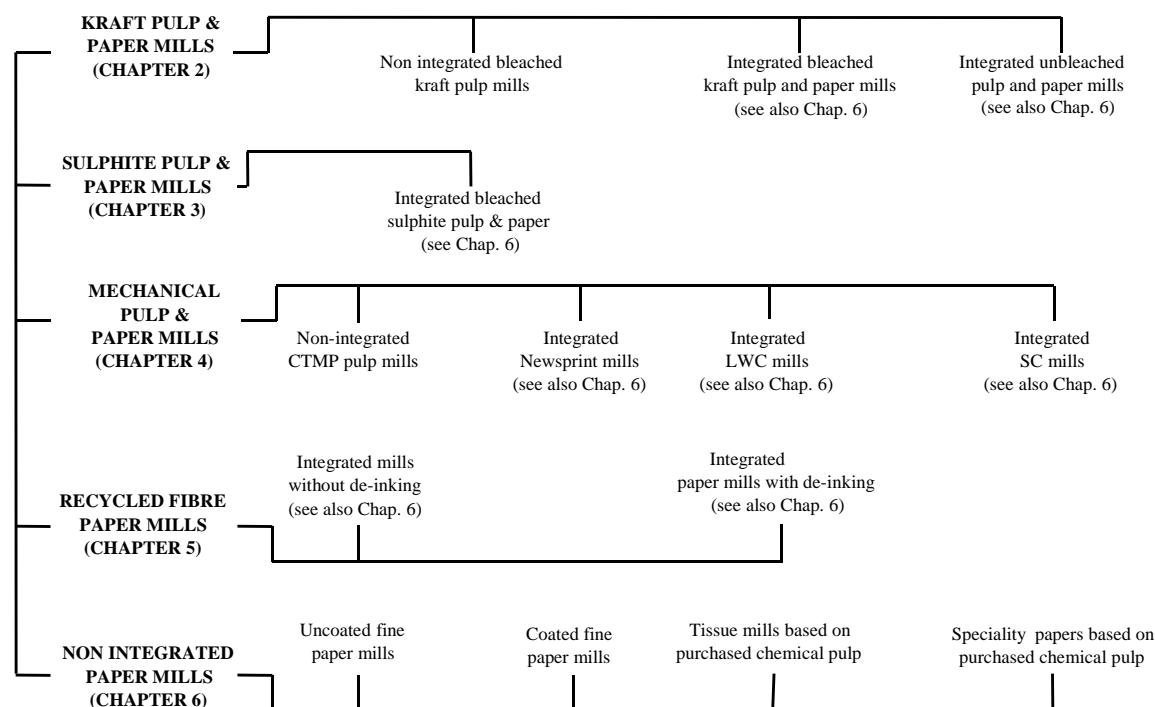
**Figure 1.6 - Comparaison capacités / nombre d'usines en Europe**  
[Selon J. Pöyry, 1998, modifications apportées par le EIPPCB]. Dans cette étude, les 9 classes principales sont subdivisées à leur tour en 33 sous-classes en fonction des différents produits finaux.

Cela étant, l'industrie papetière européenne a tendance à utiliser un mélange de matières premières comme apports de fibres (par exemple mélange de différents types de fibres vierges et de fibres de récupération). Il existe aussi de nombreuses usines en Europe qui ne sont que partiellement intégrées, ou qui utilisent des mélanges de fibres qui n'entrent pas dans le cadre de la proposition. Il y a par exemple des usines de papier à usage sanitaire et domestique qui utilisent 10 %, 20 %, 30 % etc., et jusqu'à 90 ou 100 % de fibres de récupération. Ces usines ne peuvent pas être décrites seulement sur la base du produit. En outre, plusieurs de ces usines sont très intégrées en amont et en aval et soulèvent des problèmes lorsqu'il s'agit d'affecter les rejets totaux aux différents types de pâte et/ou de papier produits quand elles ne font pas l'objet d'une description rigoureuse au niveau des process comme cela est proposé dans le BREF.

Le processus de fabrication de la pâte et du papier comprend de très nombreuses étapes. En plus du matériau fibreux, ce processus nécessite différents produits chimiques et une grande quantité d'eau et d'énergie sous forme de vapeur, de combustible ou d'énergie électrique. Pour simplifier, le vaste éventail des procédés utilisés dans la fabrication de la pâte et du papier peut être subdivisé en un certain nombre d'opérations unitaires. On peut décrire une suite d'opérations depuis les matières premières jusqu'au produit, mais les différents processus ne comprendront pas toutes les opérations et certains sont des alternatives qui s'excluent réciproquement.

Si l'on tient compte du fait qu'il n'existe pas une seule proposition qui soit bonne ou mauvaise mais uniquement des propositions raisonnables et réalisables, on a donné la préférence à une classification de l'industrie papetière européenne conformément à la description ci-après. Afin d'obtenir une vision plus claire de la variété des processus impliqués, les procédés les plus importants pour la fabrication de la pâte à papier, du papier et du carton sont décrits séparément pour cinq grandes classes qui sont traitées dans des chapitres distincts du présent document. Les principaux types de fabrication de pâte

et de papier sont subdivisés en plusieurs sous-classes. La structure proposée de l'industrie papetière européenne et la composition du BREF sont indiquées dans la figure 1.7.



**Figure 1.7 - Classification des usines de pâte et de papier proposées dans le présent document, y compris renvois aux chapitres correspondants pour ces usines.**

Le procédé de fabrication de la pâte kraft est décrit dans le chapitre 2. S'agissant des niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD pour ce procédé, on fait une distinction entre les qualités blanchies et non blanchies. Les niveaux d'émissions MTD pour les usines de pâte kraft intégrées ou non intégrées sont donnés dans ce chapitre. On peut considérer que l'impact de l'usine de papier est compris en ce qui concerne les effluents liquides, dans les limites d'incertitude fixées. En revanche, étant donné que le séchage du papier consomme plus d'énergie que le séchage de la pâte à papier, les chiffres indiqués pour la consommation d'énergie et les émissions dans l'atmosphère diffèrent selon qu'il s'agit d'usines de pâte intégrées ou non. Ces aspects sont discutés dans ce chapitre. Cependant, il faut tenir compte des sections correspondantes du chapitre consacré à la fabrication du papier (chapitre 6) pour déterminer les MTD pour les usines de pâte et de papier intégrées (techniques disponibles pour la fabrication du papier). Certaines étapes du procédé de fabrication de la pâte kraft sont identiques pour toutes les méthodes de fabrication (par exemple traitement du bois, séchage) et ne sont par conséquent décrites qu'une seule fois, avec références à d'autres parties des documents.

Le procédé de fabrication de la pâte sulfite est décrit dans le chapitre 3. Il est beaucoup moins uniforme (par exemple différentes bases pour la cuisson et valeurs de pH) que le procédé de fabrication de la pâte kraft, ce qui rend le choix des MTD plus difficile. La description est axée sur le principal procédé de fabrication de la pâte sulfite en Europe, le procédé au sulfite de magnésium. Ce chapitre contient également quelques renseignements complémentaires sur la NSSC (pâte neutre mi-chimique au sulfite) et la pâte à dissoudre.

La fabrication des pâtes mécaniques et mi-chimiques est décrite dans le chapitre 4. Il y est fait une distinction entre la fabrication de la pâte de meule, la pâte TMP et la pâte chimico-mécanique (CTMP). La majeure partie de la fabrication de la pâte mécanique est intégrée avec la fabrication du



papier. En conséquence, on indique dans le chapitre 4 les niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD pour la fabrication de la pâte mécanique et la fabrication du papier. Il faut toutefois tenir compte du chapitre correspondant consacré à la fabrication du papier (chapitre 6) pour identifier les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD pour papeteries. Des renvois indiquent d'autres sections du document qui doivent être prises en considération.

L'utilisation des fibres recyclées est décrite dans le chapitre 5. On y fait une distinction entre les niveaux associés aux MTD pour les procédés avec ou sans désencrage, en traitant également d'autres différences dans la préparation des fibres de récupération, comme les papiers à usage sanitaire et domestique, les papiers LWC/SC, le carton. Les niveaux d'émissions associés aux MTD qui y sont présentés concernent des usines intégrées de pâte et de papier, car la plupart des usines utilisant des fibres de récupération sont des usines intégrées. Il faut également se reporter au chapitre correspondant sur la fabrication du papier (chapitre 6). On y décrit les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD pour la fabrication du papier. Des renvois indiquent les sections à prendre en considération.

La fabrication du papier et les opérations associées sont décrites dans le chapitre 6 pour les principales qualités de papier fabriquées dans les papeteries européennes. La fabrication non intégrée du papier est traitée dans ce chapitre distinct parce que c'est ce type de papeteries qui est le plus fréquent en Europe. Il y a une certaine superposition avec des usines intégrées qui fabriquent la pâte et le papier sur le même site. Dans ce cas, il est renvoyé aux sections correspondantes.

Aucune donnée spécifique n'a été communiquée sur les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD pour la fabrication du carton. Par conséquent le présent document ne contient pas de description séparée pour la production du carton. Du point de vue écologique, les différences les plus importantes s'observent entre le papier à usage sanitaire et domestique et les autres qualités de papier, et aussi entre le papier et le carton couchés par rapport au papier et aux cartons non couchés. On a donc fait une distinction entre les différentes qualités suivantes à l'intérieur du chapitre 6 :

- papier d'impression et d'écriture couché, tel que le papier fin couché pour l'impression, l'écriture et la reprographie
- papier d'impression et d'écriture non couché, tel que le papier fin non couché
- les usines de papier à usage sanitaire et domestique
- les usines de papiers spéciaux

Ce groupe, principalement les qualités de papier sans bois, représente en même temps les principaux types de papeteries non intégrées en Europe. Mais naturellement on y trouve aussi des papeteries intégrées.

Les usines de papiers spéciaux constituent un groupe très varié, qui recouvre une grande quantité de produits différents. Ces usines de papiers spéciaux fonctionnent souvent avec plus d'un changement de production par jour. Nombreuses sont celles qui sont également des papeteries non intégrées. En raison de la variété de leurs produits, on n'indiquera pas de niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD pour les usines de papiers spéciaux. Les différents produits ont leurs "problèmes spécifiques d'environnement". On prendra, comme exemple de niveaux d'émissions prévisibles pour certains types d'usines de papier spéciaux, les valeurs et les explications données dans le chapitre sur les MTD. Celles-ci ne doivent pas être considérées comme couvrant l'ensemble du groupe des papiers spéciaux dans sa totalité.

## **1.8 Présentation des MTD**

Afin d'éviter les répétitions, quelques remarques sur la sélection des MTD s'appliquent de façon générale au secteur papetier.

Pour décrire les meilleures techniques disponibles pour l'industrie papetière, il faut considérer les aspects suivants :

- Il n'existe pas de référence unique des meilleures techniques disponibles dans l'industrie papetière. Au contraire, la liste des techniques à examiner pour déterminer les MTD fournit quantité d'options différentes de MTD globales pour des usines données, que l'on peut combiner de différentes façons.
- Le concept des MTD est lié au processus dans la mesure où l'impact sur l'environnement se produit à ce niveau, c'est-à-dire lors des différentes étapes de la fabrication, telles que la cuisson, le blanchiment, le désencrage, le couchage etc. . Ce sont les différentes opérations, les matières premières utilisées et les propriétés du produit que l'on veut obtenir qui déterminent les émissions d'une usine. Cela signifie que, lorsqu'on aborde l'industrie papetière, il faut faire une distinction entre les différents types de matières premières utilisées et de processus mis en jeu.
- Étant donné que les pâtes et les papiers présentent une très grande diversité et que les processus qui interviennent pour un seul et même produit peuvent varier considérablement, il faudra prendre en compte de nombreux facteurs de la technique de production pour garantir un niveau élevé de protection de l'environnement. Pour l'industrie papetière, on ne saurait définir les meilleures techniques disponibles simplement en décrivant chaque procédé isolément. Au contraire, il faut examiner et traiter l'ensemble des installations comme des entités. Dans cette industrie, les MTD sont liées aux résultats des usines en matière de protection de l'environnement.
- Il existe différentes options pour combiner les procédés de façon convenable, qui dépendent - entre autres choses - des propriétés du produit que l'on veut obtenir. En conséquence, l'approche orientée vers le processus doit être complétée par un concept orienté vers le produit, c'est-à-dire que l'approche MTD doit être associée au résultat, sur le plan de l'environnement, d'usines fabriquant des produits spécifiques. Ainsi, dans le présent document, on présente les meilleures techniques disponibles séparément pour les principales catégories de d'usines (voir section 1.7).

Le résultat en matière de protection de l'environnement des usines de papier est exprimé non pas par des valeurs précises, mais par une plage de valeurs. Cela rend compte du fait que la fabrication de différentes qualités de papier exige différentes quantités et qualités de matières premières (par ex. pâte kraft, pâte de meule, mélange de charges et d'adjuvants etc.) et que l'on observe de ce fait des niveaux d'émissions différents selon le produit final. Dans une certaine mesure, les émissions plus élevées dues à l'utilisation de matières premières ou de procédés plus polluants peuvent être compensées respectivement par des efforts supplémentaires pour prévenir et limiter la pollution. Les plages de valeurs présentées tiennent également compte du fait que les émissions présentent certaines variations dans le temps, par exemple d'une année sur l'autre, même si l'on a utilisé les mêmes techniques.

Il se peut que de nombreuses usines se soient concentrées d'abord sur les émissions dans les cours d'eau et sur la consommation d'eau, puis sur les rejets dans l'air, en obtenant de très bons résultats. Elles peuvent être moins performantes en matière de réduction des déchets solides. Mais, conformément à l'objectif de la PRIP, les usines doivent chercher à gérer et à contrôler l'ensemble du système de façon intégrée, de manière à réduire les émissions et leur impact sur l'environnement dans son ensemble. L'approche intégrée met en évidence qu'il est possible d'atteindre les niveaux des MTD de différentes façons, et qu'il existe donc plusieurs options pour atteindre des niveaux d'émissions similaires.

Généralement, le choix définitif d'une combinaison acceptable de mesures de prévention et de limitation de la pollution est quelque peu différent selon qu'il s'agit d'une installation existante ou d'une nouvelle installation. Qui plus est, pour les usines existantes, la mise en place des MTD revient en général plus cher. Cela est dû aux contraintes rencontrées pour modifier des solutions déjà en place de façon fixe, les frais de réaménagement lorsque l'installation fonctionne à plein rendement (frais d'immobilisation) et le fait que certaines techniques seront peut-être utilisées moins longtemps que

dans des usines nouvelles (durée d'amortissement réduite). Mais, en dehors de cela et exception faite des contraintes possibles en matière d'espace pour les installations existantes, sauf indication contraire, les meilleures techniques disponibles indiquées ci-après sont applicables aux usines existantes et aux usines nouvelles.

Il convient de signaler que le manque d'harmonisation dans les méthodes d'analyse utilisées en Europe et la diversité des systèmes et des combustibles employés dans le processus rend quelquefois difficile la comparaison directe des niveaux d'émissions entre les pays. Dans le contexte de l'échange d'informations sur les MTD, il apparaît nécessaire d'améliorer la comparaison des données concernant les résultats des usines en matière de protection de l'environnement.

En général, la prévention est la mesure la plus efficace et préférentielle pour réduire les émissions. A côté de la prévention, on peut obtenir une réduction des émissions en mettant en œuvre des techniques dans les processus. Enfin, il existe aussi des techniques de traitements externes avant rejet pour limiter la pollution.

---

## 2 Processus de fabrication de la pâte kraft (pâte au sulfate)

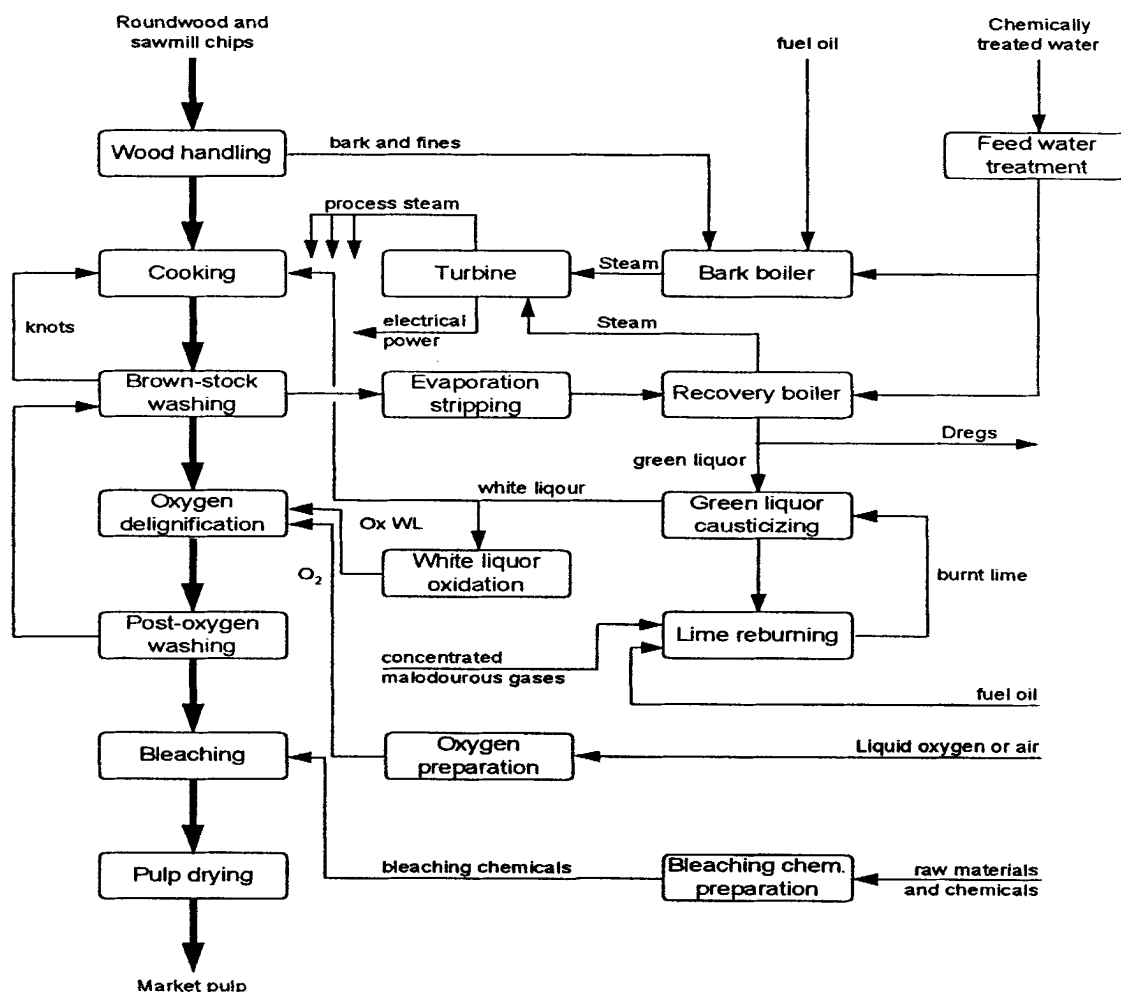
Le procédé kraft ou au sulfate représente environ 80 % de la production mondiale de pâte à papier. C'est la méthode de production la plus employée parmi les procédés de fabrication de pâtes chimiques. L'importance du procédé au sulfite n'a cessé de décroître au cours des dernières années. Aujourd'hui cette méthode ne représente plus que 10 % de la production mondiale. Le terme "sulfate" est dérivé du produit chimique d'appoint, le sulfate de sodium, que l'on ajoute au cours du cycle de régénération pour compenser les pertes de produits chimiques. Dans le procédé de fabrication des pâtes chimiques, les fibres sont libérées de la matrice du bois lorsqu'on enlève la lignine par dissolution dans une solution chimique de cuisson à haute température. Une partie des hémicelluloses est également dissoute lors de cette opération de cuisson. Dans le procédé kraft, les produits chimiques actifs de cuisson (liqueur blanche) sont l'hydroxyde de sodium (NaOH) et le sulfure de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}$ ). En raison de l'importante quantité d'hydroxyde de sodium utilisée, au début de la cuisson, la valeur du pH est comprise entre 13 et 14 (méthode de fabrication de la pâte alcaline). Elle baisse continuellement pendant la cuisson du fait de la libération d'acides organiques contenus dans la lignine et les hydrates de carbone au cours de la réaction.

Aujourd'hui, le procédé kraft est le procédé de fabrication de la pâte chimique le plus répandu dans le monde en raison des excellentes propriétés de résistance de la pâte obtenue par rapport au procédé au sulfite, de son application à toutes les espèces de bois, ainsi qu'aux systèmes efficaces de récupération des produits chimiques qui ont été développés et mis en œuvre. Mais la chimie de ce processus kraft est indissociable d'un problème potentiel inhérent lié aux composés malodorants.

Les réactions chimiques qui se produisent lors de la cuisson entraînent la formation de groupes chromophores de la lignine résiduelle qui donnent à la pâte une couleur plus sombre que celle du bois d'origine. Du fait du pH plus élevé, le procédé kraft comporte plus de chromophores que le procédé au sulfite et la pâte kraft non blanchie (écru) a un degré de blancheur initial considérablement inférieur à celui de la pâte sulfite non blanchie.

### 2.1 Processus et techniques employés

La figure 2.1 donne un aperçu des processus d'une fabrique de pâte kraft [Rapport SEPA 4713-2, 1997]



**Figure 2.1 - Aperçu des processus d'une fabrique de pâte kraft [Rapport SEPA 4713-2, 1997].**

On peut subdiviser une usine de pâte kraft en quatre unités : manutention du bois, défibrage chimique (délicnification) avec un système presque entièrement en circuit fermé de récupération des produits chimiques et de l'énergie, blanchiment avec un système d'eau en circuit ouvert et système de traitement des eaux usées à l'extérieur du processus. Une autre subdivision plus classique est la ligne fibre, la ligne régénération, et le traitement des effluents. Certains éléments comme les rejets, la préparation des produits chimiques pour le blanchiment et la production d'énergie, sont associés aux principaux départements.

### 2.1.1 Réception et stockage du bois

Le bois peut arriver sous forme de grumes (ou rondins) directement de la forêt ou bien être reçu sous forme de copeaux en tant que sous-produits d'autres industries du bois, scieries ou usines de contre-plaqués. Les grumes sont habituellement livrées avec leur écorce et doivent donc subir un écorçage avant tout traitement ultérieur. Les copeaux sont normalement exempts d'écorce et peuvent être utilisés après avoir été passés au crible et éventuellement lavés. Le bois est transporté jusqu'à l'usine par bateau, camion ou chemin de fer mais aussi en faible quantité par flottage. Dans ce dernier cas, il se produira un certain lessivage des acides résiniques et des substances nutritives pendant que le bois est en contact avec l'eau.

Les méthodes de fabrication de la pâte mécanique peuvent faire appel soit à des grumes soit à des copeaux, mais les techniques de fabrication des pâtes chimiques utilisent toujours des copeaux. L'objectif de la coupeuse est de produire des copeaux de taille uniforme, de manière à obtenir une pâte de meilleure qualité. Certaines usines de pâte chimique entassent les copeaux de bois pendant des périodes pouvant atteindre 40 jours, pendant lesquelles il se produit une certaine dégradation des agents extractibles du bois sous l'effet de réactions oxydantes et enzymatiques. Le tas de copeaux peut devenir très chaud pendant cette période de maturation. Un stockage pendant plus de 40 jours pourrait réduire le rendement ultérieur en fibres. En revanche, la fabrication de la pâte mécanique requiert du bois frais et, dans tous les cas, il est souhaitable de conserver le degré d'humidité du bois.

### **2.1.2 Écorçage**

La méthode d'écorçage la plus courante est celle des tambours écorceurs. L'écorce est éliminée par le frottement des grumes l'une contre l'autre lors du brassage auquel elles sont soumises sous l'action de rotation du tambour. L'écorce détachée et les baguettes de bois tombent du tambour par des goulottes spéciales. Les grumes décortiquées sont rincées à l'eau avant d'être livrées à la fabrique de pâte.

La méthode de l'écorçage par voie humide utilise de grandes quantités d'eau. Ces dernières années, de nombreuses usines ont mis en place des écorceurs "à sec". Cette méthode donne une écorce avec une plus faible teneur en eau, ce qui se traduira par un meilleur bilan énergétique pour la fabrique si l'écorce est brûlée.

Dans les pays nordiques, on dégèle les grumes gelées et la neige avant l'écorçage. Cette opération peut se faire dans le tambour écorceur à l'aide d'eau chaude ou de vapeur ou sur des convoyeurs-dégelers spéciaux en amont du tambour écorceur.

L'écorce provenant de l'unité d'écorçage est habituellement envoyée dans un broyeur d'écorce et, si elle est mouillée, elle subit un pressage pour être brûlée. Il existe quelques autres utilisations possibles de l'écorce, et dans certains cas elle est vendue en dehors du site, mais compte tenu de l'énorme volume impliqué dans les grandes installations, on a tendance à recourir à l'élimination sur le site et à la récupération de l'énergie.

### **2.1.3 Désintégration du bois en copeaux et passage au crible**

Pour les pâtes chimiques, les rondins sont réduits en copeaux dans un désintégrateur. Il est nécessaire d'avoir des copeaux de taille uniforme pour assurer l'efficacité du procédé et la qualité de la pâte. Plus les copeaux sont uniformes après l'action du désintégrateur, moins on consommera de matière première. Après l'atelier de désintégration, les copeaux passent dans un crible pour éliminer les copeaux de trop grande taille et la sciure. Mais cette sciure peut aussi être soumise à la cuisson avec les copeaux ou séparément dans un cuiseur pour sciure ou bien elle est brûlée ou utilisée à d'autres fins. Les copeaux trop grands peuvent être renvoyés dans un broyeur où ils seront désintégrés une nouvelle fois. Les copeaux sont tamisés en fonction de leur épaisseur qui est un paramètre critique pour la fabrication des pâtes aussi bien chimiques que mécaniques. Souvent, pour atteindre un résultat global optimal, on sacrifie de la matière première afin de garantir la stabilité des conditions de traitement, ce qui à son tour permet d'obtenir des pâtes de meilleure qualité et de réduire la pollution. La matière enlevée lors de l'opération de tamisage peut être vendue pour d'autres utilisations ou brûlée dans une chaudière à combustible solide avec récupération de la chaleur.

### 2.1.4 Cuisson et délignification

Dans le procédé kraft, les fibres sont libérées dans l'opération de cuisson par dissolution de la lignine et d'une partie des hémicelluloses dans la solution chimique de cuisson (liqueur blanche), qui contient de l'hydroxyde de sodium et du sulfure de sodium comme produits chimiques actifs. Lorsque le produit final est de la pâte à papier écrue, la cuisson est la seule étape de délignification.

L'opération de cuisson peut être exécutée soit dans des lessiveurs discontinus, soit dans un lessiveur en continu. Dans le cas des processus discontinus, lors de l'opération de cuisson, les copeaux de bois et la liqueur de cuisson sont chargés dans un lessiveur par lot, où la cuisson se fait à température et sous une pression élevées. Lorsqu'on a atteint la teneur souhaitée en lignine résiduelle (mesurée en tant qu'indice kappa), le contenu est soufflé dans un "blow-tank" et l'on relance le cycle de cuisson. On peut déterminer approximativement la quantité de lignine qui reste dans la pâte en multipliant l'indice kappa par le facteur 0,165 [Uhlmann, 1991], c'est-à-dire qu'un indice kappa de 30 correspond à environ 4,95 % de lignine résiduelle.

La cuisson peut également avoir lieu dans un lessiveur continu (voir figure 2.2). Dans ce cas, ce sont la charge de bois/produits chimiques et le temps de séjour ainsi que la température dans la zone de cuisson qui déterminent la teneur en lignine obtenue. Les copeaux sont préchauffés à la vapeur avant d'entrer dans le lessiveur continu afin d'éliminer l'air, qui a une incidence sur l'imprégnation. Après leur entrée dans le lessiveur, les copeaux sont imprégnés de liqueur de cuisson et la température est portée à 155/175 °C. La durée de la cuisson à température maximum est de l'ordre de 1 à 2 heures. Dans l'opération de cuisson classique, la délignification du bois résineux (sapin ou pin) peut être ramenée à un indice kappa de 30 à 35 tout en conservant une pâte présentant des propriétés de résistance acceptables. Pour le bois de feuillus (tremble, bouleau et eucalyptus) l'indice kappa peut être ramené à 14/22 [CEPI, 1997].

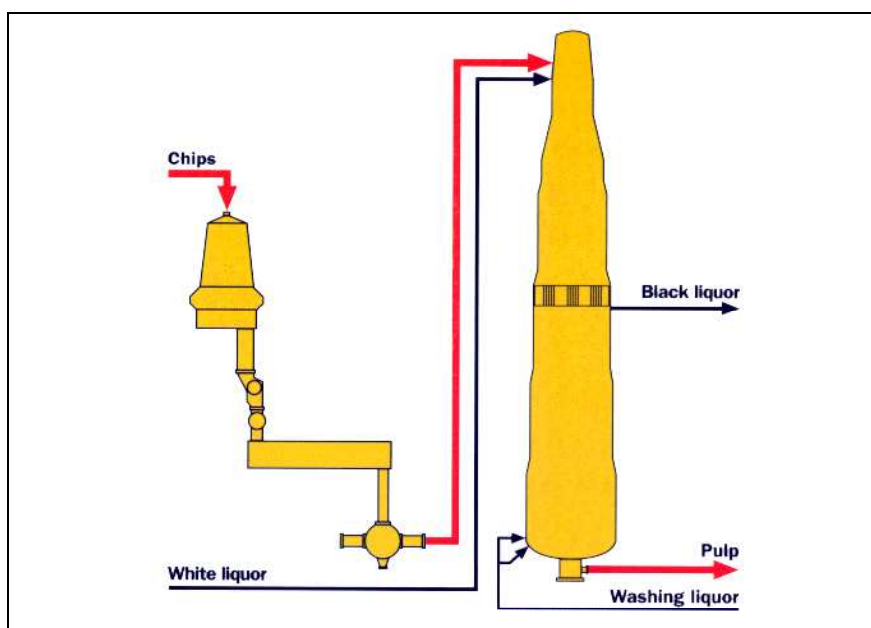


Figure 2.2 - Lessiveur continu

Compte tenu de la faible aptitude au blanchiment de la pâte kraft et de la pollution due à cette opération de blanchiment, on a mis au point plusieurs méthodes de cuisson modifiée dans le but d'éliminer une plus grande quantité de lignine pendant la cuisson sans perte de rendement. L'indice kappa de la cuisson du bois de résineux peut être ramené à un niveau de 15 à 25 grâce à une délignification plus poussée [Rapport finlandais sur les MTD, 1996] tout en conservant le rendement

et les propriétés de résistance. Cela signifie que l'on a de 25 à 50 % en moins de lignine résiduelle dans la pâte par rapport à une pâte avec un indice kappa de 32. La demande en produits chimiques pour tout blanchiment ultérieur éventuel est donc moins importante, avec pour conséquence une réduction des rejets d'effluents de l'installation de blanchiment. On peut obtenir des réductions comparables de l'indice kappa dans la cuisson des bois feuillus (voir également 2.1.6).

### 2.1.5 Lavage et épuration

La pâte arrivant du lessiveur contient à la fois des fibres et de la liqueur résiduaire de cuisson (liqueur noire). La moitié environ du bois est dissoute lors de la cuisson. Il s'ensuit que la liqueur noire contient des produits chimiques inorganiques et une importante quantité de substances organiques. Cette liqueur est éliminée de la pâte lors de l'opération de lavage et est envoyée vers le circuit de récupération des produits chimiques.

Les substances organiques dissoutes ainsi que les produits chimiques résiduels de cuisson sont éliminés au cours des opérations de lavage de la pâte écrue. On récupère normalement au moins 99 % des produits chimiques mis en œuvre dans le lessiveur. Le lavage de la pâte provenant d'une cuisson discontinue est effectué dans une installation avec des filtres de lavage rotatifs, alors qu'avec une cuisson continue on utilise une zone de lavage haute température dans le lessiveur, puis un lavage classique ou avec des diffuseurs. Une partie du lavage est effectuée dans le lessiveur, en remplaçant la liqueur noire chaude par la liqueur froide de lavage.

Un lavage efficace réduit la quantité de liqueur noire retenue dans la pâte, ce qui se traduit par une moindre consommation de produits chimiques lors du blanchiment et une diminution des rejets provenant de l'installation de blanchiment. Un lavage efficace réduit la consommation de produits chimiques également lors de la délignification à l'oxygène. Le résultat du lavage dépend dans une très grande mesure de l'efficacité du matériel utilisé, de la consistance de la pâte en sortie, et de la quantité d'eau de lavage employée. Cela dit, si le lavage peut être amélioré par la quantité d'eau de lavage, la demande de vapeur augmentera dans l'opération suivante pour assurer l'évaporation et la concentration de la liqueur noire.

Les presses de lavage et les diffuseurs sont particulièrement efficaces pour éliminer les substances organiques dissoutes. C'est une des raisons qui expliquent le développement des presses de lavage, notamment pour la dernière étape de lavage avant le blanchiment. Le lavage le plus efficace peut être obtenu avec un matériel type diffuseur. L'addition de bioxyde de carbone à l'eau de lavage améliorera le lavage.

Avant de passer à l'opération suivante, la pâte est épurée à l'aide d'épurateurs sous pression et d'épurateurs centrifuges. L'objectif de l'épuration est de séparer les nœuds et les bûchettes du circuit principal de la pâte à l'aide d'une série de matériels vibrants, de filtration sous pression et de séparation centrifuge des fibres et autres particules avec des poids spécifiques différents. Les rejets d'épuration représentent une partie de déchets à gérer.

### 2.1.6 Délignification à l'oxygène

Après la cuisson, on peut poursuivre la délignification à l'oxygène en une ou deux étape(s) avec ou sans lavage intermédiaire. Cette délignification à l'oxygène peut être associée à une cuisson traditionnelle ou modifiée.

La délignification à l'oxygène se fait dans des conditions alcalines. Pour maintenir l'équilibre en sodium de l'usine, la phase oxygène utilise en général la liqueur blanche oxydée, dans laquelle le principal produit chimique alcalin est de l'hydroxyde de sodium, et où le sulfure de sodium a été oxydé pour donner de l'hyposulfite. En raison de la solubilité relativement faible de l'oxygène dans la liqueur



alcaline, l'installation de délignification est mise sous pression et la température portée à environ 100 °C. Dans la délignification à l'oxygène, on ajoute du magnésium ( $\text{MgSO}_4$ ) pour préserver la qualité de la pâte. Il s'agit essentiellement d'oxygène acheté, mais il existe également quelques installations exploitées sur le site. Compte tenu de sa meilleure sélectivité et d'un investissement moins important, c'est le système à Moyenne Consistance (Medium Consistency MC, 10 à 15 %) qui prévaut depuis les dix dernières années, mais on utilise aussi bien des installations à Haute Consistance (HC, 25 à 30 %). Récemment, l'industrie a opté pour des systèmes de délignification à l'oxygène en deux étapes, de manière à accroître la sélectivité du traitement. La délignification à l'oxygène représente habituellement une étape intermédiaire dans le lavage de la pâte. L'eau de lavage est ajoutée à la dernière phase de lavage après la délignification à l'oxygène et amenée à contre-courant jusqu'au circuit de la pâte. Ce lavage après délignification est habituellement réalisé avec une ou deux presses de lavage seulement, ou en combinaison avec d'autres types de laveurs. La matière organique qui est dissoute pendant la délignification à l'oxygène peut être récupérée et amenée jusqu'au système de récupération des produits chimiques sans modification majeure du processus. Grâce à cette récupération, il est possible de réduire la quantité de matières organiques aboutissant dans les effluents liquides, ainsi que la quantité de produits chimiques requis.

Le degré de délignification supplémentaire est de 40 à 50 % dans le système à une seule étape, et peut atteindre 70 % dans le cas d'un système à deux étapes (Rapport finlandais sur les MTD, 1996]. L'indice kappa après cuisson traditionnelle et délignification à l'oxygène est normalement de 18 à 22 pour le bois résineux, et de 13 à 15 pour le bois feuillu sans délignification étendue (CEPI, 1996). Selon les essences de bois, la délignification à l'oxygène avec cuisson étendue peut se traduire par une réduction d'environ 8 à 12 de l'indice kappa. Le rendement total de la pâte peut baisser de 1,5 à 2,5 % et il reste encore de la lignine qui doit être éliminée par une autre méthode si la pâte doit présenter un degré de blanc élevé. Le tableau ci-dessous récapitule les indices kappa que l'on atteint actuellement avec différentes techniques de délignification.

Technique de délignification	Bois feuillus	Bois résineux
Cuisson traditionnelle	14 - 22	30 - 35
Cuisson traditionnelle et délignification à l'oxygène	13 - 15	18 - 22
Cuisson étendue	14 - 16	18 - 22
Cuisson étendue et délignification à l'oxygène	8 - 10	8 - 12

**Tableau 2.1 - Indices kappa actuellement atteints en fonction des différentes techniques utilisées**

La réduction de l'indice kappa pour la pâte non blanchie (pâte brune ou écrue), qu'elle soit obtenue par délignification étendue dans un lessiveur, délignification par oxygène ou par une autre méthode, entraîne une réduction de la charge due aux éléments polluants de l'installation de blanchiment au niveau de l'installation de traitement des effluents. Cela est dû au fait que les substances dissoutes sont entraînées vers le système de récupération, où elles sont brûlées dans la chaudière de récupération.

### 2.1.7 Blanchiment

L'objet du blanchiment de la pâte chimique est d'obtenir certains critères de qualité de la pâte en matière de blancheur, de stabilité de blancheur, de propreté et de résistance. La blancheur de la pâte kraft écrue est plutôt faible, inférieure à 30 % ISO, alors que la pâte entièrement blanchie possède une blancheur de 88 % ISO ou plus. La cuisson et la délignification à l'oxygène ne permettent pas d'éliminer toute la lignine, et pour atteindre cette blancheur il est nécessaire d'éliminer ou d'oxyder la lignine résiduelle et les impuretés de la pâte. Après le blanchiment, l'indice kappa est ramené à moins de 1 unité (CEPI, 1996).

Alors que la délignification peut avoir lieu en circuits fermés, les installations de blanchiment ont tendance à rejeter les effluents vers les installations de traitement externes. Il est difficile de renvoyer

ces effluents de l'installation de blanchiment dans le circuit de récupération des produits chimiques, principalement parce que ces effluents contribueraient à augmenter l'accumulation de chlorures et autres éléments inorganiques vers le système de récupération des produits chimiques, ce qui pourrait être la cause de corrosion, d'entartrage et autres problèmes. Néanmoins, des études sont en cours sur la possibilité de réaliser des installations de blanchiment en circuit fermé, et certaines fonctionnent déjà avec des circuits d'eau semi-fermés.

Le blanchiment de la pâte kraft se fait habituellement en plusieurs étapes, généralement quatre à cinq. Les produits chimiques les plus couramment utilisés sont le bioxyde de chlore, l'oxygène, l'ozone et le peroxyde (eau oxygénée). Dernièrement, l'acide peracétique a été commercialisé sur le marché en tant que produit chimique de blanchiment. Le chlore et l'hypochlorite ont progressivement disparu comme produits chimiques primaires de blanchiment au cours des dernières années (cf. décision du PARCOM sur l'arrêt progressif de l'utilisation du chlore moléculaire ( $\text{Cl}_2$ ) dans le blanchiment des pâtes kraft et sulfite). De faibles quantités de chlore se forment comme sous-produit dans la plupart des circuits de génération de bioxyde de chlore utilisés, et une partie de ce chlore sera présent lorsqu'on utilisera le bioxyde de chlore dans le blanchiment. Le bioxyde de chlore et l'ozone doivent être produits sur le site (voir section 2.1.11). Le peroxyde, l'oxygène et l'alcali peuvent être livrés à l'usine.

L'ozone est un agent de blanchiment très réactif alors que le bioxyde de chlore, l'oxygène et le peroxyde d'hydrogène sont moins réactifs. Compte tenu des différences dans le mécanisme de réaction, on utilise différents types de produits chimiques dans la suite des opérations de blanchiment. On fait appel aux stades acide et alcalin en complément l'un de l'autre.

Le blanchiment au peroxyde est relativement lent et demande donc des volumes d'installations plus grands ou une concentration en pâte plus élevée. Une pression accrue autorise des températures de réaction plus élevées, avec pour résultat un temps de réaction plus court ou une meilleure blancheur. Il est nécessaire d'éliminer les ions métal pour éviter la dégradation du peroxyde d'hydrogène en utilisant des agents de chélation des métaux (par exemple de l'EDTA ou DTPA) ou un lavage à l'acide. Un avantage du peroxyde par rapport aux autres produits chimiques de blanchiment à base d'oxygène est que le blanchiment au peroxyde exécuté dans des conditions optimales augmente le degré de blancheur de la lignine résiduelle.

Le traitement aux enzymes avant le blanchiment est utilisé par certaines usines depuis 1991. Il peut être combiné à d'autres opérations de blanchiment pour accroître l'efficacité des produits chimiques, mais se solde habituellement par une faible perte de rendement.

Une installation de blanchiment comporte une série d'opérations distinctes de blanchiment avec addition de différents produits chimiques. Chaque stade du blanchiment comprend :

- des dispositifs pour mélanger les produits chimiques et la pâte,
- un réacteur de blanchiment (tours à courant ascendant ou descendant) conçu avec un temps de séjour acceptable pour les réactions chimiques,
- un équipement de lavage pour séparer les produits chimiques ayant réagi, éliminer la lignine et autres matières dissoutes de la pâte (filtres rotatifs).

Les étapes du blanchiment ont reçu des appellations symboliques abrégées en fonction de l'agent de blanchiment mis en œuvre :

- Q Phase acide dans laquelle on utilise les agents de chélation EDTA et DTPA pour éliminer les métaux
- Z Ozone utilisant l'ozone gazeux ( $\text{O}_3$ )
- P Phase alcaline avec du peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
- D Phase bioxyde de chlore utilisant une solution aqueuse de bioxyde de chlore ( $\text{ClO}_2$ )
- E Phase d'extraction utilisant de l'hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ )
- E/O Phase d'extraction utilisant de l'hydroxyde de sodium avec addition ultérieure d'oxygène gazeux

E/P Phase d'extraction utilisant de l'hydroxyde de sodium avec addition ultérieure de peroxyde d'hydrogène.

Actuellement, la délignification à l'oxygène devient de plus en plus une phase normale suivie par une séquence de blanchiment comme D-E-D-E-D, D-E-D-D, D-EOP-D-E-D ou QP-DQ-PO.

Certaines usines ont réagi à la demande de pâtes totalement exemptes de chlore (TCF) en modifiant l'ordre des stades de blanchiment. De nos jours, la méthode TCF est une technique bien établie. Un certain nombre d'usines sont en mesure de produire des pâtes ECF ou TCF en fonction de la situation du marché. De nouvelles séquences ont été mises au point ou sont en voie de l'être, telles que Q-E/P-E-P, Q-Z-P-E-P, OP-ZQ-PO ou OP-Q-PO [CEPI, 1997].

La cuisson prolongée et la délignification à l'oxygène ont permis d'accroître l'efficacité de la récupération des substances organiques et d'autoriser également le développement de l'utilisation d'autres produits chimiques dans le blanchiment ainsi que la minimisation de l'utilisation des produits chimiques chlorés. En conséquence, les quantités totales de composés organiques et organiques chlorés ont considérablement diminué.

Les deux principaux types de séquence de blanchiment utilisées sont dites blanchiment ECF (Exempt de Chlore Élémentaire, c'est-à-dire qu'il n'y a aucune addition de chlore gazeux ou moléculaire dans le blanchiment) et TCF (Totalement Exempt de Chlore). Le blanchiment ECF utilise du bioxyde de chlore, de l'alcali pour l'extraction de la lignine dissoute, du peroxyde et de l'oxygène pour renforcer les phases d'extraction. Le blanchiment TCF utilise de l'oxygène, de l'ozone ou de l'acide peracétique et du peroxyde avec de l'alcali pour l'extraction de la lignine. La sélectivité est importante en ce qui concerne le rendement total et la qualité de la pâte, car une sélectivité élevée signifie que le produit chimique de blanchiment réagit en premier lieu avec la lignine. Le bioxyde de chlore et le chlore sont les agents de blanchiment les plus sélectifs et la sélectivité est meilleure dans la phase de blanchiment que lors de la cuisson et de la délignification à l'oxygène.

Le blanchiment TCF demande un indice kappa faible en entrée pour la pâte (10 à 12) pour atteindre le degré de blancheur maximum et de bonnes propriétés de résistance, en raison de la puissance des produits chimiques utilisés dans l'opération de blanchiment et de la dégradation des fibres pendant cette opération, bien que l'on puisse atteindre un degré de blancheur final de 89 % ISO avec le blanchiment TCF sans perte de rendement. La pâte blanchie TCF contient une plus grande quantité de lignine résiduelle que celle blanchie ECF, et ce résidu doit être stabilisé pour minimiser le jaunissement après la production. Le blanchiment ECF peut être réalisé sur une pâte avec un indice kappa supérieur.

### **Discussion sur "blanchiment ECF ou blanchiment TCF"**

Au cours des 10 dernières années, il y a eu beaucoup de recherches et de discussions à propos des avantages respectifs du blanchiment TCF et du blanchiment ECF. On peut résumer comme suit l'évaluation des résultats de recherche et les synthèses des travaux tant en laboratoire que sur des modèles d'écosystèmes, ainsi que les études de terrain portant sur l'ensemble des effluents rejetés par une usine de pâte kraft blanchie :

- la composition chimique des effluents des usines récentes de pâte kraft recourant au blanchiment ECF à bas indice kappa ou TCF de pâte délignifiée à l'oxygène avec un faible indice kappa, a considérablement changé par rapport à la situation il y a 10 à 15 ans, même si ce sont les caractéristiques de fonctionnement des différentes usines qui jouent un rôle capital dans la quantité et la qualité des émissions (Rapport SEPA 4785, 1997) ;
- des usines modernes avec un blanchiment ECF à faible indice kappa ont de très faibles émissions de substances organiques chlorées et l'on ne peut généralement pas détecter de composés phénoliques fortement chlorés ;

- une comparaison sur la toxicité des effluents de l'installation de blanchiment et de la totalité des effluents d'usines utilisant différentes méthodes de blanchiment sans chlore, par exemple blanchiment ECF à bas indice kappa contre blanchiment TCF, montre qu'aucune de ces techniques ne produit inmanquablement des effluents d'un moindre niveau toxique (FEI, 1996). On n'a pas pu établir de différence claire à ce niveau entre les effluents d'usines avec blanchiment ECF à faible kappa (réduction des chlorates) et ceux d'usines avec blanchiment TCF ;
- les avantages respectifs du blanchiment ECF à faible kappa et du blanchiment TCF (ou vice versa) ne sont pas cohérents compte tenu des différences dans les stratégies expérimentales des procédures d'essai, et également des facteurs étrangers au blanchiment à l'intérieur des différentes usines, comme les caractéristiques de fonctionnement des usines (ibid.) ;
- le traitement secondaire biologique des effluents se traduit généralement par une baisse de la toxicité des effluents et, d'après les études sur des modèles d'écosystèmes, les effets au niveau de l'écosystème sont atténués après un traitement externe (ibid.) ;
- de récentes études sur des modèles d'écosystèmes ont montré qu'il existe une corrélation entre la DCO de l'effluent et les effets observés. Ces résultats semblent indiquer que le problème n'est pas tant de choisir entre le blanchiment ECF ou TCF, mais plutôt d'améliorer la technique de fabrication de la pâte proprement dite (ibid.). Ainsi, les quantités d'acides gras, d'acides résiniques et de stérols dans les effluents des usines modernes de pâte kraft dépendent plus de la matière première bois ou des contributions provenant des autres ateliers de l'usine que du blanchiment (Rapport SEPA 4785, 1997) ;
- une séquence de blanchiment TCF est la solution la plus avantageuse pour la fermeture des circuits. Mais l'utilisation des produits chimiques entièrement exempts de chlore implique l'élimination des métaux (tels que le manganèse, le fer, les ions cuivre) de la pâte en raison de leur impact négatif sur le blanchiment au peroxyde. Cette élimination se fait habituellement via des agents de chélation ou par lavage acide des pâtes. Un débat s'est engagé sur les effets des agents de chélation sur l'environnement, car dans des conditions normales, ils ne sont que très peu biodégradables. On étudie la possibilité de réduire la quantité d'effluents provenant du stade de chélation (voir section 2.5.3).

## 2.1.8 Epuration de la pâte blanchie

A l'issue du blanchiment, on procède généralement à une épuration de la pâte. Celle-ci est effectuée à l'aide du même type de matériel que pour l'épuration de la pâte non blanchie.

## 2.1.9 Séchage

Dans une usine intégrée de pâte et de papier, la pâte est ensuite transportée à l'état humide en vue de la fabrication du papier (avec une consistance d'environ 4 %) et cette eau associée fait partie du bilan global en eau de l'usine. Dans le cas d'une usine de pâte à papier non intégrée qui n'utilise pas la pâte pour fabriquer du papier sur le même site, la pâte subit d'abord un pressage, puis elle est séchée pour le transport. Le séchage est similaire à celui d'une machine à papier pour l'égouttage initial de la pâte, mais plus simple. Après la phase d'égouttage, la pâte est séchée à la vapeur en plusieurs étapes. Après le découpage en feuilles, on forme des balles pour l'expédition.

### 2.1.10 Circuit de récupération des produits chimiques et de l'énergie

Dans une usine de pâte kraft, le circuit de récupération remplit une triple fonction :

- récupération des produits chimiques minéraux liés à la fabrication de la pâte,
- destruction des matières organiques dissoutes et récupération de l'énergie sous forme de vapeur de process et d'énergie électrique,
- récupération des sous-produits organiques valorisables (par exemple le tall-oil).

La valeur calorifique de la liqueur noire récupérable suffit généralement à assurer l'autonomie des usines de pâte kraft en chaleur et énergie électrique. Les sous-produits organiques ne jouent qu'un rôle économique limité dans la plupart de ces usines.

Les principales unités du système de récupération des produits chimiques sont l'unité d'évaporation de la liqueur noire (liqueur de cuisson et liqueur de lavage à contre-courant), l'incinération des liqueurs évaporées dans une chaudière de récupération et la caustification, y compris la régénération de la chaux.

L'aperçu des circuits des produits chimiques présenté dans la figure 2.3 (Ministère fédéral de l'environnement d'Autriche, 1995) illustre les principales étapes du processus et leurs fonctions.

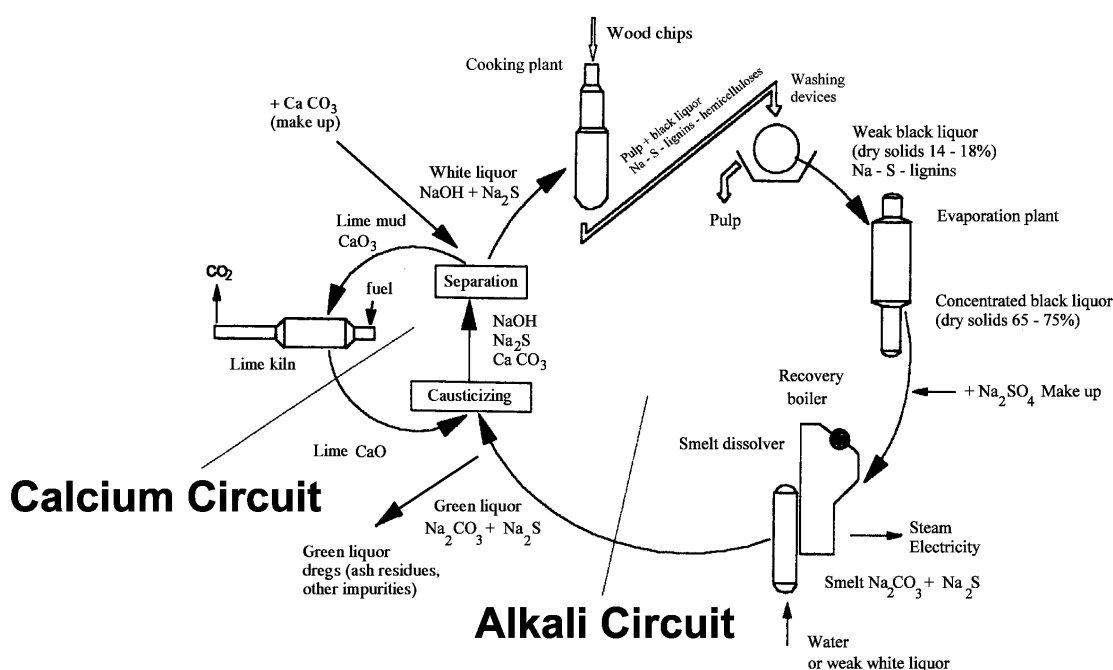


Figure 2.3 - Cycles de récupération des produits chimiques d'une fabrique de pâte kraft

La liqueur noire provenant du lavage de la pâte contient habituellement de 14 à 18 % de matières sèches, qu'il faut concentrer avant de pouvoir la brûler. Une installation d'évaporateurs à multiples effets la concentre jusqu'à une teneur en solides secs de 65 à 75 %. Mais, à mesure que la teneur en solides secs augmente, la viscosité de la liqueur noire augmente aussi, et risque de devenir trop élevée pour pouvoir être pompée. A la pression atmosphérique, la limite est d'environ 72 à 74 % SS (SS = solides secs) mais il existe deux principes différents permettant de résoudre ce problème :

- pressurisation de la liqueur, de manière que sa viscosité baisse à mesure que la température s'élève,
- modification de la rhéologie de la liqueur via un processus thermique de dépolymérisation.

On peut concentrer la liqueur à plus de 80 % SS par un traitement thermique de la liqueur noire concentrée et une évaporation sous pression. Lors du traitement thermique, une partie des matières combustibles se sépare sous forme de gaz non condensables (NCG) qui contiennent le soufre total réduit (SRT). Ces gaz sont recueillis puis brûlés avec les autres gaz malodorants.

Les condensats d'évaporation de la liqueur noire et de l'installation de cuisson présentent un degré de pollution variable en fonction de leur origine, mais ils contiennent habituellement du SRT, du méthanol et quelques autres composés organiques volatils. Ils sont traités dans une colonne de rectification, qui est normalement intégrée à l'évaporateur de la liqueur noire, à l'aide de la vapeur primaire ou secondaire. Ces condensats rectifiés peuvent ainsi être réutilisés dans le lavage de la pâte écrue et dans l'installation de caustification.

La liqueur noire concentrée est brûlée dans la chaudière de récupération pour récupérer le sodium et le soufre qu'elle contient dans une forme chimique adaptée pour régénérer les produits chimiques de cuisson et récupérer l'énergie provenant de la combustion.

Une augmentation de la teneur en solides secs de la liqueur noire de 65 à 70 % à 80 à 85 % modifie les bilans de matières et d'énergie et les conditions de combustion dans la chaudière de récupération. Le débit des gaz de combustion diminue à mesure que la quantité d'eau entrant diminue. En augmentant la teneur en solides secs par exemple à plus de 80 %, on peut augmenter la production et améliorer la récupération de la liqueur noire dans une installation où la chaudière de récupération constitue le goulot d'étranglement de la capacité de production. La température de combustion augmente parallèlement à la quantité de solides secs en entrée et entraîne la vaporisation d'une plus grande quantité de sodium (Na) qui réagit ensuite avec le soufre et réduit les émissions de soufre de la chaudière de récupération.

Les sels fondus ou le salin qui sont la partie minérale des matières sèches de la liqueur noire sont récupérées sur la sole de la chaudière de récupération et dissouts dans de l'eau ou de la liqueur blanche faible pour donner de la liqueur "verte", qui consiste essentiellement en sulfure de sodium et carbonate de sodium. Cette liqueur verte est clarifiée et caustifiée au moyen de chaux, avec conversion du carbonate de sodium en hydroxyde de sodium fournissant de la liqueur blanche pour la réduction de la pâte. Les résidus, cendre et autres impuretés sont éliminés du processus (« dregs » de liqueur verte). Le carbonate de calcium résultant de la caustification est séparé de la liqueur blanche sous forme de boue de chaux, lavée et calcinée dans un four à chaux qui est un four à ciment rotatif standard, pour régénérer la chaux. Cette calcination est une réaction endothermique à haute température qui nécessite un apport de combustible extérieur.

La combustion de la liqueur noire à haute teneur en soufre entraîne un dégagement de soufre dans l'atmosphère sous forme de bioxyde de soufre et de gaz malodorants contenant des composés de soufre réduit tels que du sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ), du méthyle mercaptan ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ), du diméthyle sulfure ( $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ ) et du diméthyle bisulfure ( $\text{CH}_3\text{SSCH}_3$ ).

Les gaz malodorants concentrés sont recueillis et brûlés dans un incinérateur séparé ou dans le four à chaux. On utilise moins ce dernier car cela pourrait dérégler son fonctionnement. Les gaz de

combustion sont « le plus souvent » traités dans un épurateur (lavage des gaz) dont l'eau est renvoyée vers le système de récupération des produits chimiques. Certaines usines de pâte kraft recueillent également les gaz malodorants faiblement concentrés dans des proportions variables. Ces gaz proviennent du pré-traitement à la vapeur des copeaux, de l'épuration, du lavage de la pâte, du dissolvant et de la respiration des réservoirs etc.

### **2.1.11 Préparation des produits chimiques de blanchiment sur le site**

Les produits chimiques les plus couramment utilisés pour le blanchiment des pâtes à papier chimiques sont le bioxyde de chlore, l'oxygène, l'ozone et le peroxyde. Le bioxyde de chlore et l'ozone doivent être produits sur le site. Le peroxyde, l'oxygène et l'alcali peuvent être achetés.

#### **2.1.11.1 Bioxyde de chlore**

Le bioxyde de chlore doit être produit sur place en raison de son instabilité en tant que gaz et parce qu'il ne peut être stocké qu'en solution à environ 1 % dans de l'eau. Le gaz est stable à des températures types de traitement de 40 à 70 °C et à condition que la pression partielle du bioxyde de chlore soit maintenue au-dessous de 100 mm Hg pendant au moins cinq secondes. Une fois en solution, le bioxyde de chlore se conserve pendant plusieurs mois dans un endroit sombre à -5 °C sans aucun espace gazeux. Le bioxyde de chlore gazeux se décompose en chlore et en oxygène et cette décomposition est déflagrante sous une pression partielle de 300 mm Hg.

Il existe plusieurs réactions permettant de produire du bioxyde de chlore et certaines techniques peuvent donner jusqu'à 0,7 tonne de chlore en tant que sous-produit par tonne de bioxyde de chlore, alors que d'autres ne produisent que de très faibles quantités. Dans l'industrie papetière, le bioxyde de chlore est formé par la réduction acide de l'ion chlorate  $\text{ClO}_3^-$ .

Le chlorate de sodium est la source commerciale habituelle de l'ion chlorate, mais le choix de l'agent réducteur a une grande importance au niveau des sous-produits et des aspects économiques. Parmi les réducteurs utilisés, on peut citer l'ion chlorure, le peroxyde d'hydrogène, le bioxyde de soufre et le méthanol.

Les techniques ont évolué au cours des années, dans l'objectif de maximiser le rendement en bioxyde de chlore à partir du chlorate de sodium, de minimiser la formation du sous-produit chlore et également d'optimiser la production d'effluents acides. Les deux principales techniques produisant le moins de chlore en tant que sous-produit sont la méthode Mathieson, qui utilise du chlorate de sodium, de l'acide sulfurique et du bioxyde de chlore, et le procédé plus récent R8 dérivé de SOLVAY, qui utilise essentiellement du chlorate de sodium, de l'acide sulfurique et du méthanol. L'addition de quelques ions chlorure est essentielle pour assurer la génération du bioxyde de chlore dans tous ces procédés. Le tableau 2.2 donne un aperçu des différentes méthodes de production du bioxyde de chlore.

	MATHIESON	R3	R3H	R5	R6	R7	R8	LURGI R6
<b>Produits chimiques utilisés</b>								
NaClO <sub>2</sub>	1.75	1.6	1.68	1.75		1.68	1.65	1.08
NaCl		8				0.35	0.03	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.30	1.1	0.80			0.40	1.10	
HCl		5	0.70	1.40				
SO <sub>2</sub>	0.75	1.7				0.40		
CH <sub>3</sub> OH		3					0.15	
Cl <sub>2</sub>					0.80			
Energie électrique (MWh)					8.50			
<b>Sous-produits (t/t ClO<sub>2</sub>)</b>								
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.20	2.3	1.20			1.60		
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.60	0					1.30	
Na <sub>3</sub> H(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>							0	0.10
Cl <sub>2</sub>	0		0.70	0.80	0.30	0.20		
H <sub>2</sub>		0.7			0.05			
NaCl		0		0.95				
NaOH								0.70

**Tableau 2.2 - Méthodes de production du bioxyde de chlore en usage en Finlande (Rapport finlandais sur les MTD, 1997)**

Il apparaît que seules la technique "Mathieson" et celle dite "R8" ne produisent pas de chlore comme sous-produit.

De façon idéale, tout sous-produit sodium et soufre résultant de la production de bioxyde de chlore pourrait être absorbé par l'usine de pâte en tant que produit chimique d'appoint, et il n'y aurait que peu ou pas du tout d'effluent. Mais si la production de soufre ou de sodium dépasse les besoins de l'usine en produits d'appoint, il faudra les éliminer du processus (voir également section 2.2.2.5).

Un problème potentiel qui apparaît lorsqu'on utilise du ClO<sub>2</sub> est la formation de chlorate. Environ 10 % du ClO<sub>2</sub> en tant que chlore actif apparaît sous forme de chlorate. Cela signifie qu'il se forme de 4 à 6 kg environ de chlorate par tonne de pâte pour un blanchiment ECF avec un indice kappa de 18. Le chlorate est toxique pour les bactéries et le plancton à des taux de 3 à 4 mg/l environ. En outre, il inhibe la croissance des algues brunes, ou raisin de mer, à des concentrations d'environ 20 microgrammes/l. En effet, quand N est le facteur limitant la croissance, l'algue absorbe le chlorate, qui est un désherbant réputé, au lieu du NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

#### **2.1.11.2 Ozone**

L'ozone s'obtient à partir d'air sec ou d'oxygène par application de tensions élevées (10 à 20 kV) entre deux électrodes séparées par le gaz réactant. L'ozone n'est pas très stable et le rendement en ozone est très faible avec un taux élevé d'oxygène n'ayant pas participé à la réaction prévisible dans le produit gazeux. Un générateur d'ozone moderne alimenté à l'oxygène consomme environ 10 à 15 kWh/kg de O<sub>3</sub> produit.

#### **2.1.11.3 Autres produits chimiques de blanchiment**

D'autres produits chimiques de blanchiment sont achetés prêts à l'emploi - le peroxyde d'hydrogène en solution à 50 %, le dithionite en tant que solide. L'oxygène est généralement acheté, mais il existe un petit nombre d'usines en Europe qui produisent l'oxygène sur place. Un petit nombre d'usines de pâte



utilisent l'acide peracétique comme produit chimique de blanchiment à certains stades du blanchiment TCF. La production d'acide peracétique requiert environ 3 kWh d'électricité/kg de produit.

## 2.2 Niveau actuel de consommation/émissions pour les usines intégrées et non intégrées

### 2.2.1 Aperçu des intrants (matières consommées)/sortants (matières produites)

La figure 2.4 donne un aperçu synthétique des consommations de matières premières et d'énergie ainsi que des produits, sous-produits et des principaux rejets (émissions, déchets etc.) de la production de la pâte kraft.

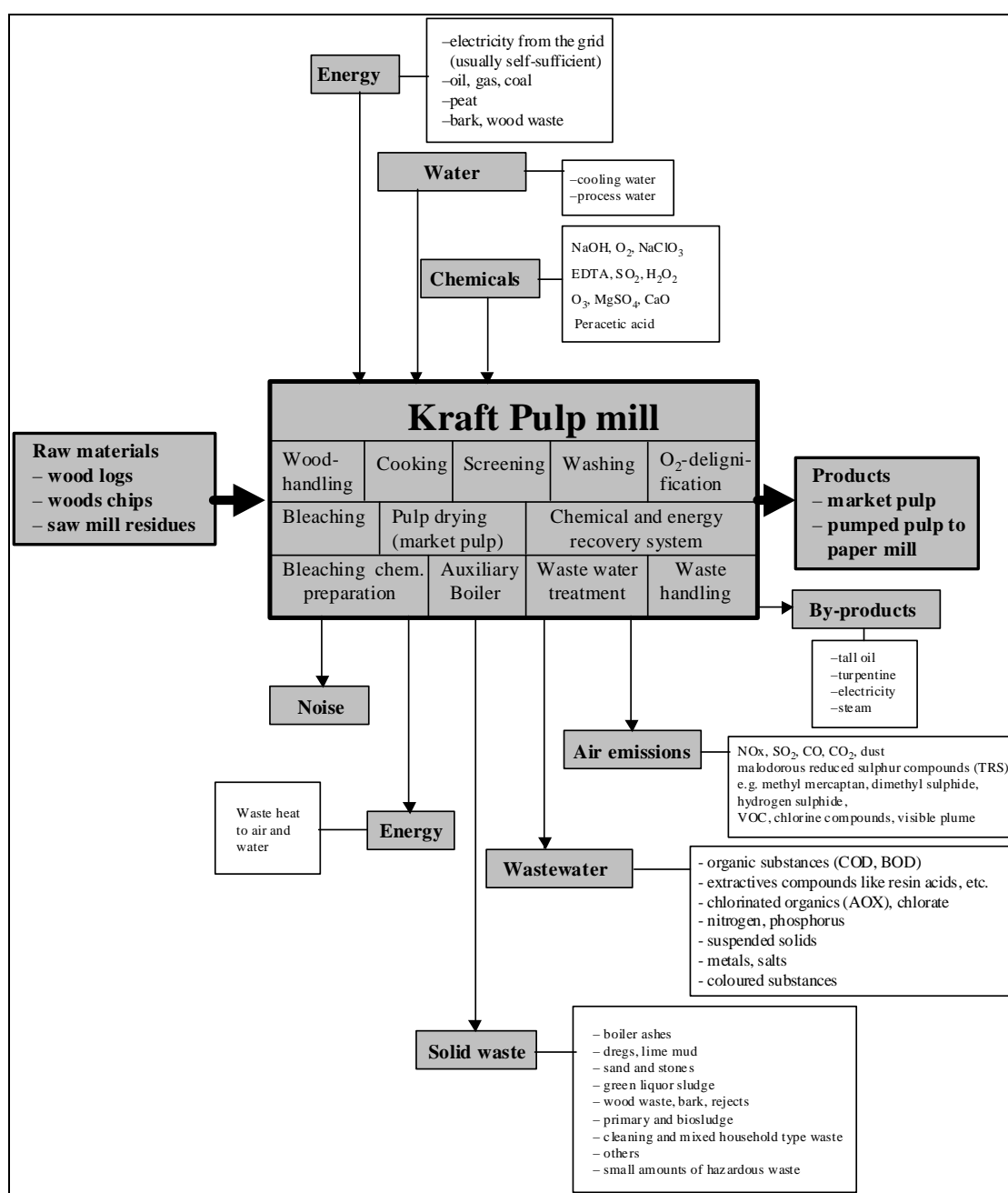


Figure 2.4 - Aperçu du circuit de la pâte dans une usine de pâte kraft.

La présence de certaines substances dépend de la méthode de délignification et de blanchiment.

Les sections suivantes présentent des données spécifiques relatives à la consommation ainsi qu'aux émissions pour les différents stades de fabrication de la pâte kraft.

## **2.2.2 Niveaux de consommation et d'émissions des unités de process**

Dans la fabrication de la pâte kraft, les effluents liquides et les émissions dans l'atmosphère, y compris les gaz malodorants, sont au centre des préoccupations, mais l'on s'attend à ce qu'au cours des prochaines années, les déchets aussi deviennent un problème écologique. On étudie ci-après les principales consommations de matières premières et émissions dans l'eau, l'air et le sol (déchets) ainsi que les aspects énergétiques, en abordant les questions suivantes :

- Consommation de bois
- Consommation d'eau et effluents liquides des différentes étapes du process
  - parc à bois
  - condensats des évaporateurs
  - fuites et déversements accidentels
  - pertes au lavage
  - blanchiment
  - rejets de substances nutritives
  - rejets de métaux
- Émissions dans l'atmosphère
  - provenant de la chaudière de récupération
  - provenant du four à chaux
  - provenant des chaudières auxiliaires
  - gaz malodorants
  - composés de chlore provenant de la préparation des produits chimiques pour le blanchiment
- Production de déchets solides
- Consommation de produits chimiques
- Consommation d'énergie
- Bruit

Lorsque des données sont disponibles, on indique les niveaux d'émissions dans l'eau, dans l'air ou dans le sol (déchets), avant et après le traitement externe.

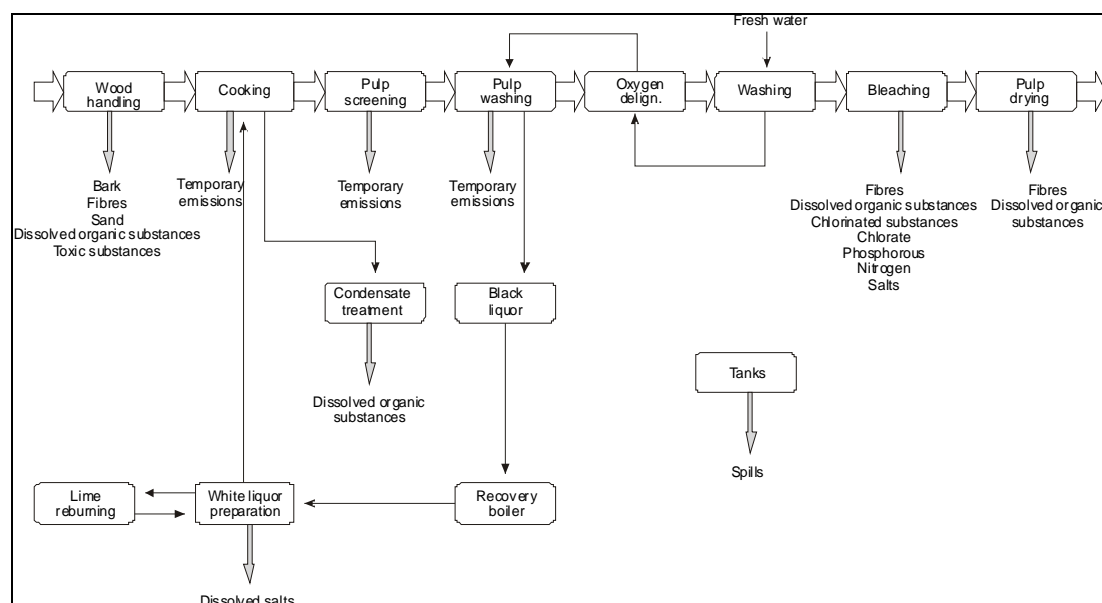
S'agissant des chiffres indiqués pour les émissions et les consommations, il ne faut pas oublier que, compte tenu des différentes méthodes de mesure utilisées par les divers États membres, les données ne sont pas toujours strictement comparables d'un pays à l'autre. (Voir annexe III pour plus de renseignements sur cette question, mais les différentes méthodes utilisées ne modifient en rien les conclusions formulées dans le présent document).

### **2.2.2.1 Consommation de bois**

Toutes les essences de bois peuvent être utilisées comme matière première dans la fabrication de la pâte kraft. Les sous-produits de l'abattage et des scieries peuvent également être transformés en pâte avec le procédé kraft. L'utilisation du bois et le rendement pour la production de pâte blanchie dépendent des options choisies au niveau de la délignification et du blanchiment. La quantité de bois requise pour fabriquer 1 tonne de pâte chimique est normalement comprise entre 4 et 6,6 m<sup>3</sup>. Dans l'industrie forestière, le volume se mesure en tant que bois sous écorce. La densité du bois varie selon les espèces, mais elle est comprise entre 0,4 et 0,6 g/cm<sup>3</sup>. La quantité d'écorce varie également, mais est de l'ordre de 12 à 15 % en poids.

### 2.2.2.2 Consommation d'eau et effluents des différentes étapes du process

Comme cela est illustré dans la figure 2.5, les émissions dans l'eau d'une usine de pâte kraft comprenant une installation de blanchiment proviennent de différents stades du procédé. Elles comprennent également les déversements accidentels.



**Figure 2.5 - Émissions dans l'eau d'une usine de pâte kraft**

Les émissions consistent principalement en substances organiques consommatrices d'oxygène, mesurées en tant que DCO et DBO. Les effluents de l'installation de blanchiment, dans laquelle on utilise des produits chimiques chlorés, contiennent des composés avec des liaisons organiques de chlore, mesurés sous forme d'AOX. Certains composés rejetés par les usines présentent des effets toxiques sur les organismes aquatiques, étant donné que certains éléments comme les acides résiniques sont susceptibles d'être lessivés de l'écorce lors de la manutention du bois. Les émissions de substances colorées peuvent avoir des incidences négatives sur les espèces vivant dans le milieu récepteur, en raison de la diminution de la transparence de l'eau. Les émissions de substances nutritives (azote et phosphore) ont un impact négatif dû à l'eutrophisation. On peut détecter dans les effluents de faibles concentrations de métaux provenant du bois.

La consommation d'eau varie considérablement entre les différentes usines dans les pays de l'UE, de plus d'un facteur 10, entre 15 et 100 m<sup>3</sup>/t. Les consommations supérieures à 50 m<sup>3</sup> sont généralement imputables au fait que l'on y inclut l'eau de refroidissement. Il est possible de réduire la consommation d'eau en améliorant le recyclage interne de l'eau. Dans une usine de pâte kraft, on peut y parvenir par exemple en remplaçant l'écorçage humide par l'écorçage à sec, en recourant à un matériel de lavage plus efficace, en recyclant le filtrat du blanchiment alcalin, en utilisant les condensats résultant de l'évaporation et en pratiquant une épuration fermée. Il existe une différence au niveau de la gestion de l'eau selon que l'usine de pâte à papier est intégrée ou non. Dans le premier cas, la pâte arrive de l'unité de fabrication de la pâte à l'unité de fabrication du papier avec une consistance d'environ 4 % et les effluents liquides de la fabrication de la pâte et du papier sont généralement traités dans la même installation. Dans le cas des usines de pâte non intégrées, la pâte marchande doit être débarrassée de son eau et séchée.

Le volume d'eau utilisé est étroitement lié à la quantité d'eaux usées rejetées par l'usine. La pollution dépend essentiellement de la conception et de la conduite des procédés qui sont responsables de la plus grande partie des rejets et du degré de fermeture des circuits. Les principales sources d'effluents et la charge correspondante en polluants sont étudiées ci-après.

### Effluents du parc à bois

Les eaux pluviales s'écoulant du parc à bois peuvent être polluées. Mais la principale source de pollution est l'installation d'écorçage. Elle consomme de l'eau et crée un effluent contenant des substances nutritives, des fibres et des composés organiques consommant de l'oxygène tels que des acides résiniques, des acides gras etc. qui sont toxiques pour la vie aquatique avant d'être traités. Le traitement biologique s'est avéré très efficace pour éliminer ce caractère toxique. En passant de l'écorçage humide à l'écorçage sec, on diminue la consommation d'eau et les rejets. Mais le taux d'humidité de l'écorce retirée n'est modifié que de façon marginale. Cela est dû au fait que l'écorçage à sec signifie que l'eau est recyclée, et non pas que l'on n'utilise pas d'eau. Dans l'écorçage par voie humide, on utilise de 0,6 à 2 m<sup>3</sup> d'eau par m<sup>3</sup> solide de bois. L'écorçage à sec utilise encore de 0,1 à 0,5 m<sup>3</sup> d'eau par m<sup>3</sup> de bois pour le lavage des grumes, avec dissolution de certaines substances organiques, mais dans une moindre proportion que dans le cas de l'écorçage humide.

On peut réduire le taux d'humidité de l'écorce en la soumettant à une opération de pressage ou de séchage. Cela aura pour effet d'améliorer la production de chaleur, mais aussi d'augmenter la charge polluante. Les gammes de charge polluante dans les effluents résultant de l'écorçage sont indiquées dans le tableau 2.3 ci-dessous.

<b>Technique d'écorçage</b>	<b>Effluent volume en m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de bois</b>	<b>DBO<sub>5</sub> kg/m<sup>3</sup> de bois</b>	<b>DCO kg/m<sup>3</sup> de bois</b>	<b>P (Phosphore) total g/m<sup>3</sup> de bois</b>
Écorçage par voie humide et pressage	0.6 - 2	0.9 - 2.6	4 - 6	5 - 7
Écorçage à sec et pressage	0.1 - 0.5	0.1 - 0.4	0.2 - 2	2 - 4

**Tableau 2.3 - Charge polluante des effluents d'écorçage avant traitement biologique.**

**[Rapport finlandais sur les MTD, 1997] ; la DBO<sub>7</sub> a été convertie en DBO<sub>5</sub> en appliquant la formule  $DBO_7/1,16 = DBO_5$  proposée dans ce même rapport.**

Sur l'arbre, l'écorce a normalement une teneur en solides (taux de siccité) comprise entre 35 et 45 %. Après un écorçage normal par voie humide ou "à sec", ce taux de siccité de l'écorce est d'environ 30 à 35 %. On peut l'amener à 40/45 % dans une presse, mais dans ce cas il faut tenir compte de l'effluent supplémentaire de la presse. L'effluent provenant de la presse à écorce est toxique et présente une DCO élevée (20 à 60 kg/m<sup>3</sup>). Dans le cas d'une fabrique de pâte chimique, on pourrait résoudre ce problème en l'envoyant vers le lessiveur avec les copeaux en vue de faire évaporer le concentrat et de le brûler dans la chaudière de récupération.

Dans les pays nordiques, pendant la période hivernale, il faut faire fondre les rondins gelés et la neige avant de procéder à l'écorçage. Cela peut être fait dans le tambour écorceur avec de l'eau chaude ou de la vapeur ou sur des convoyeurs spéciaux en amont du tambour écorceur. Dans n'importe quelle installation considérée, la consommation d'eau et les rejets de l'écorçage à sec augmenteront, pour atteindre les valeurs moyennes ou maximum indiquées dans le tableau ci-dessus.

### Condensats de cuisson et d'évaporation

Les condensats proviennent des vapeurs de process produites par les lessiveurs et l'installation d'évaporation. Environ 8 à 10 m<sup>3</sup>/Adt de condensats sont générés avec une charge DCO d'environ 20 à 30 kg/t et 7 à 10 kg/Adt de DBO<sub>5</sub>. La DCO se compose essentiellement de méthanol (5 à 10 kg/Adt), avec un peu d'éthanol et un certain nombre de composés soufrés organiques (1 à 2 kg/Adt SRT), 1 à 2 kg de térébenthine et de composés nitreux inorganiques. Les condensats pollués contiennent en outre des cétones, des terpènes, des dérivés phénoliques, des acides résiniques, des acides gras et divers gaz dissous. Une importante proportion de l'azote rejeté par une usine de pâte kraft provient des condensats.

Environ 1 m<sup>3</sup> de condensat par tonne de pâte présente une concentration en DCO de 10 à 20 kg/m<sup>3</sup>. Ce taux est plus élevé dans les condensats provenant de pâte de bois feuillus que dans celle de bois résineux. Ces condensats concentrés sont généralement strippés avec un rendement d'élimination atteignant plus de 90 % pour la plupart des composés, en fonction du pH. Ces systèmes de traitement éliminent habituellement les gaz malodorants (SRT) et les substances contribuant à la DCO en même temps. Les condensats ayant subi ce traitement peuvent représenter 1 à 1,5 kg DCO/m<sup>3</sup> de condensat. Normalement, la consommation de la colonne de rectification est d'environ 0,2 tonne de vapeur/tonne de condensat. Les techniques économisant l'énergie permettent d'abaisser la consommation de vapeur de 0,2 t de vapeur/t de condensat à 0,02 à 0,04 t de vapeur/t de condensat. Les gaz extraits sont soit incinérés dans une chaudière spéciale suivi d'un lavage du SO<sub>2</sub> soit brûlés dans le four à chaux.

Environ 7 à 9 m<sup>3</sup> de condensats plus faiblement concentrés sont formés avec une DCO comprise entre 0,5 et 2 kg/m<sup>3</sup> contenant un total de quelque 8 à 12 kg de DCO/t de pâte. Ces condensats sont exempts de métaux et, par conséquent, particulièrement utilisés pour le lavage dans l'installation de blanchiment lorsqu'on cherche à mettre cette partie du processus en circuit fermé. On peut aussi les réutiliser au scrubber du four à chaux, ou comme eau d'appoint pour la liqueur blanche. Cela signifie qu'une partie des condensats sera utilisée dans des unités en circuit fermé du processus. D'autres condensats seront utilisés dans des unités ouvertes, par exemple l'installation de blanchiment, et on les retrouve dans l'effluent avec les autres condensats qui ne sont pas réutilisés mais rejetés directement. Exprimés en DCO, les rejets totaux de condensats dans les effluents sont normalement de 4 à 8 kg/t de pâte mais ils sont le plus souvent facilement biodégradables.

Une autre solution consiste à rectifier les condensats moyennement pollués dans un circuit associé à l'installation d'évaporation, ce qui permet d'effectuer le traitement sans aucune consommation supplémentaire d'énergie. De cette façon, la charge totale en DCO avant toute réutilisation est ramenée à environ 5 kg/t, soit une réduction d'environ 50 % par rapport au traitement des seuls condensats les plus pollués.

### Fuites et déversements accidentels

Les fuites et déversements accidentels de fibres et de liqueur noire surviennent au lessivage, à l'épuration, et au lavage. Il s'en produit également au niveau des évaporateurs et des bacs. De la liqueur blanche, de la liqueur faible, de la chaux etc. peuvent se répandre pendant la caustification. La plupart de ces liquides peuvent être recueillis et recyclés si l'on utilise des dispositifs tampons d'un volume adéquat et des procédures appropriées. Les fuites provenant des éléments mécaniques, tels que les pompes, peuvent être limitées par exemple en choisissant les bons joints.

La conductivité ou la teneur en fibres des différentes fuites fait normalement l'objet d'un contrôle pour décider quels liquides seront recyclés dans le processus et lesquels seront rejetés. On peut améliorer la récupération des fuites si l'on fait circuler l'eau propre, telle que l'eau de refroidissement ou d'étanchéité, dans des tuyauteries distinctes. Il est alors plus facile de recycler le liquide répandu résiduel dans la section correspondante du processus.

Le rejet de matières organiques dans les différentes fuites est normalement compris entre 2 et 10 kg de DCO/t de pâte. On atteint le chiffre le plus bas en utilisant des volumes "tampon" suffisants et des

procédures de surveillance appropriées. En principe, les fuites devraient pouvoir être ramenées à zéro à condition de faire circuler les eaux propres de refroidissement et d'étanchéité dans des tuyauteries distinctes, de mettre en place des capacités tampon suffisantes et d'assurer une bonne gestion.

L'amélioration des techniques de collecte des fuites non seulement réduit les rejets mais permet la récupération des produits chimiques, des fibres et de l'énergie.

### **Pertes au lavage de la pâte écrue**

L'efficacité du lavage de la pâte dans les usines de pâte se traduit initialement par la possibilité de récupérer le maximum de produits chimiques de cuisson et de substances organiques dissoutes. Le lavage avec pressage comme dernière étape peut réduire la quantité d'eau de 6 à 10 m<sup>3</sup>/t de pâte à 2 à 3 m<sup>3</sup>/t, se traduisant par une augmentation de la quantité de produits chimiques et de polluants finalement brûlés dans la chaudière de récupération. Mais la réduction des polluants dans la pâte est inférieure à ce que la réduction du flux indique. Le lavage n'étant pas efficace à 100 %, il en résulte qu'une certaine quantité de produits chimiques et de polluants est transportée avec la pâte jusqu'au blanchiment, où elle consomme des produits chimiques de blanchiment.

Il existe des méthodes normalisées pour calculer ce transfert, que l'on appelle souvent "perte au lavage", et que l'on mesurait à l'origine en tant que kg de sulfate de sodium par tonne de pâte. Comme cette perte de produit chimique d'appoint a perdu de son importance pour le processus et que la protection de l'environnement en a gagné, la perte au lavage est maintenant habituellement mesurée en termes de DCO. Les pertes de lavage ont actuellement des valeurs types de 5 à 10 kg de DCO/t pour le bois résineux et de 7 à 12 kg de DCO/t pour le bois feuillus.

### **Rejets de l'installation de blanchiment**

Dans une usine de pâte à papier, l'installation de blanchiment constitue le plus important point de rejet de polluants dans l'eau. Si cette installation peut être gérée en circuit fermé ou partiellement fermé, cela permettrait de réduire encore considérablement les rejets dans l'eau de substances organiques et nutritives et de métaux. En général, une installation de blanchiment rejette quelque 20 à 40 m<sup>3</sup> d'eaux usées par tonne de pâte. De nombreuses usines se sont employées à augmenter le degré de fonctionnement en circuit fermé de l'installation de blanchiment en réduisant le volume d'eau. On atteint actuellement un degré partiel de fonctionnement en "circuit fermé" dans des installations du type ECF aussi bien que TCF. La réduction de la charge DCO a été de 25 à 50 % avec une réduction encore plus importante dans le flux, tombant à 5 à 10 m<sup>3</sup>/t de pâte par rapport au chiffre plus normal de 25 m<sup>3</sup>/t de pâte.

Les émissions de l'installation de blanchiment dépendent d'un certain nombre de facteurs : le degré de délignification atteint avant que la pâte n'arrive dans l'installation de blanchiment, la perte au lavage, l'ordre choisi pour les opérations de blanchiment et les produits chimiques utilisés, le type de bois, le degré final de blancheur à atteindre pour la pâte blanchie, et le degré de fonctionnement en circuit fermé de l'installation de blanchiment.

Le tableau 2.4 donne des exemples portant sur l'interaction entre le type de bois, les techniques et le degré de délignification avant l'installation de blanchiment et la DCO générée pendant le blanchiment. Les indices kappa sont basés sur des valeurs courantes en utilisant différentes techniques de délignification. Le calcul de lignine résiduelle en kg DCO/t de pâte est basé sur un rejet d'environ 2 kg DCO par unité kappa et une pâte devant atteindre le degré maximal de blanc. Cela dit, lorsque l'indice kappa est inférieur à 10, le rejet de DCO est plus près de 1,5 kg par unité kappa (OSPAR, 1994).

Méthode de cuisson	Délignification à l'oxygène/ Blanchiment à l'ozone	Pâte de bois de feuillus		Pâte de bois de résineux	
		kappa	DCO [kg/ADT]	kappa	DCO [kg/ADT]
Cuisson conventionnelle	---	18	38	30	63
Cuisson conventionnelle	Délignification à l'oxygène	13	27	15	32
Cuisson modifiée	---	16	34	20	42
Cuisson modifiée	Délignification à l'oxygène	10	15	12	25
Cuisson modifiée prolongée	---	13	26	15	30
Cuisson modifiée prolongée	Délignification à l'oxygène	10	15	10	15
Cuisson conventionnelle	Délignification à l'oxygène + ozone	N.I.	3	N.I.	6
Remarque explicative N.I. = Pas d'information disponible					

**Tableau 2.4 - Rejets prévisibles de lignine résiduelle, exprimés en DCO, des installations de blanchiment pour différentes techniques de délignification. (OSPAR, 1994)**

### Composés organiques chlorés (AOX)

Depuis de nombreuses années, le débat public sur l'industrie papetière s'est polarisé sur les rejets de composés organiques chlorés. Les divergences d'opinions dans le public quant à l'impact des composés chlorés ont contribué à accroître la pression sur les usines de pâte d'Europe occidentale et, ainsi, dans la pratique, un changement dans la politique de marketing des usines a mis un terme à l'utilisation du chlore moléculaire pour le blanchiment de la pâte. Cela s'est traduit dans les faits par la diminution des rejets en dioxines et en furannes, et par la diminution du taux de chlore dans les substances chlorées restantes. Simultanément, les AOX formés ont subi un changement dans leur composition parallèlement à la réduction de leurs rejets par les usines de pâte à papier. Par exemple, les composés phénoliques contenant 3 à 5 atomes de chlore et qui se dégradent le plus lentement, ont considérablement diminué, au-dessous de 1 g/t AdT. Ces dernières années, pour répondre aux demandes du marché, certaines usines ont complètement banni l'utilisation des produits chimiques contenant du chlore en combinant une délignification à l'oxygène avec un stade ozone et/ou un stade peroxyde.

Les tableaux suivants donnent, pour les deux types de pâtes, de résineux et de feuillus, des exemples de différentes séquences de blanchiment utilisées par les usines de pâte européennes et les rejets correspondants de substances organiques chlorées, mesurés en AOX. Ces tableaux indiquent les techniques de délignification, les opérations de blanchiment, les indices kappa, l'emploi de produits chimiques chlorés et les rejets de substances organiques chlorées avant traitement.



Techniques de cuisson	Opérations de blanchiment	kappa	ClO <sub>2</sub> [kg/t]	AOX [kg/t]
Cuisson conventionnelle	D(EOP)DED	30	95	2
Cuisson conventionnelle + Oxy. Delign.	D(EOP)DED	16	60	0.8
Cuisson modifiée +Oxy. Delign.	D(EOP)D(EP)D	10	30	0.3
Cuisson conventionnelle + Oxy. Delign.	ZD	No inf.	10	0.1
. Cuisson modifiée +Oxy. Delign.	ZP	No inf.	0	0
Remarques : "D" signifie Bioxyde de chlore, "E" Extraction, "O" Oxygène, "P" Peroxyde, "Z" Ozone				

**Tableau 2.5 - Exemples de différentes séquences de blanchiment de pâte de résineux utilisées par les usines de pâte en Europe, et rejets correspondants en composés organiques chlorés mesurés en AOX. (OSPAR, 1994)**

Techniques de cuisson	Opérations de blanchiment	kappa	ClO <sub>2</sub> [kg/t]	AOX [kg/t]
Cuisson conventionnelle + Oxy. Delign.	D(EO)DED	13	40	0.5
. Cuisson modifiée +Oxy. Delign.	D(EOP)DED	10	30	0.3
Cuisson modifiée + Oxy. Delign.	ZD	No inf.	5	0.1
Cuisson modifiée +Oxy. Delign.	ZP	No inf.	0	0
Remarques : "D" signifie Bioxyde de chlore, "E" Extraction, "O" Oxygène, "P" Peroxyde, "Z" Ozone				

**Tableau 2.6 - Exemples de différentes séquences de blanchiment de pâte de feuillus utilisées par les usines de pâte en Europe, et rejets correspondants en composés organiques chlorés mesurés en AOX. (OSPAR, 1994).**

Les pâtes écruës avant blanchiment avec un indice kappa faible nécessitent moins de produits chimiques. Par exemple, avec un indice kappa inférieur à 10, la quantité requise de bioxyde de chlore en tant que chlore actif peut être limitée à environ 30 kg/t pour la pâte de résineux, l'équivalent d'environ 6 kg de chlorures. On a 1 kg supplémentaire de chlorures par tonne provenant du bois. La quantité de chlorure résultant des opérations de blanchiment avec du chlore est un sujet de préoccupation parce que l'une des raisons qui a empêché le recyclage des eaux usées du blanchiment dans un circuit fermé est leur teneur en chlorures. Ces chlorures entraînent une corrosion des circuits.

## Récapitulation des rejets avant traitement

### Rejets de substances organiques

Le tableau 2.7 présente la charge totale en DCO dans les effluents rejetés lors des différentes étapes du processus après traitement primaire.

Étape du processus	DCO kg/ADt
Parc à bois	1 - 10
Condensats	2 - 8
Fuites	2 - 10
Perte au lavage	6 - 12
Blanchiment	15 - 65
Total	<b>31 - 105</b>

**Tableau 2.7 - Rejets en DCO des usines de pâte kraft avant traitement externe.**

**La différence entre les pâtes de résineux et de feuillus est minime, le chiffre total est basé sur les données disponibles concernant les moyennes annuelles et sur un échantillonnage continu et proportionnel au débit (OSPAR, 1994), (Rapport finlandais sur les MTD, 1996), (CEPI 1997).**

Actuellement, les rejets totaux les plus faibles après traitement primaire dans les usines de pâte kraft blanchie sont de 25 à 30 kg de DCO/t de pâte pour le bois de résineux. Une usine portugaise de pâte d'eucalyptus (bois de feuillus) a communiqué le chiffre de 17,3 kg de DCO/t de pâte comme moyenne annuelle en 1997 et 21,7 kg de DCO/t de pâte en 1998 après le seul traitement primaire.

### **Rejets de matières nutritives**

Les substances nutritives proviennent du bois lui-même, bien que le traitement biologique des effluents puisse nécessiter l'ajout de substances nutritives si elles sont insuffisantes. Des études portant sur des usines de pâte kraft ont montré que les rejets d'azote proviennent principalement de la partie non blanchie du procédé, alors que les rejets de phosphore proviennent de l'installation de blanchiment.

Les perspectives de réduction des rejets de substances nutritives provenant du processus dépendent essentiellement de la possibilité de pousser plus avant le traitement des condensats et la délignification de la pâte. Les données ci-dessous donnent une indication chiffrée spécifique des rejets de phosphore et d'azote en kg/t de pâte kraft **avant** le traitement.

Processus	Phosphore kg/ADT	Azote kg/ADT
Non blanchi	0.01-0.04	0.2-0.4
Installation de blanchiment	0.04 -0.06	<0.1*
Total	<b>0.05 -0.10</b>	<b>0.2-0.4*</b>
Remarque : * Le recours à des agents de chélation peut augmenter ce chiffre pour l'azote d'environ 0,1 à 0,2 kg/t. Certaines usines ajoutent les chélates (également) dans la partie en circuit fermé du processus. Dans ce cas, les agents complexants aboutissent finalement dans la chaudière de récupération, c'est-à-dire qu'ils sont incinérés.		

**Tableau 2.8 - Rejets du phosphore et de l'azote en kg/t de pâte kraft (OSPAR, 1994).**

### Rejets en métaux

Le bois utilisé contient des métaux qui sont rejetés avec l'effluent liquide. Comme cela est le cas pour le phosphore, on peut probablement envisager une réduction des rejets de métaux en augmentant la fermeture des circuits. Ce traitement externe pour réduire la quantité de métaux étant très limité.

	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
Pâte non blanchie (écru)	0.03	0.3	0.5	0.2	0.4	5
Pâte blanchie	0.1	0.4	1	0.7	0.9	15

**Tableau 2.9 - Rejets de métaux des fabriques de pâte kraft en g/Adt (OSPAR, 1994)**

### Aperçu récapitulatif des rejets après traitement externe des effluents

Actuellement, les usines possèdent un traitement primaire physico-chimique et le plus souvent un traitement biologique secondaire des effluents. Les chiffres ci-dessous illustrent les variations du résultat global du traitement des effluents. Les usines les plus récentes montrent des taux de réduction qui les situent dans la partie supérieure des plages indiquées.

Taux de réduction de	DBO <sub>5</sub> [%]	DCO [%]	AOX [%]	P [%]	N [%]
Lagune aérée	40 - 85	30 - 60	20 - 45	0 - 15	0
Boues activées	85 - 98	40 - 70	40 - 65	40 - 85	20 - 50

**Tableau 2.10 - Pourcentage de réduction au niveau des installations de traitement des effluents d'une usine de pâte chimique. (OSPAR, 1994), (Rapport finlandais sur les MTD, 1996)**

Il existe des solutions de remplacement au traitement par boues activées, plus compactes et moins onéreuses. On ne dispose sur ces installations que de données limitées, mais elles sont réputées atteindre les mêmes niveaux de réduction que les boues activées classiques.

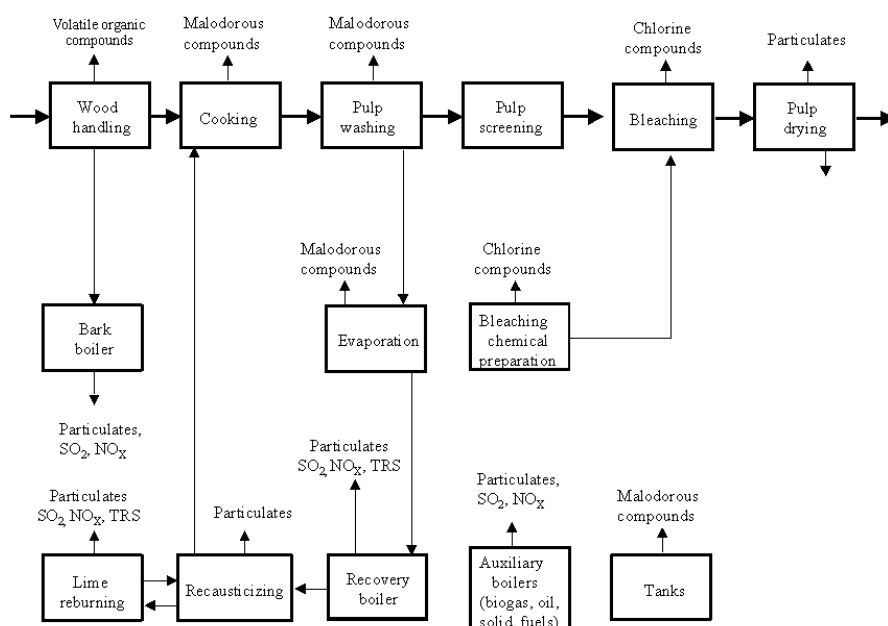
Le tableau 2.11 contient des données relatives aux rejets actuels dans l'eau en tant que charges calculées d'après les données fournies par des usines de pâtes kraft au sein de l'UE.

	Flow [m <sup>3</sup> /t]	DBO <sub>5</sub> [kg/t]	DCO [kg/t]	AOX [kg/t]	MES [kg/t]	Tot-N [kg/t]	Tot-P [g/t]
Pâte non blanchie	20 - 80	1 - 20	7 - 50	---	0.2 - 15	0.1 - 1	3 - 40
Pâte blanchie	30 - 110 <sup>1)</sup>	0.2 - 40	4 - 90 <sup>2)</sup>	0 - 2	0.2 - 10	0.1 - 0.8	5 - 90
Remarques explicatives :							
1) Les chiffres supérieurs à 50 m <sup>3</sup> /t sont habituellement dus au fait que l'eau de refroidissement est incluse.							
2) Une installation nouvelle dont les activités ont démarré en 1996 indique une moyenne annuelle de 4 kg DCO/t pour 1998.							

**Tableau 2.11 - Rejets annuels moyens communiqués par des usines de pâte kraft au sein de l'UE. (Rapport finlandais sur les MTD, 1996), (Rapport SEPA 4869), (Fédération finlandaise des industries forestières, 98), (CEPI 97). Les chiffres ont été obtenus à partir des différentes méthodes d'analyse qui sont décrites dans l'annexe III. Toutes ces méthodes sont considérées comme donnant des résultats équivalents. Les échantillons d'eau analysés ont été homogénéisés et n'ont subi ni filtration ni décantation. Les chiffres indiqués sont des moyennes sur une longue durée, habituellement des valeurs annuelles.**

### 2.2.2.3 Émissions dans l'atmosphère

La figure 2.6 donne un aperçu des émissions dans l'atmosphère provenant d'une usine de pâte kraft.



**Figure 2.6 - Aperçu des émissions dans l'atmosphère provenant d'une usine de pâte kraft**

Les émissions dans l'atmosphère provenant d'une usine de pâte kraft viennent du stockage des copeaux, des lessiveurs, du lavage de la pâte, de l'installation de blanchiment, de la préparation des produits chimiques pour le blanchiment, de la récupération des produits chimiques, de l'évaporation, de la chaudière à écorce, de la chaudière de récupération, de la préparation de la liqueur blanche, du four à chaux, des différents bacs et du séchage de la pâte (uniquement pour la pâte marchande). Elles consistent essentiellement en composés contenant du soufre tel que le dioxyde de soufre et des

composés de soufre réduits malodorants, tels que le méthylmercaptan, le diméthyle sulfure et le sulfure d'hydrogène. Ces derniers composés sont généralement mentionnés sous l'appellation de soufre total réduit (SRT). Les installations de combustion émettent également des oxydes d'azote et en outre de petites quantités de poussières (matières particulaires solides) quelquefois sous forme de cendres volantes. Au niveau des installations de blanchiment et de la préparation des produits chimiques pour le blanchiment, on peut observer des fuites de composés de chlore dans l'atmosphère. Les composés organiques volatiles (COV), principalement des térébenthines, sont des émissions dans l'atmosphère provenant des tas de copeaux de bois stockés en plein air. Les émissions de COV en provenance des tas de copeaux dépendent entre autres de la durée de stockage des copeaux, de la température et de la variété de bois. On trouvera ci-après une description plus détaillée des principales sources d'émissions dans l'atmosphère.

#### **2.2.2.3.1 Émissions dans l'atmosphère provenant de la chaudière de récupération**

Dans une usine de pâte kraft, la chaudière de récupération est l'une des principales sources d'émissions dans l'atmosphère. Ces émissions sont représentées essentiellement par du bioxyde de soufre. On observe en plus des émissions de poussières (principalement du sulfate de sodium et du carbonate de sodium), des oxydes d'azote et des composants malodorants (sulfure d'hydrogène).

La chaudière de récupération est alimentée par la liqueur noire concentrée. Un tiers environ des matières sèches de la liqueur noire sont des matières minérales, les deux autres tiers étant des matières organiques dissoutes. Après évaporation, la liqueur noire a une teneur d'environ 65 % en solides secs. Le but de l'évaporation est d'obtenir une teneur élevée en solides secs (SS) dans la liqueur noire alimentant la chaudière de récupération afin de produire plus de vapeur. Il est possible d'atteindre une teneur en solides secs de 75 à 80 % et plus. Les émissions en  $\text{SO}_2$  de la chaudière seront réduites d'environ 80 % lorsque la teneur en SS augmente, passant de 65/67 % à 74/76 % grâce à une température plus élevée et à de meilleures conditions de combustion. Il existe toutefois quelques exemples pour lesquels les émissions de soufre n'ont pas été réduites en passant à 72 - 73 % de SS. Une température plus élevée peut entraîner une augmentation des émissions de  $\text{NO}_x$ . La chaudière de récupération est équipée d'un électrofiltre qui sert à éliminer les poussières (en majorité du  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) contenues dans les gaz de combustion. Les poussières de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sont ensuite mélangées à la liqueur noire et récupérées. En outre, les chaudières de récupération sont quelquefois équipées d'un lavage de gaz de manière à réduire l'émission de  $\text{SO}_2$ .

Le tableau 2.12 indique les chiffres types des émissions dans l'atmosphère provenant des chaudières de récupération. Le débit du gaz est normalement de 6 000 à 9 000  $\text{Nm}_3/\text{t}$  de pâte, tandis que la production de vapeur de process est comprise entre 13 et 18  $\text{GJ}/\text{t}$  de pâte. Compte tenu du rendement plus faible dans le cas de pâte de résineux, ce chiffre est plus élevé pour les résineux que pour les feuillus. Par ailleurs, les procédés faisant le plus appel au principe du circuit fermé voient aussi leur production d'énergie augmenter en conséquence.

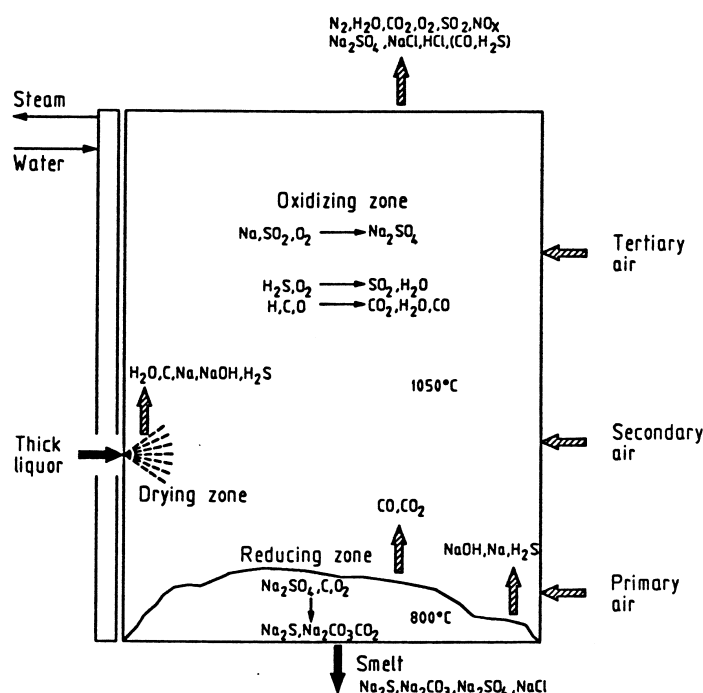
<b>Bioxyde de soufre</b> sans lavage de gaz et 63 à 65 % de SS dans la liqueur noire	100-800	mg/m <sup>3</sup> n
	60-250	mg/MJ
	1-4	kg/ADt
avec lavage de gaz et 63 à 65 % de SS dans la liqueur noire	20-80	mg/m <sup>3</sup> n
	10-25	mg/MJ
	0.1-0.4	kg/ADt
sans épurateur et 72 à 80 % de SS dans la liqueur noire	10-100	mg/m <sup>3</sup> n
	12-30	mg/MJ
	0.2-0.5	kg/ADt
Sulfure d'hydrogène <sup>1)</sup> plus de 90 % du temps (90 centiles)  temporairement	< 10	mg/m <sup>3</sup> n
	< 0.05	kg/ADt
	plus élevé	
Oxydes d'azote (sous forme de NO <sub>2</sub> )	100-260	mg/m <sup>3</sup> n
	50-80	mg/MJ
	0.6-1.8	kg/ADt
Matières particulaires en aval de l'électrofiltre	10-200	mg/m <sup>3</sup> n
	0.1-1.8	kg/ADt
Notes : 1) Niveau correspondant à la limitation des émissions en vigueur en Suède.		

**Tableau 2.12 - Émissions au niveau des chaudières de récupération dans les usines de pâte kraft avec un débit de gaz d'environ 6 000 à 9 000 m<sup>3</sup>/t (principalement extrait du rapport SEPA 4008, 1992).**

Les paramètres de fonctionnement qui influent sur les émissions provenant de la chaudière de récupération sont nombreux et les phénomènes complexes.

La figure 2.7 ci-après illustre quelques-unes des principales réactions qui se produisent dans une chaudière de récupération et leur localisation. Une chaudière classique comprend une zone d'oxydation dans la partie supérieure et une zone de réduction dans la partie inférieure. La liqueur noire est injectée dans la zone de réduction par plusieurs buses. L'air comburant arrive principalement à trois niveaux différents, sous forme d'air primaire, secondaire et tertiaire (de bas en haut).

Il se forme un sel fondu, consistant principalement en sulfure de sodium (Na<sub>2</sub>S) et carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), dans le bas du four sur la sole. Lorsque le soufre est réduit en sulfure, on observe aussi la formation d'un peu de sulfure d'hydrogène dont de faibles quantités peuvent s'échapper avec les fumées si l'apport d'air est insuffisant ou si le mélange de l'air dans le four est incomplet. D'importantes émissions momentanées de sulfure d'hydrogène peuvent provenir suite à la chute, dans le salin, de dépôts sur les parois du four. Dans la zone d'oxydation, le soufre est oxydé en dioxyde de soufre et le sodium de la phase gazeuse réagit avec ce dioxyde de soufre pour donner du sulfate de sodium. Une augmentation de la teneur en solides secs entraîne une hausse de la température dans le four et, par conséquent, une diminution des émissions de sulfure d'hydrogène et une augmentation de celles de sodium. Cette augmentation de l'émission de sodium signifie qu'une plus grande quantité de soufre est liée sous forme de sulfate de sodium avec pour conséquence une diminution de l'émission de dioxyde de soufre.



**Figure 2.7 - Réactions chimiques dans une chaudière de récupération. (Rapport SEPA 4008, 1992)**

En général, les rejets en  $\text{SO}_2$  provenant de la chaudière de récupération sont fonction de :

- la température dans les différentes zones, elle-même influencée par la valeur calorifique et la teneur en solides secs de la liqueur noire et la quantité d'air comburant
- le rapport soufre-sodium ( $\text{S}/\text{Na}_2$ ) de la liqueur (sulfidité). Un rapport  $\text{S}/\text{Na}_2$  élevé signifie que le dégagement de sodium dans le four par rapport à la quantité de soufre est insuffisant pour lier le soufre et que, par conséquent, une partie importante du soufre s'échappe du four sous forme de dioxyde de soufre au lieu de sulfate de sodium. Une teneur élevée en solides secs de la liqueur noire peut compenser cet effet.
- l'alimentation (quantité d'air en excès et température de l'air primaire) et la distribution de l'air comburant
- la distribution de la liqueur noire
- la charge, car faire fonctionner une chaudière de récupération en surcharge a une incidence défavorable sur les caractéristiques des émissions, notamment sur la quantité de sulfure d'hydrogène produit.

Remarque générale : même si l'on peut fournir des indications générales sur les niveaux d'émissions, chaque chaudière de récupération est unique et il convient d'étudier avec soin ses conditions optimales de fonctionnement.

Pour réduire les émissions de  $\text{SO}_2$  provenant de la chaudière, celle-ci est souvent équipée d'un lavage de gaz fonctionnant avec un pH de 6 à 7. Ce pH est contrôlé par addition d'hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ ), de liqueur faible ou de liqueur blanche oxydée. Un pH supérieur entraînerait la suppression du sulfure d'hydrogène mais l'absorption du dioxyde de carbone, qui neutraliserait rapidement l'alcali. L'effluent de lavage en excédent est recyclé dans le processus, normalement au niveau de la préparation de la liqueur blanche.

La formation de  $\text{NO}_x$  dans une chaudière de récupération est influencée principalement par la teneur en azote de la liqueur noire et l'excédent de  $\text{O}_2$  pendant la combustion. La formation de  $\text{NO}_x$  par MJ en entrée est généralement faible en raison de la concentration relativement faible en oxygène requise pour obtenir une récupération efficace des produits chimiques et l'émission de  $\text{NO}_x$  oscille généralement entre 1 et 2 kg/t de pâte.

Une augmentation de l'excédent de  $\text{O}_2$  de 1,5 à 2,5 % peut entraîner une hausse de  $\text{NO}_x$  d'environ 20 % et une augmentation de la teneur en SS de 65 à 75 % peut entraîner une augmentation de  $\text{NO}_x$  pouvant atteindre 20 %. La teneur en azote est plus élevée dans les liqueurs noires de feuillus que dans celles de résineux, ce qui peut également entraîner une augmentation d'environ 10 % du  $\text{NO}_x$ .

Il est généralement possible de réduire le  $\text{NO}_x$  en modifiant le circuit d'alimentation en air et en optimisant les conditions de la combustion. Les émissions sont généralement comprises entre 50 et 80 mg/MJ mais les nouvelles chaudières de récupération peuvent atteindre des niveaux de l'ordre de 40 mg/MJ, soit bien inférieurs à 1 kg  $\text{NO}_x$ /t (exemple de l'usine de Mönsterås en Suède).

#### **2.2.2.3.2 Émissions dans l'atmosphère provenant du four à chaux**

Lors du processus de recalcination de la chaux, le carbonate de calcium (voir fig. 2.3.) est reconverti par action thermique en oxyde de calcium conformément à l'équation :  $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ . Cette réaction a lieu dans un four rotatif dans lequel la boue de chaux humide est séchée, chauffée à la température de réaction, calcinée et de nouveau refroidie. La réaction de calcination démarre à 800 °C et pour s'achever, elle requiert des températures jusqu'à 1 000/1100 °C à l'extrémité chaude du four. Le refroidissement se fait sous l'action de l'air dans des échangeurs de chaleur. Le débit du gaz dans un four à chaux est d'environ 1 000 Nm<sup>3</sup>/t de pâte et l'énergie consommée d'environ 1,5 à 1,8 GJ/t de pâte.

Les principales émissions dans l'air du four à chaux sont le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés de soufre réduit (SRT) et les matières particulaires. Les émissions types dans l'atmosphère d'un four à chaux sont indiquées dans le tableau 2.13.



<b>Dioxyde de soufre</b> brûleur à fioul (sans traitement des incondensables dans le four à chaux)	5-30	mg/m <sup>3</sup> n
	2.5-16	mg/MJ
	0.003-0.002	kg/ADt
	150-900	mg/m <sup>3</sup> n
	80-740	mg/MJ
	0.1-0.6	kg/ADt
<b>Sulfure d'hydrogène</b> Normalement	< 50	mg/m <sup>3</sup> n
	< 0.03	kg/ADt
	temporairement plus élevé	
<b>Oxydes d'azote (sous forme de NO<sub>2</sub>)</b> brûleur à fioul	240-380	mg/m <sup>3</sup> n
	130-200	mg/MJ
	0.2-0.3	kg/ADt
	380-600	mg/m <sup>3</sup> n
	200-320	mg/MJ
	0.3-0.4	kg/ADt
<b>Matières particulaires</b> après électrofiltre	20-150	mg/m <sup>3</sup> n
	0.01-0.1	kg/ADt
	200-600	mg/m <sup>3</sup> n
	0.1-0.4	kg/ADt

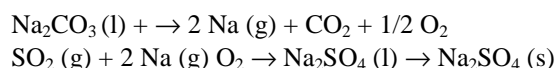
**Tableau 2.13 - Émissions types dans l'atmosphère d'un four à chaux.**  
(Rapport SEPA, 4008 1992).

**Les valeurs plus élevées de SO<sub>2</sub> observées avec combustion et traitement des incondensables sont dues au fait que la capacité du four à chaux à piéger le soufre est souvent insuffisante si tous les incondensables (contenant du SRT) sont traités dans le four à chaux.**

Les émissions provenant du four à chaux dans une usine de pâte à papier dépendent principalement du temps de séjour, de la surface de contact avec les gaz, du type de combustible et de la température.

### Émissions de SO<sub>2</sub>

Les émissions de soufre en provenance du four à chaux sont dues au soufre contenu dans le combustible et les gaz malodorants qui sont éventuellement brûlés. Le soufre contenu dans les boues de caustification est secondaire sous cet angle. Une quantité réduite de soufre peut être absorbée dans le four à chaux par le Na gazeux formant du sulfate de sodium conformément aux équations de réaction.



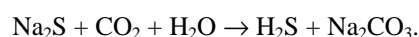
Le principal composé absorbant le soufre est ainsi le carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dans les boues de chaux. Une fois sa capacité épuisée, il y a dégagement de SO<sub>2</sub>. Cet effet est accentué lorsque des gaz non condensables malodorants sont incinérés dans le four à chaux. Il s'ensuit que les émissions de SO<sub>2</sub> sont habituellement clairement fonction de la quantité d'incondensables qui y sont incinérés.

Pour minimiser la formation de  $\text{SO}_2$ , on peut soit réduire la teneur en soufre du combustible soit, dans le cas où des incondensables sont brûlés dans le four à chaux, éliminer les composés soufrés de ces gaz avant de les brûler dans le four à chaux. Un petit laveur interne avec de la soude  $\text{NaOH}$  sur les incondensables éliminera presque complètement  $\text{H}_2\text{S}$ , en réduisant le méthylsulfure d'environ 50 à 70 %, et le méthylmercaptan de moins de 20 %. Les émissions totales en S des fours à chaux vont de dix à plusieurs centaines de  $\text{mg/m}^3$  si l'on brûle des incondensables, et de 10 à 30 dans le cas contraire.

### Émissions de soufre réduit total (SRT)

Les émissions de SRT provenant d'un four à chaux consistent essentiellement en hydrogènesulfure. Les concentrations de  $\text{H}_2\text{S}$  observées sont normalement inférieures à  $50 \text{ mg/m}^3$  (90 centiles), ce qui donne une émission totale  $< 0,03 \text{ kg/t}$ .

La formation de  $\text{H}_2\text{S}$  dans le four à chaux dépend des niveaux d'oxygène et de la quantité de sulfure de sodium contenue dans la boue de chaux brûlée dans le four. La présence d'une quantité suffisante d'air en excès peut être assurée par un système de contrôle de l'oxygène résiduel. La teneur en sulfure de sodium peut être contrôlée par un lavage et une filtration correctement conduits de la boue de chaux pour éviter que le sulfure de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) ne pénètre dans le four à chaux. En effet,  $\text{Na}_2\text{S}$  en présence de  $\text{CO}_2$  et d'eau forme du  $\text{H}_2\text{S}$  conformément à l'équation



Lors de la filtration des boues, une petite quantité d'air est aspirée à travers le gâteau de boue de chaux, et le  $\text{Na}_2\text{S}$  qui reste sur les particules de boue est alors oxydé pour donner du thiosulfate de sodium qui ne provoque aucune formation de  $\text{H}_2\text{S}$  dans le four. Si l'on rencontre des problèmes de  $\text{H}_2\text{S}$ , il faut le plus souvent en rechercher la raison dans la mauvaise qualité de la boue de chaux en terme de teneur en solides secs (normalement plus de 80 %) et de pureté (il faut une faible concentration d'alcali libre). Les choix techniques consistent à améliorer la clarification de la liqueur verte et le lavage de la boue de chaux, ou à remplacer une partie de la boue par un nouvel apport de chaux.

### Matières particulaires

Les matières particulaires sont constituées par des poussières de chaux et le sodium qui se forment par condensation à partir de la phase vapeur. Les émissions peuvent être contrôlées par la conception et une bonne conduite du four, et par l'addition d'un électrofiltre ou d'un scrubber. Un électrofiltre est en mesure de ramener la concentration en matières particulaires à environ  $20$  à  $100 \text{ mg/m}^3$  et un scrubber à environ  $200$  à  $600 \text{ mg/m}^3$ .

### Oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ )

Les émissions de  $\text{NO}_x$  sont principalement liées à la conception du brûleur et pour un brûleur donné, à la teneur en azote du combustible et à la température de combustion. Une augmentation des émissions peut résulter de l'utilisation d'un combustible avec une teneur élevée en azote. L'incinération d'incondensables tout comme l'utilisation de biogaz et de méthanol comme combustibles accroissent la formation de  $\text{NO}_x$ .

Les concentrations de  $\text{NO}_x$  vont d'environ  $100 \text{ mg/m}^3$  lorsqu'on utilise uniquement du tall oil, jusqu'à  $900 \text{ mg/m}^3$  environ avec des NCG et du méthanol, associés à de la poudre d'écorce, des gaz de pyrolyse ou du fioul.

### 2.2.2.3.3 Émissions dans l'atmosphère provenant des chaudières auxiliaires

#### Chaudières à écorce

L'écorce est combustible à une siccité de 20 % environ. Avant d'être incinérés, les déchets de bois et les écorces sont envoyés dans un déchiqueteur avant d'être pressés jusqu'à une siccité de 38 à 45 %. La consommation d'énergie d'une presse est d'environ 5 kWh/t d'écorce présentant une siccité initiale de 35 % environ et l'augmentation de la génération de chaleur est d'environ 2 GJ/t<sub>45 %</sub> lorsque la siccité augmente de 35 à 45 % environ. Avec un taux de siccité de 45 %, l'écorce représente une valeur calorifique de 7 à 8 GJ/t et on peut l'utiliser comme source d'énergie ou la vendre en tant que sous-produit, par exemple sous la forme de pellets. Dans l'installation, on s'en sert normalement dans une chaudière auxiliaire. S'il est prévu de l'utiliser comme combustible dans le processus ou de la vendre sous forme de pellets, il faut commencer par l'amener à un degré de siccité de 90 % environ. On peut alors, après gazéification ou pulvérisation, l'utiliser par exemple dans le four à chaux.

Dans les usines de pâte à papier, l'écorce est utilisée pour produire de l'énergie. Comme elle ne contient que de faibles quantités de soufre, on n'observera que de faibles émissions de dioxyde de soufre, selon que l'on ajoute ou non d'autres combustibles contenant du soufre. En effet, lorsqu'on brûle l'écorce avec des combustibles qui contiennent du soufre (combustibles fossiles par exemple), la cendre alcaline de l'écorce lie une partie du soufre, dont les émissions sont ainsi réduites.

Dans les chaudières à écorce, en raison de la basse température de combustion, les émissions d'oxydes d'azote seront également inférieures à celles observées lorsqu'on brûle d'autres types de combustibles. Ces émissions sont normalement de 70 à 100 mg/MJ si l'on ne brûle que de l'écorce, mais lorsqu'on utilise du fioul dans la chaudière, elles peuvent atteindre quelque 100 à 150 mg/MJ. Une trop grande quantité d'oxygène augmente la formation de NO<sub>x</sub>, mais des taux inférieurs d'oxygène en excès entraînent une augmentation de CO et de COV. La réduction totale de NO<sub>x</sub> que l'on peut atteindre dans une chaudière à écorce est d'environ 30 à 50 % par le biais de modifications dans les techniques de combustion et/ou la mise en place d'un processus SNCR (Réduction non catalytique sélective). On trouve des exemples de mise en œuvre du procédé SNCR dans des chaudières à écorce de certaines usines suédoises (Nymölla, Husum).

Etant donné une production de chaleur à partir d'écorce d'environ 7 GJ/t d'écorce, la plage des émissions de NO<sub>x</sub> sera comprise entre 0,3 et 0,7 kg/t d'écorce. Le chiffre le plus bas correspond à des conditions de combustion optimisées et/ou à l'utilisation de la SNCR, dans laquelle on se sert d'urée pour réduire le NO en azote, et produire bioxyde de carbone et eau. Les émissions de NO<sub>x</sub> seront alors de l'ordre de 40 à 60 mg/MJ soit 100 à 200 mg/Nm<sup>3</sup>.

Les émissions de poussière sont normalement ramenées à environ 20 à 40 mg/m<sup>3</sup> (gaz sec et à 11 % de O<sub>2</sub>) lorsqu'on utilise des électrofiltres, et à environ 200 mg/m<sup>3</sup> avec des cyclones. Les émissions de soufre gazeux sont faibles lorsqu'on brûle de l'écorce (de l'ordre de 5 à 20 mg/MJ). Certains chiffres communiqués sur les émissions de soufre provenant des chaudières à écorce dans des usines suédoises concernent Stora Fors 7, Mörrum 19, Norrsundet 20, Ortvisen 15, Skoghall 13, Dynäs 10 mg S/MJ d'apport de combustible. Une partie du soufre (S) de l'écorce est probablement retenue dans les cendres.

Unité	S	NO <sub>x</sub>	Matières particulaires
kg/t	0.04-0.1 kg/t	0.3 - 0.7 kg/t	0.1 - 1 kg/t
mg/MJ	5 - 15 mg/MJ	40 - 100 mg/MJ	20 - 200 mg/m <sup>3</sup>

**Tableau 2.14 - Émissions dans l'atmosphère en provenance de chaudières à écorce.**

Les données sont indiquées respectivement en kg/t d'écorce et en mg/MJ. Les chiffres courants du débit de gaz sont de l'ordre de 1 600 à 1 700 m<sup>3</sup>/t de pâte.

### Autres chaudières produisant de la vapeur

Dans les usines intégrées de pâte et de papier, l'excédent de chaleur produit par l'usine de pâte à papier n'est pas suffisant pour couvrir la consommation d'énergie de la production de papier. La demande supplémentaire de chaleur doit être couverte par la production de chaudières auxiliaires. Du combustible fossile est utilisé en tant que combustible d'appoint dans les chaudières à écorce et à déchets, et également comme combustible principal dans les chaudières auxiliaires. Les combustibles utilisés dans ces chaudières sont le bois, le fioul, le gaz naturel, la tourbe, les déchets de bois et les boues provenant du traitement des effluents. Les émissions provenant de la production d'énergie sont fonction du combustible, du mélange de combustible et de la teneur en impuretés. Par exemple le fioul et le charbon contiennent du soufre, mais pas le gaz naturel. La plupart des chaudières à combustibles solides sont du type à lit fluidisé bouillonnant ou à lit fluidisé circulant, notamment lorsqu'il s'agit d'incinérer des combustibles en mélanges avec des propriétés différentes. Ces chaudières offrent la possibilité d'utiliser un plus large éventail de combustibles et de produire moins d'émissions que les chaudières à grille. Le rendement de la combustion est dû au mélange efficace de matières et au transfert de chaleur entre les matières solides et le gaz de fumées. Les émissions de NO<sub>x</sub> sont relativement faibles en raison de la température peu élevée de la combustion (800 à 950 °C). Si le combustible contient du soufre, on peut empêcher les émissions de ce dernier en ajoutant de la chaux. A des températures inférieures à 900 °C, le soufre réagit avec la chaux ou le calcium de l'écorce et les émissions de dioxyde de soufre sont considérablement réduites.

Type de combustible	mg NO <sub>x</sub> /MJ	mg S/MJ	Poussières [mg/m <sup>3</sup> ]
fioul	60 - 150	25 - 100 <sup>1)</sup>	20 - 200
Pas de données pour les autres combustibles			
Remarques :			
1) teneur en soufre du fioul : 0,1 à 0,4 %			

**Tableau 2.15 - Exemples d'émissions couramment observées provenant de différents types de chaudières auxiliaires.**

**(Rapport SEPA 4008, 1992), (rapports annuels d'usines suédoises à la SEPA).**

#### 2.2.2.3.4 Gaz malodorants

Dans la fabrication de la pâte à papier, les gaz malodorants sont le H<sub>2</sub>S, le méthylmercaptan, le diméthylsulfure, et le diméthylbisulfure. Quelquefois, les gaz malodorants reçoivent l'appellation de Soufre Réduit Total - SRT. Les gaz malodorants sont généralement répartis en gaz forts (concentrés) ou faibles (dilués). Pour ces derniers, il s'agit normalement d'une concentration < 0,5 g de S/m<sup>3</sup>, alors que les gaz plus concentrés ou forts dépassent normalement 5 g/m<sup>3</sup>.

Les gaz concentrés proviennent du lessiveur, des évaporateurs et du stripping des condensats. Au total, ils représentent quelque 25 m<sup>3</sup>/t de pâte. Les gaz non condensables de l'installation de cuisson et les gaz du stripping à l'évaporation contiennent habituellement 1 à 2,5 kg de S/Adt (Rapport finlandais sur les MTD, 1997) et sont normalement plus élevés pour les pâtes de feuillus que pour les pâtes de résineux en raison de la différence de structure de la lignine.

Les gaz concentrés sont recueillis et brûlés soit dans le four à chaux, la chaudière de récupération ou une chaudière séparée. Si l'on utilise un dispositif particulier d'incinération, on lui adjoint en général un scrubber pour limiter l'émission de SO<sub>2</sub>.

On peut utiliser l'énergie calorifique, mais la formation de NO<sub>x</sub> est élevée, jusqu'à 1 g/MJ de combustible. Il est possible de réduire ce niveau d'environ 70 % en optimisant les conditions de combustion.

L'incinération des gaz malodorants dans le four à chaux présente l'avantage d'éviter une installation supplémentaire. En outre, le soufre contenu dans le gaz peut être absorbé, ce qui réduit l'émission de

dioxyde de soufre. Mais, comme nous l'avons déjà dit plus haut, la teneur en soufre des gaz malodorants peut entraîner une surcharge de la capacité d'absorption du four à chaux.

En moyenne, 15 % du combustible utilisé dans un four à chaux peuvent être remplacés par un gaz malodorant. Cependant, compte tenu de la variation de la quantité d'énergie du gaz, il sera peut-être difficile de produire une chaux d'une bonne qualité uniforme. En séparant le méthanol des autres gaz, on pourra minimiser le problème de la variation de qualité des gaz. Ce méthanol pourra alors être amené en phase liquide au four à chaux ou à une installation d'incinération spécifique.

Les gaz dilués proviennent par exemple du pré-étuvage des copeaux, de l'épuration, du lavage de la pâte, du dissolvant, et de la ventilation des différents bacs contenant la liqueur noire etc. Ils représentent au total quelque 2 000 à 3 000 m<sup>3</sup>/t de pâte soit 0,2 à 0,5 kg de S/Adt (Rapport finlandais sur les MTD, 1997).

Dans certaines usines, les gaz dilués sont recueillis et brûlés dans la chaudière de récupération, dans le four à chaux ou lavés. Cette dernière opération est efficace avant tout sur le H<sub>2</sub>S. La combustion des gaz faibles dans la chaudière de récupération peut influencer sur son fonctionnement et impliquer des modifications à apporter à cette dernière. Dans certaines usines, les gaz malodorants tant faibles que forts sont brûlés dans la chaudière de récupération. On ne dispose toutefois que de renseignements limités à ce sujet.

Lors de la cuisson et de l'évaporation, une partie des composés malodorants sont transférés dans les condensats. En plus des composés soufrés réduits, ces condensats contiennent du méthanol et d'autres composés consommant de l'oxygène (charge en DBO). Les condensats contaminés sont recueillis et traités séparément comme cela a été décrit ci-dessus (cf Rejets d'effluents liquides des différentes étapes du processus).

#### **2.2.2.3.5 Composés chlorés provenant du blanchiment et de la préparation des produits chimiques pour le blanchiment**

Dans les usines de pâte blanchie qui utilisent du bioxyde de chlore comme produit chimique pour le blanchiment, on observe un dégagement dans l'atmosphère de composés chlorés provenant de l'installation de blanchiment et de la production de ClO<sub>2</sub>. Le tableau 2.16 donne quelques exemples de valeurs mesurées en les comparant avec des valeurs fixées pour des conditions normales prévues dans les permis d'émission en Suède.

Nom de l'usine (année de référence)	Conditions de l'autorisation (kg de chlore actif/t de pâte blanchie)	Valeurs mesurées (kg de chlore actif/t de pâte blanchie)
Husum (1995,96)	0.2 annuellement	0,0 à 0,04 kg de Cl <sub>2</sub> et ClO <sub>2</sub> en tant que Cl/t de pâte; saisie mensuelle (un 0,4)
Skärblacka (1996)	0.3 mensuellement	0.08 Moyenne annuelle
Mönsterås (1997)	0.05 annuellement	0 (TCF)
Gruvön (1997)	0.2 mensuellement	0.02 Moyenne sur une semaine
Skoghall (1997)	0.2 mensuellement	0.05 Moyenne sur une semaine
Skutskär (1997)		0.0004 Installation de blanchiment 0.006 Production de ClO <sub>2</sub>

**Tableau 2.16 - Exemples de valeurs mesurées d'émissions de chlore dans l'atmosphère provenant de l'installation de blanchiment et de la production de ClO<sub>2</sub> de quelques usines suédoises de pâte à papier.**

**Données extraites des rapports annuels obligatoires des usines et des permis. Les chiffres couvrent toutes les émissions de l'installation, normalement mesurées provenant de l'installation de blanchiment et de la production de bioxyde de chlore après les scrubbers.**

#### **Résumé des émissions dans l'atmosphère après traitement extérieur**

Les données disponibles relatives aux émissions annuelles en kg/t de pâte kraft sont récapitulées dans le tableau 2.17 ci-dessous. Pour faciliter la comparaison, toutes les émissions de composés soufrés gazeux y compris le SO<sub>2</sub> sont données en S. Les données sur les émissions pour la chaudière de récupération sont normalement basées sur une surveillance continue, alors que les autres sources font l'objet d'une surveillance moins fréquente. Il convient toutefois de souligner que toutes les usines ne communiquent pas les émissions diffuses et que les méthodes de calcul et la présentation des rapports sur les émissions totales varient selon les usines et entre les États membres.

Source d'émission	S gazeux total [kg/t ADt]	NO <sub>x</sub> [kg/t ADt]	Matières particulaire s [kg/t ADt]
Chaudière de récupération	0.01 - 2	0.8 - 1.8	0.2 - 1.8
Four à chaux	<0.01 - 0.7	0.02 - 0.6	0.02 - 0.9
Chaudière à écorce	0.02 - 0.06 <sup>1)</sup>	0.03 - 0.2	0.03 - 0.3 <sup>1)</sup>
Gaz malodorants	0.01 - 2 <sup>2)</sup>		---
Total des émissions des usines	<b>0.04 - 4</b>	<b>0.85 - 2.6</b>	<b>0.25 - 3</b>
Notes explicatives : 1) Pour la chaudière à écorce, chiffre estimatif. Il n'est pas tenu compte d'une éventuelle utilisation de combustible fossile dans la chaudière à écorce. 2) Les gaz concentrés sont brûlés dans le four à chaux.			

**Tableau 2.17 - Emissions moyennes dans l'air sur une longue durée (annuelle), provenant des usines de pâte kraft à l'intérieur de l'UE.**

Les chiffres sont basés sur les différentes méthodes analytiques qui sont étudiées dans l'Annexe III ou sur des méthodes donnant des résultats équivalents. NO<sub>x</sub> est la somme des émissions de NO et de NO<sub>2</sub> calculée en tant que NO<sub>2</sub> (Rapport SEPA 4869), (Fédération finlandaise des industries forestières, 1998), (Rapport finlandais sur les MTD, 1996), (données provenant de contacts personnels avec les usines).

Les émissions de Composés Organiques Volatiles (COV) du processus, communiquées sont de l'ordre de 0,4 kg/t de pâte kraft pour les résineux et inférieures à 0,1 kg/t de pâte kraft pour les feuillus. Comme il a déjà été dit, on observe aussi quelques émissions de COV provenant des tas de copeaux. A titre d'exemple, ces émissions de COV provenant des copeaux sont d'environ 0,2 à 0,3 kg/m<sup>3</sup> de bois pour la fabrication de pâte kraft.

#### **2.2.2.4 Production de déchets solides**

La production de pâte kraft génère diverses fractions de déchets solides : boues minérales (« dregs » et boue de chaux) provenant de la régénération des produits chimiques; écorces et résidus de bois provenant de la manutention du bois; boues du traitement des effluents (matières inorganiques, fibres et boue biologique); poussière des chaudières et des fours; rejets (essentiellement du sable) provenant de la manutention du bois; cendres et diverses matières (par ex. matériaux de construction). De nombreuses substances organiques que l'on pourrait considérer comme des déchets sont brûlées en vue de la récupération de l'énergie. On y inclut normalement l'écorce et les résidus de bois et éventuellement aussi les boues du traitement de l'eau.

Les « dregs » et la boue de chaux sont séparées du cycle de récupération des produits chimiques afin que la quantité de matières inertes et de produits chimiques étrangers au processus dans le cycle reste à un niveau acceptable, garantissant ainsi des taux de réaction élevés dans le circuit de récupération des produits chimiques.

L'écorce et les résidus de bois provenant de la manutention du bois sont habituellement brûlés pour en récupérer l'énergie et ne doivent être considérés comme déchets que s'ils ne peuvent pas être brûlés et sont envoyés en décharge. Les cendres de bois provenant des chaudières à écorce contiennent des substances nutritives venues de la forêt avec le bois utilisé comme matière première et ces cendres sont aptes à servir d'engrais pour autant qu'elles ne soient pas polluées par exemple par des métaux tels que Hg, Cd, Pb même si ceux-ci viennent du bois lui-même. Un lessivage des métaux lourds provenant des cendres recyclées épandues dans la forêt ou sur les terres agricoles peut représenter un inconvénient.

Les boues provenant du traitement des effluents constituent l'un des principaux déchets potentiels. Une importante quantité de boues est produite lors du traitement primaire et du traitement biologique par boues activées. Le lagunage aéré ne génère que de faibles quantités ou pas de boues excédentaires, tout comme le traitement anaérobie ne produit lui aussi que des quantités limitées de boues. La floculation chimique produit une quantité considérable de boues. Les boues biologiques et chimiques ne présentent qu'une aptitude limitée à l'égouttage.

La boue est généralement épaissie avant d'être déshydratée dans un filtre-pressé, une presse à vis ou sur un filtre rotatif sous vide. Souvent, l'excès de boue provenant du traitement biologique des effluents est mélangé à de la boue primaire et à de la boue d'écorce avant l'égouttage. On utilise des produits chimiques organiques et/ou inorganiques pour améliorer l'aptitude à l'égouttage des boues par la formation de "flocs". Les boues mixtes peuvent atteindre une siccité de 25 à 35 % après égouttage dans des filtres-pressés, et de 40 à 50 % avec une presse à vis utilisant de la vapeur dans la phase de pré-traitement.

Lors de l'incinération des boues, la production nette d'énergie est égale à zéro ou négative si la teneur en solides secs de la boue est inférieure à 40 % et si la boue contient une quantité importante de matières minérales. Pour avoir de bonnes conditions de combustion, il est nécessaire de recourir à des chaudières auxiliaires, à moins que la boue ne soit mélangée avec de l'écorce et autres déchets de bois. L'incinération réduit le volume des déchets, et les composants minéraux donnent des cendres, généralement acheminées en décharge.

Les boues provenant d'une précipitation chimique ne peuvent pas être brûlées seules sans l'aide de combustible d'appoint en raison de leur teneur élevée en matières minérales et en eau. Elles sont donc fréquemment acheminées vers une décharge. Les boues provenant de la floculation qui ne contiennent que des polyélectrolytes organiques synthétiques peuvent être brûlées.

On ne dispose que d'une quantité limitée de données sur la production de déchets. C'est pourquoi on trouvera dans le tableau 2.18 les données disponibles pour divers types de déchets générés par une usine de pâte kraft d'un État membre.



Type de déchet	Poids (en kg) de solides secs par tonne de pâte à papier
Boue du traitement des effluents liquides	10
Cendres de bois	9
Autres cendres	14
Fibres et déchets du couchage	5
Déchets de bois	6
Déchets toxiques	0.2
<b>Total</b>	<b>43</b>
Notes explicatives : - La "cendre de bois" est constituée de cendre volante et de poussière provenant de l'incinération du bois (par ex. de la chaudière à écorce) - Les "autres cendres" sont des cendres provenant des combustibles utilisés dans la production d'énergie, autres que le bois et la liqueur noire - Les "déchets de bois" sont l'écorce, les copeaux, la sciure, les emballages en bois etc. Les déchets de bois ne sont acheminés vers une décharge que s'ils ne peuvent pas être brûlés (par exemple s'ils contiennent du sable ou si, d'une façon ou d'une autre, ils sont trop souillés).	

**Tableau 2.18 - Production moyenne de déchets dans des usines de pâte kraft, en kg de solides secs/tonne de pâte - (Rapport finlandais sur les MTD, 1996).**

Les chiffres absolus ont été convertis en données spécifiques par tonne de pâte à papier en divisant les valeurs totales communiquées par la production annuelle de pâte kraft blanchie et non blanchie en Finlande (5,7 Mt/a). Ces chiffres concernent à la fois des usines intégrées et non intégrées.

D'autres rapports (CEPI, 97) mentionnent des quantités légèrement supérieures de déchets solides comme typiques des usines de pâte kraft. D'après ces rapports, la fabrication de pâte kraft non blanchie produirait de 20 à 60 kg de déchets organiques de solides secs/Adt (kraft) et de 30 à 60 kg de déchets minéraux de solides secs/Adt. Pour la fabrication de pâte kraft blanchie, on indique 30 à 60 kg de déchets organiques (base secs) par tonne de pâte et 40 à 70 kg de déchets minéraux (base secs) par tonne de pâte à papier.

Les données sur les déchets solides dans les usines suédoises (exprimés en déchets secs) sont communiquées dans les documents suivants <sup>1</sup> :

#### **Résidus de filtration, de liqueur verte, de boues de caustification**

Ces déchets sont souvent mélangés et il est très difficile de donner des chiffres spécifiques. Au total, la quantité varie approximativement entre 10 et 60 kg/t de pâte avec une moyenne d'environ 30 kg/t (SEPA 4869). La composition de ces déchets d'une telle diversité varie également. Le rapport 4 du projet "Miljö 95/96" contient des données pour un certain nombre d'échantillons. Les données moyennes suivantes sont calculées pour la boue de liqueur verte avec différentes quantités de boue de chaux.

Boue de chaux [%]	Solides secs [DS %]	Cendre [%]	Teneur en organiques [%]	tot-Ng/kg DS	tot-P g/kg DS	tot S g/kg DS
<2	45	62	20	0.4	0.6	23
75	59	62	6.5	<0.4	2.8	6.3

<sup>1</sup> Ces données proviennent principalement du rapport SEPA 4869 ("Les émissions de l'industrie forestière dans l'atmosphère et dans les cours d'eau - quantités de déchets et consommation d'énergie, 1996") et du Rapport 4 ("Déchets de l'industrie forestière - quantités, composition et évacuation") du projet "Miljö 95/96" (Environnement 95/96) géré par la Fondation de l'industrie forestière suédoise pour la recherche sur la pollution de l'atmosphère et des cours d'eau (la SSVL).

**Tableau 2.19 - Composition moyenne en boues de liqueur verte avec différentes quantités de boues de chaux.**

Les chiffres sont subdivisés en deux groupes : l'un ne contenant pratiquement pas de boue de chaux (< 2 %) l'autre en contenant une grande quantité (environ 75 % en moyenne).

Les concentrations en métaux sont également mentionnées pour les mêmes échantillons. Les valeurs moyennes sont indiquées dans le tableau 2.20.

Boue de chaux [%]	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Zn
<2	430	16	9.2	75	90	0.07	60	18	330	2300
75	310	11	5.3	85	96	<0.10	29	11	290	1000
Notes : Toutes les valeurs sont exprimées en [mg/kg de substances sèches]										

**Tableau 2.20 - Concentrations moyennes en métaux dans les boues de liqueur verte avec différentes quantités de boues de chaux.**

En Suède, la boue de liqueur verte est généralement séchée sur des filtres à tambour avec une pré-couche de boue de chaux amenée à un taux de SS de 30 à 70 %. Si l'on utilise des centrifugeuses, le taux de SS est d'environ 8 à 20 %. (Rapport 4 de Miljö 95/96). Cette boue est généralement évacuée en décharge.

#### **Cendres, scories, matières particulières (par exemple provenant des électrofiltres)**

Selon le SEPA 4869, les quantités pour les usines de pâte kraft sont comprises entre 5 et 45 kg/t de pâte.

#### **Déchets du parc à bois**

Les quantités varient entre 1 et 20 kg/t de pâte. Ces déchets sont principalement constitués d'écorce, de sable et de pierres (SEPA 4869) et vont en décharge.

#### **Rejets d'épuration**

Des données limitées figurant dans le rapport SEPA 4869 indiquent des chiffres compris entre 2 et 20 kg/t de pâte.

#### **Boues du traitement biologique**

Le lagunage aéré produit des quantités de boue très faibles, habituellement < 1 kg de SS par tonne de pâte (d'après le rapport 4). Le traitement biologique dans une installation à boues activées produit des quantités de boue plus importantes.

### **2.2.2.5 Consommation de produits chimiques**

La consommation de produits chimiques varie d'une installation à l'autre et, dans une certaine mesure, elle est considérée comme confidentielle. La consommation des principaux produits chimiques, en kg/t de pâte, est la suivante :

Substance	Consommation pour la pâte kraft non blanchie [kg/t]	Consommation pour la pâte kraft blanchie [kg/t]
NaOH	10-20	25-50
O <sub>2</sub>	-	5-25
NaClO <sub>3</sub>	-	20-50
EDTA	-	0-4
S	-	
SO <sub>2</sub>	-	2-10
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	2-30
O <sub>3</sub>	-	0-5
MgSO <sub>4</sub>	-	0-3
CaO	5-10	5-10

**Tableau 2.21 - Consommation des principaux produits chimiques en kg/ADT pour la production de pâte kraft (CEPI 1997).**

Toutes les consommations de produits chimiques sont exprimées à 100 % de produits chimiques effectifs et non en tant que solutions commerciales contenant différentes quantités d'eau

Le principal rôle des produits chimiques mentionnés ci-dessus est le suivant :

- on ajoute du sulfate de magnésium, à raison de 0 à 2 kg de MgSO<sub>4</sub>/ADt pour le bois feuillus ou 2 à 3 kg de MgSO<sub>4</sub>/ADt pour le bois résineux pour conserver les caractéristiques de la pâte lors de la délignification à l'oxygène,
- la consommation d'oxygène pour la délignification est de 12 à 15 kg/ADt pour la pâte de bois feuillus et de 20 à 25 kg/ADt pour celle de bois résineux,
- la consommation d'alcali est de 12 à 15 kg de NaOH/ADt pour le bois feuillus et de 20 à 25 kg de NaOH/ADt pour le bois résineux (Rapport finlandais sur les MTD, 1997),
- les agents de chélation tels que EDTA et DTPA sont utilisés pour éliminer les métaux dans les séquences de blanchiment au peroxyde d'hydrogène, de manière à empêcher la décomposition du peroxyde d'hydrogène. Les rejets d'agents de chélation peuvent affecter la répartition des métaux dans le milieu aquatique récepteur et dans les organismes vivants. L'utilisation d'agents de chélation entraîne l'émission d'azote, dont l'ampleur dépend des quantités utilisées.

En régime permanent, il est un principe capital selon lequel toute substance qui pénètre dans une usine doit absolument en ressortir. Dans les usines de pâte kraft qui utilisent du NaOH et du Na<sub>2</sub>S comme principaux produits chimiques pour la cuisson, il convient de surveiller et d'équilibrer les entrées et les sorties de sodium et de soufre. L'exigence d'une réduction des émissions de dioxyde de soufre des usines implique qu'il est préférable d'avoir une moindre quantité de soufre entrant dans l'usine, ou que le soufre doit être rejeté sous la forme de substances moins nocives (par exemple de sulfate). Les principales sources de soufre sont énumérées dans le tableau 2.22.

Source	Quantité de soufre [kg S/Adt]
Bois, eau, produits chimiques	0.3 - 0.5
Fioul pour le four à chaux et la chaudière de récupération	1.0 - 2.0
Production de tall-oil	2.0 - 3.0 <sup>1)</sup>
Production de bioxyde de chlore	0 - 15 <sup>2)</sup>
Sulfate de magnésium pour la phase oxygène	0 - 0.8
Total	3.5 - 25.5
<sup>1)</sup> on peut souvent utiliser de l'acide résiduaire provenant de la production de bioxyde de chlore	
<sup>2)</sup> selon le type de procédé et valable pour une usine utilisant jusqu'à 40 kg /Adt de bioxyde de chlore exprimé en tant que chlore actif	

**Tableau 2.22 -Quantités de soufre mises en jeu dans une usine de pâte kraft blanchie. (Rapport SEPA 4008, 1992)**

A l'heure actuelle, les émissions dans l'air de dioxyde de soufre des usines de pâte kraft diminuent jusqu'à des niveaux pouvant atteindre 0,3 kg S/Adt seulement (voir tableau 2.17). On peut estimer que les pertes en soufre dans les effluents correspondent à 2 kg/Adt (rapport SEPA 4008, 1992). Ainsi, dans certains cas, les pertes totales de soufre d'une usine de pâte ne dépasseraient pas environ 2,3 kg S/Adt. Une comparaison avec la consommation de soufre lorsque l'usine fonctionne avec un pourcentage élevé de bioxyde de chlore pour le blanchiment indique qu'il faudra rejeter une plus grande quantité de soufre, ou l'éliminer sous forme de sels neutres (par exemple  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Toutefois, cela se traduira simultanément par des pertes de sodium qui devront être compensées par des produits chimiques d'appoint à base de sodium exempts de soufre, plus coûteux. Afin de déterminer les chiffres corrects, il faudra établir le bilan chimique au cas par cas pour chaque usine.

### 2.2.2.6 Consommation d'énergie

La majeure partie de l'énergie calorifique est utilisée pour chauffer les différents fluides et pour l'évaporation de l'eau. Elle sert également à accélérer ou contrôler les réactions chimiques. L'énergie électrique est utilisée principalement pour le transport des matières (pompage) et pour le fonctionnement de la machine à papier (uniquement dans les usines intégrées).

La fabrication de la pâte kraft blanchie consomme environ 10 à 14 GJ/Adt d'énergie calorifique (non compris la vapeur pour la production d'énergie électrique). La consommation d'énergie électrique est de 600 à 800 kWh/Adt, y compris le séchage de la pâte. La consommation d'énergie pour le séchage de la pâte représente environ 25 % de l'énergie calorifique et 15 à 20 % de l'énergie électrique. Plus de 50 % de la consommation d'énergie électrique sont utilisés pour le pompage.

La consommation d'énergie dépend de la configuration de l'usine, des équipements et de l'efficacité des systèmes de surveillance et de contrôle.

Le tableau 2.23 ci-après récapitule les consommations moyennes d'énergie sous forme de chaleur (à l'exclusion de celle servant à la production d'énergie à contre-pression) et la puissance électrique pour quelques usines de pâte intégrées et non intégrées.

<b>Production</b>	<b>Chaleur de process [GJ/t]</b>	<b>Energie électrique [kWh/t]</b>
Production non intégrée de pâte kraft blanchie - dont apport extérieur	14.4 1.2	760 0
Production de pâte kraft écrue avec production intégrée de papier-carton - dont apport extérieur	16.4 1.5	959 388
Production de pâte kraft blanchie avec production intégrée de papier fin non couché - dont apport extérieur	17.5 3.5	1218 706

**Tableau 2.23 - Consommation moyenne d'énergie dans les usines suédoises de pâte et de papier en 1995. (Rapport SEPA 4712)**

A partir des données disponibles pour les usines suédoises figurant dans les tableaux 2.23 à 2.29 (Rapport SEPA 4712), on a résumé la consommation et les bilans d'énergie pour un certain nombre d'usines. Cela permet d'identifier les principales étapes du processus qui sont consommatrices d'énergie. Les chiffres du rapport 4712 représentent une usine modernisée - une usine construite dans les années 1970 et qui a été modernisée par la suite -. Une installation existante nouvellement construite ou récemment modernisée présenterait très probablement des valeurs inférieures.

<b>Section</b>	<b>Chaleur de process (MJ/t)</b>	<b>Energie électrique (kWh/t)</b>
Parc à bois	200	45
Cuisson	1700	64
Lavage et épuration	0	45
Évaporation	4000	21
Chaudière de récupération	600	48
Chaudière auxiliaire	0	23
Caustification	0	14
Four à chaux	1500	7
Divers, usine de pâte à papier	2600	133
<b>Total usine de pâte</b>	<b>10600</b>	<b>400</b>
Préparation de la pâte	0	200
Machine à papier	5800	350
<b>Total usine de papier</b>	<b>5800</b>	<b>550</b>
<b>Traitement des effluents</b>	<b>0</b>	<b>9</b>
<b>Total par tonne de papier</b>	<b>16400</b>	<b>959</b>

**Tableau 2.24 - Consommation moyenne d'énergie pour la production de 243 000 Adt/an de pâte kraft écrue et une production intégrée de 250 000 t/an de papier-carton.**

Section	Chaleur de process (MJ/t)	Energie électrique (kWh/t)
<b>Usine de pâte à papier</b>		
Chaudière de récupération, vapeur de process	+14500	
Chaudière auxiliaire, vapeur de process (uniquement écorce de provenance interne)	+2050	
Générateur à turbine	-2050	+571
Apport extérieur (chaleur pour le four à chaux)	+1500	0
Consommation (y compris le four à chaux)	-10600	-400
Traitement des effluents	0	-9
<b>Excédent d'énergie de l'usine de pâte à papier</b>	<b>+5400</b>	<b>+162</b>
<b>Usine de papier</b>		
Consommation	-5400	-550
Apport extérieur	0	+388
<b>Total apport extérieur</b>	<b>1500</b>	<b>388</b>

**Tableau 2.25 - Bilan énergétique pour la production de 243 000 Adt/an de pâte kraft écrue et une production intégrée de 250 000 t/an de papier-carton.**

Section	Chaleur de process (MJ/ADt)	Energie électrique (kWh/ADt)
Parc à bois	150	55
Cuisson	2050	65
Lavage et épuration	0	55
Délicnification à l'oxygène	400	45
Blanchiment	500	83
Préparation des produits chimiques pour le blanchiment	70	6
Tamissage de la pâte blanchie	0	40
Séchage de la pâte	2850	105
Évaporation	4100	30
Chaudière de récupération	610	60
Chaudière de puissance	0	30
Caustification	0	20
Four à chaux (chaleur directe)	1500	10
Divers, usine de pâte à papier	2170	136
<b>Total usine de pâte à papier</b>	<b>14400</b>	<b>740</b>
<b>Traitement des effluents</b>	<b>0</b>	<b>20</b>
<b>Total par ADt de pâte</b>	<b>14400</b>	<b>760</b>

**Tableau 2.26 - Consommation d'énergie pour une usine non intégrée produisant 250 000 ADt/an de pâte kraft blanchie.**

Section	Chaleur de process (MJ/ADt)	Energie électrique (kWh/ADt)
Chaudière de récupération, vapeur de process	+17500	
Chaudière énergétique, vapeur de process (uniquement écorce de provenance interne)	+3000	
Générateurs à turbine (turboalternateurs)	-2600	+650
Apport extérieur	+1200	
Consommation (y compris le four à chaux)	-14400	-630
Traitement des effluents	0	-20
<b>Excédent d'énergie de l'usine de pâte à papier (y compris la chaleur perdue)</b>	<b>+4700</b>	<b>0</b>
<b>Total apport extérieur</b>	<b>1200</b>	<b>0</b>

**Tableau 2.27 - Bilan énergétique pour la production non intégrée de 250 000 Adt/an de pâte kraft blanchie.**

Section	Chaleur de process (MJ/t)	Energie électrique (kWh/t)
Parc à bois	230	46
Cuisson	1800	55
Lavage et épuration	0	46
Délicatification à l'oxygène	400	38
Blanchiment	500	70
Préparation des produits chimiques pour le blanchiment	70	5
Épuration de la pâte blanchie	0	34
Séchage de la pâte	0	0
Évaporation	3600	25
Chaudière de récupération	600	51
Chaudière de puissance	0	25
Caustification	0	17
Four à chaux	1300	8
Divers, usine de pâte à papier	1900	115
<b>Total usine de pâte</b>	<b>10400</b>	<b>535</b>
Préparation de la pâte	0	250
Machine à papier	7100	420
<b>Total usine de papier</b>	<b>7100</b>	<b>670</b>
<b>Traitement des effluents</b>	<b>0</b>	<b>13</b>
<b>Total par tonne de papier</b>	<b>17500</b>	<b>1218</b>

**Tableau 2.28 - Consommation d'énergie d'une usine intégrée de pâte kraft blanchie avec une production de 250 000 t/an de papier fin non couché collé en surface.**

Section	Chaleur de process (MJ/t)	Energie électrique (kWh/t)
<b>Usine de pâte à papier</b>		
Chaudière de récupération, vapeur de process	+13800	
Chaudière de puissance, vapeur de process (uniquement écorce de provenance interne)	+2300	
Générateur à turbine (turboalternateur)	-2100	+512
Apport extérieur (chaleur pour le four à chaux)	+1300	+36
Consommation	-10400	-535
Traitement des effluents	0	-13
<b>Excédent d'énergie de l'usine de pâte à papier</b>	<b>+4900</b>	<b>0</b>
<b>Usine de papier</b>		
Consommation	-7100	-670
Apport extérieur	+2200	+670
<b>Total apport extérieur</b>	<b>3500</b>	<b>706</b>

**Tableau 2.29 - Bilan énergétique d'une usine intégrée de pâte kraft blanchie avec une production de 250 000 t/an de papier fin non couché collé en surface.**

Comme il ressort des tableaux ci-dessus, les usines de pâtes chimiques sont des installations qui consomment des quantités élevées d'énergie mais qui, en même temps, produisent de la vapeur et de l'électricité sur place en utilisant leurs combustibles. Les usines de pâte à papier modernes non intégrées sont autonomes en matière d'énergie grâce principalement à une récupération efficace de l'énergie en brûlant 50 % du bois qu'elles reçoivent dans la chaudière de récupération (liqueur noire) et en utilisant l'écorce en tant que combustible pour les chaudières auxiliaires. De plus, il est possible de récupérer l'énergie secondaire des différentes étapes du processus sous forme d'eau chaude et bouillante (40 à 80 °C). Les combustibles fossiles sont utilisés essentiellement comme combustible d'appoint (par exemple le fioul dans le four à chaux).

Dans une usine de pâte kraft non intégrée, la configuration classique de la centrale électrique est une chaudière de récupération et une chaudière à écorce qui alimentent une turbine à contre-pression avec prélèvement (soutirage) intermédiaire et, si possible, condensation de la vapeur. La chaudière de récupération joue le rôle de centrale électrique dans laquelle on brûle la liqueur noire, et la chaleur produite est utilisée pour générer de la vapeur surchauffée sous haute pression. La vapeur haute pression sert à générer de l'électricité dans une turbine à contre pression. La vapeur à moyenne pression extraite de la turbine et la vapeur de sortie basse pression sont utilisées pour répondre à la demande d'énergie calorifique du processus de fabrication de la pâte kraft. Le rapport effet électrique / effet calorifique est habituellement de 0,2 à 0,3 (Rapport finlandais sur les MTD, 1997).

Les gaz malodorants sont recueillis et brûlés, principalement pour des raisons de protection de l'environnement, puisqu'il n'y a pas/peu de production d'énergie nette.

Dans une usine de pâte et de papier intégrée, l'excédent de chaleur produit par l'usine de pâte n'est pas suffisant pour couvrir la consommation d'énergie de la production de papier. La chaleur supplémentaire nécessaire doit être produite dans des chaudières à bois/à écorce et des chaudières



auxiliaires. On utilise du combustible fossile comme combustible d'appoint dans les chaudières à écorce et à boues et aussi comme combustible principal dans les chaudières auxiliaires.

Pour répondre aux pointes de consommation d'énergie, on a souvent recours à une petite chaudière à combustible fossile. Les centrales à cogénération (CHP) utilisant une turbine à gaz associée à une chaudière à vapeur et une turbine à vapeur sont très efficaces, et quelques-unes ont été installées en Europe. Ces installations CHP sont utilisées lorsque la demande en énergie électrique d'une fabrique de papier est élevée parce que le rapport effet électrique/effet calorifique est habituellement de 0,8 à 0,9 (Rapport finlandais sur les MTD, 1997).

On trouvera ci-après quelques chiffres supplémentaires sur la consommation d'énergie de différentes phases du processus dans les usines de pâte à papier :

- le dégivrage consomme environ 30 MJ de chaleur sous forme d'eau chaude ou de vapeur par m<sup>3</sup> de bois traité (cas seulement des pays nordiques),
- la consommation totale d'énergie pour l'écorçage est de 7 à 10 kWh/m<sup>3</sup> de bois (rapport finlandais),
- l'énergie pour le séchage de la pâte (pâte marchande uniquement) peut être de l'ordre de 3 GJ/tonne de pâte soit quelque 25 % de la demande totale de chaleur d'une usine de pâte kraft et 15 à 20 % de l'énergie électrique,
- la consommation moyenne d'énergie électrique pour la fabrication des produits chimiques pour le blanchiment est présentée dans le tableau 2.30.

Produit chimique (phase de blanchiment)	Consommation d'énergie électrique (kWh/kg de produit chimique)
Bioxyde de chlore (D)	10
Oxygène (O)	0.4
Ozone (Z)	10
Peroxyde (P)	3.5
Alkali (E)	1.6

**Tableau 2.30 - Consommation moyenne d'énergie électrique dans la fabrication des produits chimiques pour le blanchiment. (Rapport finlandais, 1997)**

- Le traitement en extérieur des effluents consomme habituellement de l'énergie (les chiffres suivants sont extraits du Rapport finlandais, 1997). Le traitement anaérobie est une exception si la teneur en énergie dans le biogaz produit est récupérée par combustion. La consommation d'énergie électrique dans le traitement à boues activées est de l'ordre de 1,2 à 2 kWh/kg de DBO éliminée (aération et pompage), ce qui équivaut à 1/1,5 kWh/m<sup>3</sup>. L'énergie consommée pour la filtration dépend de la chute de pression dans le milieu. Par exemple l'ultrafiltration des effluents liquides du couchage consomme de 3 à 5 kWh/m<sup>3</sup>. L'évaporation à basse pression faisant appel à la recompression mécanique de la vapeur consomme de 5 à 15 kWh/m<sup>3</sup>. Les rapports mentionnent une consommation spécifique type d'énergie de 3 kWh par tonne de pâte kraft blanchie pour le traitement primaire, et de 46 kWh/t pour le traitement secondaire des effluents par le procédé à boues activées.

### **2.2.2.7 Bruit (local)**

Le niveau sonore de l'installation d'écorçage peut être limité par une isolation minutieuse du local. Mais il existe plusieurs autres sources de bruit, comme la coupeuse, les ventilateurs, les moteurs, les cheminées et les événements d'échappement de la vapeur. Les camions et autres véhicules peuvent être une

source de bruit pour le voisinage. A partir de deux exemples d'usines de pâte en Suède, on peut formuler l'hypothèse que le niveau de bruit à une distance de 500 m du centre de l'installation peut atteindre 50 dB (A) la nuit et environ 45 dB (A) à 2 km. Les directives pour toutes les industries existantes en Suède fixent une limite < 45 dB (A) la nuit pour l'habitation la plus proche. C'est un seuil qui peut s'avérer difficile à atteindre si les habitations sont situées très près de l'usine, par exemple dans un rayon < 500 m.

#### **2.2.2.8 Émissions dans le sol et la nappe phréatique**

Si l'on a mis en place des mesures de contrôle préventives pour le stockage et la manutention des produits chimiques, les usines de pâte à papier et de papier dont l'exploitation fait l'objet d'une maintenance et d'une surveillance adéquates ne doivent normalement pas être la cause d'émissions toxiques dans le sol et dans la nappe phréatique.

Une politique générale consistant à prévenir, à se préparer et à lutter contre les accidents industriels est généralement fondée sur le principe de précaution (cf. annexe IV de la Directive PRIP). Cela signifie que l'installation doit être conçue et exploitée de manière à prévenir toute évolution non contrôlée du fonctionnement normal et à réduire les conséquences des accidents. On appliquera les meilleures techniques de sécurité.

Pour prévenir des émissions toxiques dans le sol et la nappe phréatique, provenant du stockage et de la manutention des produits chimiques, on assurera la sécurité des installations industrielles par les moyens suivants :

- conception et fonctionnement des installations de manière à empêcher toute fuite de polluant potentiel,
- possibilité de détecter rapidement et de façon fiable une fuite provenant de n'importe quelle partie de l'installation en contact avec des polluants toxiques,
- des réservoirs enterrés à simple paroi sont insuffisants dans ce contexte,
- détection rapide et fiable des fuites de substances et mesures propres à en empêcher la fuite et à en assurer une évacuation satisfaisante. En l'absence de doubles parois et d'un indicateur de fuite, les installations doivent en règle générale être équipées d'un système/ dispositif de collecte étanche et durable. En principe, les bassins de collecte ne doivent pas être pourvus d'orifices d'écoulement,
- rédaction et respect d'instructions de travail, comprenant un plan de surveillance, de maintenance et d'alarme.

Les aspects techniques et environnementaux du stockage et de la manutention des produits chimiques ne sont pas spécifiques de l'industrie papetière, c'est pourquoi ils ne seront étudiés ici que succinctement. Ils feront l'objet d'un autre BREF horizontal sur les émissions liées au stockage et à la manutention des produits chimiques (de substances dangereuses et de matières en vrac).

En ce qui concerne la cessation des activités, et pour éviter tout risque de pollution et remettre le site de l'exploitation dans un état satisfaisant, la protection du sol doit être un souci majeur. Une approche intégrée implique de s'assurer que les mesures suivantes sont appliquées :

- minimisation des excavations (fouilles) et des déplacements de terre imputables aux travaux de construction,
- minimisation des apports supplémentaires de substances dans le sol pendant la phase d'exploitation d'une installation. S'assurer, lors de l'arrêt définitif d'une installation, par exemple de la réhabilitation des sols contaminés, des décharges.

## 2.3 Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD

La présente section décrit toutes les techniques couramment **applicables** pour la prévention ou la réduction des rejets / déchets, et pour réduire la consommation d'énergie et de matières premières, tant pour les nouvelles installations que pour les installations existantes. Cette liste des techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD n'est pas exhaustive et pourra être complétée à l'occasion d'une révision du présent document. Ces techniques englobent aussi bien les mesures internes que les traitements finaux avant rejet, et représentent les possibilités d'amélioration pour atteindre un haut degré de prévention et de réduction de la pollution.

Le tableau 2.31 donne un aperçu général des techniques permettant de réduire les émissions des usines de pâte kraft. Le tableau indique, pour chaque technique, les interactions entre les milieux (impacts intermilieux). Il en ressort qu'il n'est pas facile de décrire ces interactions de manière indiscutable. Il existe de nombreuses "zones d'ombre" dans leur évaluation. Elles peuvent en outre dépendre d'autres éléments, on peut les évaluer en fonction de certaines comparaisons, etc. L'évaluation des interactions entre les milieux ne doit être considérée que comme une aide permettant aux exploitants et à l'Administration de déterminer les effets secondaires susceptibles de se produire, et n'est guère plus qu'un point de départ pour étudier les éventuels transferts de pollution. Les résultats de cette évaluation ne doivent pas être considérés comme des règles. D'autre part, des mesures de prévention et de contrôle peuvent en éviter certains. L'interaction entre les milieux dépend aussi, entre autres choses, des conditions particulières à chaque usine. Il est donc difficile d'établir un bilan général de la situation. Mais on peut indiquer dans le tableau quel est le milieu (eau, air, déchets et énergie) visé par une mesure. Les paragraphes correspondants dans l'étude détaillée de chaque technique donnent des explications complémentaires.

Dans les colonnes, on indique qualitativement la tendance des effets (impacts) des différentes techniques sur les émissions, la consommation de matières premières et les performances de l'usine à l'aide de flèches vers le haut "↑" ou vers le bas "↓". Les flèches vers le bas "↓" indiquent des économies de matières premières ou d'énergie et une réduction des émissions dans les différents milieux eau, air et sol. Les flèches vers le haut "↑" indiquent un accroissement des émissions, de la consommation et des impacts sur le processus de production. Certaines des mesures visant à la prévention et à la réduction de la pollution présentées dans la présente section concernent plus d'un milieu environnemental (l'eau, l'air ou le sol) à la fois. Certaines techniques peuvent avoir un impact positif et/ou négatif sur d'autres milieux environnementaux ou sur la consommation d'énergie et de matières premières (interactions entre les milieux). Les effets constatés sont indiqués à l'aide des flèches. Une flèche entre parenthèses "(↑)" signifie qu'il s'agit d'un accroissement léger - souvent négligeable - de la consommation d'énergie, de la quantité de matières premières utilisées ou d'émissions dans l'environnement lorsqu'on applique une certaine mesure. Les aspects économiques (investissement, frais de fonctionnement) ne figurent pas dans le tableau, mais sont commentés dans le texte. Les données de caractère économique peuvent seulement fournir une image sommaire et indiquer le niveau des coûts. Ceux-ci varient selon la conception générale de l'installation et dépendent entre autres de la taille de l'usine et de la façon dont une technique s'intègre avec le reste des équipements.

Chaque technique reçoit un repère de référence qui facilite l'identification de la section correspondante du texte dans laquelle chaque technique est étudiée en détail. Ci-après, on explique brièvement la façon d'exploiter le tableau 2.31 par la brève discussion d'une technique (voir Section 2.3.1 "Écorçage à sec").

Le passage de l'écorçage humide à l'écorçage à sec n'a aucun impact sur la consommation de produits chimiques. La consommation d'énergie pour l'écorçage augmente à cause de la mise en service du tambour dans le mode d'écorçage à sec. En revanche, on peut gagner une quantité considérable d'énergie si l'on utilise l'écorce avec une teneur plus faible en eau en tant que combustible auxiliaire. L'écorçage à sec se traduit par une baisse significative des émissions dans l'eau, par exemple une réduction du débit de l'ordre de 5 à 10 m<sup>3</sup>/t, une réduction des MES de l'ordre de 2 à 10 kg/t et la

charge totale DCO peut être réduite jusqu'à 10 %. Il n'y a aucun impact sur les émissions dans l'atmosphère ou sur la production de déchets solides.

Dans le présent chapitre, on met en évidence les principales options techniques avec les meilleurs résultats sous l'angle environnemental et économique. On s'est efforcé d'étudier les différentes mesures en suivant une structure uniforme, de manière à avoir une présentation identique de toutes les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD. Pour chaque technique, vous trouverez une description, une étude de son applicabilité, les principaux résultats obtenus concernant l'environnement, la surveillance des émissions, les interactions entre les milieux, les expériences sur le terrain, les données relatives aux aspects économiques, les facteurs ayant motivé la mise en œuvre de telle technique, les installations de références et la bibliographie. La plupart des techniques sont utilisées dans de nombreuses installations en Europe, mais un petit nombre ne sont mises en œuvre que dans quelques usines.

En combinant correctement les différents éléments de cette liste de techniques, les usines seront en mesure d'atteindre simultanément de bons résultats tant sur le plan environnemental que sur le plan économique. Mais c'est à l'exploitant d'appliquer, parmi les techniques possibles, celle qui lui permettra d'atteindre les niveaux de consommation et d'émissions correspondants qui sont indiqués dans le chapitre suivant "Meilleures Techniques Disponibles". La description de chaque technique comporte un aperçu de ses avantages, de ses inconvénients et des incidences de sa mise en œuvre.

L'industrie papetière est caractérisée par un degré relativement élevé d'intégration, d'où il résulte que la majeure partie des possibilités d'amélioration sont des mesures internes au process. Mais l'on trouvera également une description de quelques mesures externes comme les techniques de traitement des effluents avant rejet, qui sont considérées comme des MTD. Il ne faut pas oublier qu'il existe un certain recoupement entre les mesures internes au niveau du process et les mesures externes.

Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD	Effets sur les niveaux de consommation et d'émission (interaction entre les milieux)					Impact sur le processus de production
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie	Émissions dans les cours d'eau	Émissions dans l'air	Déchets solides	
Écorçage à sec	pi	↑ dans l'écorçage	↓ DCO, ↓ TSS, ↓ flow	pi	pi	↑ génération d'énergie dans les chaudières à écorce
Cuisson modifiée étendue avec un indice kappa faible continue (c) ou discontinue (b)	↑ dans la cuisson ↑ besoins en chaux ↓ dans le blanchiment	(↑) cuisson (c) ↓ cuisson (b) (↑) évaporation (↑) four à chaux	↓ DCO ↓ AOX	↑ odeur	pi	↑ génération d'énergie (↑/↓) rendement final en pâte
Epuration en circuit fermé	pi	pi	↓	pi	pi	pi
Délicatification à l'oxygène	↑ dans la phase O <sub>2</sub> ↓ dans le blanchiment	↑ phase O <sub>2</sub> ↑ oxydation de la liqueur blanche ↑ caustification et four à chaux	↓	pi	(↑) lies	↑ génération d'énergie
Blanchiment à l'ozone	↑ dans la phase O <sub>2</sub> ↓ dans le blanchiment	↑ phase O <sub>2</sub> ↑ génération de O <sub>2</sub> ↓ dans le blanchiment	↓	pi	pi	pi
Technique de blanchiment ECF (par rapport à TCF) 1) (avec le même indice kappa faible en entrée)	(↑/↓)	(↑/↓)	↑ AOX, ↑ ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	↑ Cl <sub>2</sub>	pi	pi
Technique de blanchiment TCF (par rapport à ECF) 1) (avec le même indice kappa faible en entrée)	(↑/↓)	(↑/↓)	(↓ DCO), ↓ AOX, ↑ Azote (N) agent de chélation	pi	pi	pi
Exploitation en circuit partiellement fermé de l'installation de blanchiment + augmentation de l'évaporation	↑ blanchiment	↑ évaporation	↓	(↑)	↑ lies	↓ consommation d'eau
Collecte de presque toutes les fuites	pi	↑ évaporation	↓	pi	pi	pi
Efficacité du lavage et du contrôle du processus	↓ blanchiment ↓ cuisson	↑ lavage (électr.)	↓	pi	pi	
Séparation et réutilisation des condensats	↓ blanchiment	↑ vapeur	↓ COD, N	↓ odeur	pi	pi
Capacités tampons pour liquides concentrés	pi	pi	↓	pi	pi	pi
Traitement biologique des effluents	↑	↑	↓	(↑ odeur)	↑	incinération des boues ?
Traitement tertiaire (précipitation)	↑	↑	↓	pi	↑	incinération des boues ?
Augmentation des solides secs (DS) de la liqueur noire	pi	↑	Pi	↓ SO <sub>2</sub> , (↑ NO <sub>x</sub> )	pi	↑ capacité d'évaporation nécessaire ↑ génération d'énergie dans la chaudière de récupération, ↑ capacité de production
Installation de laveurs de gaz sur la chaudière de récupération	pi	(↑) évaporation	Pi	↓	pi	(↑/↓) bilan énergétique
Incinération des gaz malodorants dans la chaudière de récupération	↓ demande d'appoint en S ↑ excès de S	↑ système de manutention	Pi	↓ TRS	pi	↑ génération d'énergie (combustion avec récupération de chaleur)
Incinération des gaz malodorants dans le four à chaux	↓ demande d'appoint en S ↑ excès de S	↑ système de manutention	pi	↓ TRS	pi	(↑) génération d'énergie
Incinération des gaz malodorants dans un four distinct + épurateur	↓ demande d'appoint en S ↑ excès de S	↑ système de manutention	pi	↓ TRS, (↑ NO <sub>x</sub> )	pi	↑ génération d'énergie (combustion avec récupération de chaleur)
Chaudières auxiliaires à faible teneur en NOx Brûleurs à basse teneur en NOx dans le four à chaux	pi	pi	pi	↓ NO <sub>x</sub>	pi	pi
SNCR sur les chaudières à écorce	↑ urée/NH <sub>3</sub>	↑ système de manutention	pi	↓ NO <sub>x</sub> (↑ NH <sub>3</sub> )	pi	pi
Chaudière de récupération à faible teneur en NOx grâce à l'utilisation de la technique Over Fire Air (OFA)	pi	pi	pi	↓ NO <sub>x</sub>	pi	pi
Lavage amélioré de la boue de chaux	pi	pi	pi	↓ TRS	pi	pi
ESP (électrofiltre) sur la chaudière à écorce et le four à chaux	pi	↑ électricité	pi	↓ poussière	pi	pi
Notes : ↑ = augmentation; ↓ = baisse; p.i. = pas d'impact (ou négligeable). (↑/↓) peut avoir ou ne pas avoir d'effet/un impact modéré selon les conditions; 1) en supposant un traitement efficace des effluents liquides.						

**Tableau 2.31 - Synthèse des techniques disponibles dans la fabrication de la pâte kraft, et leur impact respectivement sur l'environnement et les performances de l'usine.**

### 2.3.1 Écorçage à sec

#### Description de la technique

Dans le traitement du bois, il est possible de réduire les rejets en composés organiques et en MES (matières en suspension) en recourant à l'écorçage à sec. Les écorceurs par voie humide font tourner les grumes dans l'eau et enlèvent l'écorce par friction de la grume contre la paroi d'un tambour, en utilisant de grandes quantités d'eau. Cette eau est recyclée mais une certaine partie est perdue par débordement pour transporter l'écorce enlevée. Dans ce procédé de l'écorçage par voie humide, ce sont 3 à 10 m<sup>3</sup> d'eau qui sont rejetés par tonne de pâte. Des composés organiques, tels que acides résiniques, acides gras etc. et des matières fortement colorées sont lessivés de l'écorce et se retrouvent dans les effluents.

Ces dernières années, de nombreuses usines ont installé un système d'écorçage à sec. L'eau de process sert uniquement au lavage des grumes et au dégivrage (dans les climats froids, on utilise de l'eau ou de la vapeur pour dégeler le bois) et elle est recyclée efficacement avec une production minimum d'effluents et de polluants aquatiques. L'écorçage à sec donne une écorce avec un faible taux d'humidité, qui se traduira par un meilleur bilan énergétique pour l'usine. On a besoin de moins d'eau pour l'écorçage et la quantité de substances organiques dissoutes est moins importante.

Les effluents bruts d'une installation d'écorçage sont toxiques pour le milieu aquatique. Le traitement biologique s'avère très efficace pour éliminer cette toxicité.

#### Applicabilité et caractérisation de la technique

Technique intégrée dans le processus. L'écorçage à sec ou avec de faibles rejets d'effluents peut être appliqué dans les installations aussi bien nouvelles qu'existantes. Les écorceurs à sec prédominent dans l'industrie et les systèmes par voie humide sont en voie de disparition. Les nouvelles usines emploient exclusivement l'écorçage à sec et un nombre croissant d'usines existantes se tournent vers cette technique.

#### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Avec l'écorçage à sec, le volume d'effluents liquides provenant du traitement du bois est généralement de l'ordre de 0,5 à 2,5 m<sup>3</sup>/ADt. L'augmentation du recyclage de l'eau permet de réduire la quantité d'effluents liquides. Lorsqu'on passe de l'écorçage humide à l'écorçage à sec, cette réduction est souvent de l'ordre de 5 à 10 m<sup>3</sup>/ADt. Avec l'écorçage à sec, la charge totale en DCO peut être réduite jusqu'à 10 %. Les rejets types de l'écorçage à sec sont les suivants :

Technique d'écorçage	Volume d'effluents (m <sup>3</sup> /t de pâte)	DBO <sub>5</sub> (kg/t de pâte)	DCO (kg/t de pâte)	Total P (kg/t de pâte)
Écorçage par voie humide et presse à écorce	3 - 10	5 - 15	20 - 30	25 -35
Écorçage à sec et presse à écorce	0.5 - 2.5	0.5 - 2.5	1 - 10	10 20

**Tableau 2.32 - Charge polluante des effluents de l'écorçage par voie humide ou à sec avant traitement biologique (Rapport finlandais, 1997).**

La DBO<sub>7</sub> a été convertie en DBO<sub>5</sub> en appliquant la formule  $DBO_7/1.16 = DBO_5$  proposée dans ce même rapport. Le kg de polluant/m<sup>3</sup> de bois a été converti en kg de polluant/tonne de pâte en se basant sur une consommation type de 5 m<sup>3</sup> de bois/tonne de pâte.

La plus grande siccité de l'écorce dans la chaudière améliore le rendement énergétique, c'est-à-dire que les émissions par quantité d'énergie produite vont baisser.

### **Interactions entre les milieux**

Il se peut que la consommation d'énergie augmente dans l'installation d'écorçage parce que le tambour fonctionne en mode écorçage à sec. En revanche, on économisera des quantités substantielles d'énergie en utilisant l'écorce avec une teneur plus basse en humidité comme combustible auxiliaire.

### **Expériences opérationnelles**

Lorsque l'on a recours à l'écorçage à sec, un meilleur recyclage de l'eau associé à une meilleure élimination des résidus et des déchets est constatée. L'écorçage à sec exige habituellement du bois frais pour obtenir de bons résultats.

### **Aspects économiques**

Le coût des tambours écorçeurs à sec ne doit pas différer sensiblement de celui du système par voie humide. Un système entièrement neuf d'écorçage à sec représente un investissement type d'environ 15 MEuros pour une capacité de 1 500 ADt/j de pâte à papier.

Le coût de la conversion d'un système existant d'écorçage par voie humide en un système d'écorçage à sec est de 4 à 6 MEuros. Ce coût comprend le matériel et le montage. Il peut y avoir un surcoût en cas de besoins spécifiques éventuels liés au site, par exemple nouveaux bâtiments, dépenses spéciales d'insonorisation ou similaires, qui ne sont pas comprises dans le coût. Les dépenses de fonctionnement sont de l'ordre de 250 000 à 350 000 Euros/an, mais dans les deux cas, cela peut impliquer des investissements considérables.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

L'écorçage à sec permet de réduire les charges en MES, DBO et DCO ainsi que les composés organiques tels que acides résiniques, acides gras dans les effluents du parc à bois. Certaines de ces substances sont considérées comme toxiques pour la vie aquatique. Cette mesure contribue aussi à améliorer le rendement énergétique.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe et en Amérique du Nord.

### **Bibliographie**

(J. Pöyry, 1997a), (Rapport SEPA 4712-4, 1997), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997).

## **2.3.2 Cuisson modifiée étendue (en batch ou en continu) avec un faible indice kappa**

### **Description de la technique**

La délignification précédant le blanchiment est réalisée dans des lessiveurs et, dans de nombreuses usines, également par délignification à l'oxygène. C'est pourquoi les deux mesures 2.3.2 "cuisson modifiée étendue" et 2.3.4 "délignification à l'oxygène" doivent être considérées comme une seule unité car le point capital en regard de l'environnement est le degré total de délignification atteint à l'issue des opérations de délignification auxquelles la pâte est soumise avant d'entrer dans l'installation de blanchiment. Il convient d'établir un équilibre entre la réduction de l'indice kappa dans la cuisson et

dans la délignification à l'oxygène, étant donné que la sélectivité est beaucoup plus poussée dans ce dernier système (voir 2.3.4). Pour l'usine, l'important est de maîtriser les différents processus de façon à obtenir un rendement et des caractéristiques de résistance optima pour une certaine teneur en lignine.

Afin de réduire la teneur en lignine (faibles indices kappa) de la pâte qui arrive dans l'installation de blanchiment dans le but de réduire la consommation de produits chimiques onéreux pour le blanchiment, cette technique de la délignification étendue (ou cuisson modifiée de la pâte kraft) a été lancée vers la fin des années 1970 et au début des années 80. La diminution de la teneur en lignine entraîne une réduction des rejets de polluants en augmentant la quantité de substances organiques envoyées vers la chaudière de récupération. Plusieurs procédés kraft modifiés ont été mis au point et commercialisés dans des systèmes de cuisson discontinus ou continus.

### **Cuisson en continu**

Le système en continu offre trois solutions alternatives : la cuisson continue modifiée (MCC), la cuisson continue modifiée étendue (EMCC) et la cuisson isotherme (ITC). Dans la méthode MCC, la zone de cuisson dans le lessiveur est subdivisée en deux zones, à savoir une zone initiale à co-courant (courant parallèle) et une seconde zone à contre-courant. La charge de la liqueur blanche se répartit entre les deux zones. L'objet de la modification était de réduire la concentration initiale en alcali, de maintenir une concentration constante en alcali pendant l'opération de cuisson et une faible concentration en lignine dissoute dans la phase finale de la cuisson. La méthode EMCC a été développée à partir du processus MCC. Elle en diffère en ce que la liqueur blanche est également chargée dans la zone de lavage, de façon à étendre encore plus la délignification dans le lessiveur.

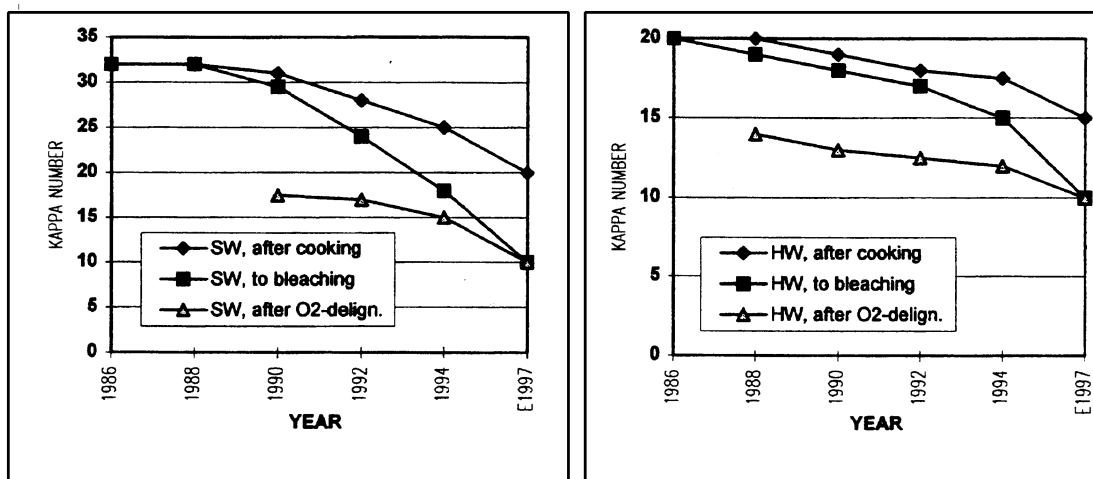
Le développement le plus récent dans la technique de la cuisson est celui de la cuisson isotherme (ITC), qui est une version améliorée de la MCC. Dans cette méthode ITC, on utilise l'intégralité du lessiveur pour la délignification, ce qui se traduit par des conditions moins dures (température de cuisson plus basse), et par conséquent par le respect de la résistance de la pâte à papier. Selon l'indice kappa recherché, la charge de produits chimiques pour la cuisson est soit inchangée, soit légèrement plus élevée. Étant donné que la méthode ITC est synonyme de température de cuisson plus basse, elle n'entraîne aucune augmentation de la consommation de vapeur et son incidence sur le rendement est limitée.

### **Cuisson en batch**

Dans le système discontinu, trois procédés sont commercialisés : le chauffage à déplacement rapide (Rapid Displacement Heating - RDH), le SuperBatch et le EnerBatch. Dans les méthodes RDH et SuperBatch, on effectue un prétraitement (imprégnation) avec la liqueur noire de manière à réduire la consommation de chaleur et – simultanément – augmenter la concentration initiale en sulfure et réduire la charge d'alcali actif. Dans le procédé Enerbatch, on réalise un prétraitement à la liqueur blanche suivi d'un prétraitement à la liqueur noire. Ces trois procédés de cuisson à déplacement rapide présentent une économie d'énergie substantielle et une amélioration de la qualité de la pâte.

La teneur en lignine est généralement exprimée en tant qu'indice kappa selon une méthode normalisée. La cuisson traditionnelle a ses limites, s'agissant de l'indice kappa le plus bas que l'on peut atteindre sans nuire à la qualité de la pâte (cet indice kappa est de l'ordre de 30 à 32 pour le bois résineux et de 18 à 20 pour le bois feuillus). En recourant à plusieurs modifications de la cuisson, il est possible de ramener l'indice kappa à un niveau de 18 à 22 pour le bois résineux et de 14 à 16 pour le bois feuillus, sans influencer sur le rendement et les propriétés de résistance. Cette diminution de l'indice kappa dépend entre autres de la technique de cuisson modifiée qui est mise en œuvre et du type d'installation considérée, nouvelle ou amélioration d'une installation ancienne. La figure 2.8 donne un exemple des tendances de l'indice Kappa dans les usines de pâte kraft en Finlande.





**Figure 2.8 - Evolution de l'indice kappa dans les usines de pâte kraft en Finlande. (Rapport finlandais sur les MTD, 1997)**

### Applicabilité et caractérisation de la technique

Technique intégrée dans le processus. Cette mesure peut être adoptée dans les nouvelles usines de pâte kraft et, dans certaines limites, dans des usines existantes.

Un certain nombre de lessiveurs en continu ont été ré-équipés en ITC sans incidence négative sur la production. Cependant, cette possibilité doit être évaluée dans chaque cas particulier (en raison des dimensions du lessiveur par rapport à sa capacité). D'autres lessiveurs en continu ont été adaptés à la méthode MCC. Pour cela, de la liqueur blanche est introduite dans le lessiveur en plusieurs endroits. Les procédés MCC et ITC permettent de cuire la pâte jusqu'à un indice kappa plus bas, sans pertes de qualité (indice 20 à 24 pour les bois résineux et 14 à 18 pour les bois feuillus). Dans les systèmes de cuisson en continu, la capacité de l'installation diminue à mesure que la cuisson est étendue, et ils impliquent des charges financières plus élevées pour l'usine de pâte.

Dans la cuisson en batch, la délignification étendue est obtenue au moyen de techniques de déplacement et de recyclage de la liqueur. Cette méthode peut être installée en complément de l'équipement d'une usine traditionnelle, si la capacité du lessiveur est suffisante. Dans une installation nouvelle, l'indice kappa de la cuisson peut être maintenu à 15/16 pour les bois résineux et à 12 environ pour les bois feuillus. Dans la pratique, il est possible de modifier un système existant de cuisson en ajoutant des lessiveurs avec un investissement supplémentaire, sans perte de capacité de l'installation de cuisson.

### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Une diminution de la teneur en lignine signifie que l'installation de blanchiment rejette moins de substances organiques mais également moins de substances nutritives. Une unité kappa correspond en gros à 0,15 % de lignine dans la pâte à papier. Si l'indice kappa de la pâte venant de la cuisson ou de la délignification à l'oxygène (voir 2.1.6) peut être réduit d'une unité, la DCO rejetée dans l'installation de blanchiment serait réduite d'environ 2 kg/ADt (la DCO provenant du blanchiment TCF peut atteindre jusqu'à 3 kg DCO/unité kappa). Pour avoir une idée du rejet total de l'installation de blanchiment, il faut toutefois ajouter la quantité de polluants qui n'a pas été lavée dans la partie en circuit fermé du processus (voir 2.3.10).

### **Interactions entre les milieux**

La cuisson étendue a une incidence sur plusieurs éléments dans le procédé kraft :

- la consommation d'alcali actif ( $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$ ) peut augmenter légèrement
- la quantité de substances dissoutes arrivant jusqu'au système de récupération augmente
- la génération de chaleur dans la chaudière de récupération augmente
- la demande de produits chimiques pour le blanchiment baisse
- la charge de polluants dans l'effluent liquide du blanchiment est moins importante
- dans la cuisson batch modifiée, la consommation d'énergie et la quantité de vapeur de soufflage baissent, mais la consommation de vapeur dans l'évaporation de la liqueur noire risque d'augmenter.

L'incidence de la cuisson étendue sur la production dépend très étroitement de chaque site.

### **Expériences opérationnelles**

On a obtenu des réductions de l'indice kappa de 6 à 7 unités pour le bois résineux et de 4 à 5 unités pour le bois feuillus, sans perte des propriétés de résistance.

### **Aspects économiques**

Le montant des investissements requis pour modifier le système de cuisson traditionnel existant en un système à délignification étendue est de 4 à 5 MEuros pour une usine produisant 1 500 ADT/j. Pour bénéficier de la réduction de la DBO et de la DCO, il faut également augmenter l'efficacité du lavage. Cela coûterait 2 à 4 MEuros supplémentaires. Mais, avec l'ITC, il n'est pas nécessaire d'ajouter du matériel de lavage si la modification est réalisée sans changement de capacité. Avec un lessiveur en continu ou lorsque la chaudière de récupération fonctionne déjà à pleine capacité, la perte de production peut atteindre 4 à 8 %. Dans de tels cas, pour compenser l'accroissement de la charge de la chaudière, la solution consiste à prévoir des phases d'évaporation supplémentaires pour augmenter la concentration de solides secs dans la liqueur noire, d'ajouter de l'anthraquinone dans la pâte ou d'accroître la capacité de la chaudière.

Généralement, l'incidence de la cuisson étendue sur la production est très étroitement liée au site. Si le circuit de récupération des produits chimiques constitue un goulot d'étranglement dans une usine, l'introduction de la délignification étendue risque d'entraîner une baisse de la production en raison de la demande accrue de la surcharge de cet atelier (voir ci-dessus).

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La réduction des émissions dans l'eau est la principale raison invoquée pour mettre en œuvre cette technique. Un autre effet avantageux est également la réduction de la consommation de produits chimiques onéreux pour le blanchiment. Cette réduction doit être comparée à la baisse possible du rendement et à l'augmentation de la consommation de bois pour pouvoir évaluer les économies nettes possibles de coût dans chaque cas d'espèce.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

(J. Pöyry, 1997a), (J. Pöyry, 1997b), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (Bowen, 1990)

### 2.3.3 Epuration en circuit fermé

#### Description de la technique

Le circuit d'eau de l'installation d'épuration de la pâte écrue peut être entièrement fermé, ce qui est effectivement le cas dans la plupart des usines européennes. Avec les méthodes modernes de conditionnement et de cuisson du bois, il reste moins de 0,5 % de nœuds et de bûchettes dans la pâte à l'issue de la cuisson. Ce circuit fermé contribue à réduire la quantité de composés organiques dans les effluents, qui sont alors récupérés et incinérés dans la chaudière de récupération. L'idée est de fonctionner à contre-courant, avec pour conséquence une augmentation progressive de la teneur en matières sèches de la liqueur.

#### Applicabilité et caractérisation de la technique

Technique intégrée dans le processus. Cette mesure peut être adoptée dans les usines de pâte kraft aussi bien existantes que nouvelles.

Le fonctionnement en circuit fermé du lavage et de l'épuration peut nécessiter un complément d'équipement ou le remplacement du matériel existant par de nouvelles unités pour parvenir à réduire la consommation d'eau de lavage et disposer de meilleurs matériaux pour lutter contre la corrosion. Dans un petit nombre d'usines existantes, il faudra peut-être augmenter la capacité de l'installation d'évaporation ou de la chaudière de récupération pour faire face à l'amélioration du fonctionnement en circuit fermé des installations de lavage et d'épuration.

#### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Le circuit fermé contribue à réduire de façon significative la quantité de composés organiques dans les effluents, qui sont alors récupérés et incinérés dans la chaudière de récupération. De cette façon, il n'y a aucun rejet dans l'eau de la part de l'installation d'épuration.

#### Interactions entre les milieux

La consommation d'énergie augmente à cause de la demande accrue d'évaporation.

#### Expériences opérationnelles

Cette mesure est appliquée depuis les années 1980 avec de bons résultats. Par exemple, en Finlande, le lavage de la pâte écrue et l'épuration en circuit fermé sont un état de fait dans presque toutes les usines.

#### Aspects économiques

Le montant des investissements est habituellement de 4 à 6 MEuros pour les installations nouvelles et de 6 à 8 MEuros pour les installations existantes. Les dépenses de fonctionnement s'élèvent à 0,3 à 0,5 MEuros/an pour une capacité de production de 1 500 ADT/j.

Une étape importante dans l'évolution de l'épuration est que, aujourd'hui, il est possible d'épurer des pâtes présentant une consistance plus élevée que par le passé. Il en résulte une baisse des investissements et de la consommation d'énergie électrique.

#### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

La réduction des émissions dans l'eau est la principale raison invoquée pour mettre en œuvre cette technique.

#### Installations de référence

De nombreuses installations en Europe.

## Bibliographie

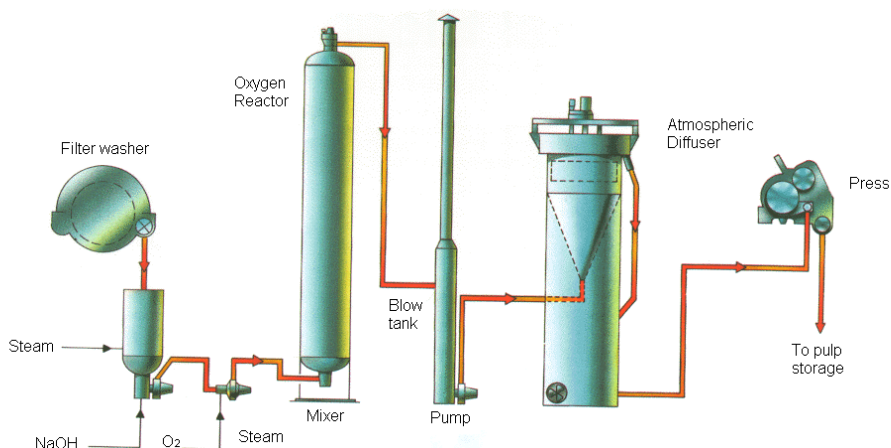
(J. Pöyry, 1997a), (J. Pöyry, 1997b), (SSVL 1974)

### 2.3.4 Délignification à l'oxygène

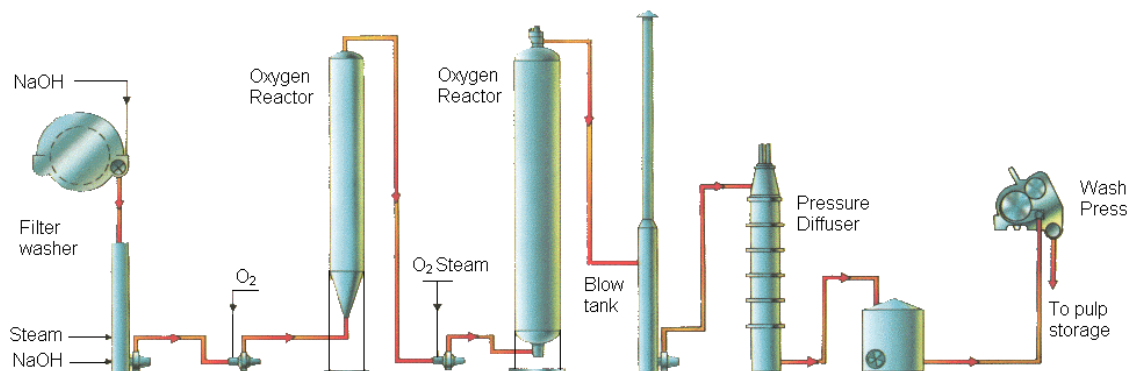
#### Description de la technique

Après la cuisson, les fibres contiennent encore de la lignine qui doit être enlevée avant le blanchiment final. Pour conserver la résistance de la pâte, cette opération doit se faire de façon sélective, de manière à endommager le moins possible la partie cellulosique des fibres et à éviter au maximum les pertes de rendement. La moitié environ de la lignine résiduelle dans la pâte écrue peut être éliminée et récupérée en ajoutant de l'oxygène à une solution alcaline de fibres. Dans cette délignification à l'oxygène, l'oxygène, la liqueur blanche oxydée et le sulfate de magnésium sont mélangés à la pâte avec une consistance soit élevée (25 à 30 %) soit moyenne (10 à 15 %) dans un réacteur. Une des étapes de la délignification à l'oxygène a également été appelée blanchiment à l'oxygène (on utilise également des étapes à l'oxygène dans l'installation de blanchiment et, dans le présent rapport, la délignification à l'oxygène sert à traiter la pâte non blanchie ou pâte écrue). Afin de préserver l'équilibre en sodium de l'usine, la phase oxygène utilise la liqueur de cuisson oxydée, dans laquelle le principal produit chimique alcalin est l'hydroxyde de sodium, et dans laquelle le sulfure de sodium a été oxydé pour donner du thiosulfate. Le réacteur de délignification est pressurisé et la température portée à environ 100 °C.

La délignification à l'oxygène s'effectue en une ou deux étapes après la cuisson et avant le blanchiment, et elle peut atteindre un rendement de 40 à 60 %. Pour atteindre plus de 40 %, on a normalement besoin d'installations à deux étapes. La liqueur utilisée est envoyée à contre-courant vers le circuit de récupération des produits chimiques. Les figures 2.9 et 2.10 présentent un exemple d'un processus moderne de délignification à une et à deux étapes.



**Figure 2.9 - Système de délignification à l'oxygène à une étape**



**Figure 2.10 - Système de délignification à l'oxygène à deux étapes**

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Cette technique peut être appliquée dans les fabriques de pâte kraft nouvelles et existantes mais pas de la même façon ni au même coût.

La mise en place d'une opération de délignification à l'oxygène dans une usine de pâte kraft existante peut faire baisser la production de la ligne de fibres si l'on ne dispose pas d'une réserve de capacité suffisante dans l'ensemble du circuit de récupération.

Les besoins supplémentaires en vapeur pour l'évaporation vont de 0 à 4 % pour un circuit à consistance élevée, et de 4 à 10 % pour celui à consistance moyenne. La charge totale en matières sèches supplémentaire est d'environ 70 kg/t pour le bois résineux et de 45 kg/t pour le bois feuillu. La production de vapeur de l'excédent de matières sèches est inférieure d'environ 1,5 à 2,5 % à l'augmentation de matières sèches, parce que la liqueur noire de l'étape oxygène a une moindre valeur calorifique.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Les principaux avantages de la délignification à l'oxygène sont une baisse de la quantité de produits chimiques dans le blanchiment final et du coût total des produits chimiques pour le blanchiment, et une diminution de la charge polluante provenant de l'installation de blanchiment (DCO et composés organiques chlorés du blanchiment final dans le cas d'un blanchiment ECF). Les usines modernes sont toujours conçues pour permettre de combiner la cuisson modifiée et la délignification à l'oxygène et il faut considérer ces deux techniques ensemble en ce qui concerne l'impact sur l'environnement (rejets de DCO et AOX).

Le tableau 2.33 récapitule les indices kappa qu'il est actuellement possible d'obtenir avec différentes techniques de délignification, et donne une comparaison sommaire des charges des effluents auxquelles on peut s'attendre avec et sans délignification étendue.

Technique de délignification	Indice Kappa (bois feuillus)	Indice Kappa (bois résineux)	Charge DCO calculée (kg/t) provenant de l'installation de blanchiment	
			feuillus	résineux
Cuisson conventionnelle	14 - 22	30 - 35	28 - 44	60 - 70
Cuisson conventionnelle + délignification à l'oxygène	13 - 15	18 - 20	26 - 30	36 - 40
Cuisson étendue / modifiée	14 - 16	18 - 22	28 - 32	36 - 44
Cuisson étendue + délignification à l'oxygène	8 - 10	8 - 12	16 - 20	16 - 24

**Tableau 2.33 - Indices kappa actuellement obtenus avec différentes techniques de délignification et comparaison de la DCO calculée des effluents sans tenir compte des pertes au lavage.**

La réduction de l'indice kappa, des substances organiques et de la consommation de produits chimiques dans la délignification à l'oxygène est étroitement liée à l'efficacité du lavage entre les stades. Les résultats mentionnés en ce qui concerne l'environnement ne sont atteints que sous réserve d'un lavage efficace (voir 2.3.10).

#### **Interactions entre les milieux**

S'agissant de la consommation d'énergie, cette mesure est synonyme d'une légère augmentation de la récupération d'énergie à partir des matières organiques dissoutes mais aussi d'une baisse de la valeur calorifique de la liqueur noire provenant des composés minéraux.

Une récupération accrue pourrait contribuer à augmenter les émissions de NO<sub>x</sub> de la chaudière de récupération.

#### **Expériences opérationnelles**

La pâte blanchie à l'oxygène et celle blanchie selon la méthode traditionnelle présentent des propriétés de résistance très proches, bien que la première possède une viscosité moyenne inférieure. On n'observe aucune différence significative de l'indice d'éclatement ou de l'indice de déchirement pour une longueur de rupture donnée.

Selon certaines usines, un stade oxygène avant le blanchiment du bois résineux se traduit par une augmentation des particules et agglomérats de fibres.

#### **Aspects économiques**

Le montant type de l'investissement pour un système de délignification à l'oxygène est de 35 à 40 MEuros/an pour une production de 1 500 ADt/j de pâte blanchie. Ses dépenses de fonctionnement sont de 2,5 à 3 MEuros/an. Mais cette délignification à l'oxygène permet de diminuer la consommation de produits chimiques dans le blanchiment. L'effet net est une économie qui est fonction de l'essence de bois. Dans les usines existantes, on a indiqué des charges supplémentaires de matières sèches vers la chaudière de récupération pouvant atteindre 10 % et généralement de l'ordre d'au moins 4 à 6 %, ainsi qu'une capacité supplémentaire nécessaire de 4 à 6 % pour la recaustification et le four à chaux. Si cette capacité n'est pas facilement disponible, il en résulte normalement une baisse correspondante de la capacité de production de l'ensemble de l'usine.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

C'est la réduction des émissions dans l'eau qui est l'une des raisons justifiant la mise en œuvre de cette méthode.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe et en Amérique.

### **Bibliographie**

(J. Pöyry, 1997a), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (J. Pöyry, 1997b), (Bowen, 1990)

## **2.3.5 Blanchiment à l'ozone**

### **Description de la technique**

Le blanchiment à l'ozone est lié à la production des pâtes à papier ECF (exemptes de chlore élémentaire) et TCF (totalement exemptes de chlore). Le principal objectif poursuivi en recourant à l'ozone est d'améliorer le potentiel de délignification. L'ozone active les fibres vis-à-vis du peroxyde, ce qui a pour résultat un plus grand degré de blancheur et une diminution de la consommation de peroxyde.

L'ozone est généré au moyen de décharges électriques dans un courant d'oxygène gazeux. Le blanchiment à l'ozone  $O_3$  est synonyme d'un investissement très élevé en raison du coût élevé des générateurs d'ozone et de l'équipement auxiliaire pour la génération de l'ozone. Étant donné que la concentration en ozone ne sera que d'environ 14 à 16 % dans l'oxygène, on aura besoin d'importants volumes d'oxygène. De ce fait, les dépenses de fonctionnement sont plutôt élevées compte tenu du coût élevé de l'oxygène (requis pour la génération de l'ozone), ainsi que de la consommation élevée d'énergie. Un générateur d'ozone moderne peut consommer 10 à 15 kWh/kg d'ozone lorsqu'il est alimenté avec de l'oxygène.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Technique intégrée dans le processus. Cette mesure peut être adoptée aussi bien dans les usines existantes que nouvelles.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Dans le blanchiment ECF, le remplacement du chlore contribue à abaisser encore les rejets d'AOX ("ECF léger"). Dans le blanchiment TCF, l'ozone est une étape de blanchiment habituelle. Dans les usines TCF, grâce à l'utilisation de l'ozone et d'autres produits chimiques de blanchiment exempts de chlore, il est plus facile de réaliser des circuits fermés pour les filtrats provenant des étapes de lavage (voir 2.3.8). Un stade pressurisé (PO) en fin de blanchiment est une autre solution pour réduire la charge de bioxyde de chlore. Un stade PO est courant pour les usines de pâte TCF.

### **Interactions entre les milieux**

Pas d'interactions notables entre les milieux.

### **Expériences opérationnelles**

Le recours à l'ozone dans une installation de blanchiment donne une pâte possédant les mêmes propriétés.

### Aspects économiques

L'investissement pour un système de blanchiment à l'ozone de 1 500 ADt/j s'élève à 12 à 15 MEuros. Les dépenses de fonctionnement correspondantes sont de 1,8 à 2,1 MEuros/an.

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

La réduction des émissions dans l'eau est la principale raison justifiant la mise en œuvre de cette méthode.

### Installations de référence

Environ 16 installations depuis 1992, dont 13 concernent des usines de pâte kraft.

### Bibliographie

(J. Pöyry, 1997b), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (J. Pöyry, 1997a), (Fuhrmann, 1998)

## 2.3.6 Blanchiment ECF

### Description de la technique

Le blanchiment ECF (Exempt de Chlore Élémentaire) est une opération de blanchiment qui n'utilise par le chlore élémentaire (chlore gazeux,  $\text{Cl}_2$ ). Dans la méthode ECF, c'est le bioxyde de chlore qui est le principal agent de blanchiment. L'élimination de la lignine lors du blanchiment se fait en plusieurs étapes, dont les deux premières consistent essentiellement à libérer et à extraire la lignine, les étapes suivantes s'appliquant à l'élimination des résidus de lignine et à la finition. Une installation de blanchiment comprend une série de stades de blanchiment avec addition de différents produits chimiques ou combinaisons de produits chimiques.

Le chlore élémentaire peut être remplacé par du bioxyde de chlore dans le premier stade de blanchiment, car ce dernier possède une capacité d'oxydation par atome de chlore cinq fois plus élevée que le chlore, et qu'il présente pratiquement les mêmes propriétés sélectives d'élimination de la lignine. En renforçant les phases d'extraction en milieu alcalin à l'aide d'oxygène et/ou de peroxyde d'hydrogène, on obtient un meilleur effet de blanchiment par oxydation, qui réduit la teneur résiduelle en lignine dans la pâte avant les stades finaux de blanchiment au bioxyde de chlore.

En augmentant le taux de remplacement du bioxyde de chlore, on diminue la formation de substances organiques chlorées et on élimine la formation de dioxines, qui sont considérées comme ayant un effet écologique nuisible sur les milieux aquatiques récepteurs.

Si l'on substitue de plus en plus de chlore par du bioxyde de chlore, il faudra en général modifier la séquence de blanchiment et augmenter la production de dioxyde de chlore sur le site.

Le blanchiment ECF est différent pour le bois résineux et pour le bois feuillus, et dans les usines existantes, le système ECF envisageable est tributaire du processus de blanchiment déjà en place. En règle générale, pour atteindre une blancheur donnée, le bois feuillus demande moins de produits chimiques que le bois résineux, ce qui se traduit en général par une réduction du nombre des stades de blanchiment. Le tableau 2.34 donne un certain nombre de solutions parmi tout l'éventail des variantes possibles. Des exemples de séquences pour le ECF « léger » sont (DZ)(EOP)D, (DQ)(PO), D(EOP)D(PO) et celles-ci peuvent s'appliquer aussi bien au bois feuillus qu'au bois résineux en fonction de la blancheur recherchée.



ECF / bois résineux	ECF / bois feuillus
D(EP)D	D(EOP)D(EP)D
DPDP	D(EO)D(EP)D
D(EOP)DD	D(EOP)DD
D(EO)DD	D(EO)DD
D(EO)D(EP)D	QDPZP
DQ(PO)	
D(EOP)DED	
D(EO)D(OP)	
D(EOP)D(OP)	
(OP)DQ(PO)	
Remarques : D = phase de blanchiment au bioxyde de chlore avec une solution aqueuse de bioxyde de chlore (ClO <sub>2</sub> ). E = extraction alcaline à l'aide de NaOH; EO = extraction alcaline à l'aide de NaOH suivie d'une addition d'oxygène gazeux en tant qu'agent de renforcement; EP = extraction alcaline à l'aide de NaOH suivie d'une addition de solution de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en tant qu'agent de renforcement; P - phase alcaline avec H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> en tant que liquide; EOP = phase de blanchiment avec extraction alcaline à l'aide d'hydroxyde de sodium suivie d'une addition d'oxygène et d'une solution de peroxyde d'hydrogène en tant qu'agent de renforcement; Q = phase acide lorsqu'on a utilisé des agents de chélation EDTA ou DTPA pour éliminer les métaux; Z = blanchiment à l'ozone à l'aide de O <sub>3</sub> ; PO = blanchiment au peroxyde pressurisé.	

**Tableau 2.34 - Séquences de blanchiment dans les processus ECF de fabrication de pâte kraft de bois résineux (SW) et de bois feuillus (HW).**

Le bioxyde de chlore est le produit chimique de blanchiment qui possède la plus grande sélectivité. Exécuter la première phase du blanchiment à l'aide de bioxyde de chlore exclusivement implique que la charge totale de chlore effectif doit être augmentée et que l'on utilisera plus d'oxygène et de peroxyde d'hydrogène dans les phases d'extraction par rapport aux phases traditionnelles C ou C/D.

**Exemple des caractéristiques d'un stade bioxyde de chlore (D) :**

Consistance de la pâte : 10 %; temps de réaction : 30 mn.; température : 60 °C; pH final 3,5.

**Exemple des caractéristiques d'un stade extraction alcaline renforcée à l'oxygène et au peroxyde d'hydrogène (EOP) :**

Consistance de la pâte : 12 %; temps de réaction : 60 mn.; température : 60 à 70 °C; charge d'alcali : 10 à 20 kg/ADt; charge d'oxygène : 3 à 6 kg/ADt; charge de peroxyde d'hydrogène : 2 à 4 kg / ADt.

Le peroxyde peut être appliqué en plusieurs positions ou de différentes façons :

- renforcement d'une phase oxygène initiale douce (charge faible ou modérée)
- renforcement de phases d'extraction en milieu alcalin (charge faible)
- réglage du degré final de blancheur dans des tours de stockage haute densité (charge faible)
- phase distincte délignification / blanchiment (charge élevée)
- phase distincte délignification / blanchiment (charge élevée, PO). L'impact positif d'une phase (PO) en fin de l'installation de blanchiment est que l'on peut produire la pâte ECF dans une usine existante sans avoir besoin d'investir dans une capacité supplémentaire de production de bioxyde de chlore.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

La mesure peut être adoptée dans les usines de pâte kraft nouvelles et existantes. La conversion d'une usine existante en usine ECF est possible, mais elle demande souvent d'importantes modifications dans la ligne fibre et dans la production de bioxyde de chlore : les générateurs de bioxyde de chlore doivent être modernisés pour faire face au besoin accru de ce produit. Les installations de blanchiment existantes doivent être équipées de nouveaux systèmes supplémentaires de mélange des produits chimiques etc. Le coût des produits chimiques de blanchiment va augmenter.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

- Élimination de 2,3,7,8-TCDD et 2,3,7,8-TCDF jusqu'à des niveaux indécélables. Cependant, l'élimination complète des dioxines dans les effluents du blanchiment ECF est une question d'indice kappa et présence de  $\text{Cl}_2$  avec  $\text{ClO}_2$ . Avec un indice kappa élevé et du  $\text{ClO}_2$  présentant une forte concentration de  $\text{Cl}_2$ , la probabilité de formation de dioxines augmente.
- Élimination des chlorophénols prioritaires que l'Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA) a proposé de réglementer à des niveaux indécélables.
- Diminution de la formation de chloroforme.
- Réduction de la formation de composés organiques chlorés (AOX) à un niveau de 0,2 à 1,0 kg/ADt avant le traitement externe des effluents. Habituellement, le blanchiment ECF permet d'atteindre facilement des niveaux  $\text{AOX} < 0,3 \text{ kg AOX/ADT}$ .

### **Interactions entre les milieux**

La mise en application du blanchiment ECF a obligé l'industrie papetière à augmenter l'utilisation des produits chimiques de substitution pour le blanchiment, ce qui demande des quantités considérables d'énergie pour la fabrication du bioxyde de chlore, de l'oxygène et du peroxyde d'hydrogène.

### **Expériences opérationnelles**

La production de pâte ECF a été testée et expérimentée pendant de nombreuses années dans des chaînes de fabrication de pâte à l'échelle industrielle.

### **Aspects économiques**

L'investissement pour un circuit de blanchiment ECF de 1 500 ADt/j s'élève à 8 à 10 MEuros pour les installations nouvelles, et à 3 à 5 MEuros pour les installations existantes. Les dépenses de fonctionnement sont de 10 à 12 MEuros/an. Ces dépenses sont fondées sur l'hypothèse que l'on peut utiliser une installation de blanchiment existante et que l'investissement inclut l'augmentation nécessaire de la production de bioxyde de chlore. Les dépenses de fonctionnement incluent également le surcoût lié à l'utilisation de bioxyde de chlore à la place de chlore élémentaire pour le blanchiment.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La réduction des émissions d'AOX dans l'eau (installation de traitement des effluents et milieu récepteur) est la principale raison justifiant la mise en œuvre de cette technique.

### **Installations de référence**

Plusieurs installations en Europe, Amérique du Nord et du Sud et Afrique du Sud.

### **Bibliographie**

(J. Pöyry, 1997b), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (J. Pöyry, 1997a), (ECF, 1997), (rapport SEPA 4713-2, 1997).

### 2.3.7 Blanchiment TCF

#### Description de la technique

Le blanchiment TCF (Totalemt Exempt de Chlore) est une opération de blanchiment qui est exécutée sans aucun produit chimique contenant du chlore. Le blanchiment TCF s'est développé rapidement même si son application a requis plusieurs modifications du processus de fabrication de la pâte. Dans ce blanchiment TCF, le peroxyde d'hydrogène associé à l'ozone (Z) ou à l'acide peracétique (AP) sont les produits chimiques les plus couramment utilisés. Sous réserve que la pâte ait un indice kappa suffisamment bas après la cuisson étendue et la délignification à l'oxygène et que les métaux de transition (par ex.  $Mn^{2+}$ ) aient été éliminés au cours des opérations de chélation nécessaires (phases Q), il est possible d'atteindre le degré de blancheur maximum requis sur le marché avec le seul peroxyde comme produit chimique de blanchiment. La courbe dose-effet appliquée au degré de blancheur par rapport à la consommation de peroxyde est très plate lorsqu'on arrive au degré de blancheur maximum, ce qui signifie que des perturbations, même minimales, de l'indice kappa en entrée peuvent entraîner des coûts de blanchiment relativement élevés et une baisse de qualité de la pâte à cause d'un moins bon degré de blancheur.

Une solution possible pour réduire la consommation de peroxyde d'hydrogène consiste à introduire une phase ozone dans la suite des opérations, juste avant la phase peroxyde (ZQP). L'ozone est très efficace pour réduire la quantité de peroxyde requise pour obtenir des degrés de blancheur même très élevés. Un inconvénient de l'ozone est que, utilisé en charges importantes, il a tendance à attaquer les chaînes cellulodiques.

Les peracides sont désormais disponibles sur le marché sous forme par exemple d'acide peracétique (AP). Ce produit chimique de blanchiment est un complément précieux dans une phase précédant le peroxyde d'hydrogène, où il peut remplacer l'ozone. On peut atteindre un degré de blancheur maximum même si l'indice kappa de la pâte est légèrement supérieur à l'indice le plus bas. L'inconvénient du peracide est son coût, qui est encore relativement élevé.

Le tableau 2.35 donne des exemples de différentes séquences de blanchiment TCF.

TCF/bois résineux (SW)	TCF/bois feuillus (HW)
Q(EP)(EP)(EP)	QPZP
Q(OP)(ZQ)(PO)	Q(OP)(ZQ)(PO)
Q(EOP)Q(PO)	Q(EOP)Q(PO)
Q(OP)ZQ(PO)	Q(OP)ZQ(PO)
Remarques :	
Q = phase acide dans laquelle on a utilisé un agent de chélation EDTA ou DTPA pour éliminer les métaux; EP = phase d'extraction alcaline à l'aide de NaOH suivie d'une addition de solution de $H_2O_2$ en tant qu'agent de renforcement; EOP = phase de blanchiment avec extraction alcaline à l'aide d'hydroxyde de sodium suivie d'une addition d'oxygène et d'une solution de peroxyde d'hydrogène en tant qu'agent de renforcement; EO = phase d'extraction à l'aide de NaOH suivie d'une addition d'oxygène gazeux en tant qu'agent de renforcement; P = phase alcaline avec $H_2O_2$ en tant que liquide; Z = blanchiment à l'ozone à l'aide de $O_3$ gazeux; PO = blanchiment au peroxyde pressurisé.	

**Tableau 2.35 - Séquences de blanchiment dans la fabrication TCF de pâte kraft de bois résineux (SW) et de bois feuillus (HW).**

#### Exemple des caractéristiques de la phase Q :

EDTA : 1 à 2 kg/ADt, pH = 5,7 à 6,2; consistance de la pâte : 10 %; temps de réaction : 60 mn.; température : 90 °C.

**Exemple des caractéristiques de la phase E (extraction en milieu alcalin) renforcée à l'oxygène et au peroxyde (EOP) :**

NaOH : 10 à 20 kg/ADt; oxygène : 3 à 6 kg/ADt; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 2 à 4 kg/ADt; pH = 11; temps de réaction : 60 mn.; température : 60 à 70 °C.

**Exemple des caractéristiques de la phase P :**

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 20 à 40 kg/ADt; pH = 11 à 11,5; temps de séjour : 4 h; température : 90 °C.

La première opération de blanchiment TCF était basée sur du peroxyde dans des conditions alcalines et une forte consommation de peroxyde d'hydrogène reste encore la principale caractéristique de toutes les opérations de blanchiment TCF.

La décomposition du peroxyde est catalysée par certains ions métal qui doivent être éliminés dans une phase acide avant la phase peroxyde.

Le peroxyde peut être appliqué en plusieurs positions ou de différentes façons :

- renforcement d'une phase oxygène initiale douce (charge faible ou modérée) : OP
- renforcement des phases d'extraction en milieu alcalin (charge faible) : EP
- réglage du degré final de blancheur dans des tours de stockage haute densité (charge faible) : P
- phase séparée délignification / blanchiment (charge élevée) : P
- phase séparée délignification sous / blanchiment (charge élevée) : PO.

Le pré-traitement de la pâte à l'aide d'un agent électrophile approprié avant le blanchiment au peroxyde peut "activer" les fibres et améliorer leur réaction au peroxyde. L'ozone peut favoriser ce type d'effet.

L'ozone est devenu le complément le plus courant du peroxyde dans les opérations de blanchiment TCF. Le principal objectif du recours à l'ozone est d'obtenir une plus grande efficacité de délignification. L'ozone active les fibres vis-à-vis du peroxyde d'hydrogène avec pour résultat un meilleur degré de blanc et une légère baisse de la consommation de peroxyde d'hydrogène. En revanche, la sélectivité de l'ozone est faible. Une consommation excessive, une température trop élevée ou tout autre traitement inapproprié risque d'entraîner une importante dégradation de la cellulose. L'ozone doit de préférence être appliqué dans des conditions acides (pH = 2 à 3). Une température trop élevée (> 70 °C) affecte la sélectivité. Une pression élevée augmente la solubilité de l'ozone dans la phase aqueuse pendant le blanchiment (l'ozone dissous est réputé être moins agressif pour les hydrates de carbones que l'ozone en phase gazeuse). La consistance de la pâte est un paramètre important dans le blanchiment à l'ozone. Les installations de blanchiment à l'ozone fonctionnent dans des conditions de consistance moyenne (8 à 15 %) ou élevée (> 30 %).

Si l'on utilise de l'ozone, il faut prévoir une nouvelle unité de fabrication sur place en raison de la décomposition rapide de l'ozone pendant le transport ou le stockage. Les dépenses de fonctionnement de la fabrication de la pâte à papier selon la méthode TCF sont habituellement un peu plus élevées que pour la méthode ECF.

**Applicabilité et caractérisation de la technique**

Cette mesure peut être adoptée dans les usines de pâte kraft nouvelles ou déjà existantes.

Dans les installations existantes, il est généralement nécessaire de prévoir une nouvelle phase oxygène et un stade de lavage et une phase de chélation pour convertir l'opération de blanchiment ECF en TCF. Si l'on a recours à des phases peroxyde d'hydrogène ou ozone, on utilise deux nouvelles tours de blanchiment et il faudra reconstruire les filtres de blanchiment. Le blanchiment à l'ozone implique des générateurs d'ozone et un réacteur. Pour l'acide peracétique, on a besoin d'une tour de blanchiment.

Pour les usines entièrement nouvelles (« greenfield mills »), les modifications et les investissements nécessaires seront moins importants, mais les dépenses de fonctionnement resteront du même ordre de grandeur.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Dans le blanchiment TCF, le taux d'AOX est nul.

### **Interactions entre les milieux**

Aujourd'hui, en comparant les techniques ECF et TCF, on n'observe pas de différences significatives en ce qui concerne la consommation de produits chimiques et d'énergie.

### **Expériences opérationnelles**

Le blanchiment TCF est maintenant une technique bien établie. De nombreuses usines en Europe se sont donné les moyens de produire de la pâte TCF dans le cadre de campagnes distinctes, au lieu de pâte ECF, en fonction de la demande du marché. Quelques usines produisent uniquement de la pâte TCF. Toutefois, des coûts de production légèrement plus élevés et l'absence d'amélioration dans la qualité du produit ont limité la demande, et la part des pâtes TCF n'a pas augmenté depuis ces deux dernières années.

### **Aspects économiques**

L'investissement pour un blanchiment au peroxyde dans le cas d'installations nouvelles pour une production de 1 500 ADt/j est de 7 à 8 MEuros ; pour les usines de pâte existantes, il est de 2 à 5 MEuros selon le matériel de l'installation de blanchiment existante. Si ce matériel est compatible avec le peroxyde d'hydrogène, le coût est de 2 à 3 MEuros. Les dépenses de fonctionnement pour le blanchiment au peroxyde sont beaucoup plus élevées, 18 à 21 MEuros/an par rapport au blanchiment ECF à cause du coût plus élevé des produits chimiques.

Si l'on utilise à la fois le blanchiment à l'ozone et au peroxyde, les frais d'investissement sont plus élevés (voir aussi section 2.3.5, Blanchiment à l'ozone).

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Les émissions d'AOX dans l'eau sont réduites et il n'y a pas de formation de composés organiques chlorés lors du blanchiment TCF.

### **Installations de référence**

Plusieurs installations en Europe et quelques installations dans le reste du monde.

### **Bibliographie**

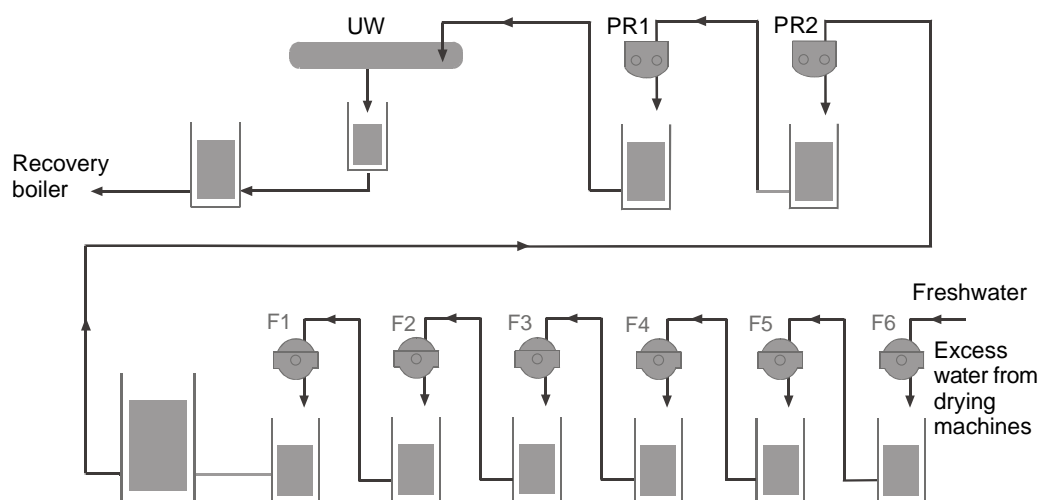
(J. Pöyry, 1997b), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (J. Pöyry, 1997a), (ECF, 1997), (rapport SEPA 4713-2, 1997).

### 2.3.8 Fermeture partielle de l'installation de blanchiment

#### Description de la technique

Une quantité limitée de polluants est rejetée dans les effluents en dehors du blanchiment. Si l'installation de blanchiment pouvait être mise totalement ou partiellement en circuit fermé, cela contribuerait à réduire davantage les rejets dans l'eau de substances organiques, de substances nutritives et de métaux.

La principale condition à remplir pour mettre l'installation de blanchiment en circuit fermé, notamment le recyclage des filtrats vers la régénération, est de réduire les débits. L'utilisation d'eau à contre-courant depuis la dernière étape du blanchiment, en passant par toute la suite des opérations, via le dispositif de lavage de la phase oxygène, jusqu'au lavage de la pâte écrue, peut être effectuée, conformément au schéma de la figure 2.11 (Alfthan, 1996).



**Figure 2.11 - Principe d'un circuit d'eau possible dans des installations de blanchiment à circuit fermé**

**F1 - F6 = Filtres de lavage dans l'installation de blanchiment; PR1 + PR2 = presses de lavage dans la délignification à l'oxygène; UW = laveur horizontal constituant la dernière étape du lavage de la pâte écrue; les bacs fournissent la capacité de stockage nécessaire pour les eaux. Le circuit d'eau représenté ci-dessus n'a été en service que pendant une période de quelques mois. Il est actuellement de nouveau partiellement ouvert.**

Comme il ressort de la figure 2.11, pour augmenter le niveau de fonctionnement en circuit fermé de l'installation de blanchiment, on a besoin d'une capacité supplémentaire de stockage pour les eaux, et il faut réaménager le circuit de distribution de l'eau.

Il est inévitable que des substances organiques dissoutes et des produits de la réaction s'accumulent dans le filtrat qui circule autour des phases peroxyde. Cette accumulation de solides dissous provoque une hausse supplémentaire considérable de la consommation de produits chimiques pour le blanchiment. Il se peut même que l'on n'arrive pas du tout à atteindre le degré de blanc maximum. Le lavage à contre-courant présente une complication supplémentaire, dans la mesure où le réglage du pH à l'aide d'acide sulfurique et de soude caustique deviendra onéreux en raison de l'importante capacité "tampon" de la pâte à papier. L'équilibre sodium-soufre de l'usine peut s'en trouver perturbé. On peut en conclure que, actuellement, une installation de blanchiment fonctionnant en circuit véritablement fermé n'est pas encore une technique disponible. Mais on peut acheminer les filtrats dans deux circuits à contre-courant, l'un acide et l'autre alcalin. On peut utiliser l'eau alcaline pour le lavage de la pâte

dans la section non blanchie du processus. Il en résultera une réduction significative des débits et des rejets de l'installation de blanchiment par rapport aux circuits classiques.

Il faut tenir compte du fait que, en raison de la présence de calcium dans la pâte, pendant tout le blanchiment oxydant, il se forme une quantité importante d'acide oxalique. Lorsqu'on utilise un filtrat alcalin comme eau de lavage pour une pâte venant d'une phase acide ou mélangée à un filtrat acide contenant du calcium dissous, il existe un risque de précipitation d'oxalate de calcium solide. La tendance à la précipitation de l'oxalate de calcium augmente à mesure que les concentrations de calcium et d'oxalate augmentent. En d'autres termes, plus le système fonctionne en circuit fermé ou plus les filtrats sont recyclés, plus le risque de précipitation ou d'oxydation est élevé. On n'a pas encore trouvé de solution à ce problème. Il est pratiquement impossible d'abaisser les rejets de l'installation de blanchiment au-dessous de 5 m<sup>3</sup>/t, la valeur la plus basse actuellement atteinte. Il faut poursuivre les recherches pour trouver des "reins" (par exemple échange d'ions ou précipitation) pour purger le circuit soit du calcium soit de l'oxalate ou probablement des deux. On a également besoin de ces reins pour éviter l'accumulation d'autres substances indésirables (ce que l'on appelle les éléments extérieurs au processus) susceptibles d'altérer le processus de blanchiment, les équipements ou le produit.

Enfin, des concentrations élevées en chlorures peuvent entraîner une corrosion des équipements en cas de recyclage des eaux usées de l'installation de blanchiment dans le circuit fermé. Il est donc préférable que ce soient des usines TCF ou ECF utilisant de petites quantités de bioxyde de chlore qui essaient d'augmenter le degré de fonctionnement en circuit fermé de l'installation de blanchiment.

#### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Généralement, la réduction de la consommation d'eau fraîche dans l'installation de blanchiment peut être appliquée aussi bien dans les usines existantes que dans les nouvelles. Mais, dans le cas des usines existantes, les investissements nécessaires pour le stockage de l'eau blanche, les tuyauteries et la mise en place d'un système de contrôle pour la gestion de l'eau sont relativement plus élevés. Les usines plus récentes ont déjà moins d'eau à gérer du fait de la plus grande efficacité de leur matériel. Une condition préalable indispensable à ces mesures est de disposer d'évaporateurs et d'une chaudière de récupération possédant une capacité suffisante. Il convient de noter qu'il est plus facile de procéder à l'évaporation des effluents de l'installation de blanchiment dans le cas de la méthode TCF. Sous l'angle de la sécurité, dans le blanchiment ECF, compte tenu de l'état actuel des connaissances, il existe un risque élevé de corrosion par le chlorure dans la chaudière de récupération.

#### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Cette mesure de prévention de la pollution permet de réduire les débits et également les charges en DCO. Les chiffres types de rejets d'effluents d'une installation de blanchiment sont de 20 à 40 m<sup>3</sup> d'eau /ADt, et 20 à 25 m<sup>3</sup> /ADt pour une nouvelle installation. Il a été dit qu'un fonctionnement en circuit partiellement fermé de l'installation de blanchiment permettrait de ramener le volume à 10 m<sup>3</sup> /ADt avec un rejet correspondant de DCO d'environ 6 kg/ADt. Une usine a déclaré avoir ramené le rejet de l'installation de blanchiment à 5 m<sup>3</sup>/t seulement avec une réduction correspondante de 30 kg à 14 kg DCO/t, y compris une réduction simultanée de la toxicité des effluents.

#### **Interactions entre les milieux**

Les phases P et D du blanchiment ainsi que la phase d'extraction alcaline bénéficient des températures plus élevées dans le circuit d'eau. Les substances organiques dissoutes provenant des effluents de l'installation de blanchiment sont acheminées, via les évaporateurs, vers la chaudière de récupération. Cela nécessite une capacité et une consommation d'énergie additionnelles dans l'installation d'évaporation. D'autre part, le traitement externe sera réduit et produira moins de boues.

### **Expériences opérationnelles**

On a commencé des essais dès 1993 de fermeture des circuits dans une usine de pâte kraft en Suède. Des installations "à l'échelle industrielle" sans effluents de blanchiment ont fonctionné pendant quelques mois. Suite à des problèmes d'entartrage et de bouchage (précipitation d'oxalate de calcium), le circuit d'eau a été partiellement rouvert dans le premier stade acide pour éliminer le filtrat avec la concentration en calcium la plus élevée. Après avoir équilibré les conditions du processus, l'usine fonctionne actuellement avec une installation de blanchiment en circuit partiellement fermé. Un petit nombre d'autres usines en Europe et en Amérique du Nord ont également procédé à une mise en circuit partiellement fermé de leur installation de blanchiment.

### **Aspects économiques**

Des investissements importants doivent être prévus : une reconstruction totale des circuits d'eau dans l'installation de blanchiment est nécessaire, y compris un stockage supplémentaire pour les eaux. Il faut élaborer et mettre en œuvre une stratégie pour la gestion de l'eau dans l'installation. Aucune donnée fiable sur les coûts n'était disponible.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Réduction des charges de DBO et DCO. Les usines de pâte à papier fonctionnant sans traitement biologique externe ont été les premières à réduire les effluents provenant de l'installation de blanchiment grâce à des mesures internes au processus.

### **Installations de référence**

Quelques usines en Suède, Finlande et Amérique du Nord.

### **Bibliographie**

(Annergren, 1996), (Alfthan, 1996), (Höök, 1997)

## **2.3.9 Récupération des fuites**

### **Description de la technique**

Les usines de pâtes chimiques doivent mettre en œuvre des mesures au niveau des installations dans le but de minimiser les rejets d'effluents. Le traitement externe des effluents, notamment lorsqu'il comprend un traitement biologique, peut être gravement perturbé en raison de rejets accidentels liés à la fabrication de la pâte.

On observe des pertes de liqueur au niveau des joints d'étanchéité sur le lavage de la pâte écrue, les pompes et les vannes servant à sa circulation, des trieurs de nœuds et des tamis, des débordements au niveau des évaporateurs, des fuites de liqueur pendant la maintenance, les démarrages et les mises à l'arrêt. D'autres fuites surviennent lors de dérèglements, de débordements de capacités, de pannes mécaniques, d'erreurs opératoires, et de modifications d'installation.

Les usines de pâtes chimiques devraient être conçues autour des principes suivants :

- collecte des fuites présentant la concentration la plus élevée possible
- recyclage des fuites et des fibres aux points les plus appropriés
- confinement de zones à risques (y compris tall oil et térébenthine) pour éviter tout dysfonctionnement de l'installation de traitement externe des effluents.
- surveillance de la conductivité ou du pH à des points stratégiques pour détecter les pertes et fuites (système de contrôle des fuites).



La liqueur faible provenant du lavage de la pâte écrue ainsi que la liqueur concentrée qui en résulte après passage dans la chaîne d'évaporation ont toutes les deux une importance particulière, et des fuites peuvent affecter le traitement externe des effluents.

Une récupération efficace des fuites demande un réseau d'égouts approprié, de telle sorte que la plupart des liquides répandus, eaux de joints hydrauliques ou de lavage des sols - cuisson de la pâte, lavage et épuration, stockage et évaporation des liqueurs, préparation de la liqueur de cuisson - soient recueillis et pompés soit directement soit par le biais de réservoirs intermédiaires, dans des réservoirs de stockage appropriés. La nécessité d'une telle récupération doit être limitée, évidemment pour des raisons économiques, aux zones dans lesquelles la concentration du mélange de liquides répandus est d'au moins 2 à 3 % de solides dissous secs. Dans ces zones de collecte, l'eau de lavage des sols et des joints hydrauliques dilue le liquide à récupérer, ce qu'il faut éviter.

Les condensats de cuisson et d'évaporation de la liqueur doivent être stockés avant d'être réutilisés. Ces condensats sont répartis, en fonction de leur degré de propreté, en différentes fractions : propre, partiellement polluée et polluée. La dernière fraction notamment risque de trouver moins de possibilités d'utilisation et, en dépit d'une capacité de stockage suffisante, elle est rejetée, provoquant une charge organique et un accroissement de la température globale de l'effluent. On diminuera les rejets de condensats pollués ou semi-pollués en s'en servant pour remplacer l'eau fraîche. Une solution, également pour des raisons liées à l'environnement, consiste à les faire passer par un stripping pour éliminer le soufre réduit et les composés organiques volatiles et en faire de l'eau chaude relativement propre pouvant être utilisée pour de plus nombreuses applications dans le processus.

Au niveau de l'installation de tall oil et de la récupération de térébenthine, il faut prendre soin d'éviter les fuites qui seront rejetées vers la station de traitement externe. La lessive et la térébenthine contiennent des substances susceptibles d'avoir des effets toxiques dans le traitement biologique.

Une usine de pâte kraft pourrait nécessiter jusqu'à cinq réseaux de collecte équipés de pompes de récupération à commande automatique. Il en faudrait jusqu'à 9 pour des usines moyennement complexes et jusqu'à 12 pour des usines complexes.

A côté des aspects techniques étudiés ci-dessus, la formation du personnel peut s'avérer un moyen très efficace de réduire les rejets de substances nocives.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Mesure intégrée dans le processus. Applicable aux installations aussi bien nouvelles qu'existantes. Cependant, il est plus facile d'intégrer ce système efficace de maîtrise des fuites au niveau de la conception et de la construction d'une usine nouvelle que de l'ajouter à l'équipement d'une usine ancienne.

Dans les installations existantes, la mise en place d'un système de rétention des fuites doit être réalisée en liaison avec l'évaluation d'autres améliorations efficaces par rapport à leur coût, notamment pour le lavage et l'épuration de la pâte à papier, l'évaporation et la filtration des liqueurs.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Cette mesure capitale pour la pollution est liée à la MTD 2.3.12 "Utilisation de réservoirs tampons d'une capacité suffisante etc." Les résultats obtenus sur le plan de l'environnement impliquent une combinaison de ces deux MTD.

Une analyse générale a fait ressortir que, avec une bonne gestion du processus et une rétention bien conçue des fuites, un système de récupération et une capacité additionnelle de 5 à 10 % dans l'installation d'évaporation, il est possible d'atteindre une réduction de la charge des effluents de 3 à 8 kg DCO/ADt par rapport aux usines ayant un système de récupération insuffisant ou pas de système et une stabilité médiocre du processus. Au total, les fuites peuvent représenter moins de 2 kg DCO/ADt.

En outre, en évitant les rejets accidentels avec une charge organique et quelquefois toxique élevée ou un pH continuellement faible ou élevé, on réduit le risque de dysfonctionnements dans l'installation de traitement externe des effluents.

### **Interactions entre les milieux**

Le traitement des fuites demande 5 à 10 % de capacité d'évaporation en plus. On consommera aussi 5 à 10 % de vapeur et d'énergie en plus. En revanche, la collecte des fuites se traduit par une récupération d'énergie et de produits chimiques lorsqu'ils sont brûlés dans la chaudière de récupération.

### **Expériences opérationnelles**

La rétention des fuites et des débordements dans le processus, et la mise en place d'une politique pertinente de gestion dans la production des produits chimiques, se sont avérés avantageux et nécessaires, tant sous l'angle économique qu'environnemental. De nombreuses usines ont résolu ce problème de façon efficace grâce à des moyens très simples. Les limitations à une mise en œuvre efficace de ces mesures sont dues à des goulots d'étranglement au niveau du processus spécifiques aux usines, essentiellement au niveau du lavage et de l'épuration de la pâte ou de l'évaporation.

### **Aspects économiques**

Pour une usine de pâte kraft produisant 1 500 ADt/j de pâte à papier, le montant de l'investissement pour des systèmes de gestion de la liqueur répandue s'élève à 0,8 à 15 MEuros. S'il faut prévoir une extension de 0,8 m<sup>3</sup>/ADt de l'installation d'évaporation, on aura besoin de 4 à 6 MEuros supplémentaires. Les dépenses de fonctionnement sont évaluées à quelque 100 000 à 400 000 Euros/an, mais elles peuvent varier considérablement selon qu'il s'agit d'une usine nouvelle ou existante. Dans le cas des usines nouvelles, on dispose généralement d'une plus grande quantité de chaleur excédentaire, et les dépenses de fonctionnement se situent dans le bas de la fourchette.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Réduction des rejets de DBO et DCO.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines dans le monde entier.

### **Bibliographie**

(Compte rendu Tappi, 1996), (Rapport SEPA, 4713-2, 1997)

## **2.3.10 Efficacité du lavage et maîtrise du processus**

### **Description de la technique**

L'objectif du lavage de la pâte écrue est de séparer aussi complètement que possible les fibres de la pâte des produits chimiques organiques et minéraux dissous, en récupérant ainsi le maximum de produits chimiques de cuisson et de substances organiques dissoutes.

La phase de lavage consiste en une combinaison de dilution et d'épaississement successifs ou de déplacement. Dans la pratique, chaque combinaison de matériel de lavage utilise ces méthodes dans des proportions différentes. Il existe tout un éventail de matériel de lavage de la pâte, dont les plus représentatifs sont les filtres à tambour à vide ou pressurisés, les laveurs de type fourdrinier, les

laveurs diffuseurs atmosphériques et pressurisés et les presses de lavage. Parmi ceux-ci, la presse de lavage et les laveurs diffuseurs ou tambours laveurs pressurisés offrent les meilleures performances. La consistance accrue de la pâte se traduit par une diminution de la quantité d'eau polluée accompagnant le circuit de la pâte.

Étant donné que le lavage n'est jamais efficace à 100 %, une certaine quantité de produits chimiques et de polluants (entraînement) sont transportés avec la pâte jusque dans l'installation de blanchiment où ils consomment des produits chimiques de blanchiment et sont habituellement rejetés dans les égouts.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Cette mesure peut être adoptée aussi bien dans les usines de pâte kraft existantes que dans les nouvelles.

Dans la pratique, pour les usines existantes il se peut que les modifications du système de lavage ne supportent pas la comparaison, également pour des raisons pratiques, avec le nouvel ensemble d'équipement de lavage.

Un système de lavage en circuit fermé met en évidence l'importance de la collecte des fuites. La liqueur de lavage en sortie contient à la fois des substances organiques et inorganiques. Les effluents de lavage rejoignent l'installation de traitement externe des effluents.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

La perte au lavage après passage dans un système traditionnel de filtres de lavage rotatifs peut être d'environ 5 à 8 kg DCO/ADt, au lieu de 2 à 4 kg DCO/ADt dans un système de lavage moderne comprenant un laveur à presse. Les substances résiduelles sont adsorbées ou enfermées dans des fibres. Avec cette dernière méthode, la consistance de la pâte passe d'environ 10 à 15 % à 25 à 35 % et la teneur en eau baisse de 6 à 10 m<sup>3</sup>/ADt à 2/3 m<sup>3</sup>/ADt. Plusieurs stades de lavage en série permettent d'atteindre une efficacité de récupération de la liqueur noire de 96 à 98 %.

Un lavage efficace en amont de la phase de délignification à l'oxygène se traduit par une réduction de la consommation d'oxygène. En présence d'un système efficace de lavage avant la première phase de blanchiment, on observera une baisse de la quantité de substances organiques entraînées jusqu'au blanchiment avec, pour résultat, une réduction des rejets AOX, DBO et DCO dans les effluents de l'usine.

### **Surveillance**

Il existe des méthodes normalisées pour mesurer cet entraînement que l'on appelle souvent "perte au lavage". A l'origine, ces pertes au lavage étaient mesurées en tant que teneur en sulfate de sodium de la pâte. Cette perte de produit chimique d'appoint étant devenue moins importante, la perte au lavage est maintenant exprimée en tant que DCO.

### **Interactions entre les milieux**

Les substances inorganiques qui restent dans la pâte ont pour résultat une demande accrue de produits chimiques d'appoint.

### **Expériences opérationnelles**

Le principe de base remonte à plusieurs années. La technique du lavage a évolué au cours des années et de nouvelles solutions ont été testées et éprouvées.

### Aspects économiques

L'investissement type s'élève à 4 à 6 MEuros pour une installation nouvelle et à environ 2 à 4 MEuros pour une installation existante. Il n'y a aucune dépense de fonctionnement supplémentaire.

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

La réduction des émissions dans l'eau est la principale raison justifiant la mise en œuvre de cette méthode.

### Installations de référence

De nombreuses installations en Europe.

### Bibliographie

(J. Pöyry, 1997a), (J. Pöyry, 1997b), (Conférence de Tappi sur l'environnement, 1992)

## 2.3.11 Stripping et recyclage des condensats

### Description de la technique

Le but de la séparation (ou stripping) des condensats pollués concentrés est de réduire la consommation d'eau fraîche de l'usine, la charge en pollution organique qui est dirigée vers l'installation de traitement des effluents et les émissions de SRT. Cette opération de séparation et de réutilisation des condensats peut abaisser de façon significative la charge en DCO vers l'installation de traitement des effluents.

Les condensats peuvent être classés en :

- condensats primaires - condensats de la vapeur vive qui sont normalement suffisamment propres pour pouvoir être réutilisés comme alimentation de la chaudière (après traitement)
- condensats secondaires - condensats pollués de la vapeur qui proviennent de la liqueur noire, etc.

Les condensats sont produits par les vapeurs de process des lessiveurs et des évaporateurs. Au total, ce sont environ 8 à 10 m<sup>3</sup>/ADt de condensats qui se forment avec une charge DCO d'environ 20 à 30 kg/t et 7 à 10 kg/ADt de DBO<sub>5</sub>. Normalement, 1 m<sup>3</sup>/ADt est fortement pollué, 4 m<sup>3</sup>/ADt le sont moyennement et 4 m<sup>3</sup>/ADt sont faiblement contaminés.

La DCO est principalement constituée de méthanol (5 à 10 kg/ADt) avec un peu d'éthanol et un certain nombre de composés soufrés organiques (1 à 2 kg/ADt SRT), 1 à 2 kg de térébenthine et des composés nitreux inorganiques. Le condensat contaminé contient en outre des cétones, des terpènes, des substances phénoliques, des acides résiniques et gras et divers gaz dissous. Une importante proportion de l'azote rejeté par une usine de pâte kraft se trouve dans les condensats.

Environ 1 m<sup>3</sup> de condensat par tonne de pâte a une concentration en 10 à 20 kg de DCO/m<sup>3</sup>. Ce niveau est plus élevé dans les condensats de pâte de bois feuillus que dans ceux de bois résineux. Ces condensats concentrés sont généralement traités dans un stripper, où l'efficacité d'extraction pour la plupart des composés dépasse 90 %, selon le pH. En général, les traitements éliminent en même temps les gaz malodorants (SRT) et les substances contribuant à la DCO. Après traitement, les condensats peuvent présenter un niveau de 1 à 1,5 kg DCO/m<sup>3</sup> de condensat. Les gaz peuvent être soit incinérés dans une chaudière spéciale suivi d'une épuration du SO<sub>2</sub> ou bien brûlés dans le four à chaux. Cette dernière option peut poser des problèmes, affectant la capacité du four à chaux d'absorber les composés sulfureux.

Environ 7 à 9 m<sup>3</sup> de condensats (moyennement ou faiblement contaminés) présentent une DCO comprise entre 0,5 et 2 kg DCO/m<sup>3</sup> contenant au total 8 à 12 kg de DCO/t de pâte.

S'agissant des condensats moyennement contaminés, le stripping peut être réalisé dans un système lié à l'installation d'évaporation, le traitement se faisant ainsi sans consommation supplémentaire importante d'énergie. De cette façon, la charge totale en DCO avant toute réutilisation est ramenée à environ 5 kg/t, soit une réduction d'environ 50 % par rapport à la solution comportant un seul traitement des condensats les plus pollués.

La colonne de rectification (stripping) peut être un équipement séparé, ou elle peut faire partie intégrante de l'installation d'évaporation. Les condensats sont amenés au sommet de la colonne. La vapeur ou le condensat vaporisé s'élève à contre-courant depuis le bas de la colonne vers le condensat contaminé. La vapeur de tête de la colonne de rectification est envoyée vers un condenseur à reflux où elle est partiellement condensée. L'objet de ce condenseur à reflux est de condenser une partie de l'eau contenue dans les gaz et d'augmenter la concentration en substances volatiles des gaz qui sortent dudit condenseur. Les gaz non condensables contiennent la majorité des composés volatils qui sont extraits dans la colonne de rectification. Ils sont acheminés pour être incinérés à l'endroit où les composés organiques et SRT sont détruits par oxydation thermique.

Les condensats épurés sont exempts de métaux et donc particulièrement utiles pour le lavage dans l'installation de blanchiment lorsqu'on envisage de mettre cette partie du processus en circuit fermé. On peut également les réutiliser dans le lavage de la pâte écrue, dans la zone de caustification (lavage et dilution de la boue, buses d'aspersion du gâteau de chaux), en tant que eau du scrubber des SRT pour le four à chaux ou comme eau d'appoint pour la liqueur blanche. Cela signifie que certains condensats seront utilisés dans des circuits fermés du processus et ne seront pas rejetés. D'autres condensats seront utilisés dans des parties en circuit ouvert, par exemple l'installation de blanchiment, et finiront dans l'effluent avec les autres condensats qui ne sont pas réutilisés mais envoyés directement vers le traitement des effluents.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Le stripping à la vapeur est une méthode viable de traitement in situ pour réduire la DCO des condensats contaminés des usines de pâte kraft. Cette méthode peut être mise en œuvre aussi bien dans les usines existantes que dans les usines nouvelles. La colonne de rectification des condensats peut être placée à part ou elle peut être intégrée dans l'installation d'évaporation. Dans le premier cas, on aura besoin de vapeur primaire sortie chaudière, alors que dans le second on peut utiliser de la vapeur secondaire des évaporateurs. Il faut prévoir une oxydation thermique des vapeurs provenant du stripping. On peut utiliser à cet effet le four à chaux, les chaudières productrices d'énergie et les incinérateurs séparés pour le SRT.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Le meilleur endroit pour réutiliser les condensats est le lavage de la pâte, soit au niveau du dernier laveur, soit de l'épaississeur dans une usine avec une épuration fermée. La demande d'eau de lavage est de 10 à 13 m<sup>3</sup>/ADt. Les condensats de cuisson et d'évaporation peuvent représenter de 6 à 9 m<sup>3</sup>/ADt, ce qui équivaut à l'économie potentielle d'eau. Si l'on ne procède qu'au seul stripping complet des condensats très pollués, le résultat obtenu est de 4 à 6 kg DCO/ADT, alors qu'avec le stripping des condensats moyennement contaminés, on peut atteindre environ 3 à 5 kg DCO/ADt. Environ 97 % du SRT et 92 % du méthanol sont éliminés des condensats.

### **Interactions entre les milieux**

Si l'on a recours au stripping à la vapeur, les gaz non condensables (GNC) doivent être incinérés séparément pour éviter le dégagement de gaz SRT concentrés dans l'atmosphère. Cela fait l'objet d'une discussion plus approfondie en liaison avec les sections 2.3.18 et 2.3.19.

Lorsqu'on procède au stripping de condensats pollués concentrés, la charge vers l'installation de traitement des effluents s'en trouvera diminuée et, en cas de difficultés pour satisfaire aux conditions de rejets, on pourra peut-être éviter de nouveaux investissements dans l'installation de traitement des effluents. Cela signifie également que l'on aura besoin de moins d'énergie pour l'aération et de moins d'énergie et de produits chimiques dans le traitement des boues.

En combinant la récupération de condensats propres et de condensats de la colonne de rectification, il est possible de réduire la consommation d'eau fraîche de 6 m<sup>3</sup>/ADt maximum. Étant donné que les condensats sont chauds, on peut économiser une partie de l'énergie de la colonne de rectification.

Il est possible de réduire les émissions potentielles de SRT provenant de l'installation de traitement des effluents en procédant au stripping préalable à la vapeur des condensats.

Comme les effluents gazeux du stripping contiennent de 8 à 12 kg/ADt de méthanol, il existe un potentiel pour économiser du fioul ou du gaz naturel, à condition que le gaz du stripping puisse remplacer le combustible.

Le stripping des condensats réduit le niveau d'émissions des composés SRT des condensats contaminés. Ces composés SRT comprennent l'hydrogène sulfure, le méthylmercaptan, le diméthylsulfure et le diméthylbisulfure. Ces émissions sont partiellement responsables des odeurs malodorantes émises par une fabrique de pâte kraft.

### **Expériences opérationnelles**

Le stripping du condensat contaminé est utilisé depuis de nombreuses années dans les usines modernes. Si on l'utilise pour enlever d'importantes quantités de méthanol, le condensat de la colonne de rectification est relativement propre et peut être réutilisé dans l'usine de pâte à papier pour des applications telles que le lavage de la pâte écrue.

La conception de base doit minimiser la charge vers le système de stripping en séparant les condensats pour réduire les investissements. Dans l'installation d'évaporation, le condensat vaporisé de la première liqueur peut être fractionné en deux parties. Le condenseur à surface peut être subdivisé en deux unités ou en deux étapes de condensation. La vapeur dégagée d'un lessiveur en batch peut être condensée en deux étapes. La vapeur secondaire peut être utilisée comme source de vapeur principale pour la colonne de rectification.

### **Aspects économiques**

Le montant des investissements pour un système de stripping dans une fabrique de pâte kraft de 1 500 ADt/j se chiffre à environ 2,0 à 2,5 MEuros. Des investissements supplémentaires seront peut-être nécessaires pour augmenter la capacité de l'installation d'évaporation de l'usine, mais cela dépend essentiellement de la configuration de l'installation d'évaporation existante. Les coûts des additions à l'équipement existant peuvent varier entre 1 et 4 MEuros.

Les dépenses de fonctionnement du système de stripping des condensats se composent principalement du coût de la vapeur utilisée pour le stripping et de la maintenance. Si le système fonctionne indépendamment de l'installation d'évaporation, les dépenses de fonctionnement sont sensiblement plus élevées en raison de la demande de vapeur primaire. Ces dépenses sont d'environ 0,6 à 0,7 MEuros/an. Si le système de stripping est inséré entre les effets de l'évaporation, les dépenses de fonctionnement sont moins élevées, à savoir environ 0,3 à 0,4 MEuros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Les usines de pâte kraft peuvent rencontrer des problèmes de rejets de DCO. Il se peut que leur système de traitement des effluents liquides ne soit pas correctement dimensionné, ou qu'il ne fonctionne pas de façon adéquate ; elles peuvent se trouver confrontées à de nouvelles limites plus rigoureuses, ou à une extension de l'usine, ou à une modification du processus entraînant un accroissement de la charge en DCO de l'installation de traitement des effluents. Il existe donc bien une demande de réutilisation des condensats dans les process des usines de pâte à papier. La réutilisation de condensats contaminés sans traitement a des effets négatifs sur la qualité de la pâte.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines en Europe.

### **Bibliographie**

(Sebbas, 1988), (Zunich, 1993).

## **2.3.12 Capacités de stockage**

### **Description de la technique**

Les usines de pâtes chimiques doivent mettre en œuvre des mesures judicieuses pour minimiser les rejets de liquides chauds ou concentrés du process en tant qu'effluents. D'abord, le traitement externe des effluents, notamment s'il comprend un traitement biologique, peut être gravement perturbé à la suite de rejets accidentels. Ensuite, certains circuits de liqueur de process revêtent une importance économique en raison de la valeur énergétique ou en produits chimiques qu'ils contiennent.

La présente mesure de limitation de la pollution est liée à la MTD 2.3.9 "Collecte et rétention des fuites". S'agissant du système de contrôle des fuites, veuillez vous référer à cette section. Pour prévenir les charges inutiles et les dérèglements dans le traitement externe des effluents, les liqueurs de cuisson et de régénération et les condensats contaminés doivent bénéficier de capacités de stockage supplémentaires dépassant d'au moins 30 % les volumes normaux de fonctionnement.

Il est important de disposer de volumes disponibles pour la rétention des liqueurs noires diluées ou concentrées, notamment lors d'arrêts, de démarrages, de dysfonctionnements. Les volumes de stockage sont fonction de la concentration de la liqueur, mesurée par sa teneur en matières sèches (DS). Par exemple, dans une usine existante de pâte kraft, la liqueur noire faible peut avoir une concentration de 8 % et la liqueur concentrée de 60 %, contre 16 % et 75 % dans une usine neuve. Les volumes de stockage doivent être considérablement plus élevés dans les usines avec une efficacité de lavage faible de la pâte écrue ou avec une installation d'évaporation standard.

La capacité de réserve requise au-delà des conditions normales doit être en mesure de faire face aux pointes d'une durée de quelques heures en raison des perturbations. Cette capacité de réserve doit en outre être adéquate pour pouvoir stocker suffisamment de liqueur faible pour que l'installation d'évaporation puisse fonctionner normalement en cas d'arrêt provisoire de la cuisson et du lavage, ou d'un arrêt provisoire de courte durée d'une installation d'évaporation pour une maintenance rapide. Cette capacité de stockage doit également être adéquate pour stocker suffisamment de liqueur concentrée en cas d'arrêts de courte durée de la chaudière de récupération sans abaisser le rendement de l'évaporation, ou permettre un arrêt provisoire de l'installation d'évaporation pour une maintenance de courte durée.

Les usines existantes qui envisagent de mettre en œuvre une délignification à l'oxygène doivent évaluer leur capacité de stockage de la liqueur faible et de la liqueur concentrée et la capacité de leur installation d'évaporation car cette étape du processus va vraisemblablement entraîner une augmentation de la quantité d'eau circulant dans l'installation d'évaporation.

La liqueur et la liqueur blanchie de cuisson sont exemptes de substances organiques mais présentent des valeurs pH très élevées. Les capacités tampons correspondantes doivent absorber des pics d'écoulement de courte durée ou par exemple des arrêts momentanés d'unités connexes du processus, comme les opérations de filtration. Ces liqueurs, si elles sont envoyées à l'installation de traitement des effluents, provoquent des chocs de pH qui, s'ils sont mal maîtrisés avant le traitement biologique, entraînent des dérèglements.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Cette technique est intégrée dans le processus. L'optimisation de la capacité de stockage tampon nécessaire pour les flux chauds ou concentrés s'applique aussi bien aux usines existantes qu'aux usines nouvelles et s'avère indispensable sous de nombreux aspects. Ces mesures non seulement contribuent à conserver des produits chimiques précieux dans le processus de production, mais elles ont aussi une influence considérable sur les aspects environnementaux de l'usine. Dans les usines existantes, la solution au problème du confinement fiable des flux du processus réside dans l'équipement de base du processus lui-même. Ainsi, la mise en place de stockage tampon et de confinement des liquides répandus doit être réalisée en association avec l'évaluation d'autres mesures d'amélioration, efficaces par rapport à leur coût, notamment au niveau du lavage et de l'épuration de la pâte, de l'évaporation et de la filtration des liqueurs.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Cette mesure de lutte contre la pollution est associée à la MTD 2.3.9 "Collecte des fuites". Le résultat atteint en ce qui concerne l'environnement implique une combinaison de ces deux MTD.

Le risque de perturbations de l'installation de traitement externe des effluents diminue si l'on peut éviter les rejets accidentels contenant des charges importantes en substances organiques, quelquefois toxiques, ou présentant un pH continuellement soit élevé soit faible du liquide arrivant. L'impact sur la charge hydraulique n'est pas aussi net, sauf dans les usines où le lavage et l'épuration sont en circuit ouvert.

### **Surveillance**

Des sondes de conductibilité conviennent parfaitement pour détecter et évaluer les liqueurs répandues car, très souvent, il est possible d'établir une corrélation entre la conductibilité et la concentration de la liqueur pour chaque flux spécifique. Dans les écoulements à faible concentration avec un pH variable, une sonde de pH en direct est la norme.

Les flux chauds nécessitant une surveillance spécifique dans l'évacuation des eaux usées peuvent faire l'objet d'une surveillance directe au moyen de sondes de température.

### **Interactions entre les milieux**

Des modifications au niveau des capacités tampons des liqueurs et des liquides chauds impliquent souvent des modifications ou des améliorations d'autres équipements, en particulier pour le lavage de la pâte ou l'évaporation. Les transferts de liquides chauds demandent de 5 à 10 % d'énergie supplémentaire dans l'installation d'évaporation.

### **Expériences opérationnelles**

Il existe de nombreuses façons de résoudre le problème des fuites de liqueurs et de leur confinement et rétentions dans le processus, et de mettre en place une politique de gestion pertinente des produits chimiques. Les limitations à une mise en œuvre efficace de ces mesures proviennent de goulots d'étranglement dans le processus spécifiques à l'usine, le plus souvent au niveau du lavage et de l'épuration de la pâte ou de l'évaporation.



### **Aspects économiques**

Pour une production de pâte de 1 500 ADt/j, l'investissement s'élève à environ 0,8 à 10 MEuros pour deux réservoirs de stockage de 3 000 m<sup>3</sup>, y compris les canalisations, l'isolation et les pompes nécessaires avec les équipements électriques et de contrôle du processus.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Ces mesures sont encouragées par des considérations environnementales et de sécurité du processus.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines modernes dans le monde entier.

## **2.3.13 Traitement secondaire ou biologique - traitements aérobies**

### **Description de la technique**

Le traitement secondaire ou biologique sert à éliminer les matières organiques (substances organiques) au moyen d'une dégradation biologique. Au préalable, un traitement primaire comprend notamment l'élimination des MES, une neutralisation, un échangeur thermique et le lissage du débit. L'objectif est de protéger le traitement secondaire contre les charges excessives et les à-coups. Dans la majorité des cas, le traitement des effluents des papeteries se fait par des procédés aérobies. Les méthodes les plus courantes utilisées dans ce contexte sont le lagunage aéré et les boues activées.

### **Lagunage aéré**

Le lagunage aéré s'effectue dans un bassin de grandes dimensions où les effluents séjournent de 3 à 20 jours. Les micro-organismes se développent, en atteignant des concentrations relativement faibles en MES dans le bassin, de l'ordre de 100 à 300 mg/l. Leur croissance nécessite de l'oxygène, qui provient presque exclusivement des aérateurs mécaniques. Les aérateurs de surface à turbine sont les unités de brassage les plus courantes mais, dans les bassins profonds, on utilise aussi des aérateurs de fond alimentés en air comprimé ou par auto-induction. Cette aération contribue aussi au mélangeage requis pour maintenir les solides en suspension et améliorer l'action microbienne.

En raison de l'importance de leur surface et de leur volume, les lagunes sont creusées dans le sol et peuvent comporter ou non une zone de décantation. Dans un cas, l'extrémité de la lagune n'est pas aérée, ce qui permet aux MES de se déposer. Dans l'autre cas, la décantation s'effectue dans une lagune distincte, dite de décantation. Le processus biologique n'implique pas de recyclage de la biomasse. Les boues produites ne sont que rarement curées, une fois tous les 1 à 10 ans.

Les lagunes aérées sont rarement mises en œuvre, notamment parce qu'elles présentent un taux d'élimination des polluants des effluents inférieur à celui du traitement par boues activées.

### **Boues activées**

Le traitement par boues activées comporte deux unités principales, le bassin d'aération et le clarificateur (décanteur secondaire ou bassin de sédimentation). Dans la première étape, le bassin d'aération, l'effluent est traité à l'aide d'une culture de micro-organismes (la boue activée), qui est présente dans une forte concentration. Les installations à boues activées dans les usines de pâte kraft ont un temps de séjour d'environ 15 à 48 heures, avec des valeurs supérieures pour les installations récentes.

La boue est séparée de l'eau dans le clarificateur. La majeure partie de la boue est recyclée vers le bassin d'aération, ce qui est nécessaire pour maintenir la boue à une concentration élevée. Une petite quantité de boue, correspondant à la croissance nette, est retirée du système comme boue excédentaire.

L'apport d'oxygène et le mélange au niveau du bassin d'aération sont assurés par des aérateurs mécaniques. On utilise différents types d'aérateurs, tels que les aérateurs de surface, à turbine immergés, à bulles fines et à jet. Les trois derniers types cités requièrent de l'air comprimé fourni par des soufflantes ou des compresseurs.

Il existe un large éventail de modèles de processus et d'installations pour le traitement à boues activées, selon la conception du bassin d'aération, du clarificateur, du matériel d'aération ainsi que du recyclage de la boue. Un procédé particulier est la boue activée à l'oxygène pur, dans lequel on utilise de l'oxygène pur ou de l'air enrichi d'oxygène à la place d'air ordinaire.

## **Applicabilité et caractérisation de la technique**

### **Lagunage aéré**

Le lagunage aéré est applicable aussi bien dans les usines de pâte kraft existantes que dans les nouvelles. Son utilisation a tendance à décroître, en raison essentiellement de son taux d'élimination faible à moyen des polluants des effluents, de la surface importante nécessaire et de l'important volume requis pour le bassin, des besoins élevés en énergie et du faible rendement énergétique de l'aération et du mélange. En outre, on rencontre quelquefois des problèmes de mousse et de mauvaises odeurs de l'effluent. L'enlèvement et l'évacuation de la boue déposée peuvent aussi entraîner des problèmes. On peut donc se demander s'il est encore justifié de considérer cette méthode comme une MTD.

### **Boues activées**

Ce procédé est applicable aussi bien dans les usines de pâte kraft existantes que dans les nouvelles. Dans les usines existantes, il serait préférable de prévoir quelques mesures visant à réduire la consommation d'eau de manière à limiter les investissements. On a souvent recours au procédé à boues activées lorsque le traitement doit avoir un rendement élevé ou très élevé. Mais, dans ce dernier cas, on peut aussi opter pour un processus biologique en deux étapes.

Les installations de traitement par boues activées sont très répandues dans l'industrie papetière. On estime qu'environ 60 à 75 % de toutes les installations de traitement biologique des effluents dans cette industrie ont recours à cette méthode à boues activées. C'est également le procédé le plus couramment utilisé dans les installations récentes.

Les avantages du procédé à boues activées résident dans son efficacité potentielle de traitement élevée ou très élevée, la possibilité de contrôler le processus (notamment la consommation d'oxygène) et le besoin relativement peu important d'espace.

Ses inconvénients sont une sensibilité relativement élevée aux perturbations et par conséquent un risque d'instabilité opérationnelle en l'absence de mesures de protection, comme un bassin régulateur, une production importante de boues résiduelles biologiques, et des dépenses de fonctionnement élevées.

Il existe des solutions alternatives moins encombrantes et moins onéreuses aux systèmes à boues activées. On dispose de moins de renseignements sur l'expérience acquise avec ces installations, mais elles sont réputées atteindre des niveaux de réduction équivalents aux systèmes à boues activées.

## **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

### **Lagunage aéré**

L'efficacité du traitement varie considérablement selon le type d'effluent, la conception de l'installation de traitement et les conditions de fonctionnement. On atteint des taux d'efficacité types d'élimination

de 40 à 85 % pour la DBO, 30 à 60 % pour la DCO et 20 à 45 % pour les AOX, les chiffres les plus élevés correspondant à un temps de séjour prolongé - 15 à 30 jours - dans le bassin et lorsque la température de l'effluent ou les polluants ne perturbent pas la croissance bactérienne. L'azote n'est pas éliminé et le phosphore en moins grande quantité, dans une fourchette de 0 à 15 %.

L'élimination des MES est très étroitement liée au cas d'espèce, et l'on a quelques exemples dans lesquels l'effluent en sortie contient plus de MES que le liquide en entrée. Les MES arrivant avec l'effluent sont facilement éliminées dans un bassin possédant une zone de décantation, mais la croissance microbienne produit des floes possédant de mauvaises caractéristiques de dépôt. Le rejet en MES est moins important pour les lagunes à temps de séjour élevé et avec une zone de décantation.

Par comparaison avec les boues activées, on peut aussi observer des effets défavorables, comme un important brouillard occasionnel par temps humide et froid, et de mauvaises odeurs provenant des zones anaérobies ou anoxiques du bassin.

### **Boues activées**

L'efficacité du traitement est variable et dépend du type d'effluent, de la conception de l'installation et des conditions de fonctionnement. Les valeurs types se situent dans des fourchettes de 85 à 98 % d'élimination de la DBO<sub>5</sub> et 60 à 85 % d'élimination de la DCO. La réduction en AOX est comprise entre 40 et 65 %, le phosphore et l'azote sont réduits, respectivement, de 40 à 85 % et de 20 à 50 %. L'efficacité globale de l'élimination des MES par les traitements primaire et secondaire est d'environ 85 à 90 %.

Les concentrations types après le traitement à boues activées sont données dans le tableau 2.36. Dans des installations bien conçues et bien conduites, la partie facilement dégradable des substances organiques, exprimée en DBO<sub>5</sub> peut être ramenée à environ 20 à 40 mg/l et la quantité de MES (Matières en Suspension) pratiquement à un niveau identique. Les concentrations en phosphore et en azote sont en grande partie liées aux MES, étant donné qu'il est possible de ramener la quantité de substances nutritives dissoutes à de très faibles niveaux grâce à un fonctionnement correct de l'installation. Pour la DCO, qui est l'expression de la charge totale en substances organiques, la concentration après traitement dépend de la teneur en matières difficilement dégradables.

<b>Paramètre</b>	<b>DBO</b>	<b>DCO</b>	<b>MES</b>	<b>Phosphore total</b>	<b>Azote total</b>
Concentration	20-40	300 - 500	20 - 40	0.2 - 0.4	2 - 4

**Tableau 2.36 - Concentrations types en mg/l dans les effluents de usines de pâte kraft après traitement biologique (installations à boues activées) dans des installations supposées bien conçues et bien exploitées.**

### **Interactions entre les milieux**

#### **Lagunage aéré**

Le procédé exige des terrains de grandes dimensions, qui ne sont pas toujours disponibles à proximité ou dans l'enceinte de l'usine. Le traitement dans une lagune produit moins de boues que la méthode à boues activées.

#### **Boues activées**

L'installation de traitement des effluents produit des boues qui peuvent être brûlées après déshydratation, ce qui dans certains cas se traduit par une valeur calorifique nette. L'effluent traité est suffisamment propre pour pouvoir être réutilisé dans certaines phases du processus de production. Le problème est que, souvent, l'installation de traitement des effluents est loin de l'usine.

## **Expériences opérationnelles**

### **Lagunage aéré**

Le lagunage aéré est utilisé depuis longtemps par de nombreuses usines kraft pour atteindre un niveau d'élimination moyen des polluants de l'effluent. Mais, actuellement, un grand nombre d'installations de lagunage de cette industrie ont été fermées définitivement ou ont été complétées par un procédé à boues activées à grande efficacité ou par des bassins supplémentaires de traitement des effluents.

### **Boues activées**

Des installations à boues activées sont utilisées depuis de nombreuses années par les usines de pâte kraft, avec de bons résultats.

## **Aspects économiques**

### **Lagunage aéré**

Le coût dépend dans une très grande mesure du site disponible et des conditions de réalisation. S'il peut être construit en utilisant une anse du cours d'eau récepteur dont on ferme le côté ouvert au moyen d'une digue, le coût est considérablement moins élevé que lorsqu'il doit être construit sur la terre ferme.

Il s'ensuit que le montant de l'investissement varie beaucoup, à l'intérieur d'une fourchette de 16 à 20 MEuros pour une usine de pâte kraft produisant 1 500 ADt/j. Ce coût englobe également le traitement primaire et la désyhydratation de la boue. Les dépenses de fonctionnement correspondantes s'élèvent à 1,3 à 1,7 MEuros/an, comprenant essentiellement le coût de l'énergie électrique requise pour l'aération et l'agitation dans le bassin.

### **Boues activées**

L'investissement à prévoir pour une installation de traitement à boues activées s'élève approximativement à 19 à 24 MEuros pour une fabrique de pâte kraft produisant 1 500 ADt/j, le chiffre inférieur concernant une usine de pâte kraft écrue. Ce coût englobe aussi le traitement primaire nécessaire et le traitement des boues. Les dépenses de fonctionnement correspondantes s'élèvent à 2,0 à 2,6 MEuros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

On peut utiliser le lagunage aéré lorsqu'on peut se contenter d'un niveau d'élimination faible à moyen des substances organiques contenues dans l'effluent. On aura de préférence recours à la méthode des boues activées si l'on a besoin d'un traitement d'une grande ou très grande efficacité.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines partout dans le monde pour tous les types d'effluents.

### **Bibliographie**

(J. Pöyry, 1997b), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (Rapport SEPA 4713-2, 1997)

## **2.3.14 Traitement tertiaire des effluents par précipitation chimique**

### **Description de la technique**

Dans certains cas, il est nécessaire de compléter le traitement des effluents par un traitement tertiaire. Le plus souvent, il s'agit simplement d'une précipitation chimique. Les substances organiques dissoutes sont séparées par précipitation suivie d'une filtration ou d'une clarification.

Les produits chimiques utilisés pour la précipitation sont habituellement les suivants :

- sels d'aluminium -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  et  $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$
- sels ferriques (Fe(III)) -  $\text{FeCl}_3$  et  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- sels ferreux (Fe(II)) -  $\text{FeSO}_4$
- chaux

Pour optimiser la floculation, on utilise des polyélectrolytes dans la phase de mélange.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

S'applique aussi bien aux usines existantes qu'aux usines nouvelles.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Le traitement tertiaire par précipitation chimique s'emploie principalement pour réduire les substances nutritives, en particulier le phosphore. Les résultats d'études réalisées sur des installations pilotes en Suède sur le traitement biologique associé à une précipitation chimique ont montré que l'on peut atteindre les taux de réduction suivants : phosphore 80 à 90 %, azote 30 à 60 %, DCO 80 à 90 %, AOX 80 à 90 %. (PARCOM, 1994).

### **Interactions entre les milieux**

Le fait de précipiter des substances organiques dans l'effluent par des produits chimiques donne une grande quantité de boues, très difficiles à déshydrater et à enfouir dans une décharge. Le coût des produits chimiques est important et l'épuration est sélective; les éléments neutres ne peuvent pas être recueillis aussi efficacement que des ions dissociés.

### **Expériences opérationnelles**

On ne connaît aucun problème spécifique lié à l'application de cette technique.

### **Aspects économiques**

Le montant de l'investissement s'élève respectivement à 2,6 MEuros pour une usine de pâte kraft d'une capacité de 250 000 t/an et à 3,8 MEuros pour une usine d'une capacité de 500 000 t/an. L'investissement pour la précipitation chimique englobe le bac tampon, le dispositif de mise en œuvre des produits chimiques, le matériel de dosage des produits chimiques, l'unité de précipitation et de floculation et le clarificateur tertiaire. Les dépenses de fonctionnement se chiffrent à 50 000 euros environ, et sont légèrement inférieures pour l'usine ayant la capacité la plus faible.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

D'habitude, le traitement tertiaire des effluents liquides n'est considéré comme une étape nécessaire que lorsqu'il s'agit d'abaisser les concentrations de substances nutritives dans l'effluent, c'est-à-dire lorsque l'usine envoie ses rejets vers des milieux récepteurs très sensibles.

### **Installations de référence**

Le traitement biologique plus la précipitation chimique des effluents liquides provenant de la fabrication de pâte kraft blanchie est utilisé à l'échelle commerciale par exemple en Suède (Skoghall, fabrique intégrée de pâte kraft et de pâte PCTM).

## Bibliographie

(PARCOM, 1994), (Rapport SEPA 4713-2, 1997)

### 2.3.15 Augmentation de la teneur en solides secs (DS) de la liqueur noire

#### Description de la technique

Dans la chaudière de récupération, les matières minérales sont récupérées sous forme de sel fondu ( $\text{Na}_2\text{S}$  et  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), et la combustion des matières organiques produit de la chaleur. Dans une chaudière traditionnelle, il existe une zone d'oxydation dans la partie supérieure et une zone de réduction dans la partie inférieure. La liqueur noire concentrée est introduite dans la zone de réduction par un ou plusieurs injecteurs (voir figure 2.3). L'air comburant est généralement apporté à trois niveaux différents, sous forme d'air primaire, secondaire et tertiaire (du bas vers le haut).

Les émissions de la chaudière de récupération consistent essentiellement en poussières, oxydes d'azote et bioxyde de soufre. Les niveaux d'émissions sont maintenus à un niveau aussi bas que possible en optimisant les paramètres de la combustion tels que température, alimentation en air, teneur en solides secs de la liqueur noire et équilibre chimique.

L'objet de l'évaporation poussée est d'obtenir une teneur en solides secs (DS) aussi élevée que possible dans la liqueur noire concentrée. Après une évaporation classique, la teneur en DS de la liqueur noire concentrée est d'environ 65 %. En installant un sur-concentrateur, on peut l'amener à 80 %. Cela dit, cette teneur dépend de l'espèce du bois utilisé. Une teneur optimale en solides secs de la liqueur concentrée de 72 à 73 % après évaporation peut constituer un objectif envisageable.

#### Applicabilité et caractérisation de la technique

Technique intégrée dans le processus. Cette méthode s'applique aussi bien aux usines nouvelles qu'à celles existant déjà. On peut également utiliser un sur-concentrateur en tant qu'installation distincte par rapport aux installations d'évaporation existantes.

Toutefois, la teneur maximale en DS est limitée par l'accroissement de la viscosité et la tendance à l'entartrage de la liqueur noire concentrée. Cela dépend de l'espèce du bois et de la température. Dans la pratique, avec l'eucalyptus et quelques autres essences de bois de feuillus, il est difficile de dépasser une teneur de 70 % en DS.

#### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Les émissions de soufre de la chaudière de récupération sont abaissées à 5 - 50 mg  $\text{S}/\text{Nm}^3$  ou 0,1 à 0,3 kg de S/ADt de pâte et quelquefois même à zéro parce qu'une plus grande quantité de sodium est vaporisée et réagit avec le soufre.

#### Interactions entre les milieux

La réduction des émissions de soufre sous l'effet d'une teneur élevée en DS provoque une augmentation des émissions de poussières en amont de l'électrofiltre. Pour compenser cet effet, il faut installer un système de précipitation électrostatique plus efficace et plus coûteux.

Lorsque la teneur en solides secs est élevée ( $\text{DS} > 80\%$ ), on observe un dégagement important de composés de soufre au niveau de la dernière étape d'évaporation, qui doivent être recueillis et incinérés.

L'accroissement de la teneur en solides secs de la liqueur noire tend à faire augmenter les émissions de  $\text{NO}_x$  de la chaudière de récupération, si l'on ne prend pas de contre-mesures (voir 2.3.22).

**Expériences opérationnelles**

Cette mesure a été testée par plusieurs usines de pâte à papier en Europe du Nord. Elle est appliquée à l'échelle industrielle dans les pays d'Europe du Nord et du Sud.

**Aspects économiques**

Dans les usines existantes, le coût de cette amélioration de l'évaporation et de la concentration de la liqueur noire concentrée est lié à la concentration recherchée. Dans les usines existantes produisant 1 500 ADt/j de pâte kraft, l'investissement à prévoir pour amener la concentration de la liqueur noire de 63 % aux valeurs ci-dessous s'établit comme suit :

Concentration de 63 % à 70 %, 1,7 à 2,0 MEuros

Concentration de 63 % à 75 %, 3,5 à 4,0 MEuros

Concentration de 63 % à 80 %, 8,0 à 9,0 MEuros

Les dépenses de fonctionnement de ces améliorations sont négligeables en raison du gain en économie d'énergie (de l'ordre de 1 à 7 %) et du gain au niveau de la capacité de la chaudière. L'augmentation des solides secs dans la chaudière peut même se traduire par quelques économies nettes.

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

Des usines de pâte kraft peuvent rencontrer des problèmes d'émissions de dioxyde de soufre et il est possible de réduire ces émissions dans la chaudière de récupération en augmentant la teneur en solides secs de la liqueur noire. Un autre résultat éventuellement possible selon le cas d'espèce est l'accroissement de la capacité de la chaudière de récupération (4 à 7 %).

Il existe une autre solution permettant d'atteindre le même résultat, qui consiste à installer des épurateurs de gaz de fumées (laveurs de gaz, voir 2.3.16).

### Installations de référence

De nombreuses installations en Scandinavie et au moins une en Espagne.

### Bibliographie

(Rapport finlandais sur les MTD, 1997)

### 2.3.16 Installation d'épurateurs (scrubbers) au niveau de la chaudière de récupération

Cette mesure est une solution alternative à la MTD étudiée au point 2.3.15.

#### Description de la technique

Pour réduire les émissions de dioxyde de soufre en provenance de la chaudière de récupération, on peut équiper celle-ci d'un épurateur de gaz de fumées. Un tel épurateur du type humide peut présenter un processus en trois étapes (du bas vers le haut, voir figure 2.12).

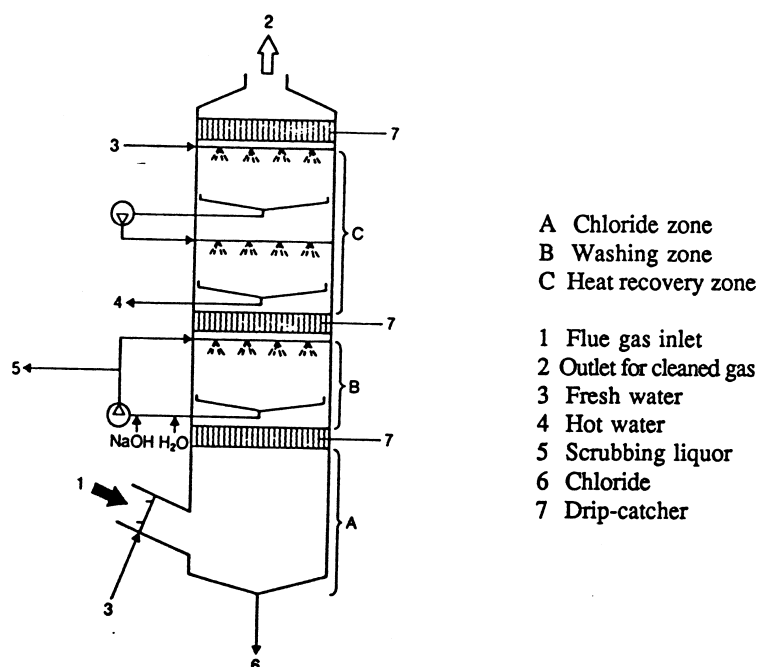


Figure 2.12 - Epurateur de gaz de fumées pour chaudières de récupération. (Rapport SEPA 4008, 1992)



Le chlorure est absorbé par l'eau froide introduite dans l'arrivée des gaz de fumées, en général avec une efficacité de 60 à 70 %. Dans la zone de lavage, on élimine le  $\text{SO}_2$  et les poussières. L'épuration (lavage) se fait avec un pH de 6 à 7. Cette valeur est contrôlée par addition d'hydroxyde de sodium, de liqueur faible ou de liqueur blanche oxydée. Le  $\text{SO}_2$  réagit avec la liqueur de lavage et le  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  et il se forme aussi un peu de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . On peut éliminer le SRT sous forme de  $\text{H}_2\text{S}$  en même temps que le  $\text{SO}_2$ . Mais pour éliminer le sulfure d'hydrogène des gaz de fumées, on aurait besoin d'une liqueur de lavage avec un pH élevé. Mais avec un tel pH, on absorberait aussi du dioxyde de carbone, ce qui est peu conforme à la réalité étant donné les quantités relativement importantes de dioxyde de carbone produites pendant la combustion.

La liqueur excédentaire de l'épurateur est recyclée vers le processus, en général vers la préparation de la liqueur blanche.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

L'installation d'un épurateur se fait de préférence en même temps qu'une nouvelle chaudière, bien qu'il soit également possible, à un coût beaucoup plus élevé, d'équiper des chaudières existantes avec des épurateurs. Les chaudières de récupération qui brûlent de la liqueur noire à forte teneur en solides secs donnent lieu à une faible émission de soufre ce qui rend l'installation d'un épurateur moins intéressante.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

L'efficacité de l'élimination pour le  $\text{SO}_2$  est typiquement  $> 90 \%$ . Un épurateur sur la chaudière de récupération peut ramener les émissions de soufre de 0,5 - 2 kg/ADt à 0,1 - 0,3 kg/ADt ou les concentrations de 50 à 200 mg/Nm<sup>3</sup> à 10 - 50 mg/Nm<sup>3</sup>.

### **Surveillance des émissions**

Une mesure continue du  $\text{SO}_2$  avant et après l'épurateur est nécessaire pour surveiller le fonctionnement de ce dernier.

### **Interactions entre les milieux**

L'introduction d'eau fraîche au sommet de l'épurateur permet de produire de l'eau chaude (si besoin est). L'eau est généralement suffisamment propre pour être utilisée comme eau de lavage dans l'installation de blanchiment. L'épurateur a besoin d'alcali sous forme de liqueur blanche oxydée, de liqueur faible ou d'hydroxyde de sodium, avec un accroissement des besoins en capacité au niveau de l'unité de récupération.

### **Expériences opérationnelles**

Les épurateurs sur des chaudières de récupération fonctionnent sans problèmes.

### **Aspects économiques**

L'équipement est généralement fourni complet, comme "package", par le fournisseur. L'investissement pour une usine de pâte kraft blanchie avec une capacité de production de 250 000 et 500 000 t/an s'élève respectivement à 7,2 MEuros et 10,4 MEuros. Il englobe l'épurateur, les pompes de l'épurateur, les pompes de circulation, les équipements électriques et l'instrumentation. Les dépenses de fonctionnement se chiffrent respectivement à 580 000 et 920 000 Euros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Réduction des émissions de  $\text{SO}_2$ . Récupération de chaleur. Avec une teneur élevée en solides secs, il est possible de réduire sensiblement l'émission primaire de  $\text{SO}_2$  et, pour de telles usines, la motivation

est faible. Compte tenu de la situation énergétique interne de l'usine, la production d'eau chaude dans l'épurateur peut être valable ou non. Dans une chaudière moderne de récupération kraft, en particulier si elle fonctionne avec un taux élevé de solides secs, le  $\text{SO}_2$  n'est généralement pas un problème dont la solution nécessite un épurateur.

### **Installations de référence**

De nombreux épurateurs ont été installés sur des chaudières de récupération au cours des dernières décennies.

### **Bibliographie**

(Rapport SEPA 4713-2, 1997), (Rapport SEPA 4008, 1992),

## **2.3.17 Collecte des gaz faibles destinés à être incinérés dans la chaudière de récupération**

### **Description de la technique**

Le contrôle des émissions de SRT peut être subdivisé en traitement des gaz non condensables (GNC) concentrés malodorants qui contiennent environ 4 kg de SRT/t (mesuré en tant que S), et en gaz dilués ou pauvres malodorants qui contiennent environ 0,5 kg de SRT/t (mesuré en tant que S). Le traitement des GNC concentrés consiste généralement à recueillir les gaz non condensables provenant des unités de cuisson et d'évaporation (voir 2.3.11) et à les éliminer par incinération. Il existe plusieurs solutions possibles.

L'une de ces solutions est l'incinération des gaz concentrés malodorants dans la chaudière de récupération. Quelques usines en Europe et environ 4 dans le monde utilisent cette méthode.

On observe la formation d'importants volumes de gaz à faible concentration en SRT au niveau des circuits de liqueur noire et de liqueur blanche, du lavage de la pâte et des caniveaux. La composition effective varie beaucoup d'un cas à l'autre.

Les gaz collectés et recueillis peuvent être incinérés en tant qu'air secondaire ou tertiaire de la chaudière de récupération. On pourra avoir plusieurs systèmes de destruction du SRT pour différentes unités en fonction du volume de GNC dilués et de la configuration de l'usine de pâte. Une solution alternative à l'incinération est le lavage en milieu alcalin ou oxydant. La chaudière de récupération est en mesure de détruire les gaz nauséabonds dilués. Toutefois elle ne représente que l'une des solutions possibles d'incinération des gaz dilués.

La quantité normale de GNC dilués pour une usine produisant 1 000 tonnes/j est de l'ordre de 50 000 à 100 000 m<sup>3</sup>/h. La quantité de gaz dépend de la conception de l'usine. Elle est plus faible avec une cuisson en continu et un lavage par diffusion qu'avec une cuisson en discontinu et des laveurs sous pression.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Cette mesure peut être adoptée dans les usines de pâte kraft tant existantes que nouvelles.

Dans les usines de pâte à papier existantes, il peut s'avérer très difficile d'ajouter un équipement pour la collecte et le traitement des GNC dilués. Cela est dû aux contraintes de l'implantation et aux distances entre les ateliers de cuisson et d'évaporation et la chaudière de récupération.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Les émissions de SRT des gaz faibles peuvent être supprimées quasi entièrement par leur collecte et leur incinération.

### **Interactions entre les milieux**

Aucune interaction entre les milieux.

### **Expériences opérationnelles**

Ces méthodes sont utilisées par des usines de référence depuis plusieurs années sans problèmes.

Le débit d'air tertiaire dans une chaudière de récupération est limité et l'on aura peut-être besoin de rechercher d'autres solutions pour l'incinération.

### **Aspects économiques**

Les investissements pour la collecte des gaz faibles malodorants et leur destruction dans la chaudière de récupération sont de 3,6 à 4,5 MEuros pour une usine de pâte kraft produisant 1 500 ADt/j. Mais, étant donné qu'une grande partie de ces coûts sont liés aux tuyauteries, on peut atteindre des chiffres considérablement plus élevés dans le cas d'usines s'étendant sur une grande surface. Les dépenses de fonctionnement pour le système sont comprises entre 0,3 et 0,5 Meuros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Améliorer l'efficacité de la réduction des émissions de SRT de l'usine de pâte kraft est la principale raison justifiant la mise en œuvre de cette technique.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines de pâte kraft.

### **Bibliographie**

(TAPPI, Compte-rendu, 1997), (TAPPI, Compte-rendu, 1994), (J. Pöyry, 1997a), (J. Pöyry, 1997b), (Rapport SEPA 4713-2)

## **2.3.18 Collecte et incinération des gaz malodorants (gaz forts ou faibles) dans le four à chaux**

### **Description de la technique**

Le contrôle des gaz malodorants dus principalement aux émissions de Soufre Réduit Total (SRT) peut être subdivisé en traitement des gaz non condensables (GNC) concentrés et des gaz dilués ou pauvres malodorants. Le traitement des GNC concentrés consiste généralement à recueillir et à incinérer les GNC provenant des unités de cuisson et d'évaporation. L'incinération des GNC concentrés peut être effectuée dans le four à chaux ou dans un incinérateur distinct équipé d'un lavage de SO<sub>2</sub> pour les GNC. Les GNC concentrés contiennent plus de 90 % de tous les composés de SRT produits lors de la cuisson de la pâte.

D'importants volumes de gaz à forte concentration se forment au niveau du système de récupération de la térébenthine (bois résineux), des condenseurs de la vapeur de détente des lessiveurs en continu, des réservoirs de stockage des condensats pollués, du dégagement de gaz non condensables des évaporateurs et des condenseurs et à la cuisson. La composition effective varie beaucoup d'un cas à l'autre.

Les principales émissions de gaz dilués malodorants se situent au niveau du lavage et de l'épuration de la pâte non blanchie (écru), des stockages de pâte et de liqueur de lavage, des stockages de la liqueur noire à l'évaporation et des stockages de la liqueur blanche dans l'installation de caustification.

Les gaz dilués malodorants recueillis peuvent être incinérés en tant qu'air secondaire du four à chaux ou dans un incinérateur distinct de GNC, dans une chaudière à écorce ou d'autres chaudières auxiliaires ou en tant qu'air secondaire ou tertiaire de la chaudière de récupération. On pourra avoir plusieurs systèmes de destruction du SRT pour différentes unités en fonction du volume de GNC dilués et de la configuration de l'usine.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Cette mesure peut être adoptée dans les usines de pâte kraft tant existantes que nouvelles. Dans les usines existantes, il se peut que l'on rencontre des difficultés pour ajouter un matériel de collecte et de traitement des GNC dilués.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Les émissions de SRT de l'usine de pâte kraft peuvent être réduites de plus de 90 % simplement en recueillant et en incinérant les gaz forts (concentrés en SRT).

### **Interactions entre les milieux**

L'avantage que présente l'incinération du gaz malodorant dans le four à chaux est que l'on n'a pas besoin d'un four complémentaire. En outre, le soufre contenu dans le gaz peut être absorbé dans la chaux, ce qui diminue l'émission de dioxyde de soufre. Toutefois, le sodium gazeux du four à chaux ne peut absorber qu'une petite quantité de soufre en donnant du sulfate de sodium. Partant, le principal composé absorbant le soufre est le carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) de la boue résiduaire de chaux. Lorsque cette capacité est épuisée, il y a dégagement de  $\text{SO}_2$ . Cet effet est renforcé lorsque les gaz non condensables malodorants sont incinérés dans un four. En conséquence, les émissions de  $\text{SO}_2$  dépendent clairement de la quantité de gaz malodorants. Pour minimiser la formation de  $\text{SO}_2$ , on peut soit réduire la teneur en soufre du combustible soit, s'il s'agit de brûler les gaz non condensables malodorants (GNC) dans le four à chaux, éliminer les composés de soufre contenus dans ces gaz par lavage avant leur incinération dans le four à chaux.

Le contrôle du SRT peut aussi contribuer à réduire les composants malodorants rejetés dans le traitement des effluents liquides.

En moyenne, 10 à 15 % du combustible utilisé dans un four à chaux peuvent être remplacés par la valeur calorifique des gaz malodorants concentrés. Mais, étant donné que la quantité d'énergie du gaz varie, il peut s'avérer difficile de conserver une chaux de bonne qualité uniforme. La condensation du méthanol après la colonne de rectification peut limiter le problème de l'instabilité de la qualité du gaz, mais elle implique des investissements supplémentaires.

### **Expériences opérationnelles**

Cette mesure est très répandue. Des problèmes sont apparus avec les fours à chaux modernes en raison du niveau très faible d'oxygène excédentaire utilisé.

### **Aspects économiques**

Les investissements types requis pour la collecte et l'incinération des gaz faibles et forts sont de 4 à 5 MEuros pour les nouvelles usines et de 5 à 8 MEuros pour les usines existantes ayant une capacité de 1 500 ADt/j. Aucune augmentation importante des dépenses de fonctionnement si l'on peut utiliser la

valeur calorifique du méthanol récupéré. Sinon, il faut prévoir une augmentation de 0,3 à 0,5 MEuros/an.

#### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La réduction des émissions de SRT de l'usine de pâte kraft est l'une des principales raisons justifiant la mise en œuvre de cette technique.

#### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe et en Amérique du Nord.

#### **Bibliographie**

(Compte-rendu TAPPI, 1997)

### **2.3.19 Collecte et incinération des gaz malodorants (gaz forts ou faibles) en utilisant un four distinct équipé d'épurateurs (laveurs) pour le SO<sub>2</sub>**

#### **Description de la technique**

Il est également possible de procéder à l'incinération des gaz malodorants (voir 2.3.17 et 2.3.18) dans un incinérateur distinct équipé d'un épurateur pour GNC équipé d'un épurateur pour le SO<sub>2</sub>. Un four séparé peut tenir compte de la valeur calorifique dans une chaudière.

#### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Cette mesure peut être adoptée dans les usines de pâte kraft tant existantes que nouvelles.

Dans les usines existantes, il se peut que l'on rencontre des difficultés pour ajouter un matériel de collecte et de traitement des GNC dilués.

#### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Les émissions de SRT de l'usine de pâte kraft peuvent être réduites de plus de 90 % simplement en recueillant et incinérant les composés de SRT concentrés.

#### **Interactions entre les milieux**

L'incinération des gaz malodorants dans un four distinct a tendance à provoquer une augmentation des émissions de NO<sub>x</sub> si l'on ne prend pas de contre-mesures.

#### **Expériences opérationnelles**

Cette technique est utilisée sans problèmes par de nombreuses usines témoins depuis plusieurs années

#### **Aspects économiques**

Les investissements types s'élèvent à 7 à 8 MEuros pour les usines nouvelles et à 8 à 11 MEuros pour les usines existantes d'une capacité de production de 1 500 ADt/j. Les dépenses de fonctionnement augmentent de 0,3 à 0,5 MEuros/an parce que l'on ne peut pas utiliser la valeur calorifique du méthanol récupéré.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La réduction des émissions de SRT de l'usine de pâte kraft est une des principales raisons justifiant la mise en œuvre de cette technique.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

(Compte rendu TAPPI, 1997)

## **2.3.20 Installation d'une technique à faible teneur en NO<sub>x</sub> dans les chaudières auxiliaires (écorce, fioul, charbon) et le four à chaux**

### **Description de la technique**

Dans les usines de pâtes chimiques, on peut utiliser tout un éventail de combustibles renouvelables ou fossiles - écorce, charbon, lignite, fioul ou gaz naturel - pour produire de la vapeur supplémentaire, que l'on associe habituellement à des turbines pour la production d'énergie électrique. Lorsqu'on brûle ces combustibles, il faut faire appel à des techniques d'incinération sans dangers pour l'environnement pour minimiser les émissions de poussières, de SO<sub>2</sub> ainsi que de NO<sub>x</sub>.

La technique à faible teneur en NO<sub>x</sub> consistant à brûler des combustibles solides et les déchets des usines de pâte à papier et de papier dans des chaudières à lit fluidisé est étudiée au paragraphe 6.3.12. Le charbon et la lignite sont bien adaptés pour être brûlés comme combustible principal ou d'appoint dans les systèmes à lit fluidisé qui, s'ils sont correctement conduits, contribuent à réduire la formation de NO<sub>x</sub>.

Dans les chaudières classiques alimentées au fioul ou au gaz naturel, les brûleurs alimentant le mélange air-combustible doivent être conçus de manière à maintenir des conditions de combustion avec un faible niveau de NO<sub>x</sub>. On utilise aussi souvent du charbon ou de la tourbe finement broyés dans des chaudières traditionnelles, alimentées par des brûleurs qui, s'ils sont correctement conçus, assurent une combustion avec un faible niveau de NO<sub>x</sub>.

L'air comburant primaire est amené par le brûleur dans le mélange combustible-air. L'air secondaire et tertiaire est amené à part pour maintenir un équilibre air primaire/secondaire/tertiaire approprié dans la zone de la flamme afin de conserver une combustion à faible teneur en NO<sub>x</sub>. On peut encore apporter un peu d'air, le cas échéant, au-dessus de la zone de la flamme, pour achever la combustion du combustible.

L'objet de cette alimentation en air en plusieurs phases est de brûler le combustible sans excès d'air et en fait, même dans des conditions de réduction, c'est-à-dire :

- qu'il n'y a pas suffisamment d'oxygène pour entraîner une formation importante de NO<sub>x</sub>.
- la température de la flamme est moins élevée que dans les brûleurs traditionnels, ce qui réduit encore la formation de NO<sub>x</sub>.

Une partie du NO<sub>x</sub> produit sera de nouveau réduite en azote élémentaire, par exemple lorsqu'une quantité résiduelle de combustible est brûlée dans la partie extérieure ou en dehors de la flamme.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Les brûleurs à faible teneur en NO<sub>x</sub> peuvent être utilisés dans les chaudières tant existantes que nouvelles.

Lorsqu'on utilise des combustibles solides en poudre, par exemple du charbon ou de la tourbe, il importe, s'ils présentent un degré d'humidité élevé, de les soumettre à un pré-séchage afin de favoriser une combustion rapide et efficace. Il faut aussi dans ce cas préchauffer l'air comburant afin d'assurer un allumage rapide et une combustion complète.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Généralement, les émissions varient en fonction du combustible. Par comparaison avec les brûleurs classiques ayant des émissions de NO<sub>x</sub> de 250 à 500 mg/MJ, les brûleurs à faible taux de NO<sub>x</sub> peuvent atteindre des taux de 120 à 140 mg/MJ dans les émissions des cheminées.

### **Surveillance des émissions**

On peut réaliser un contrôle des émissions au moyen d'appareils de mesure en continu du NO<sub>x</sub>. Des appareils de mesure de l'oxygène peuvent également contribuer à contrôler le respect des conditions de combustion à faible taux de NO<sub>x</sub>. Pour des mesures plus précises, il faut procéder à des échantillonnages sur le terrain et des analyses en laboratoire.

### **Interactions entre les milieux**

Pas d'interactions particulières.

### **Expériences opérationnelles**

On a utilisé avec succès des brûleurs à faible taux de NO<sub>x</sub> pour équiper des chaudières existantes, ou dans la construction de chaudières nouvelles.

### **Aspects économiques**

L'investissement type est de 0,5 à 0,8 MEuros. On ne prévoit pas d'augmentation significative des dépenses de fonctionnement.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Les brûleurs à faible taux de NO<sub>x</sub> servent essentiellement à réduire les émissions de NO<sub>x</sub> provenant des chaudières auxiliaires.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines en Europe de l'Ouest et du Nord.

### **Bibliographie**

(Rentz, 1996), (L. Pöyry, 1997 b), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (ministère de l'éducation, 1994)

## **2.3.21 SNCR sur les chaudières à écorce**

### **Description de la technique**

En raison de leur faible température de combustion, les chaudières à écorce donnent des émissions relativement faibles de NO<sub>x</sub>. Les émissions types sont comprises entre 70 et 100 mg de NO<sub>x</sub>/MJ lorsqu'on ne brûle que de l'écorce. Si l'on utilise aussi du fioul dans la chaudière, on peut observer une augmentation du NO<sub>x</sub> jusqu'à environ 100 à 150 mg/MJ. L'oxygène en excès a une incidence sur la

formation de NO<sub>x</sub> et doit donc être évité. Mais une trop faible quantité d'oxygène en excès augmente le risque d'émissions de CO et de VOC.

Le NO primaire se forme dans les fours par réaction avec l'azote de l'air (NO thermique) ou par oxydation de l'azote dans le combustible (NO du fioul). La formation de NO thermique augmente à mesure que la température de la flamme augmente. Une partie du NO est ensuite oxydée en NO<sub>2</sub>.

Dans le procédé SNCR (réduction non catalytique sélective), l'urée réduit le NO en azote, dioxyde de carbone et eau selon la réaction



Cette réaction se produit à environ 1 000 °C.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

On peut installer du matériel servant à injecter l'urée (ammoniaque) aussi bien dans les chaudières existantes que dans les nouvelles. Il sera peut-être difficile d'obtenir des conditions de réaction optimales dans les chaudières existantes, ce qui ramène la réduction potentielle du NO<sub>x</sub> à 40 % environ.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

La réduction totale de NO<sub>x</sub> que l'on peut atteindre dans une chaudière à écorce est d'environ 30 à 50 % en modifiant les techniques de combustion (voir 2.3.20) et/ou en mettant en œuvre un processus SNCR. Dans ce cas, les émissions de NO<sub>x</sub> atteindraient 40 à 60 mg/MJ, ce qui correspond à environ 100 à 200 mg/Nm<sup>3</sup>. Les émissions de soufre gazeux sont faibles ou de l'ordre de 10 à 20 mg/MJ lorsqu'on brûle de l'écorce.

### **Surveillance des émissions**

On peut mettre en place un système de mesure en continu du NO<sub>x</sub> et l'expérience montre des résultats fiables.

### **Interactions entre les milieux**

En fonction de la proportion d'urée ajoutée (rapport stoechiométrique), il se peut que l'on observe une légère augmentation de l'ammoniac (déperdition).

### **Expériences opérationnelles**

Cette technique a été mise en place en divers endroits depuis le début des années 1990. L'exploitabilité est généralement satisfaisante mais un certain nombre d'incidents se sont produits au cours desquels l'injection de la solution d'urée a provoqué des dommages à l'intérieur de la chaudière. Étant donné que cela représente à la fois un risque pour la sécurité et un coût, il faut prendre des mesures dans ce cas et prévoir une surveillance adéquate de l'opération.

La technique de la SNCR est difficile à maîtriser en raison des risques potentiels de changement rapide de la charge dans les chaudières à écorce. Cela explique les variations observées dans les réductions de NO<sub>x</sub> atteintes avec cette technique.

Ce processus peut être une source potentielle d'émissions de N<sub>2</sub>O ou de NH<sub>3</sub>, mais il ressort des mesures effectuées qu'il s'agit d'un risque marginal. En Suède au moins, la SNCR sur les chaudières à écorce est une technique établie.



### **Aspects économiques**

L'investissement requis pour ajouter la SNCR à la chaudière à écorce dans une usine de pâte kraft blanchie produisant 250 000 et 500 000 t/an s'élève respectivement à 690 000 Euros et 1,15 MEuros. Ce coût englobe le matériel d'injection, la tuyauterie, les pompes, les réservoirs et la reconstruction/adaptation de la chaudière. Les frais de fonctionnement concernent essentiellement l'urée, dont 1 à 2 kg sont nécessaires par kg de NO<sub>x</sub> éliminé.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Le NO<sub>x</sub> a un potentiel acidifiant et peut accroître l'eutrophisation. On considère donc que pour certains lacs sensibles d'Europe, il est nécessaire de poursuivre la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> par des mesures secondaires comme la technique SNCR. En Suède, une taxe sur les émissions de NO<sub>x</sub> peut également constituer une incitation à poursuivre la réduction des NO<sub>x</sub>.

### **Installations de référence**

Quelques usines en Suède.

### **Bibliographie**

(Rapport SEPA 4008), (Rapport SEPA 4713-2, 1997), (renseignements personnels fournis par une usine suédoise)

## **2.3.22 Modification de l'alimentation en air (Over Fire Air technique - OFA) sur les chaudières de récupération**

### **Description de la technique**

La chaudière de récupération pour la pâte kraft fonctionne avec une atmosphère réductrice dans la partie inférieure. De cette façon, la formation de NO<sub>x</sub> y est moins importante que dans les autres fours. Néanmoins, des modifications apportées au circuit d'alimentation en air ont eu un résultat positif sur les réductions de NO<sub>x</sub>. On peut réduire le NO<sub>x</sub> thermique par fixation de l'azote dans l'air comburant en limitant la quantité d'air dans la zone de combustion. Dans des circuits spécialement conçus dans ce but, des orifices d'injection d'air sont montés à un quatrième niveau. On peut réduire la formation de NO<sub>x</sub> dans une chaudière de récupération kraft en modifiant le système d'alimentation en air, par exemple par le biais d'un quatrième point d'alimentation en air dans la partie supérieure de la chaudière. La réduction des émissions de NO<sub>x</sub> que l'on peut obtenir grâce à cette technique est variable et dépend du type et de la conception de la chaudière et de la méthode de mise en œuvre de l'OFA, et elle atteint en général 10 à 25 %.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Applicable tant aux usines existantes que nouvelles.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Il semble que la réduction obtenue du NO<sub>x</sub> diffère d'une chaudière à l'autre. Certaines usines suédoises de pâte kraft ont fait état des expériences suivantes :

Cas N° 1 :

Installation et utilisation de la technique OFA sur une chaudière de récupération existant depuis 1990 : réduction de 30 % des NO<sub>x</sub>.

**Cas N° 2 :**

Installation de la technique OFA sur une chaudière de récupération existante. Le nouveau système d'alimentation en air n'est plus utilisé en raison de la hausse de température dans le système de surchauffage.

**Cas N° 3 :**

Installation de la technique OFA sur une chaudière de récupération existante en 1995 : réduction de 20 % des émissions de NO<sub>x</sub> et en service depuis le début de 1997.

**Cas N° 4 :**

Première chaudière de récupération équipée de la technique OFA en 1996. La réduction des émissions de NO<sub>x</sub> obtenue avec cette chaudière est résumée dans le tableau ci-dessous :

<b>Répartition de l'air comburant sur la chaudière de récupération</b>	<b>Fonctionne ment normal</b>	<b>Technique "Air quaternaire" (OFA) Essais de fonctionnement en mai 1998</b>	
Air primaire (%)	45	35	40
Air secondaire (%)	45	45	40
Air tertiaire (%)	10	10	5-15
Air quaternaire (%) => OFA	0	10	5-15
<b>Effets observés sur</b>			
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> gaz normal sec)	135	80	90
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> gaz normal sec)	20	35	< 20

**Tableau 2.37 - Réduction des émissions de NO<sub>x</sub> par le recours à la technique "air quaternaire" (OFA) dans une chaudière de récupération nouvelle.**

**Interactions entre les milieux**

Aucune interaction entre les milieux n'a été constatée.

**Expériences opérationnelles**

La réduction des émissions de NO<sub>x</sub> obtenue grâce à l'utilisation de cette technique est variable et dépend du type et de la conception de la chaudière et de la méthode de mise en œuvre de la technique OFA. Elle doit être adaptée aux conditions spécifiques des chaudières de récupération. L'application de cette technique - qui est largement répandue dans d'autres processus de combustion - peut avoir pour résultat une augmentation des émissions de monoxyde de carbone et de carbone non brûlé si elle n'est pas bien maîtrisée.

**Aspects économiques**

L'investissement requis pour modifier le système d'alimentation en air de la chaudière de récupération dans une usine de pâte kraft blanchie ayant une capacité de production de 250 000 et 500 000 t/an s'élève respectivement à 1,7 et 2,3 MEuros. Ce coût englobe les nouveaux orifices d'alimentation en air de la chaudière, l'instrumentation, les tuyaux et les ventilateurs. Les dépenses de fonctionnement restent inchangées.

**Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Le NO<sub>x</sub> a un potentiel acidifiant et peut accroître l'eutrophisation. On considère donc que pour certains lacs sensibles d'Europe, il est nécessaire de poursuivre la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> par des mesures secondaires.

### **Installations de référence**

Quelques usines en Suède.

### **Bibliographie**

(Rapport SEPA 4713-2, 1997)

## **2.3.23 Mise en place d'une installation de lavage améliorée des boues de chaux à la caustification**

### **Description de la technique**

La chaux ( $\text{CaO}$ ) est utilisée pour caustifier la liqueur verte ( $\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ ) en liqueur blanche ( $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$ ). Après la caustification, on obtient de la boue résiduaire de chaux ( $\text{CaCO}_3$ ). Normalement, cette boue est recyclée dans un four à chaux, où elle est brûlée pour produire de la chaux. Avant d'être envoyée dans le four, la chaux doit subir un lavage destiné à enlever l'hydroxyde de sodium, le sulfure de sodium et autres sels de sodium résiduels, puis un essorage.

Pour ce lavage, on utilise en général comme matériel soit des clarificateurs soit des filtres presse. Par le passé, on utilisait souvent des laveurs de boue à deux étages, mais actuellement c'est le lavage en une seule phase dans un clarificateur avec stockage ou dans un filtre sous pression qui prédomine.

Ce lavage amélioré de la boue résiduaire de chaux peut entraîner une réduction de la teneur résiduelle en liqueur blanche de la boue de  $100 \text{ mg/dm}^3$  à  $0 - 30 \text{ mg/dm}^3$  dans les filtres modernes. On peut également améliorer la siccité de la boue de 50/60 % à 70/80 %. Un lavage plus efficace diminue la concentration de sulfure dans la boue, ce qui réduit la formation de sulfure d'hydrogène dans le four à chaux lors de la nouvelle combustion.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Applicable aussi bien aux usines existantes qu'aux nouvelles.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Réduction possible du  $\text{H}_2\text{S}$  (SRT) dans le four à chaux, qui dépend essentiellement de la présence de sodium dans la chaux et de la teneur en soufre de tous les combustibles servant à alimenter le four à chaux. Lorsque l'apport en soufre est faible, on peut atteindre un faible taux de réduction, mais avec des taux de soufre en entrée plus élevés, l'impact peut être non existant voire négatif.

### **Interactions entre les milieux**

Si le lavage entraîne une teneur trop faible en sodium, les émissions de SRT ainsi que de matières particulières du four à chaux ont tendance à augmenter.

### **Expériences opérationnelles**

Le lavage amélioré de la boue résiduaire de chaux est pratiqué depuis plus de 10 ans par des usines de pâtes à papier en Europe. Il est nécessaire de surveiller le sodium résiduel ( $\text{NaOH}$ ) pour éviter des dommages au four à chaux.

### **Aspects économiques**

L'investissement type est de 1 à 1,5 MEuros.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Réduction du H<sub>2</sub>S (SRT) et des odeurs provenant des gaz de fumées du four à chaux.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

(Rapport SEPA 4713-2, 1997)

## **2.3.24 Précipitation électrostatique pour réduire les poussières dans les chaudières à écorce et le four à chaux**

### **Description de la technique**

#### **Chaudière à écorce**

Les résidus de bois (de l'écorce et des déchets de bois) sont essentiellement brûlés pour produire de la vapeur. On utilise souvent la vapeur des chaudières pour générer de l'énergie grâce à des turbines à contre-pression. Cette production de chaleur et d'énergie est nécessaire pour réduire les émissions des combustibles fossiles. L'incinération permet de réduire la quantité de déchets à évacuer. Aujourd'hui, une installation d'incinération exige toujours un système d'incinération sophistiqué combiné avec un système de traitement moderne des gaz de fumées.

La principale émission des chaudières à déchets consiste en poussières. Ces poussières sont composées de cendres et d'un résidu de matières imbrûlées. Normalement, les chaudières à écorce sont équipées de cyclones pour recueillir les poussières (efficacité de 85 %). Aujourd'hui, les systèmes dépoussiéreurs électrostatiques avec une efficacité d'épuration de plus de 95 % sont également de plus en plus utilisés.

#### **Four à chaux**

S'il est bien conçu, le four à chaux peut minimiser la formation de poussières. Le mécanisme de vaporisation du sodium est lié à la quantité de sodium dans le four et à la température élevée de la section de calcination du four. Le degré de vaporisation peut, jusqu'à un certain niveau, être contrôlé par un bon réglage de la forme et de la position de la flamme.

Les différents combustibles utilisés ont également une incidence sur l'émission de poussières. Grâce à ses bonnes propriétés de rayonnement, une flamme de fioul donnera un niveau élevé de vaporisation du sodium provenant du sulfate de sodium servant à la production de chaux en combinaison avec du dioxyde de soufre. Afin de minimiser la quantité de poussières de CaO, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, on peut installer un système dépoussiéreur électrostatique. Ce dispositif présente de meilleures propriétés d'élimination qu'un épurateur. Si l'usine utilise aussi un système d'épuration, l'électrofiltre doit être monté en amont de ce dernier. Ce système requiert une maintenance et un contrôle réguliers. En effet, les surcharges ou irrégularités de charge peuvent provoquer l'encrassement des plaques du système de précipitation.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

La mesure est applicable tant dans les usines existantes que nouvelles.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Le principal résultat atteint en ce qui concerne l'environnement pour les chaudières à écorce est une réduction des poussières d'un niveau de 250 - 500 mg/Nm<sup>3</sup> à un niveau de 100 - 150 mg/Nm<sup>3</sup> lorsqu'on utilise des cyclones. Un système de précipitation électrostatique pour les rejets de la chaudière à écorce peut atteindre une efficacité de plus de 95 %, ce qui correspond à des émissions de poussières d'environ 20 - 40 mg/Nm<sup>3</sup> (avec 10 % O<sub>2</sub> et un gaz sec).

Les émissions de poussières du four à chaux seront de 20 à 100 mg/Nm<sup>3</sup>n après le dépoussiéreur électrostatique.

La majeure partie des poussières sortant du four est constituée de CaO. Il s'échappe presque entièrement de l'extrémité alimentation du four. La quantité de poussières provenant de l'extrémité chaude du four est sensiblement moins importante. Les poussières se composent principalement de particules fines de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, car les particules de CaO sont plus efficacement capturées par l'installation d'épuration (lavage) des gaz.

### **Interactions entre les milieux**

Pas d'impacts notables.

### **Expériences opérationnelles**

Cette mesure est mise en œuvre par un certain nombre d'usines de pâte à papier.

### **Aspects économiques**

Dans une usine produisant 1 500 ADt/j de pâte kraft, l'investissement pour un électrofiltre au niveau de la chaudière à écorce est d'environ 3 à 4 MEuros, et de 5 à 6 MEuros au niveau four à chaux. Les dépenses de fonctionnement augmentent de moins de 0,3 MEuros/an dans chacun des cas.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La réduction des émissions de poussière dans l'atmosphère est l'une des principales raisons justifiant la mise en œuvre de cette méthode.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

(J. Pöyry, 1997a), (J. Pöyry, 1997b), (rapport SEPA 4713-2, 1997)

## 2.4 Meilleures Techniques Disponibles

### 2.4.1 Introduction

Pour comprendre le présent chapitre et son contenu, il est demandé au lecteur de se reporter à la préface du présent document et en particulier à sa cinquième section : "Comment comprendre et utiliser le présent document". Les techniques et les niveaux d'émissions et/ou de consommations associés, ou fourchettes de niveaux, présentés dans le présent chapitre ont été évalués selon une méthode itérative comprenant les étapes suivantes :

- identification des problèmes environnementaux cruciaux pour le secteur; pour les usines intégrées de papier et pâte kraft, les principales préoccupations concernent la consommation d'eau, le rejet des effluents liquides (DCO, DBO, MES, N, P, AOX), la consommation d'énergie (vapeur et électricité), les déchets solides tels que les boues et les cendres, les émissions dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, poussières), le bruit, la pollution thermique et les odeurs; ces trois derniers points ayant un impact local;
- étude des techniques les mieux appropriées pour résoudre ces problèmes clés;
- identification des meilleurs niveaux de performance en ce qui concerne l'environnement, sur la base des données disponibles en Europe et dans le monde entier;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance ont été atteints, tels que coûts, interactions entre les milieux (impacts intermilieux), facteurs ayant motivé la mise en œuvre de ces techniques;
- sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommations associés pour le secteur en question, le tout en conformité avec l'article 2 (11) et l'annexe IV de la Directive.

Le Bureau PRIP (IPPC) européen et le Groupe de Travail Technique compétent (TWG) ont joué un rôle-clé dans chacune de ces étapes et dans la façon dont ces informations sont présentées ici.

Sur la base de cette évaluation, le présent chapitre présente les techniques, et également, dans la mesure du possible, les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD, que l'on juge pertinentes pour le secteur dans son ensemble et qui, dans de nombreux cas, reflètent les résultats effectivement atteints par certaines installations dans le secteur en question. Lorsqu'on présente des niveaux d'émissions ou de consommations "associés aux meilleures techniques disponibles", il faut entendre par là qu'il s'agit de niveaux qui représentent le résultat environnemental qu'il est possible d'envisager lorsqu'on applique, dans le secteur en question, les techniques décrites, en tenant compte de l'équilibre entre les coûts et les avantages inhérents à la définition de la MTD. Toutefois, ils ne constituent en aucun cas des valeurs limites d'émissions ou de consommations et ne doivent pas être considérés comme tels. Dans certains cas, il se peut que l'on puisse techniquement atteindre de meilleurs niveaux d'émissions ou de consommations, mais que, compte tenu des investissements qu'ils impliquent ou de réflexions liées aux interactions entre les milieux, ils ne soient pas considérés appropriés comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Toutefois, il se peut que de tels niveaux soient considérés comme justifiés dans des cas plus spécifiques avec des motivations spéciales.

Les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD doivent être considérés dans le contexte des éventuelles conditions de référence précisées (par exemple périodes servant de base à l'établissement d'une moyenne).

Il faut faire une distinction entre la notion de "niveaux associés aux MTD" décrite ci-dessus et le terme de "résultat possible" utilisé dans le présent document. Lorsqu'on parle de niveau "possible" en utilisant une technique donnée ou une combinaison de techniques, il s'agit du niveau que l'on peut envisager d'atteindre pendant un laps de temps suffisamment long dans une installation avec une bonne maintenance et une bonne maîtrise opérationnelle.

Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives aux coûts sont communiquées avec la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. Cela permet de se faire une idée approximative de l'ordre de grandeur des investissements requis. Cependant, le coût effectif de la mise en application d'une technique dépend fortement de la situation du cas d'espèce concernant par exemple les taxes, droits et caractéristiques techniques de l'installation concernée. Il n'est pas possible, dans le présent document, de procéder à une évaluation exhaustive de tels facteurs spécifiques au site. En l'absence de données concernant les coûts, les conclusions relatives à la viabilité économique des techniques sont basées sur des observations portant sur des installations existantes.

L'objectif recherché est que les MTD générales présentées dans le présent chapitre servent de référence sur laquelle s'appuyer pour apprécier les résultats réels d'une installation existante ou pour évaluer une proposition relative à une nouvelle installation. De cette façon, elles contribueront à faciliter la détermination de conditions adéquates "basées sur les MTD" pour l'installation ou l'élaboration des prescriptions réglementaires en conformité avec l'article 9 (8). Il est possible que des installations nouvelles puissent être conçues pour fonctionner en atteignant voire en dépassant les niveaux des MTD générales présentées ici. On peut également envisager que des installations existantes tendent vers les niveaux des MTD générales voire aillent au-delà, sous réserve de l'applicabilité technique et économique des techniques dans chaque cas spécifique.

Si les BREF n'ont pas de caractère juridique et réglementaire contraignant, ils entendent fournir des éléments d'orientation à l'industrie, aux États membres et au public sur les niveaux d'émissions et de consommations qu'il est possible d'atteindre lorsqu'on utilise certaines techniques spécifiques. Les valeurs limites d'émission devront être déterminées pour chaque cas, en tenant compte des objectifs de la directive IPPC et des considérations locales.

La fabrication de la pâte kraft n'est pas un processus unique mais une série de processus unitaires, souvent liés entre eux et interdépendants. Par conséquent, une MTD pour une usine de papier et de pâte kraft est toujours constituée par une combinaison appropriée de techniques. L'ordre de priorité et la sélection des techniques ou combinaisons de techniques dépend des conditions locales.

Sauf indication contraire, les meilleures techniques disponibles indiquées ci-dessous sont applicables à des installations nouvelles ou existantes. Dans les usines de papier et pâte kraft, l'applicabilité n'est pas subordonnée au fait qu'il s'agit d'une installation nouvelle ou ancienne. En effet, ces usines sont caractérisées par le fait qu'elles sont modernisées par étapes plutôt qu'intégralement. Cette adaptation et cet aménagement modulaires des installations signifient que chaque site est unique eu égard à sa situation et à son histoire. En revanche, il existe une série de processus unitaires que l'on retrouve dans tous les pays.

Les critères à prendre en considération pour déterminer les MTD dans des cas spécifiques sont davantage les coûts spécifiques, qui sont plus élevés pour les usines de petite taille (économies d'échelle). D'autres facteurs entrant en ligne de compte sont les restrictions au niveau de l'espace, telles que peuvent en rencontrer certaines usines anciennes, ou un équipement dont le matériau ou la conception ne convient pas, et qui ne permet pas de développer la circulation en circuit fermé de l'eau. En effet ce développement de la mise en circuit fermé de l'eau implique habituellement un système plus complexe, qui doit être surveillé, contrôlé et maîtrisé. Or les petites entreprises ne possèdent peut-être pas toujours les connaissances requises pour exploiter et maîtriser de la façon la plus efficace des solutions industrielles plus complexes.

#### **2.4.2 MTD pour les usines de pâte kraft**

On trouvera ci-dessous les techniques ou combinaisons de techniques qui sont considérées comme des MTD pour les usines intégrées ou non intégrées de pâte kraft. La liste suivante des MTD n'est pas considérée comme exhaustive et n'importe quelle autre technique ou combinaison de techniques permettant le même résultat (voire un résultat meilleur) peut également être envisagée; il peut s'agir en

l'occurrence de techniques en cours de développement ou d'une technique émergente ou déjà disponible mais qui n'est pas décrite dans le présent document. Pour les usines intégrées de pâte kraft, il est fait référence à la section 6.4, qui donne des détails complémentaires sur les MTD pour la fabrication du papier. Sauf indication contraire, les données sont des valeurs annuelles moyennes.

### **Mesures générales**

1. Formation, éducation et motivation du personnel et des opérateurs. La formation du personnel peut s'avérer une mesure très efficace, par rapport à son coût, pour réduire les rejets de substances dangereuses.
2. Optimisation de la gestion du processus. Pour pouvoir réduire plusieurs polluants simultanément et maintenir les émissions à un niveau faible, il est nécessaire d'améliorer la maîtrise opérationnelle.
3. Pour conserver l'efficacité des unités techniques des usines de pâte à papier et maintenir les techniques associées de limitation à un niveau élevé, il convient d'assurer une maintenance adéquate.
4. Système de gestion de l'environnement définissant clairement au sein de l'usine les responsabilités pour les aspects touchant à l'environnement. Il suscite la prise de conscience et englobe des objectifs et des mesures, des procédures et instructions de travail, des enregistrements, et autre documentation pertinente.

### **Mesures pour réduire les émissions dans l'eau**

1. Écorçage à sec du bois
2. Cuisson modifiée en continu ou en batch
3. Lavage haute efficacité et une épuration en circuit fermé de la pâte écrue
4. Délignification à l'oxygène
5. Blanchiment final ECF ou TCF et recyclage partiel, principalement en milieu alcalin, de l'eau de process dans l'installation de blanchiment
6. Épuration et réutilisation des condensats
7. Surveillance efficace, rétention et système de récupération des fuites,
8. Capacité suffisante de l'installation d'évaporation de la liqueur noire et chaudière de récupération pour faire face aux charges supplémentaires de liqueur et de matières sèches dues à la récupération des fuites, aux effluents de l'installation de blanchiment etc.
9. Collecte et réutilisation des eaux de refroidissement non polluées
10. Mise en place de bacs tampons d'une capacité suffisante pour stocker les fuites à la cuisson et à la récupération et les condensats pollués, et éviter les surcharges et les dysfonctionnements de l'installation de traitement des effluents.
11. Traitement primaire des effluents
12. Traitement biologique des effluents.

L'efficacité de chacune de ces mesures varie considérablement en fonction de la conception et des conditions de fonctionnement des différentes usines. Pour être considérée comme une MTD, elle doit aussi être bien conçue et mise en œuvre. Une combinaison des techniques des points 1 à 10 incluant les mesures générales a pour résultat une plage d'émissions comme celles indiquées dans le tableau 2.38. Les usines prises comme exemples sont des usines européennes performantes et qui ont mis en œuvre un ensemble raisonnable de techniques. Elles disposent toutes d'une installation de traitement primaire et la plupart également d'un traitement secondaire des effluents. Toutefois, les chiffres du tableau 2.38 se réfèrent tous à des rejets d'eau après le traitement primaire uniquement. L'impact du traitement biologique des effluents des usines de pâte à papier est étudié ultérieurement.



Usines	DC O (kg/ ADt)	DB O <sub>5</sub> ou 7 (kg/ ADt)	MES (kg/A Dt)	AOX (kg/ADt)	Azote (N) total (kg/A dt)	Phosphore (P) total (kg/ADt)	Débit (m3/ADt)	Production 97[ADt/an]	Observations
ENCE, usine de Huelva , Espagne	28	n/a.	5.2	0.17	n/a.	n/a.	41.2	310000	Pâte à papier blanchie ECF de bois de feuillus (eucalyptus) marchande
Södra Cell, usine de Varö , Suède	36	n/a.	n/a.	0	0.3	0.04	35	305000	Pâte à papier blanchie TCF de bois de résineux marchande
Södra Cell, usine de Mönsterås, Suède <sup>1</sup>	31	14	n/a.	0	n/a.	n/a.	45	507000	Pâte à papier blanchie TCF de bois de feuillus/résineux marchande
NSI, Tofte Industrier, Norvège	35		2.3	0.19	n/a.	0.07 -0.1	30	340000	Pâte à papier blanchie ECF marchande
Pöls AG, Autriche, <sup>6</sup>	38	13	n/a.	0.5	n/a.	n/a.	46 <sup>7</sup>	280000	Pâte à papier blanchie ECF de bois de résineux marchande
Stora, Celbi Portugal	17.3	4.9	2.7	0.16	0.15	0.11	52	270000	Pâte à papier blanchie ECF de bois de feuillus (eucalyptus) marchande
Modo Alizay, France (tout le site)	42.3	11	12.3	n/a.	n/a.	n/a.	61	244500 pulp 220000 paper	Fabrique intégrée de pâte à papier blanchie ECF et de papier
Enocell, Finlande <sup>4</sup>	54	17	n/a.	0.67	0.19	0.04	38	586000	Pâte à papier blanchie TCF et TCF de bois de résineux/de feuillus (bouleau) marchande
Metsä-Rauma, Finlande <sup>2</sup>	28	11	n/a.	n/a.	n/a.	0.021	10	500000	Pâte à papier blanchie TCF de bois de résineux marchande
Modo, usine de Husum, Suède <sup>3</sup>	37	19	n/a.	0.30	0.19	0.060	77	677000 pulp 485000 paper	Usine intégrée de pâte à papier blanchie ECF et de papier
SCA, Östrand, Suède <sup>3</sup>	38	15	n/a.	-	0.40	0.060	39	n/a.	Pâte à papier blanchie TCF de bois de résineux marchande
Södra Cell,usine de Mörrum, Suède	41	17	n/a.	0.25	0.30	0.040	73	376000	Pâte à papier blanchie TCF/ECF de bois de résineux marchande
AssiDomän, usine de kraftliner, Suède <sup>5</sup>	13	6.4	n/a.	-	0.06	0.008	24	562000	Pâte kraft non blanchie + papier couverture, 19 % de fibres recyclées
SCA,usine de Munksund, Suède <sup>5</sup>	16	7.9	3.3	-	0.07	0.012	41	338000	Pâte kraft non blanchie + papier couverture, 33 % de fibres recyclées
SCA, usine d'Obbola, Suède <sup>5</sup>	19	9	3.5	-	0.15	0.013	12	363000	Pâte kraft non blanchie + papier couverture, 41 % de fibres recyclées
Smurfit CdP, usine de Facture, France, <sup>5</sup>	17.3	7.7	1.6	-	0.25	0.009	28.4	350000 - 400000	Pâte kraft non blanchie + papier couverture, 20 % de fibres recyclées, 10 % de pâte achetée
Usine 5, Portugal <sup>5</sup>	18	6	2.9	n/a.	n/a.	n/a.	25	270000	Pâte kraft non blanchie + papier couverture
n/a : pas de données disponibles Remarques : 1) Données moyennes du second semestre 1998 après traitement primaire 2) Usine neuve en 1996; données de la "Cinquième Conférence globale sur le papier et l'environnement", 3 <sup>e</sup> session, 1997 3) Données DBO pour 1998, les autres pour 1997 4) Données pour 1998 5) Par tonne de papier couverture produit 6) Ces valeurs correspondent à des niveaux avant le traitement secondaire.L'usine a un traitement biologique. 7) Chiffres du débit d'eau hors production de papier. La part représentée par une petite production de papier est négligeable pour les autres paramètres.									

**Tableau 2.38 - Exemples de niveaux d'émissions dans l'eau obtenus après le seul traitement primaire pour quelques usines de pâtes à papier existantes en Europe (année de référence : 1997). La plupart de ces usines ont également mis en place un traitement secondaire biologique (voir tableau 2.40).**

La liste des usines est une sélection d'entreprises pour lesquelles des données étaient disponibles, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Elle comprend des usines de tous les pays producteurs de pâte à papier d'Europe. D'autres exemples sont donnés pour des usines après le traitement biologique dans le tableau 2.40 ci-après. Ces données sont calculées à partir de rapports sur l'environnement élaborés par les sociétés, de contacts personnels, et du rapport SEPA 4924 "Industrie forestière : émissions dans l'eau et dans l'atmosphère, quantités de déchets et consommation d'énergie, 1997" (en suédois seulement). La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs. En Suède et en Finlande, les valeurs pour la DBO sont exprimées en DBO<sub>7</sub>.

Selon le type de bois utilisé pour la pâte à papier, les mesures spécifiques internes mises en œuvre et le caractère technique de l'usine, il est généralement possible d'atteindre les niveaux d'émissions dans l'eau associés à l'utilisation des MTD indiqués ci-après **avant** le traitement biologique :

Paramètres	Unités	Kraft blanchie <sup>1</sup>	Kraft intégrée non blanchie (écru) <sup>3</sup>
DCO	kg/ADt	30 <sup>2</sup> - 45	15 - 20
DBO	kg/ADt	13 <sup>2</sup> - 19	6 - 9
MES	kg/ADt	2 - 4	2 - 4
AOX	kg/ADt	(-) - 0.4	*
Total P	kg/ADt	0.04 - 0.06 <sup>4</sup>	0.01-0.02
Total N	kg/ADt	0.3 - 0.4	0.1 - 0.2
Effluents	m <sup>3</sup> /ADt	30-50	15 - 25
Remarques :			
* Ce paramètre est sans objet ici. De faibles émissions de AOX peuvent se produire lors du repulpage de la pâte achetée			
1) Niveaux d'émissions pour des usines non intégrées et intégrées de pâte kraft blanchie par tonne de pâte			
2) On atteint des valeurs plus basses avec le bois feuillus			
3) Les usines de pâte kraft écru sont toutes des usines intégrées. Elles produisent du kraftliner, des cartons et sacs écru et autres papiers kraft. Nombreuses sont celles qui utilisent des fibres recyclées et de la pâte blanchie achetée. Les chiffres sont exprimés par tonne de liner / papier / carton produite.			
4) Pour des raisons de teneur en phosphore, les usines de pâte d'eucalyptus ne peuvent pas atteindre ces valeurs. Les données actuelles des usines concernant les émissions de P dans les milieux aquatiques varient entre 0,037 et 0,23 kg P/ADt. La moyenne des données communiquées est de 0,11 kg/ADt.			

**Tableau 2.39 - Niveaux d'émissions résultant d'une combinaison de meilleures techniques disponibles, obtenus après traitement primaire. Les valeurs concernent des usines de pâte kraft blanchie et écru.**

Lorsqu'on met en œuvre des combinaisons de MTD, on considère que les niveaux d'émissions possibles se situent dans la même fourchette pour les usines de pâte kraft intégrées et non intégrées en ce qui concerne la partie pâte. Pour les usines intégrées, il faut prendre en compte à la fois les mesures liées aux usines de pâte à papier (chapitre 2), et celles décrites dans le chapitre correspondant sur la fabrication du papier (chapitre 6).

Cependant, il existe quelques techniques à prendre en considération qui ne concernent que les usines de pâte à papier intégrées, par exemple :

- une séparation efficace entre les circuits d'eau de l'usine de pâte et de l'usine de papier.
- le recyclage de l'eau de dilution de la pâte entre les sections pâte et papier.  
Le recyclage de l'eau de process entre la machine à papier et l'usine de pâte n'est pas possible

lorsque l'usine commercialise une partie de sa production de pâte, ou si elle possède deux ou plusieurs machines à papier produisant différents types de papier, dont les eaux blanches sont incompatibles, ou en cas de fabrication de papier coloré.

### **Traitement biologique des effluents**

En plus des mesures internes et du traitement primaire (items 1 à 10), on considère le traitement biologique comme une MTD pour les usines de pâte kraft. Les installations à boues activées comprenant un bassin de régulation, un bassin d'aération, un épurateur secondaire et un dispositif de traitement des boues présentent d'excellents résultats en matière de traitement des effluents des usines de pâte. Les installations à boues activées avec une charge faible des boues, inférieure à 0,15 kg DBO/(kg MLSS\*j), et des temps de séjour types dans le bassin d'aération d'environ un jour (deux jours maximum) sont considérées comme des MTD. Elles peuvent atteindre une efficacité d'élimination élevée avec un fonctionnement stable.

Il faut noter que n'importe quel autre traitement avec des niveaux d'émissions et des coûts comparables peut aussi être considéré comme MTD.

Le tableau 2.40 illustre les niveaux d'émissions atteints en Europe par certaines usines de pâte qui ont mis en œuvre un ensemble de mesures intégrées dans le processus, mais pas nécessairement toutes, et pas nécessairement dans toute leur ampleur, mais en association avec un traitement biologique des effluents liquides. Les chiffres entre parenthèses dans ce tableau 2.40 expriment des concentrations (mg/l).

Fabriques de pâte à papier	Niveaux d'émissions communiqués, atteints après traitement biologique (moyennes annuelles)							Type de traitement
	DCO [kg/Adt]	DBO <sub>5</sub> ou 7 [kg/Adt]	AOX [kg/Adt]	MES [kg/Adt]	Total P [kg/Adt]	Total N [kg/Adt]	Débit <sup>3)</sup> [m <sup>3</sup> /Adt]	par ex. charge normale / faible
Södra Cell, Mönsterås, Suède <sup>1</sup>	13 (300)	0.9 (20)	(-)	1.7 (40)	0.03 (0.7)	0.31 (7)	45	Boues activées avec temps de séjour prolongé (>2 j)
Pöls AG, Autriche	17.6 (400)	0.64 (15)	0.30 (6.6)	1.45 (30)	0.07 (1.5)	0.06 (1.5)	45.8 <sup>6</sup>	Boues activées avec séjour de 14 heures
Modo Alizay, France (tout le site) <sup>4</sup>	11.1 (180)	0.6 (10)	0.1 (1.6)	2.24 (37)	0.08 (1.3)	0.38 (6.2)	61	Boues activées
Enocell, Finlande	12 (300)	0.2 (5)	0.14 (5)	0.3 (8)	0.004 (0.1)	0.08 (2)	39	Boues activées avec temps de séjour de 24 h + bassin d'aération
MB Kaskinen, Finlande	14 (300)	0.3 (7)	0.07 (1.4)	1.0 (20)	0.02 (0.4)	0.15 (3)	49	Boues activées
Sunila, Finlande	22 (160)	1.4 (10)	0.14 (0.2)	2.1 (15)	0.026 (0.2)	0.21 (6)	70	Boues activées
MB Äänekoski, Finlande	24 (750)	0.6 (5)	0.38 (11.9)	1.9 (60)	0.012 (0.4)	0.17 (5)	32	Boues activées
UPM Kymi, Finlande, intégrée <sup>5</sup>	23 (360)	2.7 (40)	0.22 (3.5)	1.1 (20)	0.02 (0.3)	0.19 (3)	63	Boues activées
Metsä-Rauma, constr. en 1996, Finlande <sup>2)</sup>	4 (270)	0.4 (30)	(-)	0.7 (45)	0.015 (1)	0.14 (10)	15	Boues activées
Alberta-Pacific, Alberta, Canada	6.9 (130)	0.2 (4)	0.05 (0.8)	1.66 (30)	n/a.	n/a.	50 - 60	Boues activées avec temps de séjour d'environ 40 h
Usine de Bäckhammars, Suède, Kraft écrue + papier Kraft	7 (80)	1.5 (20)	-	0.9 (10)	0.007 (0.1)	0.47 (5)	85	Traitement biologique + précipitation chimique
n/a. : pas de données disponibles Remarques : 1. Données moyennes pour le second semestre 1998 2. Valeurs calculées par l'usine. Elle a été construite "en pleine nature" en 1996 est possède un traitement commun avec une usine adjacente de pâte mécanique et de papier 3. Le débit d'eau n'inclut pas l'eau de refroidissement 4. Les chiffres sont exprimés par tonne de produit fini. Ils seraient différents pour une tonne de pâte kraft blanchie., par ex. DCO 13 kg/Adt, DBO 0,63 kg/Adt, MES 2,82 kg/Adt, débit 64 m <sup>3</sup> /Adt; les données concernent l'année 1998 5. Chiffres par tonne de produit fini (papier fin). Les chiffres par tonne de pâte kraft blanchie seraient : DCO : 28 kg/Adt, DBO : 0,5 kg/Adt, AOX : 0,33 kg/Adt; MES 0,8 kg/Adt, Phosphore total : 0,02 kg/Adt; Azote total : 0,2 kg/Adt; débit 43 m <sup>3</sup> /Adt 6. Cette valeur ne tient pas compte de la production de papier. La part représentée par une petite production de papier est négligeable pour les autres paramètres.								

**Tableau 2.40 - Exemples de niveaux d'émissions dans l'eau obtenus après le traitement biologique par des usines de pâtes à papier existantes en Europe (année de référence : 1997).**

La liste des usines est une sélection d'entreprises pour lesquelles des données étaient disponibles, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Ces données sont dérivées de rapports disponibles sur l'environnement, de statistiques de l'Institut finlandais de l'environnement et de contacts personnels. La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs. En Suède et en Finlande, les valeurs pour la DBO sont exprimées en DBO<sub>7</sub>.

Si l'installation de traitement des effluents liquides a été correctement conçue et dimensionnée, et qu'elle est conduite et contrôlée par des opérateurs qualifiés, il est généralement possible d'atteindre les rejets suivants **après** le traitement biologique. Les émissions dans les cours d'eau ne diffèrent pas beaucoup entre les usines de pâte kraft intégrées et non intégrées lorsqu'elles descendent à ces niveaux associés aux MTD.

Paramètres	Unités	Kraft blanchie <sup>1</sup>	Kraft non blanchie (écru) <sup>2</sup> + papier couverture ou papier pour sac d'emballage
DCO	kg/ADt	8 – 23	5.0 – 10
DBO	kg/ADt	0.3 - 1.5	0.2 - 0.7
MES	kg/ADt	0.6 – 1.5	0.3 - 1.0
AOX	kg/ADt	(-) - 0.25	-
Total P	kg/ADt	0.01 - 0.03 <sup>3</sup>	0.01 - 0.02
Total N	kg/ADt	0.1 - 0.25 <sup>4</sup>	0.1 - 0.2
Effluents <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	30-50	15-25
Remarques :			
1) Niveaux d'émissions pour des usines non intégrées et intégrées de pâte kraft blanchie			
2) Niveaux d'émissions pour des usines intégrées de pâte kraft non blanchie et de papier/papier couverture			
3) Compte tenu de la teneur plus élevée en phosphore dans le bois, certaines usines fabriquant de la pâte à partir de bois d'eucalyptus ne peuvent pas atteindre ces valeurs si P est en excès par rapport à la demande de l'installation de traitement biologique. Les émissions seront fonction de la teneur en P du bois. Il est inutile d'ajouter du phosphore à l'installation de traitement des effluents liquides.			
4) Tout rejet d'azote associé à l'utilisation d'agents complexants doit être ajouté à la valeur d'azote total.			
5) L'eau de refroidissement et les autres eaux non polluées sont rejetées séparément et ne sont pas comprises dans ces chiffres.			

**Tableau 2.41 - Niveaux d'émissions associés à l'utilisation d'une combinaison adaptée de meilleures techniques disponibles après le traitement biologique.**  
**Les valeurs sont indiquées pour les usines de pâte kraft blanchie et écru.**

Le tableau 2.41 doit être interprété dans le contexte des explications suivantes :

- **Demande Chimique d'Oxygène (DCO)** : le taux de réduction de la DCO est liée aux types et aux quantités d'effluents traités (par exemple les condensats se dégradent mieux que les fuites de liqueur noire), à la construction et aux caractéristiques hydrauliques de l'installation de traitement et au bon réglage des paramètres de fonctionnement. Des installations bien conçues et avec de faibles charges atteignent des taux d'élimination de la DCO de 65 à 75 %. Mais des temps de séjour prolongés impliquent des bassins d'aération de grandes dimensions et une plus grande consommation d'énergie pour le pompage et l'aération. Pour être considérée comme une usine performante, les taux de réduction de la DCO dans le traitement doivent dépasser 55 %. Par conséquent, les usines de pâte kraft blanchie peuvent généralement atteindre des niveaux de rejets de 8 à 23 kg DCO/ADt. La concentration mesurée dans les effluents de ces usines est comprise dans la fourchette 250 à 400 mg DCO/l. Les raisons les plus courantes qui font que les installations à boues activées obtiennent de moins bons résultats sont leur conception et une charge trop élevée. En revanche, les meilleures usines atteignant un taux d'élimination de la DCO d'environ 75 % correspondent à une dégradation pratiquement totale des matières organiques (exprimées en DCO).
- **Demande Biologique d'Oxygène (DBO<sub>5</sub> ou <sub>7</sub>)** : dans les installations bien conçues, la DBO est presque entièrement éliminée (à plus de 95 %) des effluents liquides des usines de pâte à papier quand le rapport carbone-phosphore-azote et l'apport en oxygène sont maintenus à un niveau suffisant et bien maîtrisés. En cas de perturbations ou si l'un des paramètres d'exploitation s'éloigne de la valeur cible, la concentration de DBO va commencer à augmenter. Il faudra alors ajuster les paramètres et/ou analyser la biomasse. La concentration en DBO dans l'effluent est liée à la

maîtrise du système et peut être utilisée comme indicateur de la biomasse active. Une concentration en DBO dans les effluents traités comprise entre 10 et 25 mg/l est associée à des MTD. Selon le débit, cela correspond respectivement à 0,3 kg DBO<sub>5</sub>/ADt (pour 10 mg/l et un débit de 30 m<sup>3</sup>/ADt) et à 1,3 kg DBO<sub>5</sub>/ADt (pour 25 mg/l et un débit de 50 m<sup>3</sup>/ADt).

- **Matières en suspension (MES)** : dans des conditions de fonctionnement normales, l'eau après clarificateur est bien claire et la teneur en matières en suspension se situe dans une fourchette de 20 à 30 mg/l. Cela correspond à des rejets de 0,6 à 1,5 kg MES/ADt (pour un débit d'eau de 30 à 50 m<sup>3</sup>/ADt). Les valeurs dépendent de la charge surfacique du décanteur secondaire et des caractéristiques de la biomasse.
- **Composés organiques adsorbables (AOX)** : les rejets de matières organiques chlorées se situent généralement dans la plage de 0 à 0,5 kg/ADt avant le traitement biologique dans la mesure où la plupart des usines de pâte européennes sont passées aux procédés de blanchiment ECF ou TCF. Le traitement à boues activées se traduit par une réduction des AOX comprise entre 40 et 60 %. Les usines ECF atteignent un niveau d'émissions <0,25 kg/ADt. Les fabriques TCF ne rejettent pratiquement aucune substance organique chlorée (pas de formation lors du blanchiment).
- **Phosphore et azote** (Phosphore (P) total et Azote (N) total) : on ajoute habituellement des substances nutritives minérales dans l'installation de traitement biologique pour maintenir l'équilibre C : P : N qui est d'une importance capitale pour la croissance de la biomasse active. En conséquence, on n'atteindra pas l'objectif recherché en s'intéressant seulement à la concentration en début de circuit ou aux taux de réduction pour N et P. Il faudra plutôt rechercher et maintenir un équilibre entre les composés de N et P en entrée qui sont disponibles pour la biomasse et la quantité de substances nutritives ajoutées, le cas échéant, et dont le dosage doit être réglé avec une certaine précision. Souvent, les usines de pâte à papier n'ajoutent pas de phosphore à leurs effluents liquides alors que l'addition d'azote (habituellement sous forme d'urée) est essentielle pour elles. Lorsque le circuit est optimisé, on atteint un rejet de phosphore de 0,2 à 0,5 mg de phosphore total/l et un rejet d'azote de 2 à 5 mg d'azote total/l. Les charges correspondantes sont respectivement de 0,01 à 0,03 kg P/ADt et 0,1 à 0,25 kg N/ADt (pour un débit d'eau de 50 m<sup>3</sup>/ADt). La valeur de phosphore total est légèrement supérieure pour la pâte blanchie à celle de la pâte non blanchie (écru) car le phosphore est éliminé par dissolution dans l'installation de blanchiment.

Pour garantir le fonctionnement stable d'une installation de traitement des effluents, il peut être avantageux de prévoir un bassin de secours pour protéger la biomasse des liqueurs concentrées chaudes ou toxiques et un bassin tampon pour réguler la charge et les débits.

### Mesures pour réduire les émissions dans l'atmosphère

1. Captage et incinération des gaz concentrés malodorants provenant de la ligne fibres (cuisson, évaporation, stripping des condensats), et contrôle du SO<sub>2</sub> en résultant. Les gaz forts peuvent être brûlés dans la chaudière de récupération, le four à chaux ou un four distinct à faible NO<sub>x</sub>. Les effluents gazeux de ce dernier ont une concentration élevée en SO<sub>2</sub> qui est éliminée dans un épurateur (laveur).
2. Captage et incinération des gaz dilués malodorants provenant de sources diverses telles que bacs, dissolvant. Les gaz faibles malodorants peuvent être brûlés par exemple dans la chaudière de récupération mélangés à de l'air comburant ou dans une chaudière auxiliaire, en fonction du volume.
3. Atténuation des émissions en TRS de la chaudière de récupération par contrôle des conditions de combustion et mesure du CO et, dans le cas du four à chaux, par le contrôle de l'oxygène en excès, l'utilisation de combustible pauvre en S et le contrôle du sodium soluble résiduel provenant de la boue de chaux d'alimentation.

4. Limitation des émissions de  $\text{SO}_2$  en brûlant de la liqueur noire à forte concentration en matières sèches dans la chaudière de récupération pour atténuer la formation de  $\text{SO}_2$  et/ou en recourant à un épurateur (laveur) de gaz de fumées.
5. Limitation des émissions de  $\text{NO}_x$  de la chaudière de récupération et du four à chaux en contrôlant les conditions de la combustion et, pour les installations nouvelles ou modifiées, par une conception appropriée.
6. Limitation des émissions de  $\text{NO}_x$  des chaudières auxiliaires en contrôlant les conditions de la combustion et en assurant un mélange et une répartition corrects de l'air dans la chaudière, et par une conception appropriée des installations nouvelles ou modifiées.
7. Réduction des émissions de  $\text{SO}_2$  des chaudières auxiliaires grâce à l'emploi d'écorce, de fioul et de charbon pauvre en soufre ou en limitant les émissions de S grâce à un épurateur (laveur).
8. Emploi d'électrofiltres pour les chaudières de récupération, les chaudières auxiliaires (servant à l'incinération d'autres biocombustibles et/ou combustibles fossiles) et le four à chaux, afin de limiter les émissions de poussières.

Le tableau 2.42 illustre les niveaux d'émissions que l'on obtient pour les principales sources en combinant ces techniques. Les usines prises comme exemples sont des usines situées en Europe, réalisant des performances satisfaisantes, et qui ont mis en œuvre un certain nombre de ces techniques. Dans toutes les usines, les émissions dans l'air sont traitées en mettant en œuvre des électrofiltres et des scrubbers (laveurs). Les émissions inhérentes au procédé englobent la (les) chaudière(s) de récupération, le(s) four(s) à chaux, les émissions fugitives et autres installations éventuelles (par exemple pour l'incinération des SRT) liés au processus.

Il convient de noter qu'il est difficile de comparer directement les niveaux d'émissions entre les pays, compte tenu des incertitudes dans les bases de données (manque d'harmonisation dans les méthodes d'analyse et de calcul des émissions).

Émissions dans l'atmosphère communiquées par des fabriques de pâte kraft (moyennes annuelles)											
Émission de soufre gazeux (SO <sub>2</sub> et SRT) en kg S/ADt de pâte							Émission de NO <sub>x</sub> en kg NO <sub>x</sub> /ADt (exprimé en tant que NO <sub>2</sub> )				
Usine	Chaudière de récupération <sup>1</sup>	Four à chaux <sup>1</sup>	Four distinct, éventuellement <sup>1</sup>	Chaudière auxiliaire <sup>2</sup>	Émissions fugitives <sup>3</sup>	Total du processus	Chaudière de récupération <sup>1</sup>	Four à chaux <sup>1</sup>	Four distinct, éventuellement <sup>1</sup>	Chaudière auxiliaire <sup>2</sup>	Total provenant du processus
Aspa, Sweden	0.36	0.10	-	n.a.	0.37	<b>0.83</b>	1.29	0.20	-	n.a.	<b>1.49</b>
Iggesund, Sweden	0.40	0.11	0.14	0.30	0.23	<b>0.89</b>	1.50	0.13	-	0.82	<b>1.63</b>
Husum, Sweden <sup>4</sup>	0.30	0.01	0.16	0.16	0.33	<b>0.79</b>	1.21	0.11	0.07	0.39	<b>1.50</b>
Mönsterås, Sweden	0.11	0.05	-	0.10	0.50	<b>0.66</b>	0.95	0.21	-	0.12	<b>1.16</b>
Östrand, Sweden	0.06	0.40	-	0.07	0.47	<b>0.93</b>	1.36	0.08	-	0.47	<b>1.44</b>
Skutskär, Sweden	0.14	0.10	0.09	0.02	0.43	<b>0.76</b>	1.26	0.19	-	0.37	<b>1.45</b>
Skärblacka, Sweden <sup>4</sup>	0.17	0.05	0.05	0.10	0.03	<b>0.29</b>	0.66	0.23	-	0.72	<b>0.89</b>
Skoghäll, Sweden <sup>4</sup>	0.17	<0.01	0.05	0.49	0.30	<b>0.52</b>	1.14	0.15	0.13	0.53	<b>1.42</b>
Vallvik, Sweden	0.07	0.29	-	0.19	0.12	<b>0.48</b>	1.44	0.22	-	0.28	<b>1.65</b>
Varö, Sweden	0.06	0.29	-	0.04	0.49	<b>0.74</b>	1.51	0.26	-	0.20	<b>1.79</b>
Dynäs, Sweden <sup>4</sup>	0.04	<0.01	0.24	0.22	0.45	<b>0.74</b>	1.24	0.22	-	0.52	<b>1.66</b>
Frövi, Sweden <sup>4</sup>	0.03	0.01	0.06	0.26	0.21	<b>0.31</b>	1.01	0.21	0.29	0.99	<b>1.51</b>
Obbola, Sweden <sup>4</sup>	0.11	<0.01	0.03	0.05	≈ 0.3	<b>0.4</b>	1.02	0.18	-	0.31	<b>1.20</b>
Bäckhammar, Sweden <sup>4</sup>	0.14	0.01	-	0.25	≈ 0.2	<b>0.4</b>	1.22	0.04	-	0.37	<b>1.26</b>
Huelva, Spain	0.41	0.67	-	0.17	n/a.	<b>1.08</b>	0.88	0.06	-	0.31	<b>0.94</b>
Pöls AG, Austria	0.04	<0.01	-	-	0.009 <sup>6</sup>	<b>0.04</b>	1.6	0.45	-	-	<b>2.05</b>
Stora Celbi, Portugal	0.06	0.02	0.02	0.62	n/a.	<b>0.10</b>	1.02	0.17	0.19	0.37	<b>1.38</b>
Enocell, Finland <sup>5</sup>	0.011	0.133	0.029	0.015	0.125	<b>0.30</b>	1.186	0.171	0.164	0.292	<b>1.52</b>
Oulu, Finland <sup>4</sup>	0.046	0.006	0.292	-	0.050	<b>0.39</b>	0.810	0.270	-	-	<b>1.08</b>
Äänekoski, Finland	0.380	0.059	-	-	0.095	<b>0.53</b>	1.748	0.101	-	-	<b>1.85</b>
Kaskinen, Finland	0.392	0.044	-	-	0.095	<b>0.53</b>	1.366	0.160	-	0.611	<b>1.53</b>
Sunila, Finland	0.433	0.061	0.012	0.313	0.298	<b>0.80</b>	1.029	0.275	0.042	0.404	<b>1.35</b>
Joutseno, Finland	0.036	0.012	-	-	0.719	<b>0.77</b>	1.013	0.168	-	0.261	<b>1.18</b>
Wisaforest, Finland	0.178	0.030	0.069	0.189	0.082	<b>0.36</b>	0.864	0.326	0.403	0.758	<b>1.59</b>
n/a. = pas de données disponibles; "≈" signifie que ces chiffres sont une estimation réalisée sur la base de précédents rapports; n.a. = l'usine ne possède pas de chaudière auxiliaire											
Notes explicatives :											
1. Le soufre gazeux est principalement du SO <sub>2</sub> -S. Habituellement, les quantités de H <sub>2</sub> S rejetées sont très faibles (inférieures à 10 mg H <sub>2</sub> S/Nm <sup>3</sup> )											
2. Les émissions des chaudières auxiliaires ne sont pas comprises dans les chiffres "Total provenant du processus"											
3. Les émissions fugitives consistent principalement en composés de soufre réduit (SRT). En principe, cette émission n'est pas surveillée régulièrement par les usines de pâte chimique européenne. (Mais, en Finlande, les émissions de SRT font l'objet d'une surveillance permanente de la part de toutes les usines de pâte kraft). Les chiffres indiqués ici incluent les estimations relatives à ces émissions, sur la base du dernier contrôle effectué.											
4. Fabriques de pâte à papier et de papier intégrées											
5. Émissions en 1998											
6. Toutes les émissions fugitives en question sont captées et sont donc négligeables. Ce n'est qu'à l'occasion de travaux de maintenance ou de défauts que des émissions fugitives sont occasionnellement observées. Les émissions de SRT sont les contributions en SRT des chaudières de récupération et des fours à chaux.											

**Tableau 2.42 - Exemples de niveaux d'émissions dans l'atmosphère pour quelques usines de pâtes à papier existantes en Europe ayant de bonnes performances (année de référence : 1997). Les émissions totales du processus ne comprennent pas les chaudières auxiliaires. La liste des usines est une sélection d'entreprises pour lesquelles des données étaient disponibles, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Elle comprend surtout des usines de différents pays producteurs de pâte à papier d'Europe. Ces données proviennent de rapports sur l'environnement élaborés par les sociétés pour l'année 1997, de contacts personnels et du rapport SEPA 4924 "Industrie forestière : émissions dans l'eau et dans l'atmosphère, quantités de déchets et consommation d'énergie, 1997" (en suédois seulement). La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs.**

L'équilibre entre les différentes émissions gazeuses (SO<sub>2</sub>, SRT, NO<sub>x</sub>) et le processus de récupération proprement dit ne doit pas être perdu de vue et il doit être évalué avec soin lorsqu'on détermine les niveaux d'émissions. Selon le type de mesures spécifiques mises en œuvre en cours de fabrication et les spécificités de l'usine, on peut généralement atteindre les émissions suivantes dans l'atmosphère, associées à l'utilisation des MTD :



Paramètres	Unités	Usines de pâte kraft blanchie ou écrue
TSP	kg/ADt	0.2-0.5
SO <sub>2</sub> en S	kgS/ADt	0.2-0.4
NO <sub>x</sub> en NO <sub>2</sub> ,	kg/ADt	1.0-1.5
SRT en S	kgS/ADt	0.1-0.2

**Tableau 2.43 - Niveaux d'émissions dans la fabrication de la pâte kraft, associés à l'utilisation d'une combinaison adaptée des meilleures techniques disponibles (les émissions des chaudières auxiliaires ne sont pas comprises).**

**Les émissions inhérentes au processus englobent la (les) chaudière(s) de récupération, le(s) four(s) à chaux, les émissions fugitives et autres fours distincts (par exemple pour l'incinération du SRT) liés au processus. Il n'est pas fait de distinction ici entre les usines de pâte kraft blanchie et écrue étant donné l'absence de différences techniques significatives.**

Le tableau 2.43 doit être interprété dans le contexte des explications suivantes. Dans la mesure où des concentrations d'émissions sont données, elles concernent des moyennes quotidiennes et des conditions standard à savoir : 273 K, 101,3 kPa et gaz sec. La teneur en oxygène de référence est 5 % pour les fours à chaux et 5 % pour les chaudières de récupération.

**Émissions de poussières** : dans les usines de pâte kraft, les émissions de poussières particulières sont contrôlées par une installation de dépoussiérage électrostatique et quelquefois aussi par des laveurs de SO<sub>2</sub>. Des émissions de TSP pour les chaudières de récupération comprises entre 30 et 50 mg/Nm<sup>3</sup> soit 2 à 0,5 kg TSP/ADt (avec un débit de gaz de 7 000 à 9 000 m<sup>3</sup>/ADt) sont considérées comme des MTD. En général, seules les chaudières de récupération les plus modernes associées à la précipitation électrostatique permettent d'atteindre de tels niveaux. Les chaudières anciennes peuvent l'atteindre lorsqu'elles sont associées au dépoussiérage électrostatique et aux scrubbers. Toutefois ces derniers servent principalement à éliminer le SO<sub>2</sub>. De nombreuses usines existantes sans scrubbers ou laveurs peuvent atteindre un niveau de 100 à 150 mg de poussière/m<sup>3</sup>.

Avec un scrubber de SO<sub>2</sub> après électrofiltre, on peut atteindre des émissions d'environ 15 mg/Nm<sup>3</sup>.

Pour les fours à chaux, on peut atteindre 30 à 50 mg/Nm<sup>3</sup> soit 0,03 à 0,05 kg/ADt (avec un débit de gaz de 1 000 m<sup>3</sup>/ADt) avec un électrofiltre.

**Émissions de SO<sub>2</sub>** : si des modifications au niveau du combustible ou des conditions de fonctionnement ne se traduisent pas par une réduction suffisante de l'émission de SO<sub>2</sub>, l'élimination des oxydes de soufre des gaz de fumées par absorption par lavage alcalin (scrubber) est considérée comme MTD. L'efficacité de cette élimination est généralement bien supérieure à 90 %.

- dans les chaudières de récupération équipées d'un laveur de SO<sub>2</sub>, on atteint des émissions comprises entre 10 à 50 mg S/Nm<sup>3</sup> soit 0,1 à 0,4 kg kg/ADt. Les chaudières de récupération fonctionnant avec de la liqueur noire à teneur élevée en solides secs ont des émissions très faibles de SO<sub>2</sub>, en général inférieures à 0,1 kg S/ADt soit 5 à 10 mg S/Nm<sup>3</sup>.
- Les niveaux d'émissions de SO<sub>2</sub> dans le four à chaux dépendent essentiellement du combustible utilisé, de la quantité de soufre dans la boue de chaux et de l'apport éventuel de NCG dans le four. Les fours alimentés au fioul sans incinération de NCG atteignent 5 à 30 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> soit 0,005 à 0,03 kg SO<sub>2</sub>/ADt. Avec incinération de NCG, ils atteignent 150 à 300 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> soit 0,1 à 0,3 kg SO<sub>2</sub>/ADt. Selon la quantité de soufre (NCG) arrivant dans le four à chaux, on aura peut-être besoin d'un épurateur (laveur). Une autre solution pour réduire le SO<sub>2</sub> serait de ne pas utiliser le four à chaux pour l'incinération des NCG ou d'utiliser comme combustible un fioul contenant moins de soufre.

**Émissions de NO<sub>x</sub>** : l'émission d'oxydes d'azote peut être contrôlée par la conception du four (fours à bas NO<sub>x</sub>) et par des modifications des conditions de combustion (méthodes primaires).

- La conception de la chaudière de récupération (systèmes d'alimentation en air à différents niveaux) peut avoir pour résultat des concentrations relativement faibles en NO<sub>x</sub>. Mais c'est cependant elle qui contribue le plus aux émissions totales de NO<sub>x</sub> en raison de l'importante quantité de liqueurs qui sont brûlées. Une augmentation des matières sèches de la liqueur noire peut entraîner une légère augmentation des émissions de NO<sub>x</sub>. Les niveaux d'émissions possibles sont situés dans une fourchette de 80 à 120 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> (40 à 60 mg NO<sub>x</sub>/MJ) soit 0,7 à 1,1 kg NO<sub>x</sub>/ADt respectivement. La production de vapeur de process est comprise entre environ 13 et 18 GJ/ADt de pâte.
- Le four à chaux est aussi une source d'émission de NO<sub>x</sub> dans les usines de pâte kraft en raison de la température élevée de combustion. Dans ces fours, le type de combustible influence également la formation de NO<sub>x</sub>. On enregistre des niveaux de NO<sub>x</sub> plus élevés avec les fours à gaz qu'avec les fours à fioul. Dans ce dernier cas, les émissions de NO<sub>x</sub> du four à chaux se situent dans une fourchette de 100 à 200 mg/Nm<sup>3</sup> soit 0,1 à 0,2 kg NO<sub>x</sub>/ADt alors que les fours à chaux alimentés au gaz atteignent 380 à 600 mg/Nm<sup>3</sup> soit 0,4 à 0,6 kg NO<sub>x</sub>/ADt. La combustion de gaz malodorants dans le four à chaux peut également augmenter les émissions de NO<sub>x</sub>. Il existe des possibilités limitées pour réduire les émissions de NO<sub>x</sub> en agissant sur les paramètres de fonctionnement du four, la forme de la flamme, la répartition de l'air et l'excès d'oxygène, mais elles peuvent néanmoins aboutir à une légère réduction de la formation de NO<sub>x</sub> (environ 10 à 20 %).
- Un four distinct pour brûler le SRT ajoute environ 0,1 à 0,2 kg NO<sub>x</sub>/ADt.

Aucune méthode secondaire, telle que la réduction non catalytique sélective (SNCR) n'est appliquée.

**Émissions de SRT** : les gaz malodorants des usines de pâte à papier sont collectés et traités de différentes façons en fonction de leur concentration et de leur volume. Les gaz malodorants sont divisés en gaz forts et faibles. Le traitement des gaz malodorants concentrés comprend une sécurité qui est activée en cas de perturbations, de maintenance ou d'arrêt momentané. Les méthodes de traitement de ces gaz malodorants sont l'incinération et l'épuration en milieu alcalin. Il existe plusieurs solutions pour l'incinération : les fours à chaux, les incinérateurs spécifiques, ou les chaudières de récupération.

- lorsqu'on incinère un faible volume de gaz malodorants dans le four à chaux, le soufre est partiellement absorbé. Les émissions de SRT du four sont contrôlées grâce à un réglage efficace des conditions de lavage de la boue de chaux et de la combustion. Avec une filtration efficace des boues, il est possible d'atteindre un niveau inférieur à 15 mg H<sub>2</sub>S/Nm<sup>3</sup> (10 % O<sub>2</sub>). S'il est nécessaire de réduire encore les émissions de SRT, il faut installer un laveur alcalin après l'électrofiltre. Cette mesure permet de ramener les émissions de H<sub>2</sub>S à environ 1,5 mg/Nm<sup>3</sup> mais implique une consommation élevée d'alcali.
- l'incinération de gaz concentrés malodorants dans un incinérateur spécial transforme les émissions de SRT en émissions de SO<sub>2</sub>. Cet incinérateur doit donc toujours être équipé d'un épurateur (laveur).
- l'incinération de gaz concentrés dans la chaudière de récupération fonctionnant avec une teneur élevée en matières sèches dans la liqueur noire se traduit par de très faibles émissions de soufre, à la fois SO<sub>2</sub> et SRT.
- un grand volume de gaz malodorants dilués peut être envoyé vers la chaudière de récupération, où il est mélangé dans l'air comburant secondaire ou primaire ou brûlé avec le SRT concentré dans

un incinérateur spécifique. Dans les fours à chaux, les gaz malodorants dilués peuvent être mélangés avec l'air secondaire.

A côté du traitement, les émissions finales de SRT dépendent du système de captage. Les émissions fugitives de SRT comprennent essentiellement des gaz malodorants dilués. Les mesures suivantes permettent par exemple d'obtenir une grande disponibilité du traitement des composés malodorants :

- utilisation d'un incinérateur spécifique avec un épurateur (laveur) de  $\text{SO}_2$  et utilisation du four à chaux ou d'un épurateur laveur en milieu alcalin en réserve, et d'une torchère en seconde réserve.
- incinération des gaz faibles et forts dans la chaudière de récupération et utilisation du four à chaux en réserve et d'une torchère en seconde réserve.

### **Chaudières auxiliaires**

En fonction de l'équilibre énergétique de l'usine, du type de combustibles utilisés et des biocombustibles possibles tels que l'écorce et les déchets de bois, il faut considérer en plus les émissions dans l'atmosphère provenant des chaudières auxiliaires. Les niveaux d'émissions associés aux MTD des chaudières auxiliaires sont très étroitement liés au site (par exemple type de combustible, usine de pâte intégrée ou de pâte marchande, production d'électricité). Il convient de noter que de nombreuses usines utilisent des combustibles mixtes.

Substances rejetées	Charbon	Fioul	Gazole	Gaz	Biocombustible (par ex. écorce)
mg S/MJ de combustible consommé	100 - 200 <sup>1</sup> (50 - 100) <sup>5</sup>	100 - 200 <sup>1</sup> (50-100) <sup>5</sup>	25-50	<5	< 15
mg NO <sub>x</sub> /MJ de combustible consommé	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	45-60 <sup>2</sup>	30 -60 <sup>2</sup>	60 -100 <sup>2</sup> (40-70 SNCR) <sup>3</sup>
mg de poussière/Nm <sup>3</sup>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>	10 - 40 <sup>4</sup> à 3 % O <sub>2</sub>	10-30 3% O <sub>2</sub>	< 5 3% O <sub>2</sub>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>
Notes : 1. Les émissions de soufre des chaudières à mazout ou à charbon dépendent de la disponibilité de mazout et de charbon pauvre en S. On pourrait obtenir une certaine réduction du soufre par l'injection de carbonate de calcium. 2. On n'applique que la technologie de la combustion. 3. On applique également des mesures secondaires telles que la SNCR, uniquement pour des installations de plus grandes dimensions. 4. Valeurs obtenues lorsqu'on a recours à la précipitation électrostatique. 5. Lorsqu'on utilise un épurateur; ne s'applique qu'aux installations de grandes dimensions.					

**Tableau 2.44 - Niveaux d'émissions associés à l'utilisation de MTD pour différents combustibles.**

Il convient de noter que, dans l'industrie papetière, les chaudières auxiliaires sont de tailles très diverses (de 10 à plus de 200 MW). Pour les plus petites, seul le recours à du combustible pauvre en S et les techniques de combustion peuvent être appliqués à des coûts acceptables, alors que pour les plus grandes, on peut aussi envisager des mesures de réduction. Cette différence est illustrée dans le tableau 3.19. Les chiffres les plus élevés sont considérés comme des MTD pour les petites installations et atteints lorsqu'on agit uniquement sur la qualité du combustible et en appliquant des mesures internes. Les niveaux les plus bas (entre parenthèses) sont associés à des mesures de réduction supplémentaires telles que la SNCR et les épurateurs (laveurs) et sont considérés comme MTD pour les installations les plus grandes.

Dans une usine moderne non intégrée, la chaleur générée par la liqueur noire et l'incinération de l'écorce dépasse les besoins en énergie de l'ensemble du processus de production. On aura cependant besoin de fioul à certaines occasions, comme le démarrage des unités, et aussi dans de nombreuses usines pour alimenter le four à chaux.

### Déchets solides

1. Minimisation de la génération de déchets solides et récupération, recyclage et réutilisation de ces déchets dans toute la mesure du possible.
2. Collecte séparée des différents déchets à la source et, si nécessaire, stockage intermédiaire des matières résiduelles/déchets pour permettre un traitement adéquat des déchets restants.
3. Incinération de toutes les matières organiques non dangereuses (écorce, déchets de bois, boues d'effluents etc.) dans une chaudière auxiliaire, spécialement conçue pour brûler des combustibles humides à faible valeur calorifique (par ex. des chaudières à lit fluidisé).
4. Si possible, utilisation à l'extérieur de l'usine des résidus/déchets en tant que substances pour l'industrie forestière, l'agriculture ou d'autres industries.

Il convient de noter qu'il existe peu de renseignements détaillés et fiables sur la limitation possible des quantités de déchets solides. Les données statistiques font défaut et, en Europe, on emploie différents termes pour différentes variétés de déchets. Certains pays ne rendent compte que des déchets solides - avant tout des déchets solides inorganiques - qui ne peuvent plus être recyclés ou réutilisés mais

doivent être envoyés à la décharge. Cela implique que tous les déchets organiques qui présentent une valeur calorifique acceptable et/ou qui peuvent être incinérés sans risques d'émissions dangereuses dans la chaudière auxiliaire d'une usine sont déjà exclus (écorce et déchets de bois, boues primaires et biologiques du traitement des effluents liquides). De ce fait, les déchets solides mis en décharge comprennent les cendres de chaudière, les déchets de caustification, des boues résiduaires de chaux, des boues de liqueur verte, quelques déchets de bois et d'écorce, et divers déchets de nettoyage et de type ménagers.

Il est donc difficile de présenter des valeurs cibles en matière de déchets solides non dangereux. Pour donner une indication de la quantité de déchets solides que l'on peut envisager dans des usines de pâte kraft qui appliquent des MTD, le tableau 2.45 illustre quelques exemples des principaux types de déchets solides mis en décharge. Les écorces et autres résidus de bois ainsi que les boues mixtes du traitement des effluents liquides sont utilisés pour la production d'énergie dans la chaudière auxiliaire. Toutes les quantités de déchets sont exprimées en kilos secs par tonne de produit final (100 % DS).

Exemples	Type de déchet	Quantité (kg DS/Adt)	Total (kg DS/Adt)
Usine de pâte kraft blanchie marchande	Cendres	2.0	15
	Dregs	10.0	
	Écorce, déchets de bois etc.	3.4	
	Rebuts	0.3	
Usine de pâte kraft blanchie marchande	Boue résiduaire de chaux	9.7	45
	Résid de filtration de liq verte	8.1	
	Boues biologiques et primaires	8.7	
	Rebuts (conditionnement du bois)	2.1	
	Cendres de bois	3.9	
	Divers	10.5	
Usines intégrées de pâte kraft écrite	Non spécifié	Pas de données disponibles	30 à 50 (fourchette de 3 exemples)

**Tableau 2.45 - Exemples de quantité de déchets solides mis en décharge en provenance de quelques usines de pâte kraft. (Données provenant d'exemples d'usines et de rapports environnementaux)**

Toutes les usines produisent une petite quantité de déchets dangereux. Ceux-ci comprennent des résidus d'huile et de graisse, des huiles usées des circuits hydrauliques et des transformateurs, des batteries hors d'usage et autres déchets de matériels électriques, des solvants, des peintures, des biocides et des résidus chimiques etc. En général, ils représentent environ 0,05 à 0,1 kg/t de pâte.

### Techniques pour économiser l'énergie

On dispose d'un certain nombre de techniques pour réduire la consommation de vapeur primaire et d'énergie électrique et pour accroître la génération interne de vapeur et d'énergie électrique.

1) Mesures visant à optimiser la récupération de chaleur et réduire sa consommation :

- teneur élevée en solides secs de la liqueur noire et de l'écorce
- optimisation de la production de vapeur, par exemple basses températures des gaz de combustion
- efficacité du système de chauffage secondaire, par exemple eau chaude à environ 85 °C
- fermeture des circuits
- mise en circuit fermé partielle de l'installation de blanchiment

- concentration élevée de la pâte (technique MC)
  - pré-séchage de la chaux
  - utilisation de la chaleur secondaire pour chauffer les bâtiments
  - bonne maîtrise opérationnelle
- 2) Mesures visant à économiser la consommation d'énergie électrique :
- consistance aussi élevée que possible de la pâte pour l'épuration et le lavage
  - vitesse variable des moteurs électriques
  - efficacité des pompes à vide
  - dimensionnement correct des tuyaux, pompes et ventilateurs.
- 3) Mesures visant à augmenter la génération d'énergie électrique :
- pression élevée des chaudières
  - pression basse de la vapeur sortant de la turbine à contre-pression
  - turbine à condensation pour produire de l'énergie à partir de la vapeur en excès
  - efficacité optimale de la turbine
  - préchauffage de l'air et du combustible servant à alimenter les chaudières.

Il n'est pas toujours facile de rendre compte, sous forme de valeurs, des effets de ces mesures visant à réaliser des économies d'énergie, car les améliorations dépendent de la situation de l'usine avant la mise en œuvre de ces mesures.

Dans de nombreux pays européens, les informations sur l'équilibre énergétique d'usines de pâte et de papier complètes sont difficilement accessibles pour le public. En effet, les pays européens utilisent différents schémas pour leurs rapports, et les équilibres énergétiques dépendent aussi dans une certaine mesure des conditions locales. C'est pourquoi les fourchettes de consommation d'énergie des usines de pâte à papier qui sont indiquées dans le tableau 2.46 doivent être considérées uniquement comme une indication du besoin approximatif en chaleur de process et en énergie d'usines de pâte kraft présentant un bon rapport d'efficacité énergétique. On pourra peut-être ajouter d'autres exemples d'usines de pâte kraft avec un bon rapport d'efficacité énergétique, incluant les conditions spécifiques, dans une version révisée du BREF.

Type d'usine	Consommation de chaleur de process (nette) en GJ/ADt	Consommation d'énergie (nette) en MWh/ADt	Observations
Non intégrée, pâte kraft blanchie	10 à 14 GJ/ADt On peut utiliser environ 2 à 2,5 GJ/ADt pour produire de l'énergie ce qui donne un excédent de chaleur de 0,5 à 1,0 GJ/ADt	0,6 à 0,8 MWh/ADt Les usines de papier modernes sont autonomes en matière d'énergie	Une usine intégrée a fait état d'une consommation de chaleur de 10 GJ/ADt dans l'usine de pâte (pâte avec une consistance de 2,2 %) <sup>1</sup>
Intégrée, pâte kraft blanchie et papier fin non couché	14 à 20 GJ/ADt <sup>2)</sup> Il y a un excédent de chaleur de 4,0 à 4,5 GJ par tonne de pâte blanchie qui est utilisé dans la papeterie	1,2 à 1,5 MWh/ADt Il peut y avoir un excédent d'énergie de l'usine de pâte à papier de 0,1 à 0,15 MWh par tonne de pâte blanchie qui est utilisé dans la papeterie	L'excédent éventuel d'électricité dépend de la présence de turbines à contre-pression.
Intégrée, papier de couverture non blanchi	14 à 17,5 GJ/ADt Il y a un excédent de chaleur de 1,5 à 2 GJ par tonne de pâte non blanchie qui est utilisé dans la papeterie	1,0 à 1,3 MWh/ADt Il y a un excédent d'énergie de l'usine de pâte à papier de 0,15 à 0,2 MWh par tonne de pâte non blanchie qui est utilisé dans la papeterie	
Intégrée, papier pour sacs, non blanchi,	14 à 23 GJ/ADt	1,0 à 1,5 MWh/ADt	
On peut convertir les unités de MWh en GJ selon la formule : 1 MWh = 3,6 GJ et 1 GJ = 0,227 MWh. Notes : 1 y compris le traitement par les boues activées 2 le séchage du papier consomme plus d'énergie que celui de la pâte			

**Tableau 2.46 - Consommation d'énergie associée à l'utilisation de MTD pour différents types de production par tonne de produit.**

(Données provenant de Jaakko Pöyry, 1998, Rapport SEPA 4712, Rapport finlandais sur les MTD, 1998, données d'études de cas sur des usines)

### Utilisation des produits chimiques

1. Disponibilité d'une banque de données pour tous les produits chimiques et additifs utilisés comprenant des informations sur la composition chimique des substances, leur dégradabilité, leur toxicité pour les personnes et l'environnement et le risque de bioaccumulation.
2. Application du principe de substitution, c'est-à-dire utiliser des produits moins dangereux, lorsqu'ils sont disponibles.

## 2.5 Techniques émergentes

Un certain nombre de nouvelles techniques prometteuses sont actuellement à l'étude, qui ont pour résultat une réduction des émissions ou des économies d'énergie. Les améliorations en ce qui concerne l'environnement n'ont peut-être pas toujours été le principal facteur, mais elles jouent un rôle important dans ce développement. Certaines de ces techniques sont décrites dans les sous-sections suivantes. Le présent chapitre comporte une approche des problèmes environnementaux auxquels on ne s'intéresse que depuis peu de temps, et des programmes de recherche liés à la mise au point de solutions plus écologiques pour produire des produits papetiers de qualité.

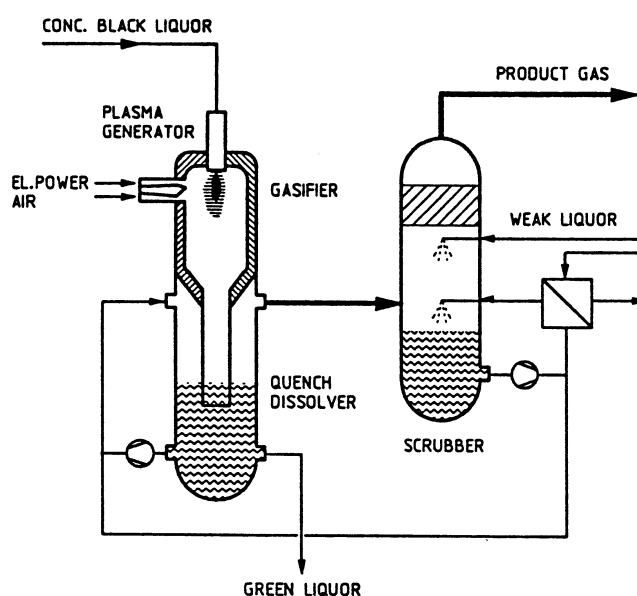
## 2.5.1 Gazéification de la liqueur noire

### Description

La gazéification est une technique prometteuse appropriée pour que les usines de pâte à papier puissent produire un excédent d'énergie électrique. Il existe différentes techniques de gazéification permettant de produire un gaz combustible à partir de divers combustibles (charbon, résidus de bois, liqueur noire). Le principe de la gazéification de la liqueur noire consiste à réaliser la pyrolyse de la liqueur noire concentrée en une phase inorganique et une phase gazeuse à l'aide de réactions avec l'oxygène (air) à des températures élevées. Un certain nombre de processus de gazéification ont été proposés pour la liqueur noire. Selon leur principe, ils se répartissent en deux catégories. D'une part la gazéification à basse température dans laquelle le gazéificateur fonctionne au-dessous de la température de fusion des sels inorganiques (700 à 750 °C). Les lits fluidisés sont adaptés pour un processus de gazéification à basse température et sont utilisés dans tous les processus à basse température en cours de développement. L'autre catégorie englobe les processus qui fonctionnent au-dessus du point de fusion et ont recours à une extinction à l'eau pour refroidir et dissoudre les sels de sodium fondus. Un exemple de processus de gazéification est décrit dans ce contexte :

### Exemple : le procédé Chemrec

A l'usine de pâte à papier de Frövifors (Suède), la liqueur noire est prélevée de l'installation d'évaporation et chauffée à 130/135 °C au moyen de vapeur indirecte. La liqueur noire a une teneur en solides secs d'environ 65 %. La liqueur chaude entre alors dans la première partie du processus Chemrec qui est un gazéifieur.



**Fig. 2.13 - Le procédé Chemrec avec un gazéifieur et un dissolvant extincteur pour produire de la liqueur verte et avec un épurateur de gaz de la liqueur faible pour absorber le sulfure d'hydrogène.**

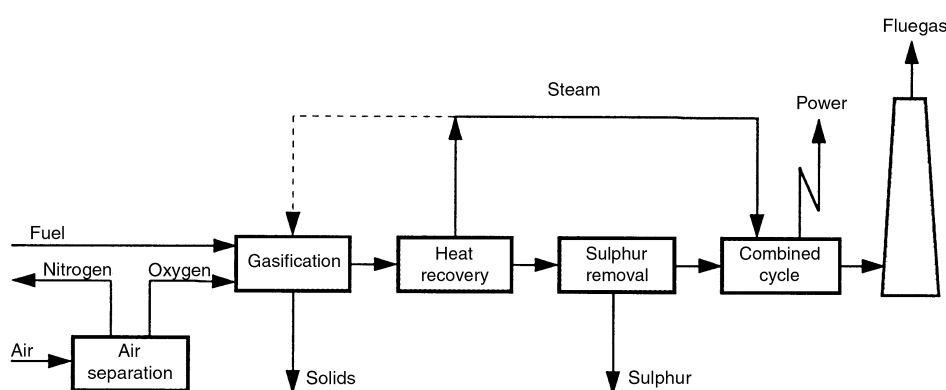
La liqueur noire est introduite dans le gazéifieur où elle est atomisée par de l'air sous haute pression (12 bars) et pulvérisée dans la partie supérieure du réacteur. Le flux d'air principal nécessaire au processus est pressurisé à 0,5 bar et préchauffé de 80 à 500 °C. L'atmosphère dans la chambre est d'environ 950 °C et la liqueur noire atomisée forme de fines gouttelettes qui sont partiellement brûlées. Les composés inorganiques de la liqueur noire sont convertis en petites gouttelettes fondues de sulfure de sodium et de carbonate de sodium, et ce brouillard est entraîné à travers le réacteur jusqu'au



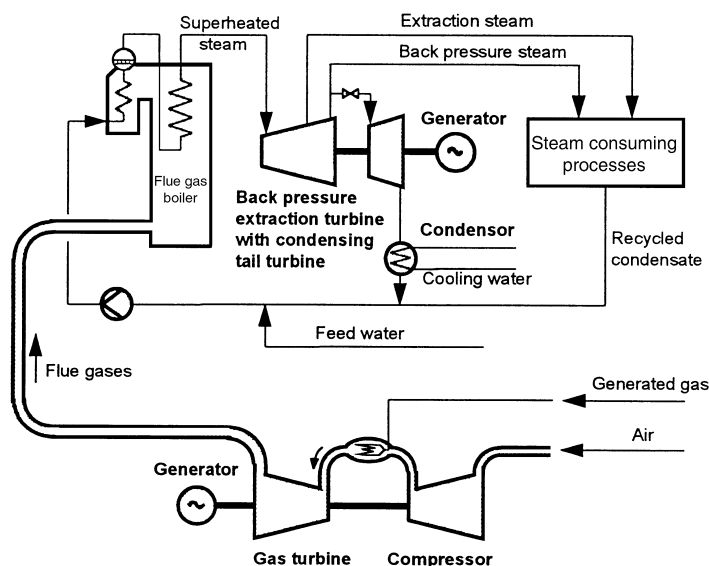
refroidisseur, qui fait partie intégrante de l'unité "réacteur". Les composés organiques sont convertis en un gaz combustible contenant du monoxyde de carbone, du méthane et de l'hydrogène.

Les gouttelettes de produit fondu et le gaz combustible sont séparés lorsqu'ils sont amenés ensemble en contact direct avec un liquide de refroidissement dans le refroidisseur extingueur qui fait tomber la température à 95 °C. Les gouttelettes se dissolvent dans la lessive faible pour former une solution de liqueur verte qui est pompée vers le réservoir dissolvant sous la chaudière de récupération. Une partie de la liqueur faible verte est recyclée vers le dispositif d'extinction. On utilise un filtre en amont de la pompe pour retenir les petites particules et les gouttelettes de produit fondu non dissoutes.

L'une des propriétés les plus intéressantes des processus de gazéification de la liqueur noire est la faculté qu'ils offrent d'exploiter une turbine à gaz en association avec une turbine à vapeur dans un cycle combiné, tel qu'il est illustré dans les figures 2.14 et 2.15. La principale difficulté à surmonter est d'assurer la propreté du gaz pour éviter des perturbations dans la turbine à gaz.



**Figure 2.14 - Gazéification intégrée à cycle combiné (GICC)**



**Figure 2.15 - Cycle combiné pour la production d'énergie au moyen d'une turbine à gaz et d'une turbine à vapeur avec condenseur.**

### **État d'avancement du procédé**

La première installation de démonstration de la gazéification de la liqueur noire utilisant le principe Chemrec est exploitée dans l'usine de Frövifors en Suède depuis 1991. Un gazéifieur pilote pressurisé de ce type est également en service à Skoghall en Suède. Ce type de processus est également exploité à l'échelle commerciale aux États-Unis depuis 1997.

La technique Gazéification Intégrée à Cycle Combiné (GICC) ne peut être introduite que progressivement dans l'industrie papetière, essentiellement en raison de la durée de vie des chaudières de récupération actuelles. En outre, au début les gazéifieurs seront conçus uniquement pour de petites capacités plutôt que de grandes usines de papier. D'ici l'année 2010, on prévoit que la technique GICC ne jouera qu'un rôle marginal dans l'industrie globale de la pâte et du papier kraft. Ce pourrait être une solution intéressante pour certaines entreprises où la chaudière de récupération est le goulot d'étranglement de la production et pour lesquelles un accroissement de la capacité de récupération des produits chimiques serait la solution à ces limitations.

### **Incidences pour l'environnement**

Les gazéifieurs de liqueur noire peuvent présenter les avantages éventuels suivants :

- augmentation de la génération d'énergie grâce au recours à un cycle combiné (turbine à gaz plus turbine à vapeur). Des calculs théoriques d'équilibre montrent qu'un concept de GICC reposant sur la liqueur noire peut atteindre un rendement énergétique de 30 % environ en se basant sur la valeur calorifique de la liqueur. On peut comparer ce chiffre à celui de 12 à 13 % pour la chaudière de récupération classique. Cela dit, le rendement global (énergie + vapeur) baisserait d'environ 5 % pour tomber à environ 75 %. Soit une baisse de la production de vapeur de process. Dans une situation d'excédent de vapeur, cette technique pourrait représenter une solution intéressante pour accroître la production d'énergie en vue de l'exporter.
- faibles émissions dans l'atmosphère
- possibilité, pour les usines de pâte à capacité limitée en raison des contraintes liées à la chaudière de récupération, d'accroître leur production. Ce système est particulièrement avantageux pour les usines ayant des capacités de production en pâte intégrée mais non utilisée, et dans lesquelles des modifications de la filière fibre augmentent la quantité de solides secs dans le circuit de récupération (par exemple production en pâte à faible indice Kappa, délignification à l'oxygène, recyclage plus poussé des effluents venant de l'installation de blanchiment).

Si l'industrie de la pâte kraft envisageait d'introduire la technique GICC, cela impliquerait qu'elle devrait posséder un potentiel de production de 1 700 kWh/ADt, au lieu du niveau actuel de quelque 800 kWh/ADt. Soit un accroissement du potentiel de production d'environ 900 kWh/ADt. Simultanément on observerait une baisse d'environ 4 GJ/ADt de la production de chaleur, ce qui représente plus qu'un excédent type dans une usine kraft moderne.

### **Considérations économiques**

Pas de données disponibles

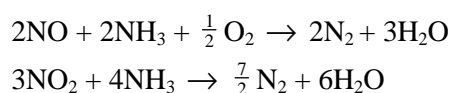
### **Bibliographie**

[Rapport SEPA 4713-2, 1997]

## 2.5.2 Utilisation de la SNCR à la chaudière de récupération

### Description

Le processus NOxOUT est l'une des méthodes existantes utilisant le principe de la Réduction Sélective Non Catalytique (SNCR) pour abaisser les émissions de NO<sub>x</sub>. Il consiste en une réduction thermique des oxydes d'azote par l'ammoniac qui donne de l'azote selon la formule :



Si l'on utilise de l'urée, on obtient la réaction primaire nette suivante, qui donne de l'ammoniac :



Dans un essai à l'échelle industrielle en Suède, on a utilisé comme agent de réduction une solution aqueuse d'urée renforcée chimiquement. Ce processus utilise le four comme "réacteur chimique" et ne nécessite aucun équipement supplémentaire en aval de la chaudière. La réaction se produit normalement dans une étroite plage de températures aux alentours de 1 000 °C. Si la température est trop élevée, on produit plus de NO<sub>x</sub>. Si elle est trop basse, il se forme de l'ammoniac. Dans ce processus NOx-OUT, la plage de température est étendue et le renforcement chimique supprime la formation d'ammoniac en tant que sous-produit. L'ammoniac (déperdition de NH<sub>3</sub>) est produit par des réactions secondaires indésirables et la consommation de produits chimiques, qui représentent les principaux paramètres à prendre en considération pour optimiser le processus NOx-OUT.

### État d'avancement du développement

Une société suédoise fabriquant de la pâte kraft a commandé un essai "grandeur nature" du processus NOxOUT breveté dans l'une de ses chaudières de récupération. Pendant la période d'essai, la chaudière a fonctionné entre 95 et 105 % du débit permanent maximum. Un certain nombre d'orifices d'injection ont été installés à plusieurs niveaux pour les produits chimiques de réduction. Ce projet a démontré que la réduction thermique des oxydes d'azote par le processus NOxOUT peut être appliquée avec succès à des chaudières de récupération.

### Incidences pour l'environnement

Par rapport à d'autres procédés de combustion, la chaudière de récupération n'émet que de faibles quantités d'oxydes d'azote. Les niveaux typiques d'oxydes d'azote se situent entre 50 et 80 mg NO<sub>x</sub>/MJ. Malgré des concentrations relativement faibles de NO<sub>x</sub> dans les gaz de fumées, la chaudière de récupération constitue la principale source d'émissions de NOx dans une usine de pâte kraft (en raison des débits de gaz élevés). Par conséquent, ce sont des mesures de traitement des gaz de fumées appliquées au niveau de la chaudière de récupération qui donneraient les meilleurs résultats sur les émissions totales. En outre, on peut s'attendre à un accroissement des émissions de NO<sub>x</sub> provenant des chaudières de récupération modernes très performantes, en raison essentiellement de l'exigence d'une teneur accrue en solides secs de la liqueur noire et des charges plus élevées du four.

En postulant un rapport stœchiométrique de 1:1, l'analyse donne les résultats suivants pour le procédé NOxOUT :

- un niveau moyen de NO<sub>x</sub> sans NOxOUT de 80 mg/Nm<sup>3</sup> (m<sup>3</sup> normalisé, gaz sec à 3 % O<sub>2</sub>)
- un niveau moyen de NO<sub>x</sub> avec NOxOUT d'environ 55 mg/Nm<sup>3</sup> (réduction d'environ 30 %)
- un léger accroissement de l'ammoniac (déperdition) de l'ordre de 3 à 4 mg/Nm<sup>3</sup> (rapport stœchiométrique 1:1).

Selon le rapport stœchiométrique utilisé, on peut atteindre une réduction de 50 % des  $\text{NO}_x$  (rapport stœchiométrique 2:1) malgré le niveau déjà faible de  $\text{NO}_x$  atteint sans traitement (mais lié dans ce cas à une augmentation de la déperdition d'ammoniac). Aucune perturbation ni autre impact négatif sur le fonctionnement de la chaudière n'a été observé pendant les essais. Aucune incidence négative n'a été observée sur le cycle de récupération des produits chimiques. Les dépenses globales de fonctionnement sont relativement faibles. La modification nécessaire de la chaudière peut être effectuée lors d'un arrêt normal pour la maintenance.

La présence d'urée dans les processus SNCR peut éventuellement provoquer des problèmes de corrosion dus à la formation de sous-produits corrosifs. C'est pourquoi, en Suède, pour des raisons de sécurité, on a préconisé d'éviter l'injection d'urée dans les chaudières de récupération. A cause de cela, la Société suédoise a réalisé plusieurs nouveaux essais en utilisant du  $\text{NH}_3$  (gazeux ou liquide) au lieu d'urée avec pour résultat des réductions de  $\text{NO}_x$  comprises entre 20 et 50 % (rapport stœchiométrique de 1:1 à 2:1) avec des déperditions de  $\text{NH}_3$  variables. Il semble que l'on puisse atteindre une réduction de  $\text{NO}_x$  de 30 % environ avec une déperdition acceptable de  $\text{NH}_3$ . Cette société envisage d'effectuer un essai en longue durée avant de prendre une décision définitive quant à la mise en place éventuelle de ce procédé. Aujourd'hui, l'investissement nécessaire pour réaliser cette installation sur des chaudières de récupération est beaucoup moins important par rapport aux chiffres ci-dessous et est estimé à moins de 1 MEuros (en utilisant du  $\text{NH}_3$  liquide).

### **Considérations économiques**

L'investissement nécessaire pour installer un procédé  $\text{NO}_x\text{OUT}$  complet sur une chaudière de récupération semblable à celle de l'usine testée (charge de liqueur noire : 1 600 t de solides secs/jour) est de l'ordre de 2,2 à 2,8 MEuros. Les dépenses de fonctionnement de ce système englobent l'apport de produits chimiques (urée et catalyseurs), l'électricité, la chaleur utilisée pour condenser l'eau injectée et la main d'œuvre. Parmi ces facteurs, celui qui a le plus d'incidence est le prix de l'urée. Il est difficile de donner une estimation des dépenses de fonctionnement en raison de l'importante fluctuation des prix au niveau mondial. Cela dit, pendant la période de l'essai en Suède, avec un coût de l'urée d'environ 154 Euros/t, les dépenses totales de fonctionnement calculées pour la chaudière de récupération en question se situaient dans une fourchette de 1 à 1,4 Euro/kg de  $\text{NO}_x$  éliminé.

**Bibliographie :** (Lötblad, 1991)

## **2.5.3 Élimination des agents chélatants par traitement biologique en milieu moyennement alcalin**

### **Description**

Les agents complexants (chélatants) acide éthylènediamine tétraacétique (EDTA) et acide diéthylènetriamine pentacétique (DTPA) sont utilisés depuis plusieurs années dans l'industrie papetière. On les utilise en raison de leurs bonnes propriétés de chélation (complexation), c'est-à-dire leur faculté de rendre inactifs les ions métalliques de transition dissous, sans précipitation (on les désignera ci-après tous les deux par l'abréviation "Q"). Ces ions métalliques sont en mesure de catalyser la décomposition du peroxyde d'hydrogène utilisé comme agent de blanchiment en radicaux. Actuellement, un blanchiment totalement exempt de chlore (TCF) n'est possible qu'à condition de traiter la pâte avec Q avant la phase peroxyde d'hydrogène. On trouve donc des concentrations accrues de Q dans les effluents liquides provenant de la production de pâtes à papier TCF. En analysant les eaux usées d'une usine TCF produisant de la pâte kraft commercialisée, on a trouvé des charges de 25 à 40 % de Q. Cela correspond à des teneurs en Q de 10 à 15 mg Q/l dans l'effluent avec une charge de 2 kg de Q par tonne de pâte. Bien que l'EDTA ne soit pas toxique pour les mammifères aux concentrations rencontrées, on se pose quelques questions au sujet de son éventuelle faculté de remobiliser les ions de métaux lourds toxiques se trouvant dans les sédiments et de sa faible biodégradabilité. La discussion qui suit ne porte que sur des expériences résultant de l'utilisation et du sort de l'EDTA.

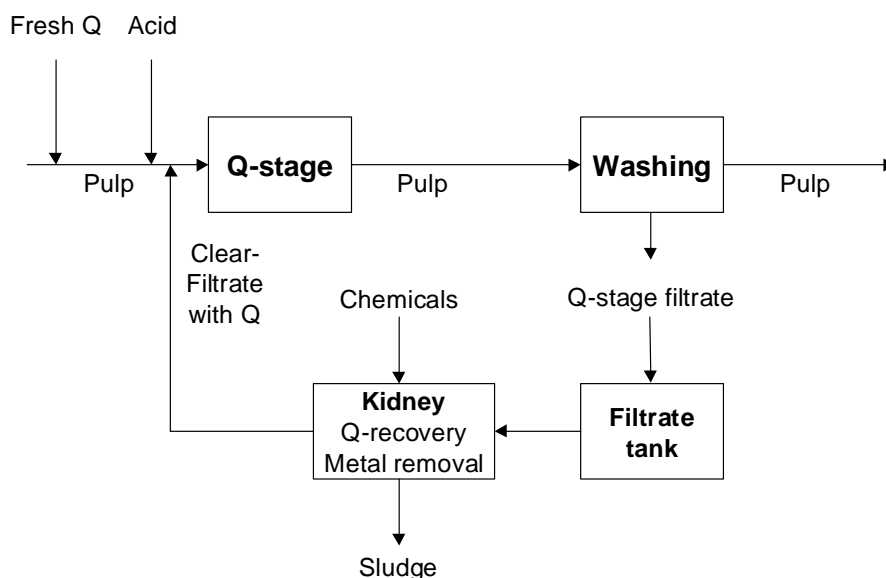
### 1<sup>ère</sup> méthode

Le traitement biologique, dont les boues activées, couramment utilisé dans l'industrie papetière, est efficace pour réduire la DCO et la DBO des effluents. Mais il ne permet pas de réduire de façon significative l'EDTA de l'effluent de l'usine. On s'est aperçu que l'EDTA résiste à la biodégradation aérobie dans l'installation à boues activées fonctionnant dans des conditions "normales" (pH 7). En outre, l'EDTA n'est pas absorbé par la boue de sorte qu'il traverse les installations de traitement sans dégradation notable. Dans une étude récente (Virtapohja, 1997), on a examiné la biodégradation de l'EDTA dans une installation à boues activées "grandeur nature" dans des conditions d'alcalinité moyenne (pH 8/9). On a obtenu une réduction d'environ 50 % de l'EDTA (environ 10 % avec un pH de 7).

### 2<sup>ème</sup> méthode

Une autre solution technique pour réduire la consommation et les rejets de Q utilisés avant la phase peroxyde dans les fabriques TCF consiste à utiliser un système d'élimination. Une usine suédoise de pâte à papier va mettre en service fin 1998 un système d'élimination pour récupérer l'EDTA des effluents de la phase Q. On s'attend ici à une réduction de 65 % de la consommation d'EDTA dans le cas du blanchiment TCF. Dans cette usine de pâte kraft, on envisage de mettre en œuvre le système Kemira NetFloc qui s'est avéré un instrument très efficace pour éliminer les substances à problèmes tels que les produits d'extraction et les métaux des filtrats de pâte et de papier.

Dans ce système Netfloc, (Rampotas, 1996), on augmente le pH et on dose le carbonate pour obtenir une précipitation. Les métaux liés à l'EDTA (ou au DTPA) sont libérés et précipités. On ajoute un oxyde de polyéthylène de poids moléculaire élevé (OPE) au filtrat. Dans l'application actuelle, on réalise une solution aqueuse de l'OPE dans une unité de préparation de polymère et une dose de cette solution d'OPE est injectée. La réaction de floculation entre l'OPE et les agents d'extraction est rapide. Cela signifie que les sels métalliques précipités (par exemple hydroxydes, sulfates) aboutiront dans les flocs. L'opération finale consiste à séparer la boue du filtrat, ce que l'on fait habituellement par voie mécanique, par exemple dans une unité de flottation. Le filtrat traité avec le Q récupéré est réutilisé dans le processus et la boue est soit pompée vers le filtre à boue de la liqueur verte, soit brûlée dans la chaudière à écorce directement ou après égouttage dans une presse. Le principe de mise en œuvre de l'élimination est illustré dans la figure 2.16.



**Figure 2.16 - Récupération des agents chélatants dans les filtrats de l'installation de blanchiment par le biais d'un rein.**

En réduisant la quantité de métaux arrivant dans l'installation de blanchiment, on a besoin de moins d'agents chélatants avant la phase peroxyde. En outre, la récupération des Q permet de réduire la consommation nécessaire. Les taux de réduction escomptés sont de plus de 80 % pour le calcium, le manganèse et le fer. La récupération des Q se traduit par une moindre charge de Q d'appoint. Par conséquent, l'effluent aura des niveaux moins élevés en complexes métalliques.

### **État d'avancement du développement**

La biodégradation de l'EDTA dans les installations de traitement à boues activées en milieu alcalin paraît prometteuse. L'aptitude au traitement des effluents liquides contenant de l'EDTA en provenance des installations de blanchiment dans des installations à boues activées dans des conditions modérément alcalines a été confirmée par des recherches dans le cadre à la fois d'expériences de laboratoires [C.G. van Ginkel, 1997, a+b] et d'installations à boues activées à l'échelle industrielle. On aura sans doute besoin de renseignements détaillés sur les complexes EDTA et l'influence du temps de séjour dans la boue, de la température etc. pour pouvoir mieux évaluer l'élimination de l'EDTA des effluents liquides des usines (les complexes Fe(III)EDTA sont bien connus pour être stables, les sels Mn et Ca de l'EDTA sont plus facilement biodégradables). Un temps de séjour court dans la boue et le complexe Fe(III)EDTA peuvent expliquer que l'élimination soit seulement partielle. En revanche, on a eu connaissance d'une photodégradation du complexe FeEDTA [Kari, 1996], c'est-à-dire que le FeEDTA est le seul complexe EDTA pouvant être transformé par une action photochimique dans les eaux de surface. Dans les régions bénéficiant d'un ensoleillement continu, le FeEDTA sera probablement dégradé dans le milieu aquatique recevant l'effluent.

La première application à l'échelle industrielle du système Kemira Netfloc en vue de récupérer l'EDTA des effluents des installations de blanchiment vient d'être mise en service. Aucune donnée opérationnelle n'est disponible.

### **Incidences pour l'environnement**

Dans une installation "grandeur nature" de traitement à boues activées avec un milieu modérément alcalin (pH 8/9), on a obtenu une réduction moyenne de l'EDTA d'environ 50 % (10 % environ avec un pH 7). Les résultats indiquent aussi que le réglage du pH à 8/9 avec de l'oxyde de calcium (dosé à environ 90 mg CaO/l) n'a pas eu d'incidences sur le fonctionnement de l'installation de traitement. Les concentrations d'EDTA dans les échantillons à biodégradation accélérée sont restées pratiquement constantes (2 à 4 ppm).

La biodégradation de l'EDTA entraîne une augmentation du rejet d'azote. La dégradation accélérée de l'EDTA dans des installations de traitement à boues activées présente donc des avantages certains, non seulement pour des raisons d'environnement, mais également en tant que moyen d'accroître le niveau de l'azote nutritif, que l'on retrouve généralement en quantité insuffisante dans les effluents liquides des papeteries.

### **Considérations économiques**

Les coûts supplémentaires pour la biodégradation de l'EDTA dans des installations de traitement à boues activées sont dus essentiellement à la consommation de CaO.

On ne dispose d'aucune donnée sur les aspects économiques de la mise en œuvre du procédé Kemira Netfloc.

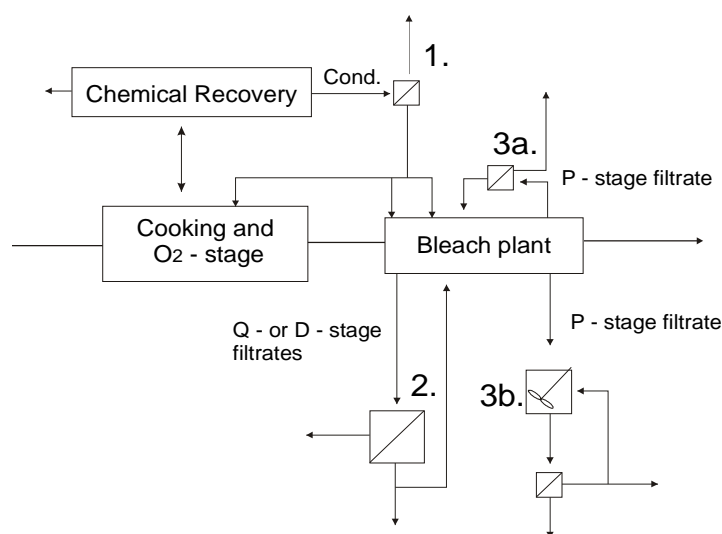
### **Bibliographie :**

Virtapohja, 1997), (Rampotas, 1996), (van Ginkel, 1997a), (van Ginkel, 1997b), (Kari, 1996)

## 2.5.4 Fermeture des circuits et système de déconcentration

### Description

Etant donné que l'installation de blanchiment constitue la partie en circuit ouverte de l'usine, on s'est employé à minimiser la quantité de lignine arrivant jusqu'au blanchiment final. L'intégration des filtrats dans les circuits de récupération pose des problèmes. Les filtrats doivent être recyclés dans l'installation de blanchiment de manière à réduire leur volume. Il s'ensuit une accumulation de substances dissoutes et d'éléments extérieurs au processus (NPE) dans les opérations de blanchiment, avec les problèmes qui en découlent, tels que consommation élevée de produits chimiques et entartrage. Un système de déconcentration fonctionnant comme un rein est nécessaire pour purger le circuit de ces substances, au niveau tant du blanchiment que de la récupération des produits chimiques. Dans le cadre d'un projet en cours de la Commission Européenne (Tomani, 1997), les différentes possibilités qui existent pour réutiliser les filtrats des installations de blanchiment sont étudiées. En se référant à la figure 2.17, les points suivants seront examinés.



**Figure 2.17 – Système de déconcentration à l'étude dans un projet en cours de l'UE, sur les méthodes de séparation pour la technologie des circuits en boucle fermée dans la production de pâte à papier kraft blanchie.**

1. La réutilisation des condensats de l'évaporation de la liqueur noire sous forme soit d'eau de lavage dans le blanchiment soit de toute autre eau de process. Il est capital d'utiliser ce condensat si l'on veut atteindre une faible consommation d'eau. Un problème important concerne l'élimination de l'odeur due aux impuretés.
2. Les filtrats acides (filtrats des phases Q ou D) et neutres de l'installation de blanchiment sont les principales sources d'éléments extérieurs au processus (NPE) tels que Al, Si, P, Ca, Ba, Mn etc. qu'il faut épurer. Le but est de mettre au point une étape de cristallisation/précipitation associée à une unité séparée d'évaporation et de déterminer la meilleure utilisation de l'eau récupérée.
3. Concernant les filtrats alcalins, le but est :
  - a) de mettre au point des membranes minérales adaptées à une nanofiltration, utilisables pour réduire la quantité de substances tant organiques qu'inorganiques provenant de la phase peroxyde du blanchiment,
  - b) d'étudier la possibilité de combiner la filtration à membrane et la biodégradation pour détruire les composés organiques.

Enfin, on aura recours aux techniques de simulation du processus pour déterminer les conséquences pour l'équilibre de l'eau, des produits chimiques et, sous certains aspects aussi de l'énergie, lorsqu'on

intègre les méthodes de séparation proposées dans le processus. On évaluera également le risque de dépôts.

Un projet de recherche global qui vient d'être lancé récemment en Suède "Le potentiel de la production de pâte à papier et de papier en tant que processus générateur d'énergie et véritablement écocyclique" (nom abrégé "L'usine écocyclique de pâte à papier") [Usine écocyclique de pâte à papier, 1999] a pour objet de proposer des solutions de base optimales pour l'environnement visant à accroître le degré de mise en circuit fermé des processus de fabrication de pâte kraft, de manière à permettre une utilisation rentable du potentiel énergétique de la biomasse. Il ne s'agit pas, par cette mise en circuit fermé des liquides dans les papeteries, de créer une usine "entièrement fermée" mais plutôt :

- d'éliminer pratiquement les rejets de matières organiques et inorganiques dans l'eau
- de faciliter la séparation entre les éléments extérieurs au processus et les circuits de recyclage
- de minimiser la dilution de l'énergie libérée à l'intérieur du circuit.

L'idée à la base de ce projet est de réduire les pertes de chaleur susceptibles d'être converties en énergie utile. Bien que, actuellement, une usine moderne de pâte kraft blanchie puisse être totalement indépendante de sources d'énergie extérieures, d'importantes quantités de chaleur de qualité inférieure s'échappent encore du circuit sous forme d'émissions et de rejets dans les cours d'eau et l'atmosphère. La conversion de cette chaleur de qualité inférieure ouvre un énorme potentiel d'énergie pour l'avenir et constitue le thème central du présent programme. En augmentant la mise en circuit fermé et la pressurisation, on faciliterait la production d'une énergie d'une qualité suffisante pour être utilisée à l'extérieur. On pourrait alors peut-être faire de l'usine de pâte kraft un fournisseur **net** d'énergie. Il existe plusieurs possibilités pour convertir les pertes de chaleur en énergie utile, et notamment une moindre consommation d'eau. Par exemple, la réduction de la consommation d'eau de 40 m<sup>3</sup> à moins de 10 m<sup>3</sup> par tonne de pâte grâce à une mise en circuit fermé permettrait en théorie de libérer environ 15 GJ par tonne de pâte pour une utilisation extérieure. Il convient de noter qu'il n'existe actuellement aucune technique susceptible de favoriser l'utilisation de plus qu'une fraction de ce potentiel. Aujourd'hui, si l'on abaisse les rejets aqueux de la fabrication de la pâte, il faut éliminer la chaleur excédentaire au moyen de tours de refroidissement, étant donné qu'aucune autre solution alternative économique n'est disponible. Le défi est d'optimiser la chaleur dissipée pour en faire une ressource exploitable.

Le programme de recherche comprend entre autres des projets sur la "chimie du processus" et les "procédés de séparation". Ce projet est axé sur la façon dont il faut traiter les substances qui dérèglent le processus ou qui sont concentrées lorsqu'on pousse plus avant la mise en circuit fermé de manière à éviter les problèmes tels que l'entartrage, une consommation d'énergie accrue et des produits de moins bonne qualité. L'utilisation de systèmes de déconcentration pour éliminer ces substances du processus présente donc un grand intérêt. Les techniques utilisant des membranes offrent un potentiel prometteur pour séparer les substances organiques et inorganiques des circuits du processus, en facilitant par là même une mise en circuit fermé plus développée. Cette technologie des membranes peut donc jouer un rôle-clé dans un futur circuit. Une autre possibilité pourrait consister à éliminer les éléments extérieurs au processus avant le lessiveur.

Selon d'autres résultats issus des travaux réalisés jusqu'à présent, un bon exemple d'une utilisation plus efficace de l'énergie est la pré-évaporation des filtrats de l'installation de blanchiment, dans laquelle la chaleur est prélevée de la chaleur dissipée provenant de l'évaporation de la liqueur noire. Cette pré-évaporation peut être associée à une séparation via une membrane, avec pour résultat une réduction de la demande en énergie.

La gazéification de la liqueur noire pressurisée (voir section 2.5.1) possède un potentiel d'accroissement de 100 % de la production d'électricité par rapport à la chaudière de récupération traditionnelle. Mais ce processus de gazéification serait moins complexe et demanderait moins de



capitaux si la cuisson était effectuée sans soufre. La cuisson exempte de soufre est donc un domaine intéressant pour l'avenir.

### **État d'avancement du développement**

Plusieurs projets de recherche s'attachent à étudier les divers aspects du principe de l'usine fonctionnant en circuit fermé.

Dans le cadre de ce concept de l'usine en circuit fermé pour la pâte blanchie, il existe des domaines dans lesquels une nouvelle technique a été introduite qui permet d'atteindre cet objectif plus facilement, mais aussi des domaines où il convient de poursuivre le développement. Une production de pâte à papier entièrement en circuit fermé - ce qui en théorie permet de réaliser une usine de pâte à papier sans effluents - est encore irréalisable en l'état actuel des choses, étant donné que les éléments extérieurs qui arrivent dans le processus, principalement avec le bois, mais également avec les produits chimiques et l'eau de process, s'y accumulent et doivent être éliminés du circuit.

### **Incidences pour l'environnement**

Les développements visant à réaliser des usines fonctionnant en cycle fermé ont pour objet d'éliminer virtuellement les rejets de substances organiques et inorganiques dans l'eau et de minimiser la dilution de l'énergie libérée dans le circuit.

### **Considérations économiques**

Pas de données disponibles

### **Bibliographie**

(Tomani, 1997), (fabrique de pâte écocyclique, 1999).

## **2.5.5 Fabrication de pâte à papier selon le procédé Organosolv**

### **Description**

Au cours de la dernière décennie, de nombreux efforts ont été déployés dans le domaine de la recherche, visant à mettre au point de nouveaux procédés de fabrication de pâte à papier. Plusieurs méthodes de cuisson innovantes sont à l'étude, qui paraissent très prometteuses. Les principaux objectifs de ces nouveaux procédés sont les suivants :

1. Réduire la pollution (faible consommation d'eau, pâte TCF, pas de soufre).
2. Simplifier le processus de cuisson et récupérer sur une grande échelle en circuit fermé des produits chimiques utilisés pour la cuisson.
3. Optimiser l'utilisation du bois en tant que matière première (rendement élevé, autre possibilité d'utilisation des composants du bois etc.).
4. Étendre les procédés à toutes les espèces de bois et obtenir des pâtes présentant de bonnes propriétés.
5. Réduire les frais d'investissement.

Ces nouveaux procédés de fabrication sont basés sur des solvants organiques (Fabrication de pâte à papier selon le procédé Organosolv). Pour certains d'entre eux, on peut envisager une réduction des émissions gazeuses de dioxyde de soufre et de composés malodorants grâce à la technologie "sans soufre". L'ensemble de ces nouveaux procédés visent à réaliser une usine fonctionnant en circuit fermé grâce à la récupération directe du solvant après la cuisson par la distillation et l'incinération des composants du bois ou en l'utilisant comme produit d'alimentation pour différents produits. Ce principe vise à résoudre les problèmes écologiques inhérents aux procédés de fabrication actuels, ainsi qu'à améliorer les conditions économiques de la fabrication de pâte.

Le tableau 2.47 mentionne, parmi ces nouveaux procédés à l'étude, ceux qui présentent un certain potentiel pour une application industrielle et qui ont atteint au moins le stade de l'usine pilote [Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Sylviculture, 1997]. Il les compare sous différents aspects et récapitule les principaux paramètres et l'incidence prévue sur l'environnement des processus Organosolv. A titre de comparaison, les tableaux comprennent également quelques données sur la fabrication modifiée de la pâte kraft.

Procédé	Matières premières	Produits chimiques pour la cuisson	Paramètres du processus de cuisson	Indice kappa avant le blanchiment
ASAM	Bois résineux Bois feuillus Plantes annuelles	Sulfite de sodium (alcalin) alcool	175- 185°C 11 - 14 bar	13 - 20
FORMACELL	Bois résineux Bois feuillus Plantes annuelles	Acide acétique Acide formique	160 - 180°C	2 - 10
MILOX	Bois feuillus Plantes annuelles	Acide formique Peroxyde d'hydrogène	60 - 80/ 90 - 110°C	30 - 35
Procédé au SULPHATE modifié	Bois résineux Bois feuillus Plantes annuelles	Hydroxyde de sodium Sulfure de sodium	155 - 175°C 8 bar	10 - 20

**Tableau 2.47 - Comparaison entre les procédés Organosolv et la fabrication de la pâte par le procédé au sulfate modifié.**

**Matières premières, produits chimiques et conditions de cuisson, indice kappa possible après la cuisson [Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Sylviculture, 1997].**

Ces nouveaux procédés peuvent être classés en procédés à base d'acides organiques, à base d'eau/alcool ou mixtes utilisant des produits chimiques organiques et inorganiques pour la fabrication de la pâte.

### État d'avancement du développement

Une étude qui vient d'être publiée sur les possibilités de commercialisation des différents procédés Organosolv en Allemagne [Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Sylviculture, 1997] conclut que les procédés ASAM et Milox sont au point, mais cela n'est pas encore corroboré à ce jour par des expériences "grandeur nature". Le procédé Formacell n'en est pas encore au stade qui permettrait de construire une usine à l'échelle industrielle.

Étant donné qu'aucun des procédés Organosolv proposés n'a été mis en œuvre avec succès à l'échelle industrielle (une installation Organocell industrielle à Kehlheim en Allemagne a dû être fermée suite à l'impossibilité de résoudre les problèmes rencontrés), il est encore trop tôt pour se prononcer de façon définitive sur ces solutions alternatives.

### Incidences pour l'environnement

On ne dispose encore que d'informations fragmentaires sur les incidences pour l'environnement des nouveaux procédés de fabrication de la pâte à papier, qui proviennent principalement d'installations

pilotes. On peut douter dans une certaine mesure, voire il n'est pas prouvé, que l'on puisse retrouver tous leurs avantages au niveau des installations industrielles.

### **Considérations économiques**

Dans les procédés Organosolv, l'eau est remplacée par des solvants organiques beaucoup plus onéreux. Dans la plupart de ces procédés, la proportion des liqueurs augmente et, en outre, les solvants sont utilisés pour le lavage de la pâte. Le taux d'économie de ces processus dépend essentiellement du taux de récupération du solvant qui devrait être supérieur à 99 %. Une exigence qui a été sous-estimée dans la mise au point de nombreux procédés est la disponibilité d'une technologie fiable et éprouvée. Les usines de pâte à papier nécessitent des investissements très lourds et il convient de minimiser le risque inhérent à la mise en œuvre d'un nouveau procédé de fabrication.

### **Bibliographie**

[Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Sylviculture, 1997], [Young, 1998]

### 3 Fabrication de la pâte à papier par le procédé au bisulfite

La production de pâtes à papier par le procédé au bisulfite est bien inférieure à celle des pâtes kraft et ces pâtes au bisulfite servent plutôt à fabriquer des papiers destinés à des usages spéciaux que comme pâte marchande en remplacement des pâtes kraft. On ne produit qu'une très petite quantité de pâte au bisulfite non blanchie et le rendement est légèrement supérieur, ce que l'on peut attribuer à un pH inférieur dans la cuisson.

Les raisons de cette applicabilité plus limitée des pâtes au bisulfite sont les suivantes :

- impossible d'utiliser les résineux comme matière première dans une cuisson en milieu acide, ce qui limite l'éventail des matières premières pour la fabrication de la pâte au bisulfite,
- les propriétés de résistance des pâtes, telles qu'elles sont mesurées par l'industrie papetière, sont généralement moins bonnes que celles de la pâte kraft, bien que certaines pâtes spéciales puissent présenter des propriétés équivalentes, voire supérieures,
- des problèmes d'environnement dont la solution a été souvent plus coûteuse, ce qui a eu une incidence défavorable sur leur compétitivité au niveau du coût par rapport aux pâtes kraft (par exemple, régulation du pH des condensats de l'évaporation, minimisation des émissions de soufre et élimination des composés organiques).

Le procédé au bisulfite est caractérisé par sa grande souplesse par rapport au procédé kraft, qui est une méthode très uniforme, qui ne peut être exécutée qu'avec une liqueur de cuisson très alcaline. En principe, avec le procédé au bisulfite, on peut utiliser toute la plage de pH en modifiant le dosage et la composition des produits chimiques. Cela explique que ce procédé permette de produire de nombreuses pâtes à papier de types et de qualités très variés, pour un large éventail d'applications. Ce procédé au bisulfite peut se répartir, en fonction du pH, en différents types de fabrication de pâte dont les principaux utilisés en Europe sont récapitulés dans le tableau 3.1.

Procédé	pH	Base	Réactif actif	Température de cuisson °C	Rendement de la pâte %	Applications
(Bi)sulfite acide	1-2	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$	$\text{SO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}^+$ , $\text{HSO}_3^-$	125-143	40-50	Pâte pour transformation chimique, papiers à usage sanitaire et domestique, papier d'impression, papiers spéciaux
Bisulfite (bisulfite de magnésium)	3-5	$\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$	$\text{HSO}_3^-$ , $\text{H}^+$	150-170	50-65	Papier d'impression, papiers à usage sanitaire et domestique
Sulfite neutre (NSSC) <sup>2</sup>	5-7	$\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$	$\text{HSO}_3^-$ , $\text{SO}_3^{2-}$	160-180	75-90	Papiers pour ondulé, pâte mi-chimique
Sulfite alcalin	9-13.5	$\text{Na}^+$	$\text{SO}_3^{2-}$ , $\text{OH}^-$	160-180	45-60	Pâte type kraft

**Tableau 3.1 - Les principaux procédés de fabrication de pâte au bisulfite et au sulfite en Europe d'après [Uhlmann, 1991].**

<sup>2</sup> La pâte Mi-Chimique Neutre au Sulfite (NSSC) est le type le plus courant de pâte mi-chimique, fabriquée en combinant les procédés mécanique et chimique. Le bois peut être utilisé sans écorçage préalable. Dans cette méthode, les copeaux de bois sont partiellement lessivés pour affaiblir les liaisons entre les fibres et la lignine. Ils sont ensuite traités mécaniquement dans un raffineur. Quelques usines isolées en Europe ne possèdent pas de système de récupération des produits chimiques alors que d'autres pratiquent la "récupération croisée" dans laquelle la liqueur résiduaire est brûlée dans la chaudière de récupération d'une usine de pâte kraft adjacente.

Le procédé de cuisson au bisulfite est basé sur l'utilisation de dioxyde de soufre aqueux ( $\text{SO}_2$ ) et d'une base - calcium, sodium, magnésium ou ammonium. La base choisie aura une incidence sur les options disponibles dans le cadre du processus en ce qui concerne le circuit de récupération de l'énergie et des produits chimiques et la consommation d'eau. Aujourd'hui, on n'a plus recours à la base calcium relativement bon marché car elle ne permet pas de récupérer les produits chimiques. Il existe encore une fabrique en Europe (FR) qui utilise de l'ammonium comme base. La méthode la plus répandue de fabrication de pâte au bisulfite en Europe est celle au magnésium, et quelques usines utilisent le sodium en tant que base. Ces deux dernières bases autorisent la récupération des produits chimiques. On peut utiliser les lignosulfonates présents dans la liqueur de cuisson comme matière première pour fabriquer différents produits chimiques. En raison de son importance en termes de capacité et du nombre d'usines en service en Europe, c'est la fabrication de pâte au bisulfite par la méthode au magnésium qui sera le thème central de l'étude qui suit.

### 3.1 Processus et techniques employés

La fabrication de la pâte à papier selon le procédé au bisulfite comprend trois grandes unités : la ligne fibre, la récupération des produits chimiques et de l'énergie (à l'exclusion du procédé utilisant le calcium dans lequel la récupération est impossible mais où la liqueur de cuisson résiduaire peut être soumise à évaporation et les composants utilisés pour d'autres applications) et le traitement externe des effluents liquides. Comme dans la fabrication de la pâte kraft, des circuits auxiliaires tels que l'épuration, la fabrication des produits chimiques pour le blanchiment et la génération d'une énergie auxiliaire sont reliés aux principales unités.

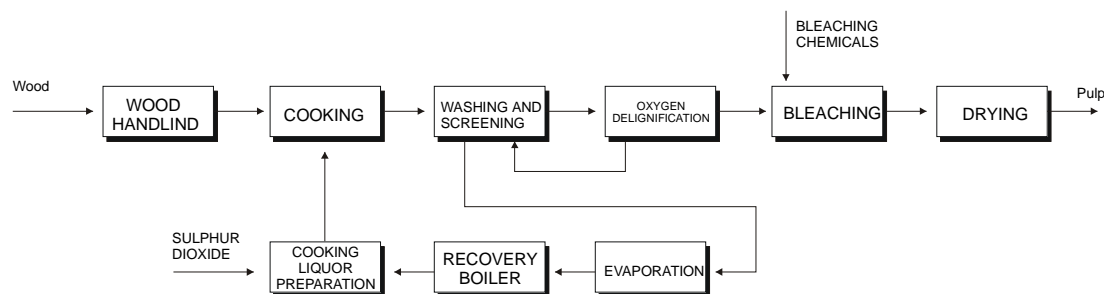
Sous de nombreux aspects, les procédés kraft et au bisulfite présentent des similitudes, notamment en ce qui concerne la possibilité de prendre différentes mesures sur le plan interne ou externe pour réduire les émissions dans l'environnement. En raison de ces similitudes, seules quelques étapes du procédé au bisulfite font l'objet d'une discussion détaillée. S'agissant des étapes qui reposent sur les mêmes principes voire qui sont identiques à la fabrication de la pâte kraft, on renvoie aux paragraphes correspondants. Cela s'applique en particulier :

- à la préparation du bois (voir section 2.1.1 à 2.1.3)
- au lavage et à l'épuration (section 2.1.5)
- à l'épuration de la pâte blanchie (2.1.8)
- au séchage (section 2.1.9, uniquement pour la pâte marchande).

Pour ces chapitres, on se limite à quelques remarques pour décrire dans quelle mesure le procédé au bisulfite diffère de celui utilisé pour la fabrication de la pâte kraft. En dehors de cela, nous nous concentrons sur les différences entre le procédé kraft et le procédé au bisulfite, et sur le procédé bisulfite au *magnésium*, étant donné que c'est celui qui est le plus couramment utilisé en Europe.

Les principales différences entre les deux procédés de fabrication de pâte chimique du point de vue de l'environnement résident dans les produits chimiques utilisés pour la cuisson, le circuit de récupération de ces produits chimiques, et le moins grand nombre d'opérations de blanchiment dû au meilleur degré de blanc initial de la pâte au bisulfite. Qui plus est, le processus au bisulfite est moins sujet à un problème inhérent de mauvaises odeurs que le procédé kraft dont l'environnement a tendance à subir des nuisances olfactives. Ces différences se traduisent par des variations dans les fourchettes d'émissions et par quelques différences concernant les techniques de réduction mises en œuvre.

La figure 3.1 illustre les principales étapes de la fabrication de pâte bisulfite de magnésium



**Figure 3.1 - Principales phases du processus de fabrication de pâte au bisulfite de magnésium [CEPI, 1997b].**

Une fabrique de pâte au bisulfite comprend habituellement le parc à bois, la cuisson, le lavage, l'épuration et le blanchiment, le traitement de l'eau de process, la préparation des produits chimiques pour le blanchiment, la sécherie (en option), le circuit de récupération et la chaudière de récupération.

### 3.1.1 Parc à bois

Le bois utilisé comme matière première se présente habituellement sous forme de grumes (ou rondins) ou de copeaux de scierie et il doit subir un écorçage lorsqu'il est livré à l'usine sous forme de grumes non écorcées. Une certaine quantité de bois peut être fournie sous forme de copeaux provenant des scieries. L'écorçage se fait dans des tambours dans lesquels l'écorce est enlevée par le frottement des grumes qui roulent l'une contre l'autre et sous l'action de l'eau. Après l'écorçage, les grumes sont hachées en copeaux qui sont tamisés et stockés en tas avant de servir à alimenter la phase suivante du processus. Les copeaux de scierie ou autres provenant de l'extérieur sont seulement passés au crible puis stockés.

L'écorce et les refus provenant du hachage et du tamisage sont des déchets solides en excès de cette phase du processus. Ils sont en grande partie recueillis, égouttés et incinérés pour en récupérer de l'énergie dans une chaudière spéciale à écorce et déchets de bois (voir 4.3.11).

### 3.1.2 Cuisson et délignification

La lignine est extraite du bois au moyen d'une liqueur concentrée de cuisson avec du bisulfite de magnésium comme élément actif. Dans cette étape, les copeaux et les liqueurs sont chargés dans un lessiveur par lots (discontinu), où la cuisson se fait à température et sous une pression élevées. Lorsqu'on a atteint la teneur souhaitée en lignine résiduelle (mesurée en tant qu'indice kappa), le contenu est soufflé dans un blow-tank et l'on relance le cycle de cuisson. Une installation de lessivage se compose d'une série de lessiveurs, qui fonctionnent selon un programme de cuisson donnée. La cuisson peut également avoir lieu dans un lessiveur continu. Mais cela est beaucoup moins courant pour la pâte au bisulfite que pour la pâte kraft (les principes sont identiques et ils sont décrits dans la section 2.1.4). Dans le procédé au bisulfite de magnésium (voir 3.1.7), on peut abaisser la délignification du bois de résineux (sapin) jusqu'à un indice kappa de 21 à 23 de manière à conserver à la pâte des propriétés de résistance acceptables. Dans la cuisson au bisulfite acide, les indices kappa courants sont compris entre 14 et 22 pour le bois de résineux et 10 et 20 pour le bois de feuillus. Cet indice kappa peut encore être abaissé avant le blanchiment par le biais d'une phase à l'oxygène. Une cuisson au bisulfite en deux étapes peut amener l'indice kappa à une valeur inférieure à 10. Il est possible d'étendre encore la cuisson pour produire des pâtes à dissoudre, mais aux dépens du rendement.

Après les lessiveurs, la pâte est envoyée dans des blow-tanks, puis elle est ensuite lavée.

### 3.1.3 Épuration et lavage de la pâte non blanchie

Après la cuisson la pâte est lavée dans des tambours laveurs ou des presses à vis et passe dans des tamis sous pression et des hydrocyclones. L'objectif est de séparer les nœuds et les bûchettes (paquets de fibres) de la pâte à l'aide d'une série de matériels vibrants, de filtration au moyen de tamis sous pression, et de séparation par centrifugation des fibres et autres particules avec des poids spécifiques différents (voir 2.1.5). La liqueur de cuisson avec les substances dissoutes du bois qu'elle contient est séparée de la pâte, et donne ce que l'on appelle de la liqueur faible. Normalement, le refus brut et les autres refus d'épuration sont égouttés et brûlés. Après l'épuration, la pâte est blanchie.

### 3.1.4 Délignification à l'oxygène / Blanchiment

La distinction que l'on fait ici entre la délignification et le blanchiment repose sur le fait que les effluents d'une opération de blanchiment ne peuvent pas être recyclés dans le circuit de récupération des produits chimiques, alors que cela est possible pour ceux de la délignification. Par conséquent, on peut utiliser de l'oxygène comme produit chimique pour la délignification et le blanchiment dans la même usine.

Pour le procédé au bisulfite, la délignification à l'oxygène est plus rare que dans le procédé kraft, où elle est de plus en plus utilisée. Mais il existe néanmoins en Europe un certain nombre d'usines de pâte au bisulfite qui ont recours à cette technique pour poursuivre la délignification, ce qui permet de réduire l'indice kappa d'environ 10 unités. Cela est essentiellement dû au fait que même sans délignification à l'oxygène, on n'a besoin que d'une séquence rapide d'opérations de blanchiment pour atteindre le degré de blanc optimal des pâtes. En outre, la délignification à l'oxygène nécessite un procédé pressurisé et une base pour amener le pH à un niveau alcalin. La base chimique utilisée doit être compatible avec les produits chimiques de cuisson, c'est-à-dire que pour le bisulfite de magnésium il faut utiliser du MgO. C'est seulement dans ces conditions que les matières organiques qui sont dissoutes pendant la délignification à l'oxygène peuvent être récupérées et renvoyées dans le circuit de récupération sans modification importante du processus. Une usine en Allemagne applique cette technique, mais elle a perdu quelques points de blancheur.

On a toutefois pu démontrer qu'il est possible de concentrer l'effluent au moyen d'une ultra-filtration et de brûler le concentrat dans la chaudière à écorce. Mesurée en DCO, la réduction est d'environ 50 % pour les rejets de substances organiques provenant de la phase oxygène. En fin de compte, la plupart des usines de pâte au bisulfite produisent de la pâte TCF.

### 3.1.5 Blanchiment, épuration et séchage

En Europe, les usines de pâte au bisulfite procèdent au blanchiment sans utiliser de chlore moléculaire, et nombreuses sont celles qui n'utilisent plus non plus le bioxyde de chlore comme produit chimique de blanchiment, c'est-à-dire qu'elles fabriquent de la pâte TCF (totalement exempte de chlore). Habituellement, les produits chimiques utilisés pour le blanchiment sont l'oxygène, l'hydroxyde de sodium et le peroxyde d'hydrogène. On ajoute de l'EDTA comme agent complexant (0,5 à 2 kg/t). Les produits chimiques utilisés pour le blanchiment sont habituellement achetés auprès de fournisseurs extérieurs.

Avant tout, le blanchiment de la pâte augmente son degré de blanc et, par ailleurs, il en élimine les particules non fibreuses et les agents d'extraction. Comme pour la pâte kraft, le blanchiment de la pâte au bisulfite fait appel à des méthodes d'élimination de la lignine et l'on peut considérer qu'il s'agit d'une étape continue et sélective d'élimination de la lignine.

L'élimination de la lignine par le blanchiment se fait au cours de deux ou plusieurs étapes de blanchiment avec addition d'oxygène et de peroxyde. Dans un blanchiment à deux étapes, la pâte est d'abord chauffée jusqu'à 60 à 80 °C, et l'on ajoute l'hydroxyde de sodium, l'oxygène et/ou le peroxyde. Cette première étape réduit la lignine résiduelle de 45 à 55 %. La pâte blanchie est ensuite pompée vers les filtres de lavage. Dans plusieurs usines européennes de pâte au bisulfite (Ahlfeld, Ehingen, Stockstadt (DE); Gratkorn (AU), la seconde phase de blanchiment par le peroxyde (EP) est exécutée sous la forme d'un blanchiment de pâte haute consistance (abréviation : EP(HC) = 35 à 40 % DS). Ce blanchiment HC présente l'avantage d'une économie d'énergie (vapeur) grâce à la haute densité de la pâte, de moindres émissions DCO compte tenu de ses conditions douces, de faibles pertes de pâte et d'une moindre consommation de produits chimiques. Après la seconde phase du blanchiment, la pâte est diluée avec de l'eau et l'on procède à un nouveau lavage. Dans le procédé au bisulfite, la chaleur spécifique du processus et la demande d'énergie du blanchiment TCF sont moins élevées que pour le blanchiment ECF.

Le tableau 3.2 récapitule la suite des opérations de blanchiment mises en œuvre dans les usines européennes de pâte au bisulfite.

Techniques de cuisson	Indice kappa	Suite des opérations de blanchiment	DCO (kg/t)	Usines témoins
Procédé au bisulfite de magnésium	21-23	EOP-Q-EP-EP (HC)	90-115	Gratkorn, AU
Procédé au bisulfite de magnésium	21-23	EOP-Q-EP-EP	100-120	Usine 2, SE
Procédé au sulfite	14-16	EOP-EP (HC)	50-60	Usine 3, DE
Procédé au sulfite	12-15	EOP-Q-EP (HC)	45-60	Usine4, DE
Procédé au sulfite	11-13	EOP-Q-EP-EP	35-45	Usine 5, AU
Notes :				
1) Ces données proviennent de communications personnelles. On ne saurait garantir qu'elles reflètent toutes les derniers développements.				

**Tableau 3.2 - Exemples de différentes suites d'opérations de blanchiment utilisées dans les fabriques européennes de pâte au bisulfite et au sulfite, et du rejet correspondant de substances organiques provenant de l'installation de blanchiment exprimé en DCO.**

Après le blanchiment, la pâte est généralement soumise à une épuration finale et le refus est brûlé dans la chaudière à écorces. La pâte destinée à être commercialisée à l'extérieur (si la pâte n'est pas utilisée pour la fabrication du papier sur le même site) est séchée et la pâte restante est pompée vers la papeterie pour fabriquer différentes sortes de papier (papier fin, à usage sanitaire et domestique etc.). Les usines de pâte au bisulfite sont généralement des usines intégrées qui fabriquent en même temps du papier.

### 3.1.6 Circuit de récupération des produits chimiques et de l'énergie

La récupération des produits chimiques de la cuisson englobe l'évaporation de la liqueur résiduaire pour obtenir de la liqueur concentrée, la combustion de la liqueur concentrée et la préparation d'une nouvelle liqueur de cuisson à partir des produits chimiques récupérés. Le taux de récupération de la liqueur est d'au moins 97 %.

La récupération des produits chimiques comporte les principales opérations - types suivantes :

- lavage à contre-courant et évaporation de la liqueur faible de cuisson,
- incinération des liqueurs concentrées (bio-combustibles) dans une chaudière de récupération permettant de produire des quantités substantielles d'énergie pour la génération de vapeur et d'électricité pour l'usine de pâte à papier,



- pendant la combustion, il se forme de l'oxyde de magnésium solide (cendre) et du dioxyde de soufre gazeux. L'oxyde de magnésium est séparé des gaz de fumées dans des électrofiltres et converti en hydroxyde de magnésium par dissolution dans de l'eau,
- ce liquide est utilisé pour absorber le dioxyde et le trioxyde de soufre des gaz de fumées de la chaudière de récupération et les gaz provenant des lessiveurs, laveurs et évaporateurs recueillis en utilisant des épurateurs venturi à cascade. Le liquide résultant de cette épuration est clarifié (par sédimentation ou filtration) et additionné de dioxyde de soufre soit provenant de la combustion de soufre élémentaire dans un four à soufre, soit sous forme de dioxyde de soufre liquide. L'acide de cuisson fraîchement formé (bisulfite de magnésium) est réutilisé à la cuisson après séparation des particules et autres impuretés non dissoutes.

Un aperçu des circuits des produits chimiques est présenté dans la figure 3.2 (Ministère fédéral de l'environnement d'Autriche, 1995) qui illustre les principales étapes du processus et leurs fonctions.

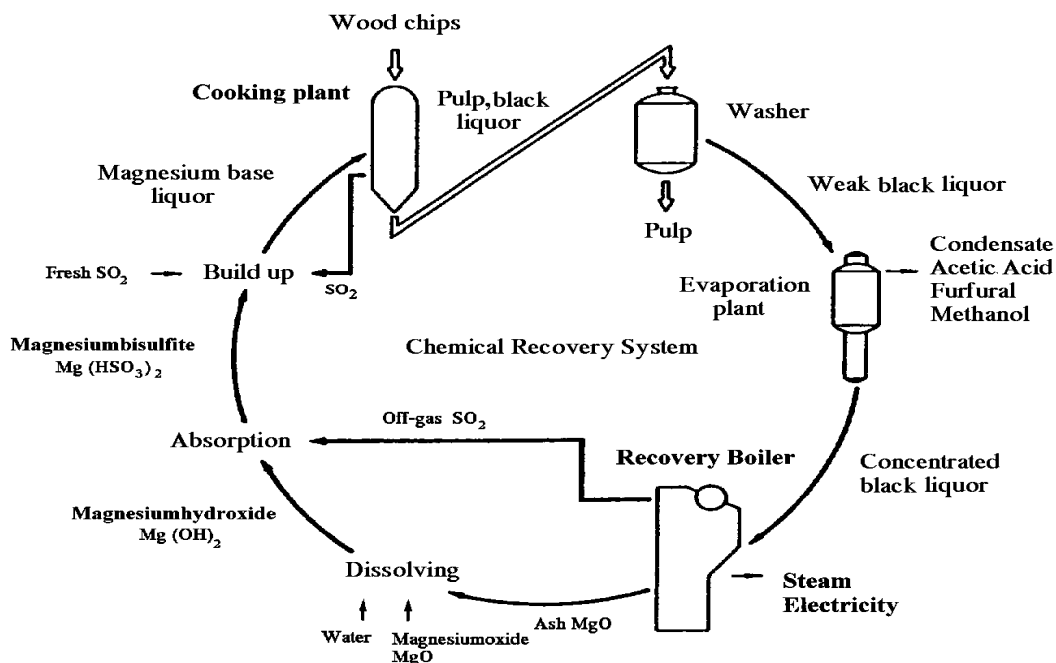


Figure 3.2 - Cycles de récupération des produits chimiques d'une fabrique de pâte au bisulfite

Les usines utilisant du magnésium éprouvent des difficultés à recycler l'eau des phases associées dans lesquelles on utilise de l'hydroxyde de sodium pour contrôler le pH. Un problème-clé pour les usines au bisulfite est la séparation des effluents contenant différentes bases chimiques. Par exemple, on aura peut-être besoin d'hydroxyde de sodium pour obtenir le pH requis dans certaines phases de blanchiment. Dans ce cas, il n'est pas possible de ramener les effluents de l'installation de blanchiment jusqu'à la récupération car il faut empêcher le sodium de contaminer le processus de cuisson à base de magnésium.

Outre la récupération des produits chimiques de cuisson, la chaudière de récupération produit de la vapeur. Souvent, les usines de pâte au bisulfite ont recours à des chaudières auxiliaires brûlant de l'écorce, du fioul ou d'autres combustibles. On peut également y brûler les nœuds, refus et boues provenant du traitement de l'effluent. La vapeur de ces chaudières alimente des turbines à contre-pression qui produisent de l'énergie électrique.

### 3.1.7 Le processus au bisulfite de magnésium (magnéfite)

Le processus au bisulfite de magnésium utilise une plage de pH plus élevée - de 3 à 5 - que le processus au sulfite acide qui fonctionne avec un pH de 1 à 2. Il en résulte des conditions de cuisson plus douces avec un renforcement de la résistance de la pâte et un rendement légèrement supérieur par rapport au procédé au sulfite acide. En Europe, pour ces deux procédés, la base couramment utilisée

est le magnésium. Il convient de considérer deux grandes différences techniques. Dans le procédé au bisulfite de magnésium, lors de la préparation de la liqueur blanche, on peut atteindre un pH de 4 sans recourir à l'addition de  $\text{SO}_2$ . On n'a donc pas besoin d'un réservoir de stockage sous pression pour le dioxyde de soufre. Le  $\text{SO}_2$  dans la liqueur blanche se présente sous forme de bisulfite. Les étapes suivantes de production de la pâte sont identiques à celle du processus au sulfite acide. Les indices kappa de la pâte écrue après la cuisson au bisulfite de magnésium sont plus élevés qu'après la cuisson en milieu acide. Dans le premier cas, on peut atteindre des indices de 21 à 26 pour la pâte contre des indices de 12 à 16 avec le bisulfite acide (par exemple Hallein et Neusiedler, AU; Ahlfeld, Stockstadt et Ehingen, DE). En conséquence, la pâte au bisulfite de magnésium ne possède pas une aussi bonne aptitude au blanchiment que la pâte au sulfite acide, et il faudra des séquences de blanchiment plus longues pour obtenir un degré de blanc élevé. Il s'ensuit des charges légèrement plus élevées de DCO et de DBO dans les effluents de blanchiment. Ce procédé au bisulfite de magnésium est utilisé dans quatre fabriques de pâte à papier en Europe (Nymollä et Utansjö, SE; jusqu'en 1999 Hundsfos, NO; Gratkorn, AU).

### 3.1.8 Pâte mi-chimique au sulfite neutre

Le type le plus courant de pâte mi-chimique est la pâte Mi-Chimique au Sulfite Neutre (NSSC). Elle est fabriquée en combinant les procédés mécanique et chimique et se caractérise par un rendement élevé. Cette pâte sert principalement à fabriquer des papiers cannelures, pour carton ondulé. Le rendement est d'environ 80 % pour le papier pour ondulé. Le bois peut être utilisé sans écorçage préalable. Dans ce processus, les copeaux de bois sont partiellement lessivés pour affaiblir les liaisons entre les fibres. Puis ils sont ensuite soumis à un traitement mécanique dans un raffineur. Quelques usines ne possèdent pas de systèmes de récupération des produits chimiques. Seul un très petit nombre d'usines en Europe a recours à la récupération croisée.

### 3.1.9 Pâte à dissoudre

En Europe, il n'y a qu'un très petit nombre de sociétés qui fabriquent de la pâte à dissoudre. Fondamentalement, ce processus est très proche de la fabrication de la pâte au bisulfite utilisée pour la fabrication du papier. Il fait appel aux mêmes produits chimiques que le processus habituel au bisulfite de magnésium. Par conséquent, le circuit de récupération des produits chimiques et de l'énergie est quasiment identique. Les principales différences se trouvent au niveau de la cuisson et du blanchiment. Dans la fabrication de la pâte pour transformation chimique, l'objet de la cuisson est d'obtenir une faible viscosité, c'est-à-dire des chaînes de molécules de la cellulose de longueur réduite. Ceci se fait dans l'installation de cuisson. Les similitudes et différences sont étudiées ci-après à l'aide d'un exemple.

Dans l'une des usines européennes produisant de la pâte à dissoudre (Autriche, fabrication de viscose), la délignification du bois de feuillus (hêtre) est abaissée à un indice kappa de 4 à 7 avant le blanchiment. Il n'y a pas d'effluents avant l'entrée de la pâte dans l'installation de blanchiment. Cette dernière opération se fait en trois phases : OPE - Z - P (blanchiment TCF).

Dans la première phase de blanchiment, qui consiste en une délignification à l'oxygène et au peroxyde et une extraction en milieu alcalin, l'indice kappa est ramené à 2 et l'on obtient une teneur en cellulose  $\alpha$  de 91 %. On utilise environ 50 kg NaOH/t de pâte. Les rejets de cette phase de blanchiment (charge DCO env. 85 kg/t) sont traités dans une installation d'évaporation. Les concentrats sont incinérés dans une chaudière. On élimine ainsi la majeure partie des polluants de l'installation de blanchiment.

La deuxième étape du blanchiment utilise de l'ozone comme agent de blanchiment. La dernière étape utilise du peroxyde, ramenant ainsi l'indice kappa à 0,5 ( $> 90$  % ISO, teneur en cellulose  $\alpha > 91$  %). La charge DCO des deuxième et troisième étapes du blanchiment est de 15 kg DCO/t avant traitement et elle est purifiée dans le cadre d'un traitement biologique des effluents liquides (taux de réduction  $> 90$  %).

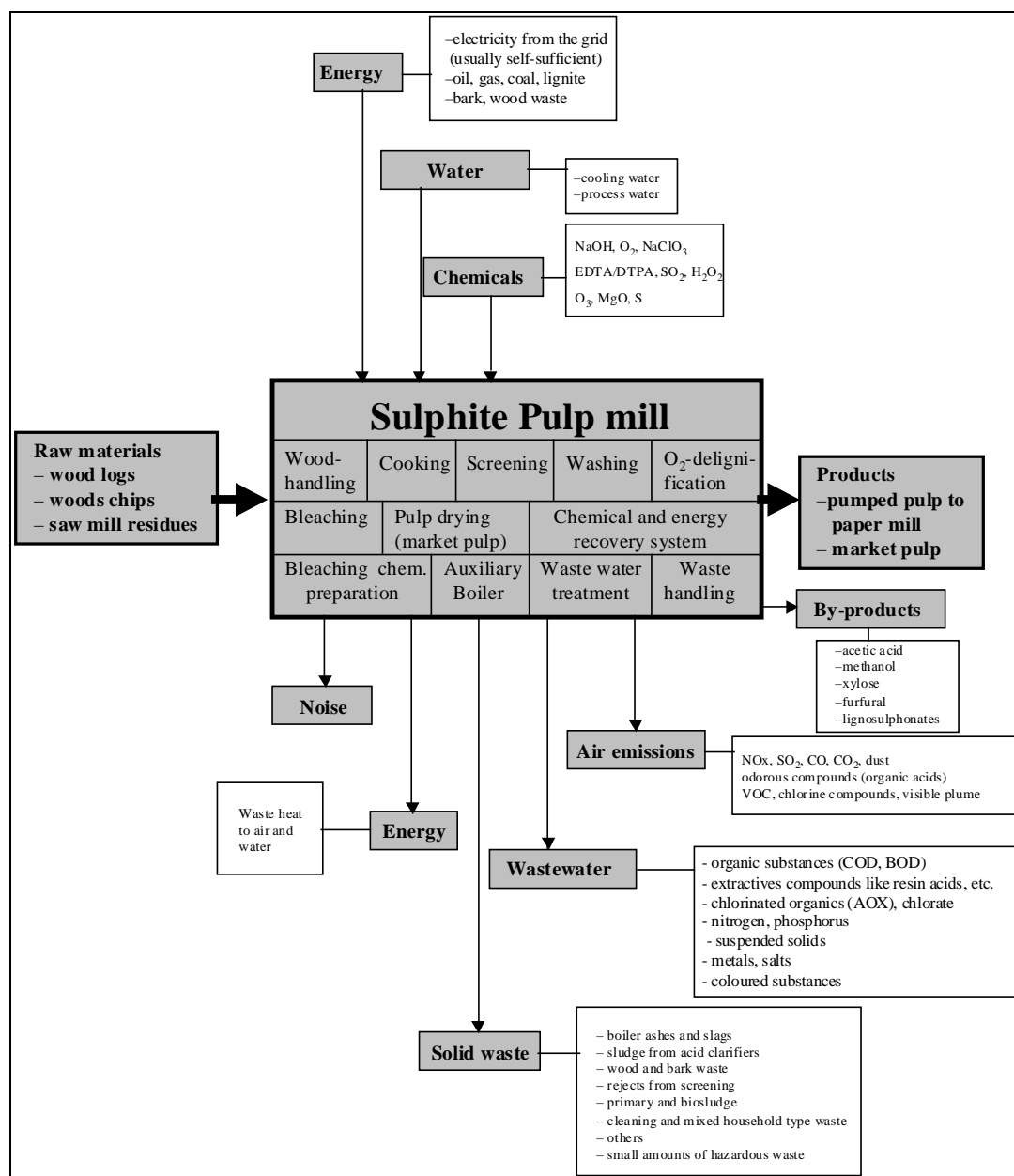
En dehors de l'installation de blanchiment, ce sont les condensats provenant de l'installation d'évaporation qui constituent la principale source de pollution de l'eau. L'usine prise comme exemple procède à l'extraction de l'acide acétique et du furfural en tant que produits contenus dans les condensats, ce qui réduit la charge DCO de ces derniers de 75 %. Il reste donc une charge polluante de 30 kg DCO/t qui est traitée dans l'installation de traitement biologique des effluents liquides (taux de réduction > 90 %) en même temps que les autres effluents liquides.

La charge de pollution initiale des effluents liquides provenant des usines de pâte à dissoudre dépend de la quantité de cellulose dite  $\alpha$  à atteindre et des mesures internes pour réduire les émissions. Une teneur élevée en cellulose  $\alpha$  est synonyme de meilleures qualités du produit. Une teneur élevée en cellulose  $\alpha$  de la pâte signifie une utilisation plus élevée de NaOH. Il en résulte une diminution des rendements et un accroissement des charges polluantes dans l'eau. Par exemple, une consommation de 90 à 100 kg de NaOH/T de pâte pour produire une pâte avec une teneur de 92,5 % en cellulose  $\alpha$  doublerait la charge de substances organiques dans les effluents comme cela est indiqué ci-dessus (et diminuerait le rendement de 5 %).

### **3.2 Niveau actuel de consommation / émission**

#### **3.2.1 Aperçu des intrants (matières consommées) / sortants (matières produites)**

La figure 3.3 donne un aperçu des consommations de matières premières et d'énergie ainsi que des produits, sous-produits et des principaux rejets (émissions, déchets etc.) de la production de la pâte au bisulfite.



**Figure 3.3 - Tableau synoptique du circuit de la pâte dans une fabrique de pâte au bisulfite. La présence de certaines substances dépend de la méthode de délignification et de blanchiment adoptée.**

Les sections suivantes présentent des données spécifiques relatives à la consommation ainsi qu'aux émissions pour les différents stades de production associés à la fabrication de pâte au bisulfite. Il est possible, en utilisant le synoptique du circuit de la pâte, de calculer la consommation spécifique de matières premières et les émissions spécifiques par tonne de produit.

Le tableau 3.3 indique les moyennes annuelles de six usines de pâte au bisulfite en Allemagne. Ces données ne représentent donc pas toute la gamme des niveaux d'émissions. Cependant, elles peuvent contribuer à se faire une idée d'ensemble des niveaux de consommation et d'émissions des usines de pâte au bisulfite en service.

Intrants			Sortants		
Matières premières	Valeur	Unité	Produit	Valeur	Unité
Bois (séché au four)	2	t/ADt	Pâte blanchie	1	ADt
SO <sub>2</sub> en S	32	kg/ADt			
MgO	24	kg/ADt	<b>Emissions</b>		
NaOH	27	kg/ADt	CO <sub>2</sub>	Pas de données	kg/ADt
O <sub>2</sub>	13	kg/ADt	CO <sub>2</sub> , regenerative	Pas de données	kg/ADt
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	26	kg/ADt	NO <sub>x</sub>	2.4	kg/ADt
DTA	3	kg/ADt	CO	Pas de données	kg/ADt
<b>Énergie</b>			SO <sub>2</sub> -S	1.75	kg/ADt
Fioul	Pas de données	MJ/t	Poussières	No data	kg/ADt
Charbon	Pas de données	MJ/t	COD	34	kg/ADt
Gaz naturel	Pas de données	MJ/t	BOD <sub>5</sub>	1.7	kg/ADt
Électricité achetée	Pas de données	kWh/t	Solides en suspension	Pas de données	kg/ADt
Total énergie primaire <sup>1)</sup>	Pas de données	kWh/t	AOX	<0.01	kg/ADt
			Azote (N) inorganique	0.4	kg/ADt
			Phosphore (P) total	0.06	kg/ADt
			Débit de l'effluent liquide	70	m <sup>3</sup> /ADt
<b>Demande d'eau</b>			<b>Résidus</b>		
Eau brute / fraîche	70	m <sup>3</sup> /ADt	Boues (90 % de solides secs)	37	kg/ADt
			Autres déchets	Pas de données	kg/ADt
Notes :					
1) L'émission dans l'atmosphère provenant de l'électricité achetée n'est pas comprise.					

**Tableau 3.3 - Données relatives aux intrants/sortants spécifiques annuels moyens de six usines intégrées de pâte au bisulfite et de papier (produisant différentes qualités de papier) avec une production d'environ 850 000 ADt/an (1996).**

Les données ne concernent que la production de pâte à papier, et n'incluent donc pas la production de papier. Les données des émissions dans les cours d'eau représentent la situation après le traitement biologique. Les données des émissions dans l'atmosphère ont trait à la situation après les mesures de réduction. Le jeu de données est incomplet.

### 3.2.2 Niveaux de consommations et d'émissions résultant des unités du processus

Dans la fabrication de la pâte au bisulfite, les effluents liquides et les émissions dans l'atmosphère sont au centre des préoccupations, mais il se peut que, ces prochaines années, les déchets aussi deviennent un problème écologique. On étudie ci-après les principales consommations de matières premières et les émissions dans les cours d'eau, l'atmosphère et le sol (déchets) ainsi que les aspects liés à l'énergie, en abordant les questions suivantes :

- Consommation de bois
- Consommation d'eau et émissions d'effluents liquides provenant des différentes étapes du processus
  - préparation du bois

- condensats des évaporateurs
- fuites et déversements accidentels (liquides répandus)
- pertes au lavage
- blanchiment
- rejets de nutriments
- rejets de métaux
- Consommation de produits chimiques
- Besoins en énergie
- Émissions dans l'atmosphère
  - provenant de la chaudière de récupération
  - provenant des chaudières auxiliaires
  - gaz malodorants
  - composés de chlore provenant du blanchiment et de la préparation des produits chimiques pour le blanchiment (uniquement pour ECF)
- Production de déchets solides
- Bruit

Lorsque des données sont disponibles, on indique les niveaux d'émissions dans l'eau, dans l'atmosphère ou dans le sol (déchets), avant et après traitement externe.

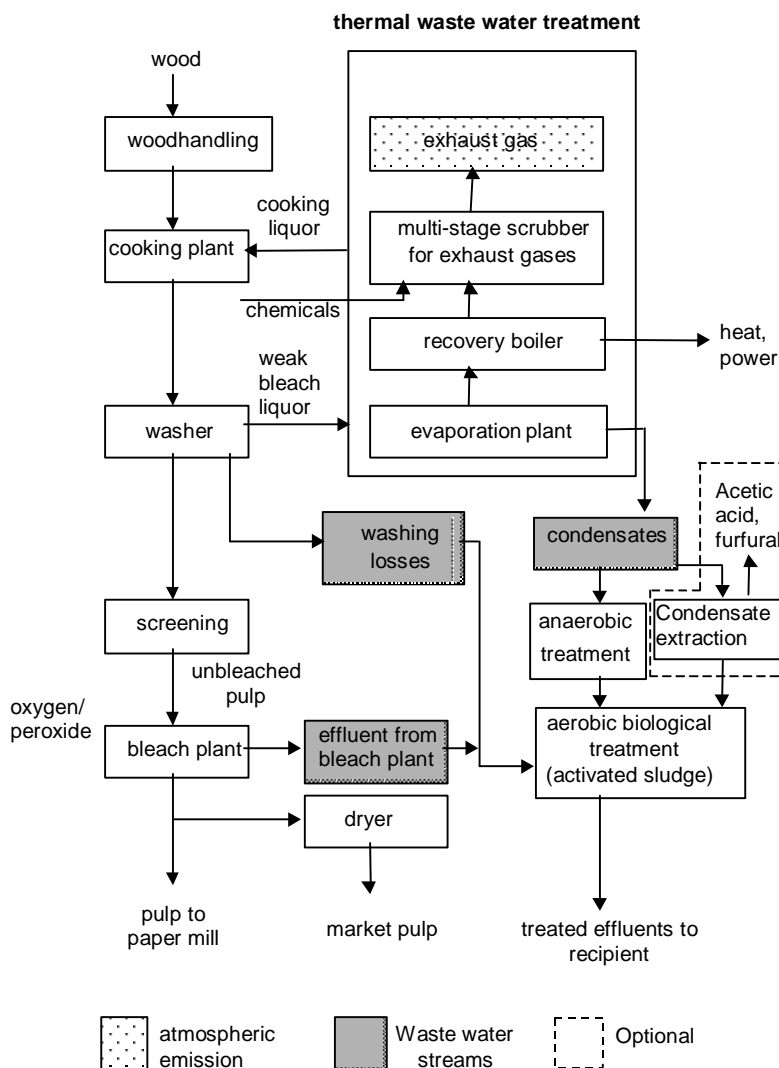
S'agissant des chiffres indiqués pour les émissions et les consommations, il ne faut pas oublier que, compte tenu des différentes méthodes de mesure utilisées par les divers États membres, les données ne sont pas toujours strictement comparables d'un pays à l'autre. (Voir annexe III pour plus de renseignements sur cette question, mais les différentes méthodes utilisées ne modifient en rien les conclusions formulées dans le présent document).

### **3.2.2.1 Consommation de bois**

On peut utiliser du bois de résineux (principalement du sapin) et du bois de feuillus (principalement du hêtre) comme matières premières dans le procédé au bisulfite. Les résidus de l'abattage et des scieries peuvent également être utilisés. La consommation de bois et le rendement pour la production de pâte blanchie dépendent des options choisies au niveau de la délignification et du blanchiment. La quantité de bois requise pour fabriquer une tonne de pâte au bisulfite blanchie est normalement comprise entre 4,2 et 5,2 m<sup>3</sup> de bois non écorcé/ADt.

### **3.2.2.2 Consommation d'eau et émissions**

La figure 3.4 donne un aperçu général des principaux processus impliqués dans la fabrication de pâte au bisulfite et des principales sources d'émission (dans l'eau et dans l'atmosphère). Les émissions dans l'eau proviennent de différents stades du processus, principalement pertes au lavage, effluents de l'installation de blanchiment et condensats de l'installation d'évaporation. Elles comprennent également les déversements accidentels de liquides.



**Figure 3.4 - Principales émissions dans les cours d'eau et dans l'atmosphère provenant de la fabrication de pâte au bisulfite.**

Dans la cuisson, la délignification est ramenée à un indice kappa d'environ 14 à 22 pour le bois résineux et 10 à 20 pour le bois feuillus.

Dans les usines les plus performantes, le volume spécifique d'effluents de l'installation de blanchiment est de l'ordre de 15 à 25 m<sup>3</sup> /ADt.

Il est important de neutraliser la liqueur de bisulfite avant l'évaporation. Sinon l'acide acétique se retrouverait dans les condensats au lieu d'être envoyé vers la chaudière de récupération. La charge en DCO dans les condensats est normalement beaucoup plus élevée dans les usines de pâte au bisulfite que dans celles de pâte kraft. La charge totale dans les condensats peut atteindre 60 à 70 kg de DCO/t. Il y a très peu de différence entre le bois résineux et le bois feuillus. La séparation et le traitement anaérobie sont des solutions possibles. Comme pour la fabrication de pâte kraft, la plupart des polluants sont facilement dégradables dans une installation de traitement biologique.



Généralement, on dispose de beaucoup moins de données pour la pâte au bisulfite que pour la pâte kraft. Toutefois, on peut déduire des renseignements disponibles que les émissions totales de substances organiques (mesurées en DCO) avant traitement varient entre 80 et 200 kg/t. Les données disponibles montrent que le total des effluents des usines de pâte au sulfite dépasse de 50 à 100 % celui des usines de pâte kraft.

En Europe, les rejets après traitement des effluents varient considérablement, passant par exemple de 10 à 190 kg de DCO/ADt.

Pâte au sulfite	Débit m <sup>3</sup> /ADt	DBO <sub>5</sub> kg/ADt	DCO kg/ADt	AOX kg/ADt	Phosphore (P) total g/ADt	Azote (N) total kg/ADt	TSS kg/ADt
Blanchie et non blanchie	40-100	0.5 - 75	10 - 190	0 - 1	15 - 150	0.18 - 1	1.7 - 10

**Tableau 3.4 - Fourchettes indiquées pour les rejets annuels moyens en kg/ADt des usines de pâte au bisulfite de magnésium après traitement des effluents, en Europe.**

Les valeurs types de consommation d'eau pour la fabrication de pâte au bisulfite de magnésium sont de l'ordre de 40 à 100 m<sup>3</sup> d'eau par ADt de pâte.

Une usine de pâte à dissoudre (Lenzing AG, Autriche, production de pâte viscosée) a indiqué les charges de polluants avant et après traitement, conformément au tableau 3.5.

Charge en DCO avant le traitement biologique	Rejets dans l'eau après le traitement biologique
Parc à bois: env. 1 kg/t	DCO: 4 – 5 kg/t
Blanchiment 1 <sup>e</sup> et 2 <sup>e</sup> étapes :env. 15 kg/t	DOB <sub>5</sub> : not detectable
Condensats de l'évaporation :env. 30 kg/t	TSS: 0.4 – 0.5 kg/t
Charge totale : env. 46 kg/t	AOX: < 0.01 kg/t
Débit total : env. 40 m <sup>3</sup> /t	Total P: < 0.1 kg/t
	Total N: <0.2 kg/t
Explications : Cet exemple est celui d'une usine qui a mis en œuvre certaines mesures internes décrites dans la Section 3.1.9 pour réduire les rejets dans les cours d'eau. L'effluent liquide de la première étape du blanchiment est soumis à évaporation et incinéré, l'acide acétique et le furfural sont extraits des condensats d'évaporation. L'effluent liquide résiduel subit un traitement dans une installation à boues activées suivi d'une filtration pour réduire les solides en suspension, P et N.	

**Tableau 3.5 - Emissions spécifiques d'une usine de pâte à dissoudre (viscosée) avant et après traitement biologique [communication personnelle, 1998].**

Le tableau 3.6 illustre les rejets de métaux dans le milieu récepteur. Les résultats sont fondés sur des échantillonnages (prélèvement d'échantillons au hasard une fois par jour) pendant une période de 5 jours en septembre 1996. Ces échantillons aléatoires ont été mélangés proportionnellement au débit pour donner un échantillon combiné qui a été analysé en ce qui concerne le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc. L'analyse des métaux a été réalisée par spectrométrie de masse – torche à plasma (ICP-MS). Par rapport à 1995, la quantité de cadmium, chrome, cuivre, nickel et plomb a augmenté d'environ 50 %. Celle de zinc d'environ 10 %.

Métal	Concentration (mg/m <sup>3</sup> )	Charge spécifique (g/t)
Cadmium	1.37	1
Chrome	5.5	4.4
Cuivre	9.3	7.4
Nickel	12	9.6
Plomb	9.4	7.5
Zinc	144	115.2

**Tableau 3.6 - Rejet de métaux d'une usine semi-intégrée de pâte au bisulfite en 1996.**  
(Analyse d'un échantillon combiné consistant en 5 échantillons aléatoires prélevés pendant cinq jours, 1 échantillon/jour); débit d'eau environ 80 m<sup>3</sup>/t.

### 3.2.2.3 Consommation de produits chimiques

La consommation de produits chimiques varie d'une usine à l'autre et, dans une certaine mesure, elle est considérée comme confidentielle. Cela dit, la consommation type des principaux produits chimiques communiquée est la suivante.

Produits chimiques utilisés pour la production de pâte au bisulfite par le procédé au magnésium blanchie	Quantité kg/ADt)
NaOH	10-40
O <sub>2</sub>	5-15
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (100%)	10-40
EDTA or DTPA	0-3
O <sub>3</sub> <sup>1</sup>	0-5
S (certaines usines utilisent soit du S soit du SO <sub>2</sub> )	20-40
SO <sub>2</sub> (certaines usines utilisent soit du S soit du SO <sub>2</sub> )	0-70
MgO	15-25
Note : (1) Normalement, n'est pas utilisé dans les usines de pâte au bisulfite. Toutefois, en Europe, une usine fabriquant de la pâte à dissoudre a mis en œuvre une étape de blanchiment à l'ozone.	

**Tableau 3.7 - Consommation des principaux produits chimiques dans la production de pâte au sulfite.**

Une usine suédoise de pâte au bisulfite de magnésium produisant de la pâte blanchie pour la fabrication de papier fin a indiqué la consommation suivante de produits chimiques par tonne de pâte : hydroxyde de sodium 50 kg, oxygène 14 kg, EDTA 1, 76 kg et peroxyde d'hydrogène 37 kg. L'ordre des opérations de blanchiment est (E + O) Q (E + O + P). L'indice kappa après la cuisson était en moyenne de 22 pour la pâte de bois feuillus et 22 pour la pâte de bois résineux.

Une usine allemande de pâte au sulfite acide a fait état d'une consommation de produits chimiques d'appoint pour la cuisson de 30 kg de  $\text{SO}_2/\text{ADt}$  et de 15 à 20 kg de  $\text{MgO}/\text{ADt}$  avec des rejets de 2 à 3 kg de  $\text{SO}_2/\text{ADt}$ . Pour le blanchiment au peroxyde en deux étapes de 1 tonne de pâte séchée à l'air, cette même usine utilise 20 à 25 kg de peroxyde et 25 à 35 kg d'hydroxyde de sodium.

La majeure partie des agents chélatants utilisés sont éliminés de la pâte par lavage et rejetés dans l'effluent. Étant donné que, dans la plupart des usines, les stades Q sont dirigés vers l'installation de traitement des effluents, ces produits chimiques aboutiront dans le milieu récepteur.

### **3.2.2.4 Émissions dans l'atmosphère**

Les niveaux d'émission de soufre des usines de pâte au bisulfite existantes et les réductions encore possibles dépendent dans une grande mesure de l'usine. Compte tenu des différences entre les divers procédés au bisulfite, les valeurs peuvent varier dans des proportions plus grandes que dans les usines de pâte kraft. Mais elles dépendent aussi fortement des systèmes de collecte et de limitations utilisés pour traiter les émissions gazeuses. En fonction des conditions locales, les usines de pâte au bisulfite peuvent appliquer les dispositifs et les systèmes suivants pour traiter les rejets à l'atmosphère :

- cyclone pour nettoyer les copeaux
- les incondensables de cuisson sont envoyés vers la chaudière de récupération pour y être brûlés.
- circuit de collecte des rejets des lessiveurs, blow tanks, filtres de lavage, de tous les bacs de liqueurs faible ou forte qui sont envoyés vers la chaudière de récupération pour y être brûlés.
- Laveurs (scrubbers) pour absorber le dioxyde de soufre rejeté par l'installation de blanchiment.
- les incondensables des évaporateurs sont envoyés vers la chaudière de récupération pour y être brûlés.
- le  $\text{SO}_2$  contenu dans les rejets des chaudières de récupération est absorbé dans l'installation de préparation de l'acide (système d'épuration type Venturi).
- circuit de collecte des événements des bacs de liqueur et de condensats. Ces gaz sont envoyés vers la chaudière de récupération pour y être brûlés.
- élimination des poussières des gaz de la chaudière auxiliaire (qui brûle de l'écorce, du fioul ou d'autres combustibles) au moyen d'un électrofiltre (ESP) et d'un épurateur par voie humide (scrubber).
- réduction du  $\text{NO}_x$  dans la chaudière à écorce par injection d'urée.

Dans une usine de pâte au bisulfite de magnésium, la principale source d'émissions d'oxyde de soufre est la chaudière de récupération. L'oxyde de magnésium des fumées est recueilli par précipitation électrostatique puis lavé à l'eau pour former de l'hydroxyde de magnésium. Ce liquide est utilisé dans des épurateurs Venturi pour absorber le  $\text{SO}_2$  et le  $\text{SO}_3$  de la chaudière de récupération (et dans un petit nombre d'usines, au niveau des lessiveurs, du lavage et des évaporateurs). Le circuit d'absorption comporte un certain nombre d'épurateurs (scrubbers), trois, quatre ou cinq. Le niveau des émissions est d'environ 4 à 6 kg de  $\text{SO}_2$  par tonne de pâte avec trois épurateurs et de 2 à 3 kg/t avec quatre. Chaque épurateur réduit la concentration d'environ 70 %.

On observe aussi des émissions moins concentrées de  $\text{SO}_2$  en provenance de l'installation de blanchiment, des lessiveurs, du lavage et des chaudières auxiliaires.

Les émissions de  $\text{NO}_x$  des chaudières de récupération des usines de pâte au bisulfite sont généralement plus élevées que celles des usines de pâte kraft en raison de la température plus élevée qui règne dans la chaudière de récupération. Ces émissions de  $\text{NO}_x$  sont habituellement comprises entre 100 et 200 mg/MJ soit environ 1,5 à 3 kg/t de pâte. Le tableau 3.8 récapitule les fourchettes types des émissions de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{NO}_x$  des chaudières de récupération.

Unité	S	NO <sub>x</sub>
kg/t (mg/m <sup>3</sup> )	0.5 - 3 (100 - 400)	1.0 - 3 (200 - 500)

**Tableau 3.8 - Emissions en kg/t des chaudières de récupération de usines de pâte au bisulfite et concentrations correspondantes entre parenthèses (mg/m<sup>3</sup>) pour un débit de gaz d'environ 6 000 à 7 000 m<sup>3</sup>/t (NTP, gaz sec).**

Les émissions dans l'atmosphère proviennent également d'autres processus de combustion utilisés pour produire de la vapeur et de l'énergie. On peut utiliser différents types de combustibles pour générer de la vapeur. D'habitude, les usines de pâte au bisulfite ont recours à une chaudière à écorce dans laquelle elles incinèrent aussi de l'écorce, les refus, les nœuds, des fibres et des boues biologiques.

Les émissions de gaz malodorants dans la fabrication de la pâte au bisulfite sont normalement peu importantes par rapport à celles de la pâte kraft. Toutefois les émissions de mercaptans, furfural et H<sub>2</sub>S peuvent générer des odeurs et les émissions de soufre gazeux peuvent également être une nuisance. Certaines usines recueillent les émissions de gaz malodorants et les brûlent dans la chaudière de récupération.

Le tableau 3.9 récapitule les fourchettes des émissions totales dans l'atmosphère indiquées par des usines européennes de pâte au bisulfite.

	Total S gazeux [kg/ADt]	NO <sub>x</sub> [kg/ADt]
Chaudière de récupération	0.5-5	1-3
Chaudière à écorce	0.02-0.06*	0.1-1*
Total des émissions des usines	0.55-5*	1.2-4.2*
* Pour la chaudière à écorce, il s'agit d'une estimation. Il n'est pas tenu compte du combustible fossile qui y est éventuellement utilisé.		

**Tableau 3.9 - Emissions dans l'atmosphère des usines européennes de pâte au bisulfite, moyenne annuelle.**

Les émissions de VOC provenant du processus représentent environ 0,2 kg/t de pâte au bisulfite. La réduction en copeaux contribue aussi aux émissions de VOC.

### 3.2.2.5 Production de déchets solides

Le procédé de la pâte au bisulfite génère différents types de déchets spécifiques inhérents à la fabrication, dont la plupart sont utilisables. Ces déchets proviennent de différentes étapes du processus de production, comme l'écorçage, la mise en copeaux, le tamisage, la clarification de la liqueur de cuisson, la maintenance, ainsi que du traitement de l'eau brute et des effluents liquides. Une usine allemande de pâte au sulfite a indiqué les fractions suivantes de déchets, ainsi que quelques solutions de traitement ultérieur. Ce dernier est très étroitement lié aux conditions locales.

Déchets provenant de la fabrication de la pâte au sulfite				
Code du Catalogue européen des déchets <sup>3</sup>	Description	Source	Quantité	Méthode possible d'élimination
17 04 05	Ferrailles (rubans d'acier, pièce d'équipement etc.)	Emballage des grumes, maintenance des installations	2.8 kg/t	Utilisation comme matériau
03 03 01	Écorce	Installation d'écorçage	90 kg/t	Utilisation comme combustible
-	Sciure	Manipulation du bois	30-50 kg/t	Fabrication de panneaux d'agglomérés
-	Refus du crible à grosses mailles	Passage au crible	23 kg/t	Utilisation comme combustible
-	Refus du crible fin (copeaux, nœuds, écorce, fibres, sable)	Passage au crible (de 0,5 à 1 % de pertes)	8 kg/t <sup>1</sup>	Utilisation comme combustible, briqueteries
03 03 06	Boues provenant de la production de la pâte	Traitement mécanique et biologique de l'eau de process, récupération de produits chimiques fonctionnement des installations	80 kg/t	Réhabilitation de décharges tri pour briqueterie, utilisation comme combustible ou matériau
20 03 01	Déchets mixtes municipaux		0.4 kg/t	
13 02 02	Déchets d'huile	Maintenance	0.03 kg/t	Utilisation comme combustible ou matériau
Note : 1 La référence n'a pas spécifié la teneur en solides secs. Il semble que le chiffre indiqué ci-dessus contienne plus de 50 % d'eau. Normalement, une valeur comprise entre 20 et 25 kg /ADt de solides secs pour les boues primaires et secondaires semble raisonnable, si l'on applique le procédé aux boues activées.				

**Tableau 3.10 - Exemple de déchets générés par la fabrication de pâte au bisulfite [Usine allemande, année de référence : 1996].**

En dehors de cela, il faut encore considérer les types de déchets suivants : déchets du parc à bois (sable etc.); cendres des chaudières de récupération; sable de la chaudière à lit fluidisé (le cas échéant); s'il s'agit d'usines intégrées, résidus de papeterie. Les déchets de bois, tels que écorces, copeaux, sciure, nœuds etc, sont souvent brûlés sur place. Une partie des cendres des chaudières de récupération et à écorce est utilisée à d'autres fins. En outre, on obtient aussi des boues provenant de la clarification des liqueurs de cuisson et des différents bacs.

En Suède, à la demande du Gouvernement, l'Office National des Forêts procède à des essais avec apport de chaux et d'agents de revitalisation dans la forêt. L'objectif est de mettre au point et de tester différents additifs et méthodes de travail en coopération avec l'industrie concernant l'utilisation de la cendre d'écorce en tant qu'agent de revitalisation. Il sera peut-être nécessaire, à l'avenir, d'ajouter des agents de revitalisation sur une plus grande échelle dans les forêts pour neutraliser les pluies acides.

<sup>3</sup> Le Catalogue européen des déchets est une liste harmonisée non exhaustive des déchets, c'est-à-dire une liste pouvant être révisée périodiquement et si nécessaire, remaniée en conformité avec la procédure du Comité. Cependant, l'inscription d'une matière dans le Catalogue ne signifie pas que la matière en question est un déchet dans tous les cas. Cette inscription n'est pertinente que si elle satisfait à la définition de déchet [IPTS, 1997].

Une usine allemande utilisant des eaux de surface a mentionné des quantités significatives de boues provenant du traitement de l'eau brute (floculation) de l'ordre de 50 kg/ADt.

Les quantités de déchets provenant de la fabrication de la pâte au bisulfite qui sont envoyées à la décharge en Europe représentent environ 30 à 50 kg de déchets organiques en MS (Matières Sèches)/t de pâte et 30 à 60 kg de déchets inorganiques en MS/t de pâte. Les déchets organiques se composent de résidus du bois, d'écorce, de refus de fabrication et de boues des effluents liquides [J. Pöyry, 1997]. Si les déchets organiques sont brûlés dans des incinérateurs spéciaux, il n'y a pratiquement pas de déchets organiques à envoyer à la décharge. Dans une usine intégrée de pâte au bisulfite qui procède à l'incinération de tous les résidus organiques sur place (écorce, déchets de bois, boues du traitement biologique), la quantité de déchets est de l'ordre de 3,5 kg MS/ADt (100 % MS). Les cendres résultant de l'incinération peuvent être utilisées de différentes manières, par exemple dans une cimenterie (référence : Gratkorn, AU).

### 3.3 Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD

La présente section décrit toutes les techniques couramment **applicables** pour la prévention ou la réduction des rejets / déchets et pour la réduction de la consommation d'énergie et des matières premières, tant pour les nouvelles installations que pour les installations existantes. Cette liste des techniques n'est pas exhaustive et pourra être complétée à l'occasion d'une révision du présent document. Ces techniques englobent aussi bien les mesures internes que les traitements finaux avant rejet et représentent les possibilités d'amélioration pour atteindre un haut degré de prévention et de réduction de la pollution.

Le tableau 3.11 donne un aperçu des techniques permettant de réduire les émissions des usines de pâte au bisulfite.

Le tableau indique, pour chaque technique, les interactions entre les milieux (impacts intermilieux). Il en ressort qu'il n'est pas facile de décrire ces interactions de manière indiscutable. Il existe de nombreuses "zones d'ombre" dans leur évaluation. Elles peuvent en outre dépendre d'autres éléments. L'évaluation des interactions entre les milieux ne doit être considérée que comme une aide pour permettre aux exploitants et à l'Administration de déterminer les effets secondaires qu'une mesure est susceptible de produire, et elle ne constitue guère plus qu'un point de départ pour étudier les éventuels transferts de pollution. Les résultats de cette évaluation ne doivent pas être considérés comme des règles. D'autre part, des mesures de prévention et de contrôle peuvent éviter certains de ces transferts. L'interaction entre les milieux dépend aussi, entre autres, des conditions propres à chaque usine. Il est donc difficile d'établir un bilan général de la situation. Mais on peut indiquer dans le tableau quel est le milieu environnemental (eau, air, déchets et énergie) visé par une mesure. Les paragraphes correspondants dans l'étude détaillée de chaque technique donnent des explications complémentaires.

Dans les colonnes, on indique qualitativement la tendance des effets (impacts) des différentes techniques sur les émissions, la consommation de matières premières et les performances de l'usine à l'aide de flèches vers le haut "↑" ou vers le bas "↓". Les flèches vers le bas "↓" indiquent des économies de matières premières ou d'énergie et une réduction des émissions dans les différents milieux eau, air et sol. Les flèches vers le haut "↑" indiquent un accroissement des émissions, de la consommation et des impacts sur le processus de production. Certaines des mesures visant à la prévention et à la réduction de la pollution qui sont décrites dans la présente section concernent plus d'un milieu environnemental (l'eau, l'air ou le sol) à la fois. Certaines techniques peuvent avoir un impact positif et/ou négatif sur d'autres milieux environnementaux ou sur la consommation d'énergie et de matières premières (interactions entre les milieux). Les effets constatés sont indiqués à l'aide de flèches. Une flèche entre parenthèses "(↑)" signifie qu'il s'agit d'un accroissement léger - souvent négligeable - de la consommation d'énergie, de la quantité de matières premières utilisées ou d'émissions dans l'environnement lorsqu'on applique une certaine mesure. Les aspects économiques

(investissement, dépenses de fonctionnement) ne figurent pas dans le tableau mais sont commentés dans le texte. Les données de caractère économique peuvent seulement fournir une image sommaire et indiquer le niveau des coûts. Ceux-ci varient selon la conception générale de l'installation et dépendent entre autres de la taille de l'usine et de la façon dont une technique s'intègre avec le reste des équipements.

Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD	Effets sur les niveaux de consommation et d'émission (interaction entre les milieux)				
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie	Émissions dans les cours d'eau	Émissions dans l'air	Déchets solides
Écorçage à sec (voir pâte kraft)	O	↑ dans l'écorçage	↓ COD, ↓ TSS, ↓ débit	O	O
Cuisson étendue pour atteindre un indice kappa faible, continue (a) ou discontinue (b)	↑ en cuisson ↓ en blanchiment	(↑/↓) en cuisson ↑ évaporation	↓ COD	O	O
Délicatification à l'oxygène	↑ in O <sub>2</sub> -stage ↓ en blanchiment	↑ en O <sub>2</sub> -stage ↓ en blanchiment	↓ COD	O	O
Epuration en circuit fermé (voir pâte kraft)	O	O	↓ COD	O	O
Efficacité du lavage et du contrôle du processus (voir pâte kraft)	↓ en blanchiment ↓ en cuisson	↑ lavage (élec).	↓	O	O
Collecte de presque toutes les fuites (voir pâte kraft)	O	↑ évaporation	↓	O	O
Technique de blanchiment TCF (par rapport à ECF) (avec le même indice kappa faible en entrée)	↓	(↑/↓)	(↓ COD), ↓ AOX, ↑ N chel. agent	↓	O
Exploitation en circuit partiellement fermé de l'installation de blanchiment + augmentation de l'évaporation	↑ en blanchiment	↑ évaporation	↓	O	O
Fonctionnement en circuit fermé de l'installation de blanchiment dans les usines utilisant le procédé au sulfite de sodium	↓	↓	↓	O	O
Neutralisation de la liqueur faible avant évaporation	↑	O	(↑/↓)	↓	O
Traitement séparé des condensats ou réutilisation dans le processus	O	↓	↓	O	O
Capacités tampons pour liquides concentrés (voir pâte kraft)	O	O	↓	O	O
Traitement biologique des effluents (voir pâte kraft)	↑	↑	↓	(↑/↓) odeur	incinération des boues ?
Installation d'électrofiltres (EPS) et d'épurateurs scrubbers à cascade sur la chaudière de récupération	↓	↓	O	↓	O
Collecte et incinération des gaz malodorants dans la chaudière de récupération et/ou dans un laveur venturi	O	↑	O	↓	O
Chaudière de récupération optimisée sous l'angle des émissions	O	O	O	↓	O
Chaudières auxiliaires à faible teneur en NO <sub>x</sub> (voir pâte kraft)	O	O	O	↓ NO <sub>x</sub>	O
SNCR sur les chaudières à écorce (voir pâte kraft)	↑ urée	↑ système de manutention	O	↓ NO <sub>x</sub>	O
ESP (électrofiltre) sur la chaudière à écorce (voir pâte kraft)	O	↑ électricité	O	↓ poussières	O
Incinération des résidus optimisée sous l'angle des émissions avec récupération de l'énergie (voir pâte kraft)	O	↓ récupération de la chaleur	O	(↑/↓)	↓
Notes: ↑ = augmentation; ↓ = réduction; 0 = pas d'impact (ou impact négligeable). (↑/↓) peut avoir ou ne pas avoir d'effet/un impact modéré selon les conditions;					

**Tableau 3.11 - Synthèse des techniques disponibles dans la fabrication de la pâte à papier selon le procédé au bisulfite, et leur impact respectivement sur l'environnement et les performances de l'usine.**

Les techniques de prévention et de réduction des émissions provenant des usines de pâte kraft sont identiques aux mesures disponibles pouvant être appliquées dans les usines de pâte au bisulfite. Par conséquent, pour éviter les répétitions, les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD sont présentées dans quatre groupes différents.



**Groupe 1** : en raison des similitudes entre la fabrication des pâtes kraft et au bisulfite, certaines des mesures applicables à la pâte kraft le sont également aussi en grande partie pour la pâte au bisulfite. On estime que cela est le cas pour les techniques énumérées ci-après. Pour ces techniques, on se contente donc de renvoyer aux sections correspondantes de la fabrication de la pâte kraft.

- Écorçage à sec (voir section 2.3.2)
- Epuration en circuit fermé (voir section 2.3.3)
- Récupération des fuites (voir section 2.3.9)
- Efficacité du lavage et maîtrise du processus (voir section 2.3.10)
- Installation d'une technique à faible teneur en  $\text{NO}_x$  dans les chaudières auxiliaires (écorce, charbon, fioul) (voir section 2.3.20)
- Précipitation électrostatique pour réduire les poussières dans les chaudières à écorce (voir section 2.3.24 concernant les chaudières à écorce)
- Utilisation de capacités de stockage (voir section 2.3.12)
- Traitement biologique aérobie des effluents (voir section 2.3.13)
- Traitement tertiaire par précipitation chimique (voir section 2.3.14)

**Groupe 2** : il existe des différences notables entre les pâtes fabriquées selon les procédés kraft ou au bisulfite concernant les techniques suivantes :

- Cuisson modifiée étendue (discontinue ou continue) pour atteindre un faible indice kappa (voir section 2.3.1)
- Délicatification à l'oxygène (voir section 2.3.4)
- Blanchiment TCF (voir section 2.3.7)
- Fermeture partielle de l'installation de blanchiment avec augmentation de l'évaporation (voir section 2.3.8)
- Stripping et recyclage des condensats (voir section 2.3.11)
- Augmentation de la teneur en solides secs (DS) de la liqueur noire (voir section 2.3.15)
- Installation d'épurateurs (scrubbers) au niveau de la chaudière de récupération (voir section 2.3.16)
- Collecte des gaz faibles destinés à être incinérés dans la chaudière de récupération (voir section 2.3.17)
- Blanchiment à l'ozone (voir section 2.3.5)

Bien que les principes soient très similaires, il existe des différences importantes entre les fabriques de pâte kraft et celles de pâte au bisulfite. Les différences portent essentiellement sur des points de détail techniques, les indices kappa qu'il est possible d'atteindre reflétant la teneur résiduelle en lignine, les opérations de blanchiment et leur consommation de produits chimiques, les composés organiques volatiles dans les condensats pollués etc. Pour ce groupe, on dispose de moins de données.

**Groupe 3** : certaines techniques du procédé kraft ne sont pas du tout applicables dans les fabriques de pâte au bisulfite, par exemple :

- Collecte et incinération des gaz malodorants dans le four à chaux (voir section 2.3.18)
- Mise en place d'une installation de lavage améliorée des boues de chaux à la caustification (voir section 2.3.23)
- Technique de blanchiment ECF (voir section 2.3.6)
- Précipitation électrostatique pour réduire les poussières dans le four à chaux (voir section 2.3.24 concernant le four à chaux)
- Incinération des gaz malodorants dans un four distinct équipé d'un épurateur (voir section 2.3.19)

**Groupe 4** : il faut enfin mentionner un petit nombre de techniques supplémentaires, qui ne sont applicables qu'aux usines de pâte au bisulfite et qui ne sont pas du tout valables pour les usines de pâte kraft.

- Neutralisation de la liqueur faible avant l'évaporation suivie par la réutilisation de la plupart des condensats dans le processus ou le traitement anaérobie.
- Réduction des émissions de SO<sub>2</sub> provenant de la chaudière de récupération par l'installation d'un système d'électrofiltre et d'épurateurs à cascade.

Les renseignements sur les MTD pour les usines de pâte au bisulfite sont généralement moins nombreux que ceux sur les usines de pâte kraft. La plupart des sections demanderaient à être complétées et évaluées plus en détail. En exploitant les renseignements fournis et les données disponibles à partir d'autres sources, quelques techniques ont pu être décrites ci-après. Toutefois, cette description ne contient pas la même quantité de détails que la section correspondante de la fabrication de pâte à papier selon le procédé kraft. Généralement, s'agissant des usines de pâte au bisulfite, on ne dispose d'aucune donnée sur les coûts.

### 3.3.1 Cuisson étendue pour atteindre un faible indice kappa

Pas d'autres informations communiquées en plus de celles données dans la section 3.1.2.

### 3.3.2 Délignification à l'oxygène

Pas d'autres informations communiquées en plus de celles données dans la section 3.1.4.

### 3.3.3 Blanchiment TCF

#### Description de la technique

Depuis le début des années 90, le blanchiment TCF est devenu la méthode la plus utilisée par les usines européennes de pâte au bisulfite. En Europe, il n'y a plus une seule usine qui emploie encore le chlore comme agent de blanchiment et la majeure partie de la pâte ECF est remplacée par le blanchiment TCF. Les installations de blanchiment existantes ont été converties via une réorganisation et une modernisation de l'équipement. Les séquences de blanchiment avec du chlore, telles que C/D-E-D(E-D) ont été progressivement transformées en séquences TCF. On a abandonné les premières étapes de blanchiment au chlore et l'on a produit de la pâte ECF. Puis l'on est passé au blanchiment TCF (par exemple EOP-Q-EOP(-EP) en aménageant le procédé. Le recours à des agents complexants dans les phases au peroxyde et l'augmentation de la consistance dans la tour de blanchiment ont permis de fabriquer de la pâte à papier TCF de qualité supérieure. On a également mis en place d'autres conditions préalables au blanchiment TCF, telles qu'une cuisson étendue, des méthodes de lavage à haute efficacité et l'extension des capacités d'évaporation.

Le tableau 3.12 donne un exemple des conditions d'une opération type de blanchiment TCF pour la pâte au sulfite.

Paramètre	Phase O ou EOP	Lavage à l'acide	Phase(s) EP ou EOP
Température	65 – 75 °C	50 – 70 °C	65 – 80 °C
Pression	1 – 4 bar	-	1 – 2.5 bar
Consistance	10 - 14	3 - 5	14 - 40
Kappa	21 – 24 → 11-13	-	→ 3 - 5
NaOH	15 -25	-	5 - 15
O <sub>2</sub>	5 - 15	-	0 –7
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2 -10	-	10 – 25
EDTA	-	0.5 – 1.5	

**Tableau 3.12 - Exemple d'opération de blanchiment pour la pâte au bisulfite**

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Mesure intégrée dans le processus. Applicable aux usines tant nouvelles qu'existantes (conversion).

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Les rejets de substances organiques chlorées (mesurés en AOX) ont été considérablement réduits, de 4 à 8 (jusqu'à 12) kg AOX /ADt de pâte blanchie au chlore à nettement moins de 0,1 kg /t (pas de formation lors du blanchiment). Les rejets dans l'atmosphère de substances organiques chlorées volatiles (POX) ont été réduits de 20 mg POX/ADt à zéro. La pâte TCF produite ne contient pas de chlore lié organiquement susceptible d'être rejeté lorsqu'elle est repulpée dans les papeteries. La demande spécifique d'eau fraîche dans l'installation de blanchiment dans les usines TCF pourrait être ramenée d'environ 25-35 à 10-15 m<sup>3</sup>/ADt. Cela a pour résultat une diminution des charges hydrauliques et, dans un petit nombre de cas, également une diminution des charges organiques. Le blanchiment TCF se traduit par une réduction des émissions de substances colorées avec l'effluent liquide et une meilleure dégradabilité des effluents dans l'installation de traitement biologique. En outre, cette méthode permet de réaliser des économies d'énergie. La demande de vapeur de l'installation de blanchiment peut être ramenée de 0,5-1 à 0-0,2 tonne de vapeur par tonne de pâte. Quant à la demande d'énergie, elle peut être réduite de 20-30 %.

Enfin, il n'existe aucun risque lié au stockage du chlore et à la préparation du bioxyde de chlore.

### **Interactions entre les milieux**

Les nombreux résultats positifs sont décrits dans le paragraphe ci-dessus (Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement). Comme inconvénients, on peut mentionner les aspects suivants : rejets d'agents complexants tel que l'EDTA (0,2 à 1 kg/t). Mais il est possible de réduire la quantité d'EDTA en optimisant le dosage des agents complexants. Nous avons eu connaissance de cas dans lesquels l'aptitude à la sédimentation de la boue biologique s'est dégradée dans une certaine mesure. Cet effet ne se manifeste pas dans d'autres usines. Compte tenu des risques possibles inhérents au peroxyde, ce produit doit être manipulé avec précaution.

### **Expériences opérationnelles**

Aujourd'hui, on dispose d'une expérience suffisante concernant toutes les qualités de pâte au bisulfite blanchie selon le procédé TCF. Aucun problème opérationnel n'est mentionné

### **Aspects économiques**

L'investissement à prévoir pour passer au blanchiment TCF et moderniser l'installation de blanchiment existante s'élève à environ 20 à 50 MEuros pour une usine de pâte au bisulfite d'une capacité de production de 700 ADt par jour. Ces chiffres dépendent dans une certaine mesure des qualités de pâte

que l'on souhaite obtenir. En revanche, la conversion au procédé TCF se traduit par des économies au niveau des dépenses de fonctionnement (produits chimiques, énergie), qui sont fonction du prix des produits chimiques et de l'énergie dans le pays en question.

#### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Exigences relatives à la protection de l'environnement (réduction des rejets de matières organiques chlorées et autres substances toxiques) et à la sécurité sur le lieu de travail. La baisse des dépenses de fonctionnement pour le blanchiment et les demandes des clients soucieux de préserver l'environnement ont été d'autres motivations importantes.

#### **Installations de référence**

La plupart des installations de pâte au bisulfite en Europe.

### **3.3.4 Mise en circuit partiellement fermé de l'installation de blanchiment**

Pas d'autres informations communiquées en plus de celles données dans la section 3.1.4

### **3.3.5 Prétraitement de l'effluent liquide provenant des phases oxygène dans une installation d'ultrafiltration suivi par un traitement aérobique de la totalité de l'effluent**

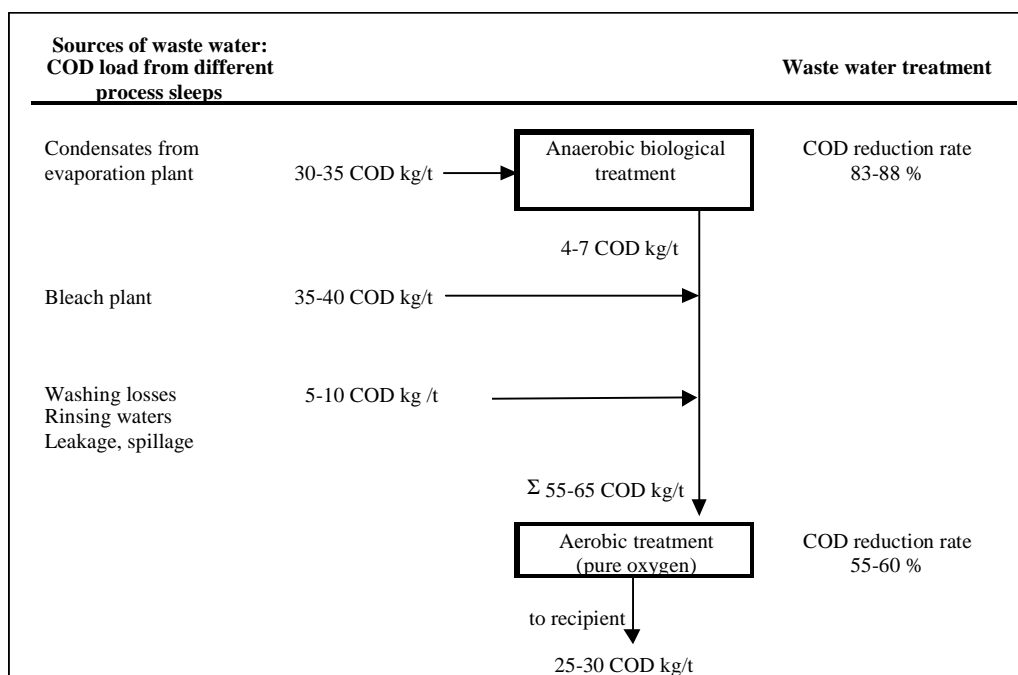
#### **Description de la technique**

Les effluents liquides provenant des phases oxygène peuvent être traités dans une installation d'ultrafiltration. Cette technique n'est appliquée que par une seule usine de pâte au bisulfite en Europe (SE). Dans cette usine, le concentrat séparé est brûlé et le permeat est acheminé jusqu'à la station de traitement biologique. On ne dispose pas encore de suffisamment d'informations détaillées sur l'expérience opérationnelle, les paramètres de conception, la maintenance, la disponibilité et l'utilisation du concentrat pour pouvoir tirer des conclusions sur les MTD pour cette technique.

### **3.3.6 Prétraitement anaérobique du condensat suivi par un traitement aérobique de la totalité de l'effluent**

#### **Description de la technique**

Les condensats provenant de l'évaporation de la liqueur faible des usines de pâte au bisulfite contiennent des concentrations relativement élevées de substances organiques facilement biodégradables. Ils peuvent être traités efficacement dans le cadre d'un traitement anaérobique distinct. Les effluents provenant de l'installation de blanchiment (filtrats), d'autres circuits d'eaux industrielles de l'usine telles que les pertes de lavage, les eaux de rinçage, les fuites et les liquides répandus, peuvent être traités ensemble dans un circuit aérobique à boues activées comme cela est illustré dans la figure 3.5.



**Figure 3.5 – Effluent d’usine de pâte au bisulfite. Charge en DCO avant et après traitement (usine allemande de pâte au bisulfite).**

Tous les effluents contenant des matières en suspension sont d'abord envoyés vers des bassins de pré-sédimentation pour une épuration mécanique puis vers l'installation de boues activées. Cette dernière peut également recevoir différentes eaux de lixiviation (le cas échéant), eaux pluviales et eaux de refroidissement. Les boues provenant du bassin de pré-sédimentation et les boues biologiques en excès de l'installation de boues activées sont épaissies dans des épaississeurs distincts. L'égouttage peut se faire au moyen de presses à vis associées à un pré-concentrateur. Les boues sont souvent mélangées avec de l'écorce et brûlée dans la chaudière à écorce.

#### Applicabilité et caractérisation de la mesure

Ce pré-traitement peut être installé aussi bien dans les usines existantes que nouvelles.

#### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Les condensats provenant de l'évaporation de la liqueur faible des usines de pâte au bisulfite contiennent des concentrations relativement élevées de substances organiques facilement biodégradables. Ils peuvent être traités efficacement dans le cadre d'un traitement anaérobie distinct. La DCO est éliminée avec une efficacité d'environ 85 %. Le rendement du traitement aérobie du reste des effluents liquides de l'usine atteint une réduction de la DCO d'environ 55 à 60 %. En fonction des mesures intégrées dans le processus avant le traitement des effluents et de la conception spécifique des phases de délignification et de blanchiment, on peut atteindre des charges finales dans l'effluent de 25 à 30 kg DCO/t.

#### Interactions entre les milieux

Le traitement anaérobie produit de l'énergie avec le biogaz, lequel peut être utilisé comme combustible. Il y a une moindre production de boues en excès. Le traitement biologique aérobie en tant que seconde étape consomme de l'énergie pour les pompes et l'aération. La boue en excès doit

faire l'objet d'une déshydratation et d'un traitement ultérieur, par exemple par incinération dans des chaudières à écorce appropriées ou des incinérateurs à lit fluidisé.

#### **Expériences opérationnelles**

Cette technique est en service dans quelques usines.

#### **Aspects économiques**

Pas de données disponibles.

#### **Installations de référence**

Plusieurs usines en Allemagne et en Autriche ont appliqué cette technique.

#### **Bibliographie**

Indisponible

### **3.3.7 Traitement biologique**

#### **Description de la technique**

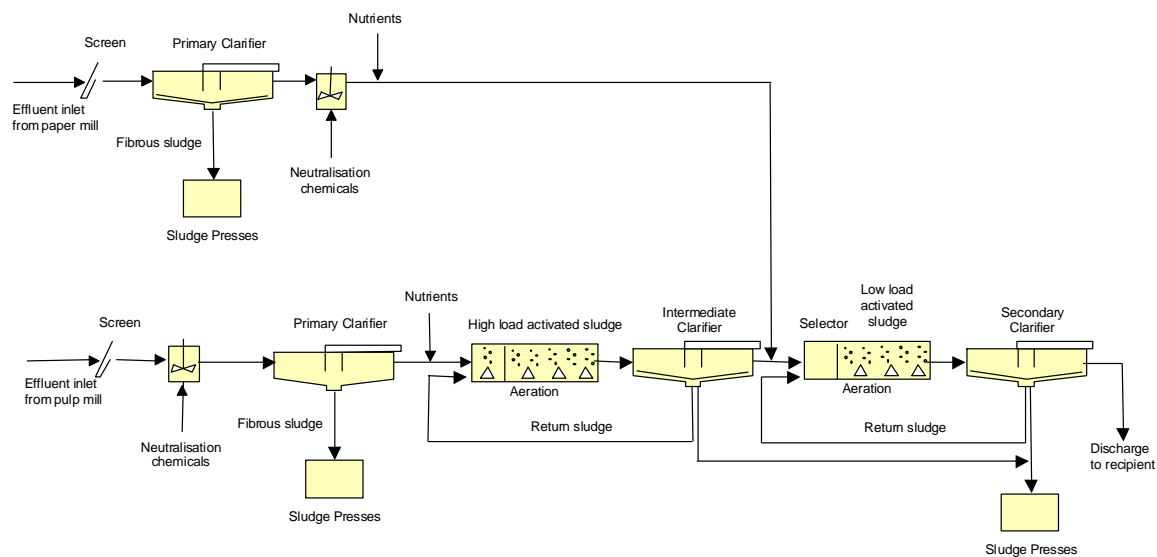
Le traitement biologique exploite le processus biologique naturel dans lequel les micro-organismes utilisent les matières organiques dissoutes dans l'eau comme source d'énergie.

Les micro-organismes ont besoin d'azote et de phosphore pour croître correctement. Dans les effluents des usines de pâte à papier et de papier, la quantité de substances nutritives est faible par rapport à celle de substances organiques. Il faut donc souvent ajouter du phosphore et de l'azote aux effluents liquides pour obtenir un traitement efficace. Mais il est recommandé de déterminer si l'apport initial de matières nutritives de l'effluent est suffisant ou non. Quelquefois, les eaux industrielles des usines de pâte au bisulfite blanchie contiennent suffisamment de phosphore et, dans les usines intégrées fabriquant de la pâte et du papier, il suffit quelquefois de n'ajouter que très peu d'azote. Il convient donc d'éviter un surdosage des substances nutritives en surveillant leur concentration dans le liquide qui sort.

La température des effluents liquides a une incidence sur le bon fonctionnement du traitement biologique. Elle ne doit pas dépasser 30 à 35 °C dans les processus aérobies, et un refroidissement peut s'avérer nécessaire. La température de l'effluent des usines de pâte au bisulfite est normalement comprise entre 29 et 35 °C.

La lignine qui est dissoute pendant la réduction en pâte et qui est dans une certaine mesure présente dans l'effluent ne subit qu'une dégradation partielle lors du traitement biologique. Les fractions de lignine résiduelles donnent à l'eau traitée une couleur marron.

La figure 3.6 illustre par un schéma simplifié les opérations du traitement par boues activées.



**Figure 3.6 - Schéma du processus dans une installation de traitement des effluents pour une usine de pâte au bisulfite. Exemple d'une usine autrichienne (Neusiedler AG, Autriche).**

### Applicabilité et caractérisation de la mesure

Technique externe. Ce procédé est applicable aussi bien aux usines existantes que nouvelles.

### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

L'efficacité du traitement varie en fonction du type d'effluents traités. Le tableau 3.13 donne les concentrés en DCO, DBO et MES obtenus en sortie de la station de traitement des effluents. Les valeurs sont calculées à partir d'échantillonnages quotidiens moyens des DCO, DBO et total de solides en suspension. En 1998, la production annuelle de l'usine intégrée a été d'environ 45 000 tonnes de pâte et environ 80 000 tonnes de papier fin. La charge DCO de la papeterie représente environ 10 % de la charge totale DCO des effluents à traiter.

Jours en août 1998	Charge DCO de l'effluent usine de pâte à papier [kg/j]	Charge DCO de l'effluent papeterie [kg/j]	Concentration moyenne quotidienne mesurée après le traitement biologique		
			DCO [mg/l]	DBO <sub>5</sub> [mg/l]	MES [mg/l]
1	16922	1601	520	21	32
2	16785	1614	521	19	32
3	15809	1685	524	22	32
4	15984	2149	465	21	26
5	13042	2478	524	25	24
6	13380	1291	507	25	20
7	15978	856	483	19	18
8	13966	449	428	23	20
9	12740	1515	389	17	36
10	13017	1069	410	24	22
11	10888	1769	395	22	18
12	14574	1809	364	19	18
13	13230	2039	412	21	18
14	13754	1485	409	16	24
15	14345	2307	408	25	24
16	14547	2126	466	22	32
17	13862	1505	501	17	44
18	15612	1307	537	17	48
19	11278	2723	499	24	48
20	14695	2079	433	23	52
21	14713	1833	400	19	38
22	13294	2231	411	22	26
23	13525	1549	474	25	30
24	15590	1498	483	23	20
25	13908	881	534	18	24
26	12928	1738	493	17	20
27	13724	1767	424	25	32
28	16763	2034	510	19	20
29	15673	1403	476	19	22
30	16385	923	458	24	24
31	16230	2102	527	16	18
Valeur moyenne	<b>14424</b>	<b>1671</b>	<b>465</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
Maximum	<b>16922</b>	<b>2723</b>	<b>537</b>	<b>25</b>	<b>52</b>
Minimum	<b>10888</b>	<b>449</b>	<b>364</b>	<b>16</b>	<b>18</b>
Notes explicatives :					
1) Le débit de l'effluent du département papier est d'environ 15 m <sup>3</sup> par tonne					
2) Le débit de l'effluent du département pâte à papier est d'environ 55 m <sup>3</sup> par tonne					
3) Le phosphore total n'est mesuré qu'une fois par semaine, et il est normalement inférieur à 1 mg/l avec quelques valeurs de pointe pouvant atteindre 2 mg/l					
4) L'azote inorganique est généralement inférieur à 7 mg/l					

**Tableau 3.13 - Rejet dans l'eau provenant d'une usine intégrée de pâte au bisulfite après traitement biologique - [Données recueillies lors d'une visite d'usine en 1998].**

### Interactions entre les milieux

Le traitement biologique aérobie consomme de l'énergie. L'énergie électrique consommée dans le traitement aux boues activées est de l'ordre de 1,2 à 2 kWh/kg de DBO réduite (aération et pompage). La production de boues dans ce traitement est de l'ordre de 0,4 à 0,7 kg de MS/kg de DBO éliminée [Rapport finlandais sur les MTD, 1997].

Les boues primaires de l'installation décrite ci-dessus à titre d'exemple sont incinérées comme matière première de substitution dans les briqueteries. Les boues biologiques en excès sont déshydratées, lavées avec le condensat de l'évaporateur, déshydratées de nouveau et finalement incinérées dans la chaudière de récupération en même temps que la liqueur concentrée. On a opté pour cette méthode parce que l'usine ne possède pas de chaudière à écorce. Les copeaux de bois sont fournis par des scieries proches. D'autres usines de pâte au bisulfite incinèrent habituellement les boues dans la chaudière à écorce.



### **Expériences opérationnelles**

Le traitement biologique aérobie tel que le traitement à boues activées des effluents d'usines de pâte au bisulfite est utilisé avec de bons résultats depuis plus de 10 ans.

Le principe de ce traitement est illustré dans la figure 3.6. Si l'on observe des pics de concentrations de DCO ou des fluctuations inhabituelles de la température et de la charge hydraulique dans l'effluent, l'effluent concerné est dévié vers un bassin tampon où il est provisoirement stocké. Il s'ensuit des variations relativement faibles des émissions et une bonne performance régulière de l'installation de traitement.

### **Aspects économiques**

Le montant total des investissements pour l'ensemble du circuit de traitement de l'effluent, y compris la déshydratation des boues selon la description ci-dessus, se chiffre, d'après les indications, à environ 20 MEuros ( pour une production annuelle de 45 000 tonnes de pâte et environ 80 000 tonnes de papier fin). Ce coût implique un dimensionnement basé sur la charge maximale. Cela a pour résultat un coût plus élevé mais aussi une plus grande sécurité de fonctionnement.

### **Installations modèles**

Neusiedler AG, Autriche; les quatre usines de pâte au bisulfite en Allemagne ont mis en œuvre un traitement à boues activées. Mais le condensat de l'évaporation subit un prétraitement dans des réacteurs anaérobies suivi par un traitement aérobie conformément à la description ci-dessus. Il existe encore un certain nombre d'autres usines modèles en Europe qui ont recours au traitement à boues activées.

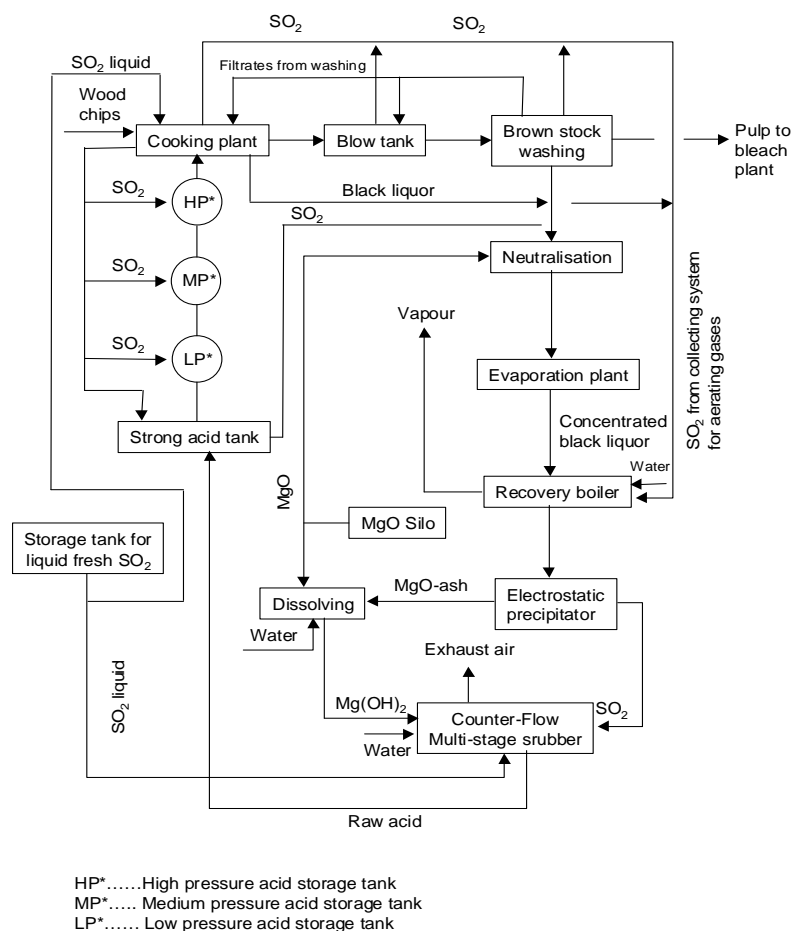
### **Bibliographie/Références**

[Entretiens personnels avec des exploitants en Allemagne et en Autriche]

## **3.3.8 Installation d'électrofiltres et de laveurs de gaz à cascade sur la chaudière de récupération - récupération de produits chimiques et réduction des émissions dans l'atmosphère**

### **Description de la technique**

A côté de la chaudière de récupération, source importante d'émissions de SO<sub>2</sub> et de poussières, il existe d'autres sources de rejets potentiels de SO<sub>2</sub> qui sont le lessiveur et le "blow tank" (voir figure 3.7). Les liqueurs contiennent entre 30 et 70 % du dioxyde de soufre chargé dans le lessiveur et sont généralement récupérées dans des capacités à différents niveaux de pression pour des raisons à la fois économiques et écologiques. Les rejets de SO<sub>2</sub> des opérations de lavage et d'épuration et des événements des évaporateurs peuvent être récupérés en recueillant les gaz et en les introduisant dans la chaudière de récupération en tant qu'air comburant.



**Figure 3.7 - Circuit du  $\text{SO}_2$  dans une usine de pâte au bisulfite**

Les émissions finales de dioxyde de soufre sont étroitement liées au système de récupération de la liqueur de cuisson. Les gaz de l'incinération de la liqueur noire concentrée transportent une quantité considérable de  $\text{SO}_2$  gazeux qui varie quelque peu avec la sulfidité de la liqueur provenant du procédé au sulfite utilisé. Pour contrôler ces émissions, on peut chercher à optimiser la conception et le fonctionnement des dispositifs auxiliaires de limitation des émissions (scrubbers en cascade).

Le processus de récupération du bisulfite de magnésium exige la maîtrise des conditions d'oxydation pour minimiser la formation de  $\text{MgSO}_4$  et de  $\text{SO}_3$  et des températures comprises entre 1 250 et 1 400 °C pour produire des cendres propres aptes à réagir au maximum au contact de l'eau. Les produits chimiques utilisés dans l'installation de cuisson sont sous forme de cendres légères de MgO et le soufre sous forme de  $\text{SO}_2$ . Ces deux produits chimiques donnent une liqueur de cuisson fraîche lorsqu'ils sont amenés ensemble dans un laveur à contre-courant.

Les opérations visant à régénérer la liqueur de cuisson consistent en un lavage et une extinction dans l'eau de MgO pour former du  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Le  $\text{SO}_2$  est épuré avec cette solution alcaline à contre-courant et restitue la solution riche en  $\text{SO}_2$  servant à préparer la liqueur (voir figure 3.7).

### Applicabilité et caractérisation de la mesure

On peut considérer que les mesures visant à limiter les émissions de SO<sub>2</sub> sont des techniques intégrées dans le processus, puisque les liquides utilisés dans l'épurateur et le SO<sub>2</sub> entraîné au lavage sont réutilisés dans le processus. Cette technique peut être mise en œuvre dans les usines aussi bien nouvelles qu'existantes. Les facteurs qui influent sur une éventuelle nouvelle réduction des émissions de soufre sont le type de procédé - type de base de cuisson et pH de la liqueur de cuisson - et dans une certaine mesure la taille de l'usine. Étant donné la plus grande souplesse du procédé au bisulfite, il est plus difficile pour les usines qui utilisent ce procédé que pour celles qui fabriquent de la pâte kraft de décrire ce que l'on peut considérer comme des niveaux possibles d'émission associés aux MTD sur le plan sectoriel. Suivent deux exemples des résultats de systèmes de limitation des émissions de SO<sub>2</sub>, obtenus dans une petite (35 000 t/an) et une grande usine (300 000 t/an).

### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Toutes les usines de pâte au bisulfite procédant à la récupération des produits chimiques de la liqueur de cuisson utilisent divers types de laveurs pour récupérer le SO<sub>2</sub>.

Une petite usine (Neusiedler AG) qui fabrique de la pâte au sulfite blanchie à partir de bois résineux (87 % ISO) exploite un système d'électrofiltres et un lavage à contre-courant à trois effets. Cette usine a indiqué les valeurs suivantes mesurées en 1998 :

	NO <sub>x</sub> <sup>4</sup>	SO <sub>2</sub>	CO	Poussières	O <sub>2</sub> en excès	Liqueur noire	Production	Débit du gaz <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>4</sup>	SO <sub>2</sub>	CO	Poussières
Unités	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	%	t/d	t/d	Nm <sup>3</sup> /t	kg/t	kg/t	g/t	kg/t
Valeur limite <sup>1</sup>	<b>350</b>	<b>300</b>	<b>50</b>	<b>40</b>								
Jan	243	53	1	3	5	295.4	137.2	6238	1.52	0.31	6.2	0.019
Feb	251	30	2	3	6	294.6	143.4	5932	1.49	0.16	11.8	0.018
Mar	237	70	1	3	7	288.4	136.2	6152	1.46	0.40	6.1	0.018
April	223	49	1	3	8	254.5	116.3	6543	1.46	0.29	6.5	0.020
May	252	21	5	3	9	296.8	136.5	6263	1.58	0.13	31.3	0.020
June	250	35	3	3	10	301.3	141.5	6140	1.54	0.20	18.4	0.018
July	243	37	2	3	5	300.9	137.9	6280	1.53	0.22	12.5	0.019
Aug	244	49	3	3	6	300.9	130.9	6684	1.63	0.31	20	0.020
Valeur moyenne	<b>243</b>	<b>43</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>291.6</b>	<b>135</b>	<b>6279</b>	<b>1.53</b>	<b>0.25</b>	<b>14.1</b>	<b>0.019</b>
Notes :												
1 Les seuils (valeurs limites) d'émissions et les valeurs mesurées s'appliquent à des moyennes quotidiennes et à des conditions standard (0 °C, 1 013 mbars; teneur en oxygène (5 %) après déduction de la teneur en vapeur d'eau (gaz sec). Conformément à la Loi autrichienne sur la protection de l'atmosphère, 95 % de toutes les moyennes quotidiennes ne devraient pas dépasser la concentration massique fixée.												
2 La teneur en solides secs de la liqueur noire concentrée après évaporation est de 56 à 58 % DS. Sa teneur en énergie est d'environ 7,8 GJ/t. En moyenne, on brûle 2,16 t de liqueur noire par tonne de pâte à papier produite.												
3 Une quantité minimale de gaz brut (36,2 MJ/Nm <sup>3</sup> ) est ajoutée à la flamme pour soutenir l'incinération et pour des raisons de sécurité. La quantité de gaz brut varie entre 4 758 Nm <sup>3</sup> /jour et 6 742 Nm <sup>3</sup> /jour, ce qui correspond à environ 39 Nm <sup>3</sup> /t ou 1,4 GJ/t de pâte à papier. La part de l'émission provenant de l'incinération du gaz brut dans les émissions totales est négligeable.												
Habituellement, la concentration de NO <sub>x</sub> se situerait aux alentours de 350 mg/Nm <sup>3</sup> . L'injection d'ammoniac permet d'abaisser la concentration moyenne à environ 250 mg/Nm <sup>3</sup> .												

**Tableau 3.14 - Emissions dans l'atmosphère provenant de la chaudière de récupération d'une petite usine autrichienne produisant 35 000 t/an de pâte au bisulfite. [Toutes les données sont issues d'une visite sur place en octobre 1998]**

Les variations en NO<sub>x</sub> sont très faibles et l'on n'observe que de légères fluctuations autour de 250 mg/Nm<sup>3</sup>. Les émissions de poussières ne sont pas surveillées en permanence étant donné qu'elles sont presque entièrement récupérées par l'électrofiltre et les laveurs (scrubbers). Les émissions de SO<sub>2</sub> sont d'habitude nettement inférieures à 250 mg/Nm<sup>3</sup> mais il y a quelques pointes atteignant 450 à 600 mg/Nm<sup>3</sup>. Ces pointes sont essentiellement imputables au fonctionnement à l'acide utilisé pour nettoyer le circuit (2 à 3 fois par mois). Pendant cette période, il n'y a que deux épurateurs en service.

Une grande usine suédoise utilisant le procédé au magnésium (Nymölla) avec une capacité annuelle de production de pâte de 300 000 t mentionne des émissions de SO<sub>2</sub> du processus situées dans une fourchette de 1,0 à 1,5 kg S/ADt. Dans le système de récupération, l'absorption du SO<sub>2</sub> des gaz de fumées provenant de la chaudière de récupération se fait dans cinq laveurs venturi. Elle a mis en place un circuit pour recueillir les différents gaz des événements. Ces gaz provenant des unités de cuisson, de lavage et d'évaporation sont recueillis et envoyés dans la chaudière de récupération comme air comburant.

#### **Surveillance des émissions**

Systèmes d'analyse automatique du SO<sub>2</sub> et du NO<sub>x</sub>.

#### **Interactions entre les milieux**

Aucune interaction négative entre les milieux n'est attendue.

#### **Expériences opérationnelles**

Des variantes des systèmes décrits de limitation du SO<sub>2</sub> sont appliquées dans toutes les usines de pâte au sulfite utilisant le procédé au magnésium. Néanmoins, les usines européennes font état d'une efficacité variable des méthodes d'élimination du SO<sub>2</sub>.

#### **Aspects économiques**

Pas de données disponibles.

#### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La récupération du SO<sub>2</sub> de l'incinération de la liqueur est inhérente à la préparation de la liqueur de cuisson et préconisée pour des raisons tant économiques qu'écologiques. Cela étant, on met habituellement en œuvre des systèmes plus performants pour réduire davantage le potentiel d'acidification du SO<sub>2</sub>. Ces systèmes plus performants sont caractérisés par une phase d'épuration additionnelle pour absorber le SO<sub>2</sub> et des systèmes de collecte des gaz évacués par les unités de cuisson, de lavage et d'évaporation.

#### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe utilisent des systèmes similaires.

#### **Bibliographie**

[Rapport SEPA 4008, 1992], [Données recueillies lors d'une visite sur le site, 1998]

### **3.3.9 Réduction des gaz malodorants**

Pas d'autres informations communiquées que celles données dans la section 3.2.2.4

### **3.3.10 Optimisation des émissions de la chaudière de récupération par le contrôle des conditions de combustion**

Pas suffisamment d'informations reçues.

### 3.3.11 Mesures visant à prévenir un dysfonctionnement et à réduire les conséquences d'accidents

A titre d'exemple sur la façon de prévenir les dysfonctionnements dans les usines de pâte au bisulfite, on décrit ci-après les mesures de sécurité pour l'approvisionnement en SO<sub>2</sub> et son stockage

#### Description de la technique

Afin de compenser les pertes, on a besoin de dioxyde de soufre "d'appoint" dans le circuit des produits chimiques d'une usine de pâte au bisulfite. Il suffit en général pour cela d'apporter du SO<sub>2</sub> liquide. En principe, il est stocké dans des réservoirs adéquats. L'ensemble de l'installation destinée au remplissage, au stockage et, le cas échéant, à la liquéfaction du dioxyde de soufre, y compris les tuyauteries pour le SO<sub>2</sub> liquide, est équipé d'un système d'analyse de sécurité qui est régulièrement mis à jour, ainsi qu'à chaque modification. Pour les autres secteurs utilisant du SO<sub>2</sub>, il existe un système d'enquête sur la sécurité (par exemple installations pour le traitement des gaz malodorants, lessiveurs, stockage et installation de désulfuration des gaz de combustion). Les risques éventuels inhérents au transport du SO<sub>2</sub> liquide par voie ferrée aussi sont vérifiés dans le cadre d'un contrôle de sécurité. Une notice d'information informe le public sur les dangers du dioxyde de soufre et la conduite à adopter en cas de déroulement non contrôlé du fonctionnement normal.

Le matériel technique suivant fait partie de l'installation destinée à l'approvisionnement en SO<sub>2</sub> et à son stockage :

- canalisations à double paroi
- alimentation électrique sécurisée
- traitement, sans danger pour l'environnement, du SO<sub>2</sub> en cas de défaillance du fonctionnement normal (aspiration et traitement ou stockage de réserve)

A côté de l'équipement technique, les mesures suivantes sont mises en œuvre sur le plan de l'organisation :

- vérification et maintenance à intervalles réguliers
- plan d'alarme, y compris les mesures pertinentes à prendre en cas de dysfonctionnement non contrôlé
- personnel qualifié chargé des accidents graves
- formation des employés
- information du public

#### Applicabilité et caractérisation de la mesure

S'applique aux usines aussi bien existantes que nouvelles.

#### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Ces mesures ne vont pas se traduire par une réduction immédiate des émissions. Mais elles diminuent considérablement le risque d'un accident grave ainsi que les incidences du fonctionnement de l'installation.

#### Surveillance des émissions

Dispositifs d'analyse automatique du SO<sub>2</sub>.

#### Interactions entre les milieux

On n'attend pas d'interactions entre les milieux.

### **Expériences opérationnelles**

Le système de sécurité décrit pour l'approvisionnement en SO<sub>2</sub> et son stockage est en service par exemple à Sappi, Papier fin Europe, usine d'Ahlfeld (Allemagne) avec de bons résultats.

### **Aspects économiques**

Aucune donnée disponible.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

L'intention logique d'exploiter l'usine de pâte à papier en réduisant les risques pour l'environnement et le voisinage.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe utilisent des systèmes de sécurité similaires.

### **Bibliographie**

Indisponible

## **3.4 Meilleures Techniques Disponibles**

### **3.4.1 Introduction**

Pour comprendre le présent chapitre et son contenu, il est demandé au lecteur de se reporter à la préface du présent document et en particulier à sa cinquième section : "Comment comprendre et utiliser le présent document". Les techniques et les niveaux d'émission et/ou de consommation associés, ou fourchettes de niveaux, présentés dans le présent chapitre ont été évalués selon une méthode itérative comprenant les étapes suivantes :

- identification des problèmes environnementaux cruciaux pour le secteur; pour les usines intégrées de pâte au bisulfite et de papier, les principales préoccupations concernent la consommation d'eau, le rejet des effluents liquides (DCO, DBO, MES, N, P), la consommation d'énergie (vapeur et électricité), les déchets solides tels que les déchets, les boues et les cendres, les émissions dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, poussières), le bruit, la pollution thermique et les odeurs; ces trois derniers points ayant un impact local;
- étude des techniques les mieux appropriées pour résoudre ces problèmes clés;
- identification des meilleurs niveaux de performance en ce qui concerne l'environnement, sur la base des données disponibles en Europe et dans le monde entier.
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance ont été atteints, tels que coûts, interactions entre les milieux (impacts intermilieux), facteurs ayant motivé la mise en œuvre de ces techniques;
- sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommations associés pour le secteur en question, le tout en conformité avec l'article 2 (11) et l'annexe IV de la Directive.

Le Bureau PRIP (IPPC) européen et le Groupe de Travail Technique compétent (TWG) ont joué un rôle-clé dans chacune de ces étapes et dans la façon dont ces informations sont présentées ici.

Sur la base de cette évaluation, le présent chapitre présente les techniques, et dans la mesure du possible également les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD, que l'on juge pertinentes pour le secteur dans son ensemble et qui, dans de nombreux cas,

reflètent les résultats effectivement atteints par certaines installations dans ledit secteur. Lorsqu'on présente des niveaux d'émissions ou de consommations "associés aux meilleures techniques disponibles", il faut comprendre qu'il s'agit de niveaux représentant le résultat en ce qui concerne l'environnement qu'il est possible d'envisager lorsqu'on applique, dans ce secteur, les techniques décrites, en tenant compte de l'équilibre entre les coûts et les avantages inhérents à la définition de la MTD. Cependant, ils ne constituent en aucun cas des valeurs limites d'émissions ou de consommations et ne doivent pas être entendus en tant que tel. Dans certains cas, il se peut que l'on puisse techniquement atteindre de meilleurs niveaux d'émissions ou de consommations, mais que, compte tenu des investissements qu'ils impliquent ou de considérations liées aux interactions entre les milieux, ils ne soient pas jugés appropriés comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Toutefois, il se peut que de tels niveaux soient considérés comme justifiés dans des cas plus spécifiques avec des motivations spéciales.

Les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD doivent être considérés dans le contexte des éventuelles conditions de référence précisées (par exemple périodes servant de base à l'établissement d'une moyenne).

Il faut faire une distinction entre la notion de "niveaux associés aux MTD" décrite ci-dessus et le terme de "résultat possible" utilisé dans le présent document. Lorsqu'on parle de niveau "possible" en utilisant une technique donnée ou une combinaison de techniques, il s'agit du niveau que l'on peut envisager d'atteindre pendant un laps de temps suffisamment long dans une installation avec une bonne maintenance et une bonne maîtrise opérationnelle.

Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives aux coûts sont communiquées avec la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. Cela permet de se faire une idée approximative de l'ordre de grandeur des investissements requis. Cela étant, le coût effectif de la mise en application d'une technique dépend en grande mesure de la situation du cas d'espèce concernant par exemple les taxes, droits, et les caractéristiques techniques de l'installation concernée. Il n'est pas possible, dans le présent document, de procéder à une évaluation exhaustive de tels facteurs spécifiques au site. En l'absence de données concernant les coûts, les conclusions relatives à la viabilité économique des techniques sont basées sur des observations portant sur des installations existantes.

L'objectif recherché est que les MTD générales présentées dans le présent chapitre servent de référence sur laquelle s'appuyer pour apprécier les résultats réels d'une installation existante ou pour évaluer une proposition relative à une nouvelle installation. De cette façon, elles contribueront à faciliter la détermination de conditions adéquates "basées sur les MTD" pour l'installation ou l'élaboration des prescriptions réglementaires en conformité avec l'article 9 (8). Il est possible que des installations nouvelles puissent être conçues pour fonctionner en atteignant voire en dépassant les niveaux des MTD générales présentées ici. On peut également envisager que des installations existantes tendent vers les niveaux des MTD générales voire aillent au-delà, sous réserve de l'applicabilité technique et économique des techniques dans chaque cas spécifique.

Si les BREF n'ont pas de caractère juridique et réglementaire, ils entendent fournir des éléments d'orientation à l'industrie, aux États membres et au public sur les niveaux d'émissions et de consommations qu'il est possible d'atteindre lorsqu'on utilise certaines techniques spécifiques. Les valeurs limites d'émission devront être déterminées pour chaque cas, en tenant compte des objectifs de la directive IPPC et des considérations locales.

La fabrication de la pâte au sulfite n'est pas un processus unique mais une série de processus unitaires, souvent liés entre eux et interdépendants. Par conséquent, une MTD pour une usine de pâte au bisulfite et de papier est toujours constituée par une combinaison appropriée de techniques. L'ordre de priorité et la sélection des techniques ou combinaisons de techniques dépendent des conditions locales.

Sauf indication contraire, les meilleures techniques disponibles indiquées ci-dessous sont applicables à des installations nouvelles ou existantes. Dans les usines de pâte et de papier, l'applicabilité n'est pas

subordonnée au fait qu'il s'agit d'une installation nouvelle ou ancienne. En effet, ces usines sont caractérisées par le fait qu'elles sont modernisées par étapes plutôt qu'intégralement. Cette adaptation et cet aménagement modulaires des installations signifient que chaque site est unique eu égard à sa situation et à son histoire. En revanche, il existe une série de processus unitaires que l'on retrouve dans tous les pays.

### **3.4.2 MTD pour les usines de pâte au bisulfite et de papier**

On trouvera ci-dessous les techniques ou combinaisons de techniques qui sont considérées comme des MTD pour les usines intégrées ou non intégrées de pâte à papier selon le procédé au bisulfite. La liste suivante des MTD n'est pas considérée comme exhaustive et n'importe quelle autre technique ou combinaison de techniques permettant d'aboutir au même résultat (voire à un résultat meilleur) peut également être envisagée; il peut s'agir en l'occurrence de techniques en cours de développement ou d'une technique émergente ou déjà disponible mais qui n'est pas décrite dans le présent document. Pour les usines intégrées de pâte au bisulfite et de papier, il est fait référence à la section 6.4, qui donne des détails complémentaires sur les MTD pour la fabrication du papier. Sauf indication contraire, les données sont des valeurs annuelles moyennes.

#### **Mesures générales**

1. Formation, éducation et motivation du personnel et des opérateurs. La formation du personnel peut s'avérer une mesure très efficace par rapport à son coût pour réduire les rejets de substances dangereuses.
2. Optimisation de la gestion du processus. Pour pouvoir réduire plusieurs polluants simultanément et maintenir les émissions à un niveau faible, il est nécessaire d'améliorer la maîtrise opérationnelle.
3. Pour conserver le rendement des unités techniques des usines de pâte à papier et maintenir les techniques associées de limitation à un niveau élevé, il convient d'assurer une maintenance adéquate.
4. Un système de gestion de l'environnement définissant clairement au sein de l'usine les responsabilités pour les aspects touchant à l'environnement. Il suscite la prise de conscience et englobe des objectifs et des mesures, des procédures et instructions de travail, des enregistrements, et autre documentation pertinente.

#### **Mesures pour réduire les émissions dans l'eau**

1. Écorçage à sec
2. Délignification étendue dans la partie en circuit fermé du processus. On obtient ce résultat en combinant cuisson étendue et délignification à l'oxygène. Il ne faut pas oublier qu'il existe une différence entre les procédés au bisulfite de magnésium et au magnéfite en ce qui concerne l'indice kappa qu'il est possible d'atteindre après la cuisson étendue.
3. Lavage haute efficacité et épuration en circuit fermé de la pâte écrue. On peut atteindre un taux de transfert  $< 5$  kg DCO/t de la pâte lavée vers l'installation de blanchiment.
4. Surveillance efficace, rétention et système de récupération des fuites.
5. Mise partielle en circuit fermé de l'installation de blanchiment lorsqu'on utilise des méthodes de cuisson à base de magnésium. Jusqu'à présent, cette technique entraîne une légère perte au niveau du degré de blanc et elle n'est donc pas généralement considérée comme MTD. Pour les produits où le degré de blanc tient une place capitale comme le papier fin, cette technique n'est pas considérée comme MTD.
6. Mise en circuit fermé de l'installation de blanchiment avec un procédé de cuisson à base de sodium.
7. Blanchiment TCF.



Pour le blanchiment de la pâte au sulfite, on peut éviter l'emploi de produits chimiques contenant du chlore. La mise en application d'un blanchiment au peroxyde se traduit par des opérations de blanchiment de courte durée et efficaces.

8. Neutralisation de la liqueur faible avant évaporation.
9. Réutilisation de la plupart des condensats dans le processus ou traitement biologique distinct.
10. Mise en place de bacs tampons d'une capacité suffisante pour stocker les liquides concentrés du processus.
11. Traitement primaire des effluents liquides.
12. Traitement biologique des effluents liquides dans un système à boues activées ou au moyen de toute autre technique permettant d'atteindre le même rendement et la même efficacité.

En plus des mesures intégrées au processus et du traitement primaire (articles 1 à 10), on considère le traitement biologique comme une MTD pour les usines de pâte au bisulfite. Les installations à boues activées comprenant un bassin de régulation, un bassin d'aération, un décanteur secondaire et un dispositif de manipulation des boues présentent d'excellents résultats en matière de traitement des effluents des usines de pâte. Les installations à boues activées avec une charge faible des boues, inférieure à 0,15 kg DBO/(kg MLSS\*j), et des temps de séjour types dans le bassin d'aération d'environ un jour sont considérées comme des MTD. Elles peuvent atteindre une efficacité d'élimination élevée et garantir un circuit de traitement stable. Il faut noter que n'importe quel autre traitement avec des niveaux d'émissions et des coûts comparables peut aussi être considéré comme MTD.

Lorsqu'on met en œuvre des combinaisons convenables de MTD, on considère que, en ce qui concerne la partie réduction en pâte, les niveaux d'émissions possibles se situent dans la même fourchette pour les usines de pâte au bisulfite intégrées et non intégrées. Pour les usines intégrées, il faut prendre en compte les mesures liées aux usines de pâte à papier (chapitre 3) et, également celles décrites dans le chapitre correspondant sur la fabrication du papier (chapitre 6).

Cependant, il existe quelques techniques à prendre en considération qui ne concernent que les usines de pâte à papier intégrées, par exemple :

- une séparation efficace entre les circuits d'eau de l'usine de pâte et de l'usine de papier
- le recyclage de l'eau de dilution de la pâte entre les usines de pâte et de papier.

Le tableau 3.15 illustre les niveaux d'émissions atteints par certaines usines de pâte européennes qui ont mis en œuvre un train de mesures MTD intégrées dans le processus, mais pas nécessairement toutes et pas nécessairement dans toute leur ampleur, ainsi qu'un traitement biologique des effluents liquides.

Usines de pâte à papier	Niveaux d'émissions communiqués, atteints après traitement biologique (moyennes annuelles)							Type de traitement de l'effluent liquide
	DCO [kg/Adt]	DBO <sub>5</sub> [kg/Adt]	AOX [kg/Adt]	MES [kg/Adt]	Total P [kg/Adt]	Total N <sup>1)</sup> [kg/Adt]	Débit <sup>2)</sup> [m <sup>3</sup> /Adt]	
Gratkorn, AU Magnefite	39	2.6	-, (TCF)	2.8	0.028	0.018	50	Anaérobie + boues activées avec O <sub>2</sub> pur
Mill 1, DE	22	0.9	-, (TCF)	1.8	0.04	0.28	61	Anaérobie + boues activées avec O <sub>2</sub> pur
Mill 2, DE	23	0.5	-, (TCF)	n/a.	0.04	0.3	80	Anaérobie + boues activées
Mill 3, DE	36	1.55	-, (TCF)	n/a.	0.015	0.085	55	Anaérobie + boues activées (données pour 1998)
Mill 4, DE	11 <sup>3</sup>	n/a	-, (TCF)	n/a	n/a	n/a	n/a	Floculation des effluents de l'installation de blanchiment + filtre à écoulement goutte à goutte + boues activées
Neusiedler, Kematen, AU	30	1.7	-, (TCF)	1.7	0.047	0.053	48	Boues activées
<b>n/a : pas de données disponibles (le MES n'est pas un paramètre de contrôle pour les usines allemandes de pâte à papier car il fait déjà partie de la DCO non filtrée).</b> Remarques : 1. L'azote total pour les papeteries allemandes inclut seulement les composés azotés inorganiques. 2. L'eau de refroidissement et autres eaux claires sont rejetées séparément et ne sont pas incluses. 3. Valeur calculée. L'usine a une production annuelle intégrée de 26 000 t de pâte au sulfite blanchie et de 171 170 t de carton pour boîtes pliantes. Elle produit sur place de la pâte mécanique GW blanchie à l'oxygène. Selon l'expérience de l'usine, on peut supposer que l'installation de traitement des effluents liquides atteint un taux de réduction de 70 % pour les effluents de l'usine de pâte à papier.								

**Tableau 3.15 - Exemples de niveaux d'émissions obtenus après le traitement biologique dans des usines de pâte à papier existantes avec un bon niveau de performance, en Europe (année de référence : 1997).**

La liste des usines est une sélection d'installations pour lesquelles des données étaient disponibles ou communiquées, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Ces données ont été communiquées par les membres du TWG ou obtenues dans le cadre de contacts personnels. La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs.

En postulant que l'installation de traitement des effluents liquides a été correctement conçue et dimensionnée et qu'elle est conduite et contrôlée par des opérateurs qualifiés, il est généralement possible d'atteindre les rejets suivants **après** le traitement biologique.

Paramètres	Unités	Pâte au sulfite blanchie <sup>1</sup>
DCO	kg/ADt	20 – 30 <sup>2</sup>
DBO	kg/ADt	1 – 2
MES	kg/ADt	1.5 - 2.0
AOX	kg/ADt	(-)
Total P	kg/ADt	0.02 - 0.05
Total N	kg/ADt	0.15 – 0.5
Quantité d'effluents liquides du processus <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /ADt	40 - 55 <sup>4</sup>
Remarques : 1) Niveaux d'émissions pour des usines non intégrées et intégrées de pâte au bisulfite blanchie. 2) Compte tenu de l'indice kappa élevé après la cuisson dans le cas du procédé au bisulfite de magnésium, le niveau associé aux MTD est de 35 kg DCO/Adt. 3) L'eau de refroidissement et autres eaux propres sont rejetées séparément et ne sont pas comprises dans ces chiffres. 4) L'eau de process de l'usine de papier dans le cas des usines intégrées de pâte au bisulfite n'est pas incluse dans ces chiffres.		

**Tableau 3.16 - Niveaux d'émissions associés à l'utilisation d'une combinaison adaptée de meilleures techniques disponibles après le traitement biologique.**

Pour les usines de pâte au bisulfite intégrées, ces chiffres ne concernent que la pâte produite. Les émissions provenant de la fabrication du papier doivent être considérées à part (voir chapitre 6, fabrication du papier). Mais les circuits d'eau sont reliés entre eux et l'on ne peut se contenter simplement d'ajouter le débit d'eau.

Le tableau 3.16 doit être interprété dans le contexte des explications suivantes :

- **Demande Chimique d'Oxygène (DCO)** : le taux de réduction de la DCO est lié aux types et aux quantités d'effluents traités (par exemple les condensats se dégradent mieux que les fuites), aux caractéristiques hydrauliques de l'installation de traitement et au bon réglage des paramètres de fonctionnement. Pour être considérée comme performante, une installation doit assurer des taux de réduction de la DCO supérieurs à 55 % pour le traitement aérobic. Par conséquent, les usines de pâte au bisulfite blanchie peuvent généralement atteindre des niveaux d'émission de 20 à 30 kg DCO/ADt. La concentration mesurée dans les effluents de ces usines est comprise dans une fourchette de 400 à 600 mg DCO/l. Les raisons les plus courantes qui font que les installations à boues activées obtiennent de moins bons résultats sont liées à leur conception et à une charge trop élevée.
- **Demande Biologique d'Oxygène (DBO<sub>5 ou 7</sub>)** : dans les installations de traitement bien conçues, la DBO est presque entièrement éliminée (à 95 %) des effluents liquides des usines de pâte à papier quand le rapport carbone-phosphore-azote et l'apport en oxygène sont maintenus à un niveau suffisant et bien maîtrisés. En cas de perturbations ou si l'un des paramètres d'exploitation s'éloigne de la valeur cible, la concentration de DBO dans les effluents va commencer à augmenter. Il faudra alors ajuster les paramètres et/ou analyser la biomasse. La concentration de DBO dans l'effluent est liée à la maîtrise du système et peut être utilisée comme indicateur de santé de la biomasse active. Il est possible d'atteindre une concentration de DBO dans les effluents traités comprise entre 20 et 30 mg/l. Selon le débit de l'eau, cela correspond respectivement à 1,0 kg DBO<sub>5</sub>/ADt (pour 20 mg/l et un débit de 55 m<sup>3</sup>/Adt) et à 1,7 kg DBO<sub>5</sub>/ADt (pour 30 mg/l).
- **Matières en suspension (MES)** : dans des conditions de fonctionnement normales, l'eau provenant du décanteur secondaire est bien claire et la teneur en matières en suspension se situe dans une fourchette de 20 à 30 mg/l. Cela correspond à des rejets de 0,8 à 2,0 kg TSS/ADt (pour un débit d'eau de 55 m<sup>3</sup>/Adt). Ces valeurs dépendent de la charge surfacique du décanteur secondaire et des caractéristiques de la biomasse.
- **Composés Organochlorés Adsorbables (AOX)** : les usines TCF ne rejettent pratiquement aucune substance organique chlorée (pas de formation dans le blanchiment).
- **Phosphore et azote (Phosphore total et Azote total)** : on ajoute habituellement des substances nutritives minérales dans l'installation de traitement biologique pour maintenir l'équilibre C : P : N qui est d'une importance capitale pour la croissance de la biomasse active. Il est nécessaire de rechercher et de maintenir un équilibre entre les composés de N et P en entrée qui sont disponibles pour la biomasse et la quantité de substances nutritives ajoutées et dont le dosage doit être réglé avec une certaine précision. Souvent, les usines de pâte à papier n'ajoutent pas de phosphore à leurs effluents liquides alors que l'addition d'azote (habituellement sous forme d'urée) est essentielle pour ces usines. Lorsque le circuit est bien optimisé, on atteint un rejet de phosphore inférieur à 0,5 mg de P total/l et à 5 mg d'azote (N) total/l. Cela correspond respectivement à des charges de 0,02 à 0,05 kg P/Adt et de 0,15 à 0,5 kg N/Adt (pour un débit d'eau de 50 m<sup>3</sup>/Adt).

Pour garantir le bon fonctionnement continu d'une installation de traitement des effluents liquides, il peut être avantageux de prévoir un bassin de secours pour protéger la biomasse et un bassin tampon pour régulariser la charge et les débits.

### Mesures pour réduire les émissions dans l'atmosphère

1. Collecte et incinération des rejets de SO<sub>2</sub> et récupération dans des capacités à différents niveaux de pression.
2. On peut récupérer les rejets de SO<sub>2</sub> provenant des opérations de lavage et d'épuration et des événements des évaporateurs en recueillant les gaz et en les amenant dans la chaudière de récupération en tant qu'air comburant.
3. Limitation des émissions de SO<sub>2</sub> de la chaudière de récupération avec électrofiltres et scrubbers cascade, et collecte et épuration des différents événements.
4. Réduction des gaz malodorants grâce à des systèmes de collecte efficaces. Ces gaz peuvent être soit brûlés dans la chaudière de récupération, soit lavés dans un laveur distinct (circuit de réserve).
5. Chaudière de récupération optimisée au niveau des émissions grâce au contrôle des conditions de combustion.
6. Réduction des émissions de SO<sub>2</sub> des chaudières auxiliaires grâce à l'emploi d'écorce, de fioul et de charbon pauvres en soufre ou en limitant les émissions de S.
7. Mise en place de chaudières auxiliaires à faible consommation de NO<sub>x</sub> (écorce, fioul, charbon) et de contrôle des conditions de combustion.
8. Traitement des gaz de fumées des chaudières auxiliaires (servant à l'incinération d'autres biocombustibles et/ou combustibles fossiles) à l'aide de systèmes de dépoussiérage électrostatique efficaces pour atténuer les émissions de poussières.
9. Incinération optimisée au niveau des émissions des résidus (boues du traitement des effluents liquides, écorce) avec récupération de l'énergie.

Le tableau 3.17 illustre la fourchette que l'on obtient pour la principale source, la chaudière de récupération, en combinant ces techniques. Les exemples ne concernent pas tous des usines européennes de pâte au bisulfite ayant des résultats satisfaisants en matière de réduction du NO<sub>x</sub> ou de soufre, ou des deux. Mais certaines d'entre elles ont mis en œuvre une combinaison intéressante de ces techniques. Dans toutes ces usines, les émissions sont traitées par passage dans un électrofiltre et des laveurs de gaz en cascade (4 ou 6 niveaux). Les émissions inhérentes au processus englobent la chaudière de récupération et les émissions volatiles dans la mesure où elles sont recueillies et brûlées dans la chaudière de récupération.

Il convient de noter qu'il est difficile de comparer directement les niveaux d'émissions entre les pays compte tenu des incertitudes dans les bases de données (manque d'harmonisation dans les méthodes d'analyse et de calcul des émissions).

Émissions dans l'atmosphère annoncées par des usines de pâte au bisulfite (moyennes annuelles)			
Exemples d'usines de pâte au bisulfite	Émission de soufre gazeux de la chaudière de récupération (SO <sub>2</sub> ) en kg S/Adt	Émission de NO <sub>x</sub> (somme du NO et du NO <sub>2</sub> exprimée en tant que NO <sub>2</sub> ) de la chaudière de récupération en kg NO <sub>x</sub> /Adt	Observations
Mill 1, DE	0.95	2.7	Épurateur à 5 niveaux
Mill 2, DE	0.7	2.2	
Mill 3, DE	1.5	2.8	
Mill 4, DE	0.75	1.1	
Mill 5, DE	1.1	2.2	
Neusiedler, AU	0.13	1.5	Injection d'ammoniac
Hylte, SE	0.6	1.1	
Utansjö, SE	1.46	0.85	Utilise très peu de fioul dans la CR
Nymölla, SE	1	1.84	A commencé à recourir à l'injection d'urée dans l'une des deux CR (30 % de réduction)
Notes explicatives : n/a: pas de données disponibles; CR = chaudière de récupération			

**Tableau 3.17 - Exemples de niveaux d'émissions dans l'atmosphère obtenus par quelques usines européennes de pâtes à papier existantes ayant de bonnes performances (année de référence : 1997 pour les usines allemandes et 1998 pour les usines d'Autriche et de Suède).**

Les émissions totales ne comprennent pas les chaudières auxiliaires. La liste des usines est une sélection d'installations pour lesquelles des données étaient disponibles ou communiquées, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Elle comprend surtout des usines de différents pays producteurs de pâte à papier d'Europe. La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs.

Selon le type de mesures spécifiques appliquées en cours de fabrication et le caractère technique de l'usine, on peut généralement atteindre les émissions de process suivantes dans l'atmosphère, associées à l'utilisation des MTD :

Paramètres	Unités	Usines de pâte au bisulfite blanchie
Poussières	kg/ADt	0.02-0.15
SO <sub>2</sub> en tant que S	kg/ADt	0.5-1.0
NO <sub>x</sub> en tant que NO <sub>2</sub> ,	kg/ADt	1.0-2.0

**Tableau 3.18 - Niveaux d'émissions du processus de fabrication de la pâte (chaudière de récupération et émissions volatiles) associés à l'utilisation d'une combinaison adaptée des meilleures techniques disponibles (les émissions des chaudières auxiliaires ne sont pas prises en compte).**

Le tableau 3.18 doit être interprété en tenant compte des explications supplémentaires suivantes. Dans la mesure où des concentrations d'émissions sont indiquées, elles concernent des moyennes quotidiennes et des conditions standard à savoir : 273 K, 101,3 kPa et gaz sec. La teneur en oxygène de référence est de 5 % pour les chaudières de récupération.

**Émissions de poussières :** dans les fabriques de pâte au sulfite, les émissions de poussières sont contrôlées par une installation de dépoussiérage électrostatique et par des épurateurs à cascade. Les émissions de poussières pour les chaudières de récupération sont comprises entre 5 et 20 mg /Nm<sup>3</sup> soit 0,02 à 0,15 kg TSP/ADt (avec un débit de gaz de 6 000 à 7 000 m<sup>3</sup>/ADt) dans ce cas.

**Émissions de SO<sub>2</sub>** : la réduction des émissions de SO<sub>2</sub> des gaz de fumées par absorption dans un liquide alcalin est considérée comme MTD. On peut atteindre une efficacité d'élimination du SO<sub>2</sub> de 95 % et plus. Dans les chaudières de récupération équipées d'un épurateur de SO<sub>2</sub> à cascade, on peut atteindre des émissions de SO<sub>2</sub> comprises entre 50 et 150 mg S/Nm<sup>3</sup> soit 0,3 à 1,0 kg/ADt.

**Émissions de NO<sub>x</sub>** : l'émission d'oxydes d'azote peut être contrôlée par la conception du brûleur (à faible teneur en NO<sub>x</sub>) et des modifications des conditions de combustion (méthodes primaires). La conception de la chaudière de récupération (systèmes d'alimentation en air étagée) peut avoir pour résultat des concentrations relativement faibles de NO<sub>x</sub>. Les niveaux d'émissions possibles s'échelonnent de 200 à 300 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> soit 1,0 à 2,0 kg NO<sub>x</sub>/ADt respectivement. On n'applique généralement pas de méthode secondaire, telle que la réduction non catalytique sélective (SNCR).

**Gaz malodorants** : les gaz malodorants des usines de pâtes à papier sont recueillis et incinérés dans la chaudière de récupération. Un système "de secours" est considéré comme MTD.

### Chaudières auxiliaires

En fonction de l'équilibre énergétique effectif de l'usine, du type de combustibles extérieurs utilisés et du sort des biocombustibles possibles tels que l'écorce et les déchets de bois, il faut considérer en plus les émissions dans l'atmosphère provenant des chaudières auxiliaires. Les niveaux d'émissions associés aux MTD des chaudières auxiliaires qui brûlent leurs propres biocombustibles et différents combustibles fossiles sont indiqués dans le tableau 3.19. Les rejets totaux dans l'atmosphère sont très étroitement liés au site (par exemple type de combustible, usine de pâte intégrée ou de pâte marchande, production d'électricité).

Il convient de noter que, dans l'industrie papetière, les chaudières auxiliaires sont de tailles très différentes (de 10 à plus de 200 MW). Pour les plus petites, seul le recours à du combustible pauvre en S et à la technologie de la combustion peut être appliqué à des coûts acceptables, alors que pour les plus grandes, on peut aussi envisager des mesures de limitation. Cette différence est illustrée dans le tableau 3.19. Les chiffres les plus élevés sont considérés comme des MTD pour les petites installations et sont atteints lorsqu'on agit uniquement sur la qualité du combustible et en appliquant des mesures internes. Les niveaux les plus bas (entre parenthèses) sont associés à des mesures de limitation supplémentaires telles que la SNCR et les épurateurs et sont considérés comme MTD pour les installations les plus grandes.

Substances rejetées	Charbon	Fioul lourd	Gazole	Gaz	Biocombustible (par ex. écorce)
mg S/MJ de combustible consommé	100 - 200 <sup>1</sup> (50 - 100) <sup>5</sup>	100 - 200 <sup>1</sup> (50-100) <sup>5</sup>	25-50	<5	< 15
mg NO <sub>x</sub> /MJ de combustible consommé	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	45-60 <sup>2</sup>	30 -60 <sup>2</sup>	60 -100 <sup>2</sup> (40-70 SNCR) <sup>3</sup>
mg de poussière/Nm <sup>3</sup>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>	10 - 40 <sup>4</sup> à 3 % O <sub>2</sub>	10-30 3% O <sub>2</sub>	< 5 3% O <sub>2</sub>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>
Notes :					
1) Les émissions de soufre des chaudières à mazout ou à charbon dépendent de la disponibilité de fioul et de charbon pauvre en S. On pourrait obtenir une certaine réduction du soufre par l'injection de carbonate de calcium.					
2) On n'applique que la technologie de la combustion.					
3) On applique également des mesures secondaires telles que la SNCR, uniquement pour des installations de plus grandes dimensions.					
4) Valeurs obtenues lorsqu'on a recours au dépolluierage électrostatique.					
5) Lorsqu'on utilise un épurateur; ne s'applique qu'aux installations de grandes dimensions.					

**Tableau 3.19 - Niveaux d'émissions associés à l'utilisation de MTD pour des chaudières auxiliaires utilisant différents combustibles.**

Dans une usine moderne non intégrée, la chaleur générée par la liqueur noire et l'incinération de l'écorce dépasse les besoins en énergie de l'ensemble du processus de production. Cependant, on aura besoin de fioul à certaines occasions, par exemple pour le démarrage.

### **Déchets solides**

1. Minimisation de la génération de déchets solides et récupération, recyclage et réutilisation de ces matériaux dans toute la mesure du possible.
2. Collecte séparée des fractions de déchets à la source et, si nécessaire, stockage intermédiaire des matières résiduelles/déchets pour permettre un traitement adéquat des déchets restants (par exemple utilisation à l'extérieur de l'usine).
3. Incinération de toutes les matières organiques non dangereuses (écorce, déchets de bois, boues d'effluents etc.) dans une chaudière auxiliaire, spécialement conçue pour brûler des combustibles humides à faible valeur calorifique (par ex. des chaudières à lit fluidisé).
4. Si possible, utilisation à l'extérieur de l'usine des résidus/déchets en tant que substances pour l'industrie forestière, l'agriculture ou d'autres industries.

Il convient de noter qu'il existe peu de renseignements détaillés et fiables sur la limitation possible des quantités de déchets solides. Les données statistiques font défaut et, en Europe, on emploie différents termes pour différentes fractions de déchets. Certains pays ne rendent compte que des déchets solides - avant tout des déchets solides inorganiques - qui ne peuvent plus être recyclés ou réutilisés mais doivent être envoyés à la décharge. Cela implique que tous les déchets organiques présentant une valeur calorifique acceptable et/ou pouvant être incinérés sans risques d'émissions dangereuses dans la chaudière auxiliaire d'une usine sont déjà exclus des quantités indiquées de déchets solides (écorce et déchets de bois, boues primaires et biologiques du traitement des effluents liquides). De ce fait, les déchets solides envoyés à la décharge comprennent surtout des cendres de chaudière, des boues, quelques déchets de bois et d'écorce, des refus et divers déchets de nettoyage et de type mixtes ménagers. D'autres usines brûlent toute la fraction des déchets organiques, y compris les boues, dans un incinérateur de déchets sur le site. Ces usines n'envoient que des quantités infimes de déchets à la décharge, voire pas du tout.

Compte tenu de l'insuffisance des données disponibles, il est difficile de présenter des valeurs cibles concernant la quantité de déchets solides non dangereux à envoyer à la décharge. Pour donner une indication de la quantité de déchets solides que l'on peut envisager dans des usines de pâte au bisulfite qui appliquent des MTD, on peut mentionner l'exemple d'une usine autrichienne intégrée qui fabrique de la pâte au bisulfite et exploite un incinérateur de déchets sur place. Après incinération, il lui reste 3,2 kg SS/Adt (100 % SS) qui peuvent être de nouveau utilisés. On postule que les résidus de l'écorce et autres déchets de bois ainsi que les boues mixtes du traitement des effluents liquides sont brûlés. L'énergie (vapeur) est récupérée pour la production de la pâte.

Toutes les usines produisent une petite quantité de déchets dangereux. Ceux-ci comprennent des résidus d'huile et de graisse, des huiles usées de circuits hydrauliques et de transformateurs, des batteries hors d'usage et autres déchets de matériels électriques, des solvants, des peintures, des biocides et des résidus chimiques etc. Cela peut normalement représenter environ 0,05 à 0,1 kg/t de produit.

### **Mesures pour économiser l'énergie**

On dispose d'un certain nombre de mesures pour réduire la consommation de vapeur primaire et d'énergie électrique et pour accroître la génération propre de vapeur et d'énergie électrique.

- 1) Mesures visant à réduire les pertes et la consommation de chaleur :
  - teneur élevée en solides secs de l'écorce
  - efficacité optimisée des chaudières à vapeur, par exemple basses températures des gaz de fumées
  - efficacité du système de chauffage secondaire, par exemple eau chaude à environ 85 °C
  - fermeture des circuits
  - mise en circuit fermé de l'installation de blanchiment
  - concentration élevée de la pâte (technique MC ou HC)
  - utilisation de la chaleur secondaire pour chauffer les bâtiments
  - bonne maîtrise du processus
- 2) Mesures visant à réduire la consommation d'énergie électrique :
  - consistance aussi élevée que possible de la pâte pour l'épuration et le lessivage
  - moteurs à vitesse variable
  - bon rendement des pompes à vide
  - dimensionnement correct des tuyaux, pompes et ventilateurs
- 3) Mesures visant à augmenter la génération d'énergie électrique :
  - pression élevée des chaudières
  - pression aussi faible que le permet la technique pour la vapeur sortant de la turbine à contre-pression
  - turbine à condensation pour produire de l'énergie à partir de la vapeur en excès
  - rendement élevé de la turbine
  - préchauffage de l'air et du combustible servant à alimenter les chaudières.

Il n'est pas toujours facile de mettre en évidence sous forme de valeurs les effets de ces mesures visant à réaliser des économies d'énergie, car les améliorations dépendent des conditions de l'usine avant la mise en œuvre de ces mesures.

Dans de nombreux pays européens, les informations sur l'équilibre énergétique des papeteries complètes sont difficilement accessibles pour le public. En effet, les pays européens utilisent différents modèles de rapport et les équilibres énergétiques dépendent aussi dans une certaine mesure des conditions locales. C'est pourquoi les fourchettes de consommation d'énergie du tableau 3.20 doivent être considérées uniquement comme une indication du besoin approximatif en chaleur de process et en énergie d'usines produisant de la pâte au bisulfite avec un bon rapport d'efficacité énergétique. On pourra peut-être ajouter d'autres exemples d'usines de pâte au bisulfite avec un bon rapport d'efficacité énergétique, y compris les conditions spécifiques, dans une version révisée du BREF.

Type d'usines	Consommation de chaleur de process (nette) en GJ/ADt	Consommation d'énergie (nette) en MWh/ADt	Observations
Pâte au bisulfite blanchie, non intégrée	16 – 18	0.7 - 0.8	
Pâte au bisulfite blanchie, intégrée, et papier fin couché	17 – 23	1.5 - 1.75	Le séchage du papier consomme plus d'énergie que celui de la pâte
Pâte au bisulfite blanchie, intégrée, et papier fin non couché	18 - 24	1.2 - 1.5	Charges et collage en surface 10 à 30 %
Notes :			
Les unités peuvent être converties de MWh en GJ selon la formule 1 MWh = 3,6 GJ et 1 GJ = 0,277 MWh.			

**Tableau 3.20 - Consommation d'énergie associée à l'utilisation de MTD pour différents types de production par tonne de produit - (Données provenant de Jaakko Pöyry, 1998).**



### Utilisation des produits chimiques

1. Disponibilité d'une banque de données pour tous les produits chimiques et additifs utilisés comprenant des informations sur la composition chimique des substances, leur dégradabilité, leur toxicité pour les personnes et l'environnement et le risque de bioaccumulation.
2. Application du principe de substitution, c'est-à-dire utiliser des produits moins dangereux, lorsqu'ils sont disponibles.
3. Prévention de l'apport de substances dangereuses dans le sol et la nappe phréatique
4. Mesures visant à prévenir tout déroulement incontrôlé du fonctionnement normal et à réduire les conséquences des accidents.

### 3.5 Techniques émergentes

Aucune technique émergente n'est identifiée. Les nouveaux procédés de fabrication de la pâte à papier faisant appel à des solvants organiques (procédé Organosolv), qui sont brièvement décrits dans la section 2.5, peuvent être envisagés par les usines de pâte au bisulfite. Toutefois, vu qu'aucun des procédés Organosolv proposés n'a été mis en œuvre de façon satisfaisante à l'échelle industrielle, il est encore trop tôt pour se prononcer définitivement sur cette méthode alternative.

#### 4 Fabrication des pâtes à papier mécaniques et mi-chimiques (chimico-mécaniques)

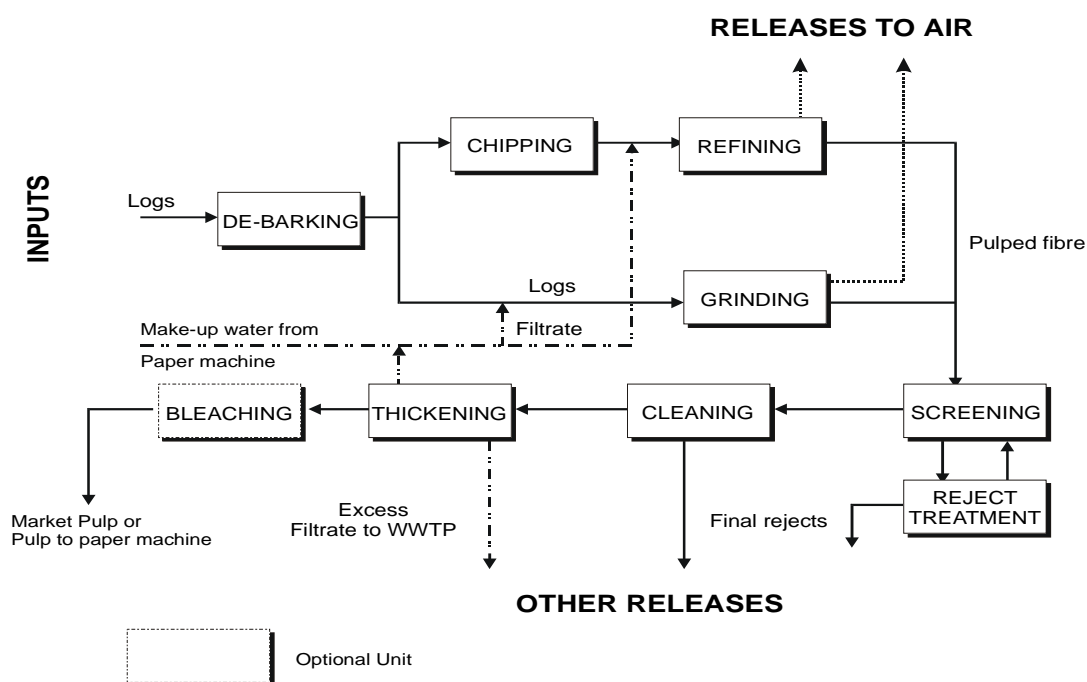
Dans la fabrication de la pâte à papier par le procédé mécanique, les fibres de bois sont séparées l'une de l'autre par l'énergie mécanique appliquée à la matrice du bois qui provoque la rupture progressive des liens entre les fibres et la libération de paquets de fibres, de fibres isolées et de fragments de fibres. C'est le mélange de fibres et de fragments de fibres qui confèrent à la pâte mécanique ses bonnes qualités d'impression. Dans ce procédé mécanique, l'objectif est de conserver la majeure partie de la lignine pour atteindre un rendement élevé et des propriétés de résistance et un degré de blanc acceptables. Les pâtes mécaniques ont une faible résistance au vieillissement, ce qui a pour résultat une tendance à la décoloration.

Les principaux procédés et techniques de fabrication sont le défibrage à la meule (Stone Groundwood Pulping - SGW), le défibrage sous pression (Pressure Groundwood Pulping - PGW), la pâte thermomécanique (TMP) et la pâte chimiothermomécanique (CTMP). Le tableau 4.1 récapitule les principales matières premières, les rendements et les utilisations finales des pâtes à papier.

Procédé de fabrication	Matières premières	Rendement par rapport au bois	Utilisations finales
Pâte mécanique (procédé à la meule)	Épicéa et sapin (bois de résineux)	95-97 %	Papiers d'impression et d'écriture et papier journal
TMP (pâte thermomécanique)	Épicéa et sapin (bois de résineux)	93-95 %	Papiers d'impression et d'écriture et papier journal
CTMP (pâte chimiothermomécanique)	surtout de l'épicéa mais également tremble et hêtre, NaOH, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	90-94 %	Papiers d'impression et d'écriture, papiers à usage sanitaire et domestique et cartons d'emballages

**Tableau 4.1 - Principales matières premières, rendements et utilisations finales des pâtes mécaniques.**

La figure 4.1 donne un aperçu général des principales étapes du procédé mécanique



**Figure 4.1 - Principales étapes de la fabrication de la pâte à papier par le procédé mécanique. [Directive IPR 6/9]**

Il existe deux procédés principaux pour fabriquer la pâte mécanique. Dans le procédé du défibrage à la meule (SGW) ou du défibrage sous pression (PGW), les grumes sont pressées contre une meule en rotation avec addition simultanée d'eau. Les pâtes mécaniques de raffineurs (PMR, pâtes thermomécaniques = TMP) sont obtenues par défibrage des copeaux de bois entre des raffineurs à disques. Les éléments qui provoquent l'action mécanique - des particules abrasives sur la meule et des lames sur un disque en acier pour le raffineur - donneront à la pâte obtenue un mélange type de fibres et de fragments de fibres. La pâte de meule contient une proportion élevée de fines et de fibres endommagées qui lui confèrent de bonnes propriétés optiques et de surface du papier. Le traitement plus doux dans les raffineurs donne un rendement plus élevé en fibres longues intactes, qui confèrent à la pâte une bonne résistance, appréciée pour certains types de papiers.

On peut agir sur les caractéristiques de la pâte en augmentant la température de traitement et, dans le cas du raffinage, en soumettant les copeaux à un traitement chimique. Ces deux méthodes se traduisent par une hausse de la consommation d'énergie ainsi que du niveau de polluants en raison du moins bon rendement. Le procédé de la pâte chimicothermomécanique (CTMP), dans lequel le bois subit un traitement préalable au moyen de produits chimiques, est généralement considéré comme une technique mécanique étant donné que le rôle des produits chimiques est avant tout d'attendrir la lignine avant la phase mécanique plutôt que de la dissoudre complètement comme dans les véritables procédés chimiques de fabrication de la pâte.

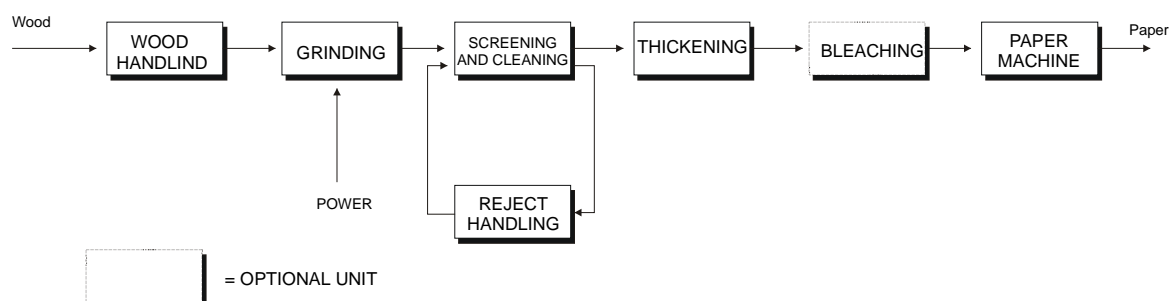
La fabrication de la pâte par le procédé mécanique est la plupart du temps intégrée à la fabrication du papier. La pâte mécanique entre dans la composition du papier pour améliorer l'opacité du produit final.

## 4.1 Procédés et techniques utilisés

### 4.1.1 Fabrication de la pâte par le procédé du défibrage à la meule (râpage)

La fabrication de la pâte par le procédé du défibrage à la meule (râpage) comprend une chaîne fibres, le traitement des rejets, et des installations auxiliaires, comme le stockage des produits chimiques et la génération de vapeur et d'énergie auxiliaires.

Les principales opérations de la fabrication de la pâte par le procédé du défibrage à la meule sont indiquées dans la figure 4.2 [CEPI, 1997b]. Les usines qui utilisent ce procédé incluent en général une usine de papier et, de ce fait, la pâte n'a pas en principe à être séchée.



**Figure 4.2 - Fabrication de la pâte par le procédé du défibrage à la meule.**

#### **4.1.1.1 Manutention du bois**

Les bois utilisés pour le procédé du défibrage à la meule sont des sous-produits de travaux d'éclaircies en forêts, et leur diamètre est généralement de 10 à 20 cm. Si le bois destiné à la fabrication de pâtes mécaniques est stocké, il faut empêcher qu'il ne sèche, par exemple en le stockant dans l'eau ou en aspergeant les tas de bois. Cela peut impliquer des circuits de collecte de l'eau dans le parc à bois pour éviter des rejets de substances organiques, communément désignées comme DCO et produits toxiques. Il faut écorcer les grumes avant de les traiter. Cet écorçage a généralement lieu dans des tambours, sous l'action du contact entre les grumes qui roulent et l'eau. L'eau utilisée pour l'écorçage sert souvent pour le dégivrage et le lavage du bois dans le tambour d'écorçage.

#### **4.1.1.2 Défibrage à la meule**

Le défibrage initial a lieu dans des défibreurs où les grumes sont soumises à l'action de meules en pierre, les fibres étant maintenues parallèles à l'axe de la meule, ce qui donne une pâte d'une consistance d'environ 2 %. Les meules doivent être aiguisées périodiquement.

La majeure partie de l'énergie utilisée dans le processus est transformée en chaleur. Le bois est chauffé et, grâce à la présence de grandes quantités d'eau, les liens de lignine sont ramollis et les fibres libérées. Les meules sont refroidies à l'eau, et cette eau sert également à désintégrer les fibres et à les transporter jusqu'à l'opération suivante. L'eau est donc d'une importance fondamentale pour ce processus (dissipation de la chaleur et réduction de la friction des fibres).

Les consommations d'énergie (kWh/t) pour la production de pâte mécanique de meule joue un rôle important, à savoir que plus elle est forte, plus les propriétés de résistance sont bonnes, mais moins la capacité de drainage (indice d'égouttage) est élevée.

Les propriétés supérieures de résistance des pâtes mécaniques de raffineurs, en particulier pour les pâtes TMP, a obligé à perfectionner encore plus le processus de meulage classique pour des raisons de compétitivité. On a mis au point le processus du défibrage sous pression (PGW) dans lequel le meulage s'effectue sous pression (jusqu'à environ 3 bars). Cela permet d'utiliser ce processus avec de l'eau blanche à 95 °C, et des températures de 125 °C dans la fosse de défibrage. Le ramollissement plus important de la lignine associé à ces températures a pour résultat une pâte mécanique par meulage de meilleure qualité (meilleure résistance) mais les contraintes techniques et financières sont beaucoup plus élevées. Ensuite, on produit de la vapeur basse pression lorsque la pâte est dépressurisée. Cette vapeur basse pression récupérée sert principalement à la production d'eau de process chaude. Une autre méthode, relativement économique, pour améliorer la qualité de la pâte mécanique est le processus de défibrage thermique à la meule (Thermogrinding - TGW). Dans ce processus, les pertes de chaleur résultant de l'évaporation dans la zone de défibrage sont réduites et la température est optimisée sans avoir recours à la surpression mais à des contrôleurs de stabilité.

#### **4.1.1.3 Epuration et classage**

Toutes les pâtes mécaniques contiennent des composants indésirables tels que des gros fragments, insuffisamment réduits en pâte (par exemple des rejets grossiers) et les bûchettes constituées par de nombreux paquets de fibres. Ces bûchettes doivent être éliminées car elles réduisent la résistance et la qualité d'impression du papier.

Une installation comporte différentes étapes visant à réduire les contraintes au niveau des installations en aval et à sauver les constituants acceptables contenus dans les refus. L'épuration pour éliminer les refus grossiers est facile à réaliser, mais l'élimination des bûchettes exige une technique plus élaborée. La teneur en bûchettes de la pâte mécanique non épurée peut atteindre jusqu'à 5 %, en fonction de la

méthode utilisée. L'objet du classage est d'éliminer ces bûchettes autant que faire se peut et, simultanément, de minimiser les fibres longues retenues.

Les refus grossiers sont éliminés du courant principal de la pâte par des tamis vibrants plats munis de plaques perforées. On utilise des broyeurs à marteaux ou des désintégrateurs (ou pulpeurs) pour réduire ces refus grossiers. Les bûchettes grossières retenues sont habituellement ajoutées au refus de l'épuration fine en vue d'un traitement ultérieur par filtration à travers des tamis sous pression qui retiennent les bûchettes au-dessus d'une certaine taille en fonction du type de papier à produire.

L'épuration est exécutée sur un produit très dilué (moins de 1 % de teneur en sec). L'épuration fine est suivie d'une séparation centrifuge des fibres et autres particules avec des poids spécifiques différents (hydrocyclones). Les refus séparés provenant de la dernière phase sont épaissis et traités à l'aide d'un matériel spécial, tels que des raffineurs, puis recyclés dans le processus (tamis secondaires et hydrocyclones). La pâte acceptée après les étapes de traitement des refus peut être recyclée dans la chaîne principale. Les refus définitifs sont rejetés du processus sous forme de déchets solides. Selon le concept choisi de traitement des refus, la teneur en solides secs de ces déchets peut varier entre 5 et 30 % [CEPI, 1997b]. Le taux de refus peut atteindre jusqu'à 30 % de la matière introduite et dans le cas de la pâte mécanique, les besoins en énergie pour l'épuration, l'épaississement et le raffinage des refus sont importants (ils représentent environ 25 % de l'énergie totale).

La pâte mécanique épurée et classée est épaissie au moyen de filtres à disques ou de tambours épaississeurs puis stockée dans des réservoirs et des tours de stockage.

#### **4.1.2 Pâtes mécaniques de raffineurs**

L'objectif du processus par raffinage est identique à celui de la fabrication par défibrage à la meule, à savoir l'amollissement des liens de lignine et la fibrillation des fibres du bois.

Dans le procédé mécanique de raffineurs, les copeaux sont broyés dans un raffineur entre des disques en acier munis de lames. Selon la qualité requise, on peut répéter l'opération dans un deuxième, voire, quelquefois, dans un troisième raffineur. La force résultant de l'impact des lames désintègre les copeaux en paquets de fibres, fibres individuelles et fragments de fibres. A mesure que le traitement progresse, l'impact modifie aussi les parois des fibres individuelles. La majeure partie de l'énergie appliquée (travail de friction) se transforme en chaleur, qui provoque l'évaporation d'une partie de l'humidité dans les copeaux. Pour éviter que le bois ne brûle dans la zone de raffinage, il faut ajouter de l'eau de refroidissement (dilution). Les raffineurs fonctionnent habituellement avec une consistance élevée des rejets (25 à 50 %). L'importante quantité de vapeur dégagée au cours de ce processus est normalement recueillie dans une installation de récupération de la chaleur en vue d'être réutilisée.

Dans le procédé original de fabrication de la pâte mécanique de raffineurs (RMP), qui n'est pratiquement plus utilisé aujourd'hui, les copeaux étaient raffinés à la pression atmosphérique. En raison de la basse température, le procédé donnait une grande quantité de fibres endommagées mais les propriétés optiques de la pâte RMP étaient relativement bonnes. Pour améliorer la qualité de la pâte, on a alors apporté des modifications au procédé, dans le but de rendre le bois plus tendre dans la zone du raffinage. Elles comprenaient par exemple le préchauffage des copeaux ou la pressurisation du raffineur. Ces procédés donnent des pâtes légèrement plus résistantes et avec une moindre part de bûchettes pour des propriétés optiques quasiment inchangées.

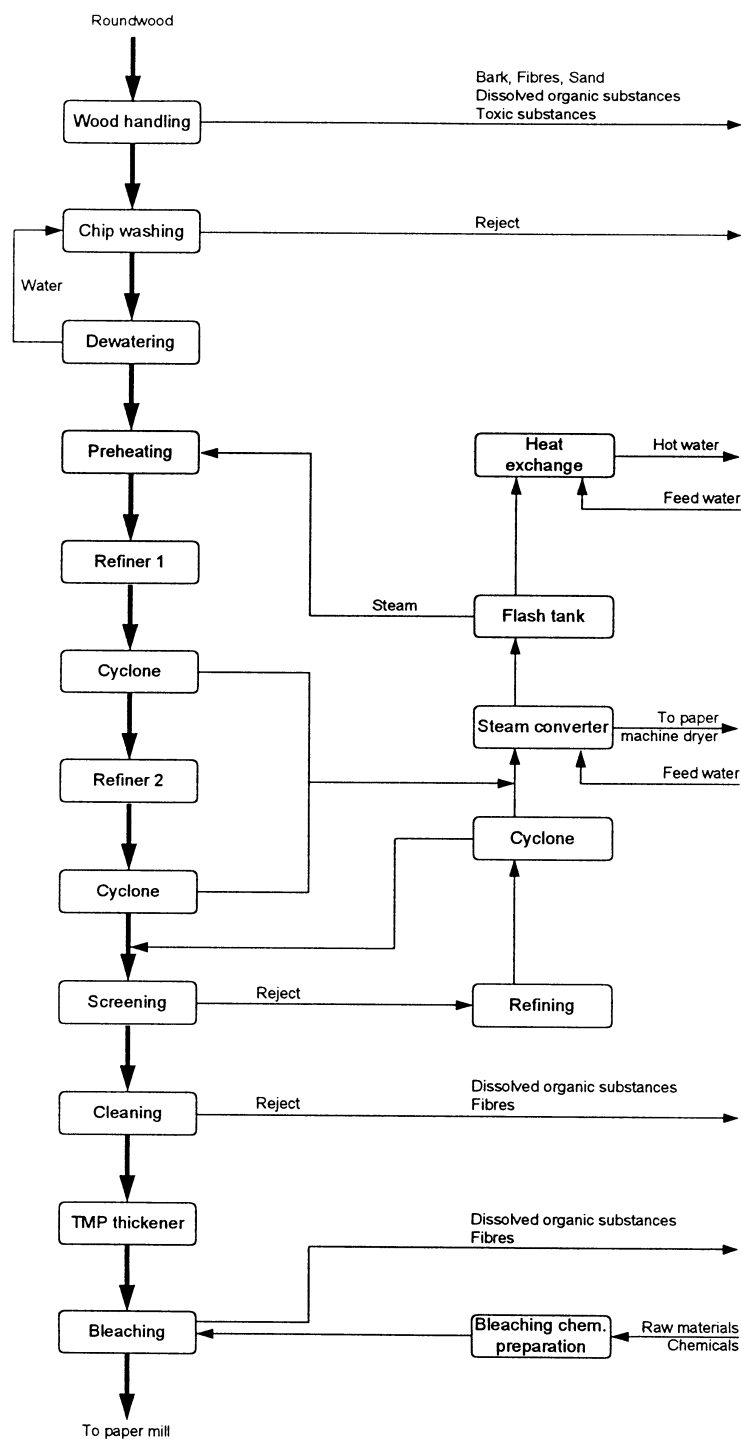
Le procédé TMP (4.1.2.1) a permis d'améliorer la résistance et de réduire les bûchettes de façon plus spectaculaire : les copeaux y sont chauffés dans des conditions de pressurisation et le raffinage aussi se fait sous pression.

Un prétraitement chimique doux des copeaux permet aussi de rendre le bois plus tendre et d'améliorer les qualités de la pâte produite en raffineurs à la pression atmosphérique (CRMP) ou en raffineurs pressurisés (CTMP, 4.1.2.2).

Avec un traitement chimique plus fort et un raffinage à la pression atmosphérique, on peut obtenir des pâtes très résistantes à partir de bois résineux comme de bois feuillus. Ces pâtes mécaniques sont comparables aux pâtes mi-chimiques.

#### **4.1.2.1 Pâte thermomécanique (TMP)**

La fabrication de pâte thermomécanique comporte une chaîne fibre et des circuits annexes. Il s'agit par exemple de la manipulation des rejets, du stockage de certains produits chimiques et de la production d'énergie auxiliaire. La figure 4.3 illustre les principales étapes du processus de fabrication de la pâte TMP.



**Figure 4.3 - Représentation schématique du processus TMP et des émissions**  
[Rapport SEPA 4713-2, 1997]

Ci-après, nous nous limitons au procédé TMP proprement dit, c'est-à-dire que nous décrivons en détail les principales opérations qu'il convient de distinguer de la fabrication des pâtes mécaniques du point de vue de l'environnement. Pour l'épuration et le classage, la manipulation des rejets, l'épaississement et le blanchiment des pâtes mécaniques, nous renvoyons aux paragraphes correspondants de la section 4.1.1 et 4.1.3.

Dans le procédé de fabrication de la pâte thermomécanique (TMP), les copeaux de bois lavés et épurés sont soumis à un prétraitement thermique et le processus de défibrage a lieu dans une série de raffineurs à disques pressurisés.

Les scieries peuvent fournir une certaine quantité de bois sous forme de copeaux. Il suffit d'épurer ces copeaux provenant des scieries et d'autres fournisseurs hors site, et de les stocker dans le parc à bois. En revanche, si l'on utilise du bois en grumes brut, il faut d'abord l'écorcer et le réduire en copeaux. Les copeaux destinés aux pâtes mécaniques ne doivent pas contenir de pierres, sable, ferrailles ou autres matières étrangères susceptibles d'user ou d'endommager les plaques du raffineur. C'est pourquoi, dans la plupart des processus de raffinage des copeaux, ceux-ci sont lavés avant le raffinage pour éliminer ces matières étrangères. Il en résulte des rejets du laveur de copeaux sous forme d'effluent liquide.

Après la mise en copeaux et le lavage, la matière première est préchauffée à la vapeur puis raffinée, soit en une seule phase à température et pression élevées, soit dans un circuit de raffinage en deux étapes dans lequel le premier raffinage est suivi d'un second sous pression ou à la pression atmosphérique. La transformation en pâte des rejets du tamisage est souvent réalisée dans la seconde étape du raffinage. Une partie des substances organiques du bois est dissoute dans l'eau et rejetée du processus au niveau soit de l'installation de fabrication de la pâte mécanique, soit de la machine à papier.

Une grande partie de la quantité d'énergie électrique relativement importante requise pour le procédé mécanique de raffineurs est convertie en chaleur sous forme de vapeur issue de l'humidité du bois et de l'eau de dilution dans les raffineurs. En raison des conditions de pressurisation (les pressions excédentaires pouvant atteindre 5 bars), dans de nombreuses usines, on peut récupérer une grande partie de la vapeur générée, la nettoyer via des échangeurs de chaleur pour obtenir de la vapeur de process propre, pouvant être utilisée par exemple pour le séchage du papier. Une partie de l'énergie de la vapeur dégagée peut également être récupérée comme eau chaude. Après le raffinage, la pâte est déchargée et diluée, épurée et classée. L'épuration est suivie d'un égouttage et du stockage dans une grande tour avec une consistance élevée. Si l'on a davantage recours à l'énergie mécanique plutôt qu'à la dissolution chimique, on obtient une fragmentation plus poussée et la formation d'un matériau fin. Le rôle de l'eau dans les procédés mécaniques implique qu'il est préférable d'utiliser du bois frais en tant que matière première. Si le bois destiné à la fabrication de pâtes mécaniques est stocké, il faut éviter qu'il ne sèche, par exemple en le stockant dans de l'eau ou en arrosant les tas de grumes. Il sera alors peut-être nécessaire d'envisager des circuits pour recueillir l'eau dans le parc à bois de manière à éviter le rejet de substances organiques regroupées sous l'appellation collective de DCO et toxicité. L'emploi de copeaux se traduit par une plus grande souplesse dans la fabrication de la pâte de raffineurs en ce qui concerne l'approvisionnement en matière première.

Étant donné que la perte de bois est très faible dans le procédé TMP et que la majeure partie du bois est transformée en pâte, la valeur calorifique de l'effluent liquide d'une usine TMP est trop faible pour être récupérée de la même manière que dans une usine de pâte chimique (liqueur noire). Cela implique que, dans une usine TMP, les effluents liquides doivent normalement être traités.

La pâte TMP est presque toujours fabriquée en association avec une papeterie en raison de la possibilité de réutiliser la chaleur des raffineurs pour produire de la vapeur et améliorer le rendement énergétique. C'est pourquoi, normalement, la pâte thermomécanique n'est pas séchée.

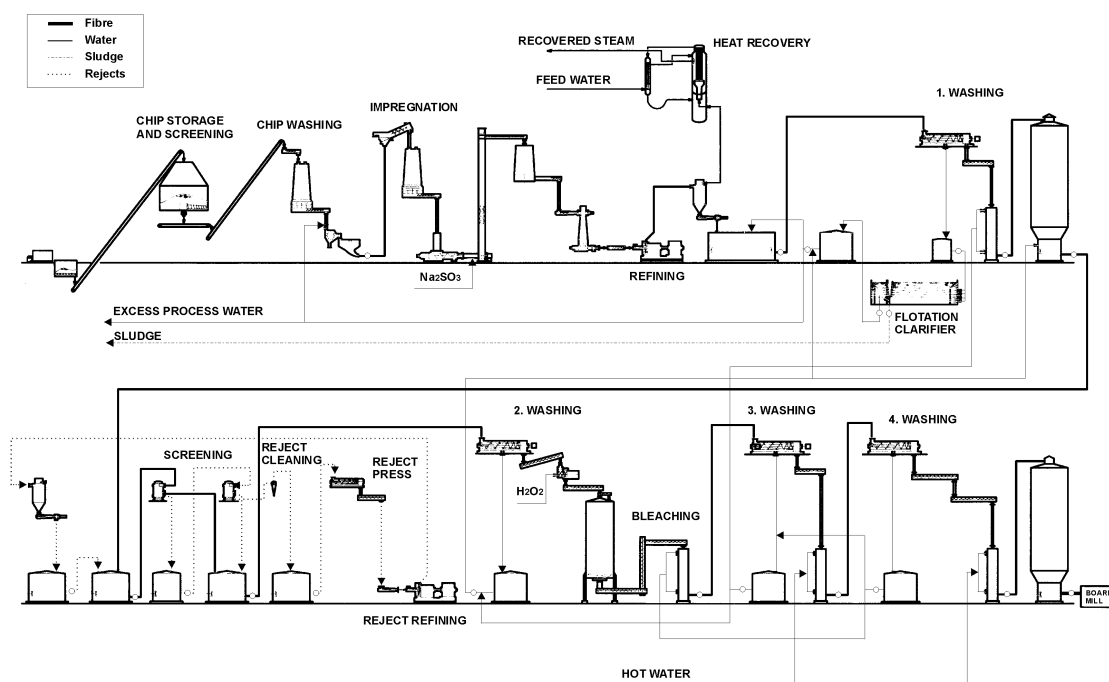
#### **4.1.2.2 Fabrication de pâte mi-chimique**

L'addition de produits chimiques joue un rôle important dans la mesure où les copeaux de bois sont très facilement imprégnables. Le prétraitement chimique des copeaux permet d'améliorer l'amollissement du bois et les propriétés de la pâte produite par raffinage à la pression atmosphérique (CRMP) ou raffinage pressurisé (CTMP). Ce dernier procédé combine le processus TMP et la



sulfonation des copeaux de bois. Dans la plupart des cas, le prétraitement chimique augmente les émissions de polluants en raison de la perte de rendement due au traitement chimique. On utilise différents types de traitement pour différentes essences de bois et l'on peut faire varier considérablement les propriétés de la pâte CTMP en modifiant la quantité et la nature des produits chimiques. Les méthodes de fabrication de pâte mi-chimique permettent d'obtenir des pâtes propres présentant une résistance suffisante et des propriétés optiques acceptables, et que l'on peut utiliser comme principale composante fibreuse pour le papier d'impression, le carton d'emballage et le tissu (pour produits d'hygiène). .

La fabrication de pâte mi-chimique comporte une chaîne fibre et des installations annexes. Ces dernières portent par exemple sur le traitement des rejets, le stockage de certains produits chimiques et la production d'énergie auxiliaire. La figure 4.4 illustre les principales étapes du processus de fabrication de la pâte CTMP.



**Figure 4.4 - Représentation schématique du processus CTMP. [Gracieusement communiqué par une fabrique finlandaise, 1998]**

Le processus CTMP combine le processus TMP avec une imprégnation chimique des copeaux de bois. Nous ne décrivons en détail ci-après que le seul procédé CTMP proprement dit, c'est-à-dire les principales opérations qu'il convient de distinguer de la fabrication des pâtes TMP. Pour l'épuration et le classage, le traitement des refus, l'épaississement et le blanchiment des pâtes mécaniques, nous renvoyons aux paragraphes correspondants de la section 4.1.1 et 4.1.3.

Après l'écorçage, la mise en copeaux, le lavage et l'épuration des copeaux, ceux-ci sont d'abord imprégnés dans une tour d'imprégnation où ils sont plongés dans une solution chimique alcaline. On utilise principalement du sulfite de sodium ( $\text{NaSO}_3$ ) pour les bois résineux et, ces derniers temps, on a utilisé surtout du peroxyde alcalin pour les bois feuillus. Après cette imprégnation chimique, les copeaux sont préchauffés et leur température continue d'augmenter dans les raffineurs (plaques de raffinage rotatives) à 1 ou 2 stade(s) dont le résultat est la dissolution de la lignine et la libération des fibres. La pâte CTMP obtenue est mélangée avec de l'eau de process recyclée, qui sert également pour la désintégration des fibres et le transport jusqu'aux opérations suivantes.

Un nouveau développement du procédé CTMP est le procédé de la pâte CMP. Il permet, grâce un traitement chimique plus fort et un raffinage à la pression atmosphérique, d'obtenir des pâtes présentant une grande résistance à partir aussi bien de bois résineux que de bois feuillus. Après l'imprégnation chimique, les copeaux sont cuits à une température comprise entre 70 et 170 °C. Le temps de cuisson dépend du processus et peut varier de 15 minutes à quelques heures. On utilise différentes sortes de traitement pour différentes essences de bois. Les propriétés optiques sont très fortement réduites et le rendement peut tomber au-dessous de 90 %.

L'accroissement de la température et l'utilisation de produits chimiques (traitement alcalin) contribuent à augmenter la production de polluants en raison de la perte de rendement dans la fabrication de la pâte mécanique de raffineurs. Dans la plupart des cas, le prétraitement chimique augmente la consommation d'énergie. Les propriétés optiques sont très fortement réduites et la pâte CMP ne peut constituer qu'une petite partie de la composition de fabrication des papiers d'impression.

La pâte CTMP est souvent fabriquée en association avec une usine de papier ou de carton en raison de la possibilité de réutiliser la chaleur des raffineurs pour produire de la vapeur et améliorer le rendement énergétique. Cependant, la pâte CTMP est quelquefois fabriquée pour être commercialisée; elle est alors séchée rapidement jusqu'à une teneur de 90 % de solides secs.

#### **4.1.3 Blanchiment des pâtes mécaniques**

Vu la demande croissante de papier et de carton présentant un degré élevé de blanc, le blanchiment des pâtes mécaniques est devenu de plus en plus courant. Celui-ci diffère en principe totalement du blanchiment des pâtes chimiques, car il repose sur des méthodes visant à protéger la lignine et non à l'éliminer. L'objet du blanchiment des pâtes mécaniques est de décolorer des groupes chromophores de polymères de la lignine. De cette façon, le blanchiment de la pâte augmente d'abord son niveau de blanc avec un minimum de pertes de solides secs et de rendement global du bois. L'effet ne perdure pas et le papier se met à jaunir avec le temps. Étant donné que le niveau de blancheur n'est pas permanent, la pâte mécanique blanchie est plutôt destinée au papier journal et au papier de presse magazine qu'aux livres ou aux papiers à conserver. Ce blanchiment qui protège la lignine s'effectue en 1 ou 2 étapes, en fonction du degré de blanc final requis pour la pâte. Les étapes du blanchiment se différencient selon l'agent de blanchiment utilisé.

##### **Blanchiment réducteur au dithionite (ou hydrosulfite) de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )**

Dans le blanchiment au dithionite (symbole abrégé : S), les matières organiques ne sont pas séparées de la pâte par dissolution. Avec une consommation type de 8 à 12 kg de dithionite par tonne de pâte, cette technique se caractérise par une perte minimale de rendement et une blancheur pouvant être augmentée d'environ 12 unités, passant d'un niveau initial de blanc de 58 - 70 ISO à 70 - 76 % ISO [Rapport finlandais sur les MTD]. Un pH convenable se situe entre 5,6 et 6,5 et une température de 70 °C maximum accélère le processus de blanchiment. Le dithionite résiduel dans la pâte peut provoquer des phénomènes de corrosion avec les éléments métalliques en aval du processus. Dans la plupart des usines, on a recours à un agent de chélation des métaux (par exemple EDTA, DTPA) pour empêcher la dégradation du dithionite. La consistance dans le blanchiment traditionnel à l'hydrosulfite est de 3 à 5 %. Un pompage à consistance moyenne (MC) a permis de procéder au blanchiment à une consistance de 10 à 12 % avec une efficacité accrue.

##### **Blanchiment oxydant au peroxyde ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )**

Dans le cas du blanchiment au peroxyde (symbole abrégé : P), la perte de rendement est d'environ 2 % et résulte principalement de l'alcalinité du milieu pendant l'opération de blanchiment, ce qui entraîne une dissolution accrue des substances organiques du bois (et un accroissement de la charge polluante).

Le traitement au peroxyde influe sur les propriétés de la pâte - outre une meilleure blancheur, il améliore la résistance de la pâte, réduit la teneur en extraits et améliore la capacité d'absorption de l'eau. Si l'on applique une quantité maximale de peroxyde, on peut obtenir un accroissement de 20 unités du degré de blanc, qui peut atteindre 78 à 84 % ISO [Rapport finlandais sur les MTD, 1997]. Le blanchiment est moins efficace en présence d'ions métalliques lourds. C'est pourquoi on ajoute des agents chélatants (par exemple EDTA, DTPA) avant cette opération pour former des complexes avec les métaux lourds (Fe, Mn, Cu, Cr), ce qui empêche la décoloration de la pâte et la décomposition du peroxyde. Les agents EDTA et DTPA contiennent de l'azote, que l'on retrouvera dans l'effluent liquide. L'introduction d'un stade de lavage entre la réduction en pâte et le blanchiment s'avère efficace pour réduire les métaux pouvant poser un problème et, partant, réduire la quantité d'agents de chélation nécessaires et renforcer l'efficacité du peroxyde employé. La pâte blanchie est enfin acidifiée au moyen d'acide sulfurique ou de dioxyde de soufre jusqu'à un pH de 5 à 6. L'opération de blanchiment au peroxyde se fait actuellement à un niveau de consistance de 25 à 35 %.

Il est également possible de combiner ces deux traitements. Le blanchiment au peroxyde permet d'atteindre un degré plus élevé de blancheur finale qu'avec le dithionite, mais aux dépens d'une opacité réduite. Le niveau de blanc possible dépend de la blancheur initiale de la pâte, qui elle-même dépend des matières premières et de la méthode utilisée. Ce qui importe, ce n'est pas seulement l'essence de bois utilisée pour la fabrication de la pâte mais également son éventuelle dégradation.

## **4.2 Niveau actuel de consommation / émissions**

### **4.2.1 Aperçu des intrants (matières consommées) / sortants (matières produites)**

La figure 4.5 donne un aperçu des consommations de matières premières et d'énergie ainsi que des produits, des résidus destinés à être réutilisés et des principaux rejets (émissions, déchets etc.) des usines de pâte mécanique et de papier.

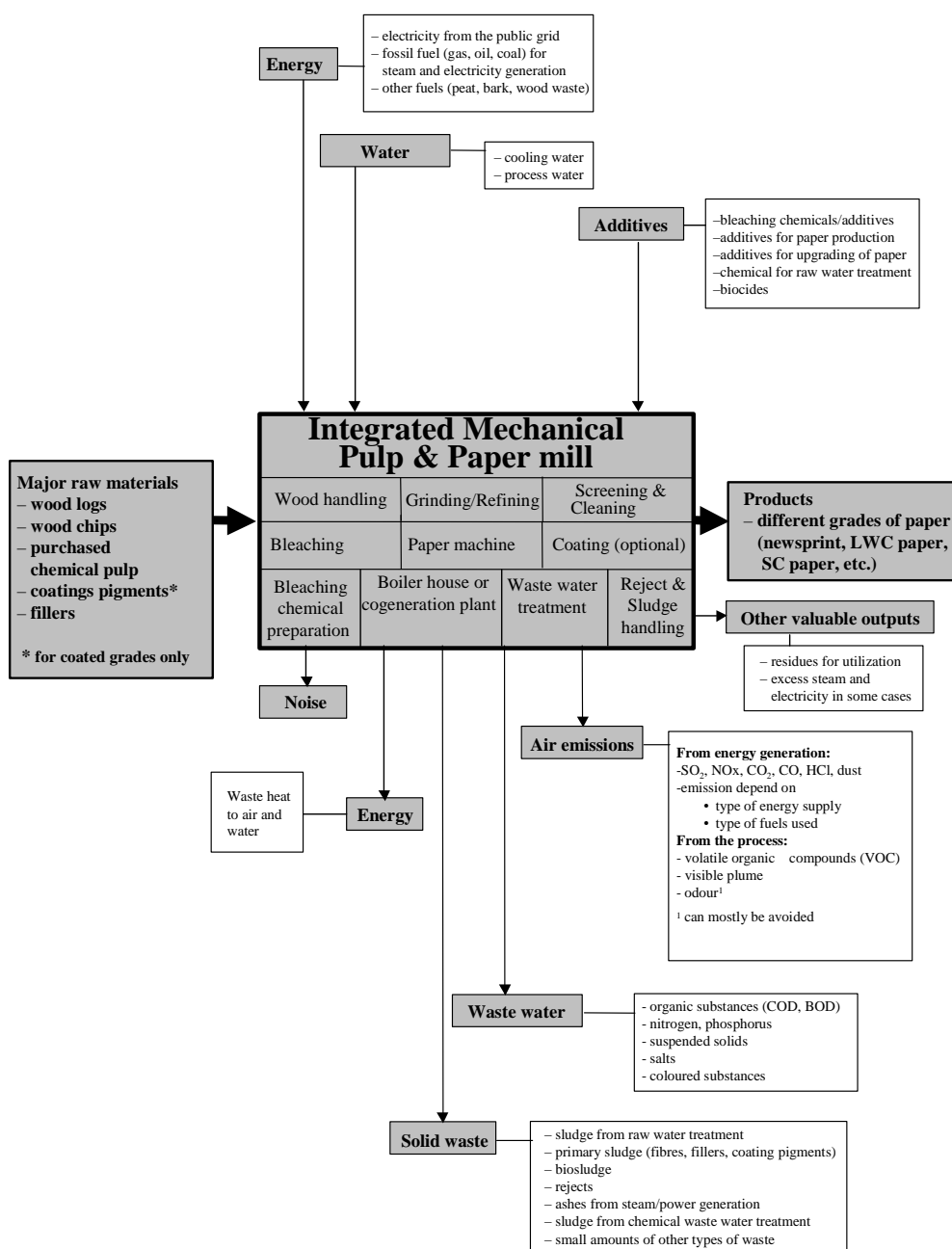


Figure 4.5 - Aperçu du circuit de la pâte dans une usine intégrée de pâte mécanique et de papier.

La présence de certaines substances dépend essentiellement de la qualité et des propriétés du papier que l'on souhaite obtenir et du type d'approvisionnement en énergie.

Les niveaux de consommation et d'émissions pour les matières premières utilisées et les émissions générées par une usine sont récapitulés ci-après. Les usines de pâte mécanique intègrent le plus souvent une production de papier. En outre, on mélange fréquemment différentes sources de fibres pour fabriquer un papier donné, par exemple des pâtes chimiques, mécaniques, désencrées, et dans le cas de papier d'impression, on utilise des quantités relativement importantes de charges et de produits de couchage.

Par conséquent, les niveaux types de consommation et d'émissions d'usines figurant dans les tableaux 4.2 et 4.3 concernent des usines intégrées de pâte mécanique et de papier. Ils permettent de se faire une idée rapide des matières utilisées et donnent des informations sur l'impact auquel on peut s'attendre en ce qui concerne l'environnement. Ils ne sont pas représentatifs dans la mesure où les valeurs indiquées couvrent toute la plage des valeurs observées en Europe, mais ils représentent plutôt des études de cas de ce type d'usines.

Le tableau 4.2 récapitule les niveaux de consommation et d'émissions d'une usine intégrée de papier à base de bois produisant du papier d'impression couché (LWC) à partir de pâte TMP. Cette usine utilise, comme matière fibreuse, un mélange de matières premières composé de 60 % de pâte TMP fabriquée sur place et 40 % de pâte achetée (pâte kraft blanchie et, en moindre quantité, pâte désencrée).

Intrants			Sortants		
Matières premières	Valeur	Unité	Produit	Valeur	Unité
Copeaux de bois venant de scieries <sup>1)</sup>	361	kg/t	Papier d'impression	1000	kg/t
Pâte achetée <sup>1)</sup>	259	kg/t	Énergie en excès	132	kWh/t
Pigments (kaolin, talc, CaCO <sub>3</sub> ) <sup>1)</sup>	343.5	kg/t	<b>Émissions</b>		
Produits chimiques pour le blanchiment / additifs <sup>2)</sup>	27	kg/t	CO <sub>2</sub> <sup>3)</sup>		kg/t
Additifs pour la production du papier <sup>2)</sup>	4.6	kg/t	CO <sub>2</sub> , regenerative <sup>3)</sup>		kg/t
Additifs pour améliorer les caractéristiques du papier <sup>2)</sup>	57.3	kg/t	NO <sub>x</sub> <sup>3)</sup>		g/t
Produits chimiques pour le traitement de l'eau brute	4.2	kg/t	CO <sup>3)</sup>		g/t
Biocides	pas de données	kg/t	SO <sub>2</sub> <sup>3)</sup>		g/t
			Poussière <sup>3)</sup>		g/t
<b>Énergie</b>			DCO	2.7	kg/t
Gaz naturel	294	kWh/t	DBO <sub>5</sub>	0.17	kg/t
Fioul	environ 3,2	kWh/t	Solides en suspension		g/t
Électricité achetée	1852	kWh/t	AOX	< 0.4	g/t
Vapeur achetée	1140	kWh/t	Azote	24	g/t
			Phosphate	4.3	g/t
<b>Besoins en eau</b>			Débit de l'effluent liquide	14.1	m <sup>3</sup> /t
Eau de surface	22	m <sup>3</sup> /t	Eau de refroidissement	12	m <sup>3</sup> /t
Eau de forage	4.4	m <sup>3</sup> /t	<b>Résidus</b>		
Eau potable (installations sanitaires)	0.2	m <sup>3</sup> /t	Rejets et boues (séchés à 75 % d'humidité)	46	kg/t
			Sciure	8.8	kg/t
			Ferrailles	2.5	kg/t
			Déchets dangereux (par exemples huiles usées, mélanges de solvants)	0.3	kg/t
Notes explicatives :					
<sup>1)</sup> La matière fibreuse est exprimée en t sèche absolue, c'est-à-dire sans humidité. En fait, la teneur moyenne en humidité de la matière première utilisée est de 50 % pour les copeaux de bois, 9 % pour la pâte kraft achetée, 45 % pour la pâte désencrée (DIP) et 0,2 % pour les pigments. La teneur moyenne en humidité du produit final est d'environ 4 à 5 %.					
<sup>2)</sup> Les additifs sont exprimés en tant que solutions contenant diverses quantités d'eau. On utilise comme produits chimiques pour le blanchiment : 30 kg/t de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 15 kg/t NaOH, 15 kg/t silicate de sodium et 3 kg/t DTPA. Comme additifs, on utilise 43 kg/t de liants synthétiques (latex), < 8 kg/t d'amidon, 1 kg/t d'agent de rétention (polyacrylamide), des agents de fixation, des poly DADMAC, des stabilisateurs de dureté, divers biocides.					
<sup>3)</sup> Les émissions dans l'atmosphère pourraient être calculées à partir des émissions générées au niveau de la centrale extérieure (principe de la chaleur et de l'énergie combinées) qui alimente la papeterie en énergie et en vapeur. Toute l'électricité requise pour la fabrique de pâte TMP et 75 % de la chaleur requise pour l'ensemble du site dépendent d'un approvisionnement à l'extérieur. On utilise le gaz naturel pour le séchage infrarouge. Le fioul n'est utilisé que pour le chauffage des bâtiments.					

**Tableau 4.2 - Valeurs moyennes annuelles (année de référence : 1997) des niveaux de consommation et d'émissions d'une usine allemande produisant du papier d'impression à base de bois (LWC), à partir de pâte TMP blanchie par traitement oxydant (60 % de la matière fibreuse).**

**Production totale de l'usine : 370 000 t/an de papier d'impression; les effluents sont traités dans une installation biologique en deux stades (boues activées).**

Le tableau 4.3 récapitule les niveaux de consommation et d'émissions d'une usine de pâte CTMP.

Intrants			Sortants		
Matières premières	Valeur	Unité	Produit	Valeur	Unité
Bois	1090	kg/t	Pâte CTMP	1000	kg/t
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	25 (20 - 30)	kg/t	Énergie en excès	600 - 1200 <sup>1)</sup>	kWh/t
DTPA	2 (1 - 2.5)	kg/t	<b>Emissions</b>		
Produits chimiques pour le blanchiment (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	10 - 40	kg/t	NOx	250	g/t
Produits chimiques pour le traitement de l'eau brute	0 - 2	kg/t	SO <sub>2</sub>	240	g/t
Silicate de sodium	8 - 30	kg/t	Poussières	50	g/t
			DCO	15 (12 - 25)	kg/t
			DBO <sub>5</sub>	1 (0.5 - 2)	kg/t
			Solides en suspension	0.5 (0.1 - 2)	kg/t
<b>Énergie</b>			AOX	0	g/t
Résidus de bois	600	kWh/t	Tot-N	400 (300-500)	g/t
Fioul	200	kWh/t	Tot-P	10 (5 - 50)	g/t
Électricité achetée	1800 (1500-3000)	kWh/t	Effluent liquide	20 (10-30)	m <sup>3</sup> /t
			Eau de refroidissement	0 - 20	m <sup>3</sup> /t
			<b>Résidus</b>		
<b>Besoins en eau</b>			Rejets et boues	30 (15 - 40)	kg/t
Eau de surface	20 (10 - 30)	m <sup>3</sup> /t	Cendres	7	kg/t
			Déchets dangereux (par exemples huiles usées, mélanges de solvants)	10	kg/t
Note : 1) Ces chiffres sont valables pour le cas où il n'y a pas de séchage, c'est-à-dire que l'usine a une production intégrée de pâte et de papier. La chaleur générée peut être utilisée dans la machine à papier.					

**Tableau 4.3 - Valeurs moyennes annuelles des niveaux de consommation et d'émissions d'usines finlandaises produisant de la pâte CTMP.**

Ces valeurs concernent une usine non intégrée construite en 1985 dont l'équipement est partiellement modernisé. Capacité de production : 110 000t/an de pâte CTMP (CSF 400) de papiers à usage hygiénique. Les valeurs entre parenthèses reflètent des niveaux types d'usines CTMP. Les effluents sont traités dans une installation biologique (boues activées).

#### 4.2.2 Niveaux de consommation et d'émissions des unités du processus

Dans la fabrication des pâtes mécaniques et mi-chimiques, les effluents liquides, la consommation élevée d'énergie qui est souvent produite sur place, et les émissions et boues provenant des différentes étapes du processus de fabrication et surtout de l'installation de traitement des effluents liquides, sont au centre des préoccupations environnementales.

On étudie ci-après les principales consommations de matières premières et émissions dans les cours d'eau, l'atmosphère et le sol (déchets) ainsi que les aspects énergétiques, en abordant les questions suivantes :

- Consommation de bois
- Consommation d'eau
- Émissions d'effluents liquides
- Émissions dans l'atmosphère en provenance : des raffineurs, de la génération d'énergie et des chaudières à écorce
- Production de déchets solides
- Consommation de produits chimiques
- Consommation d'énergie
- Bruit

S'agissant des chiffres indiqués pour les émissions et les consommations, il ne faut pas oublier que, compte tenu des différentes méthodes de mesure utilisées par les divers États membres, les données ne sont pas toujours strictement comparables d'un pays à l'autre. (Voir annexe III pour plus de

renseignements sur cette question, mais les différentes méthodes utilisées ne modifient en rien les conclusions formulées dans le présent document).

#### 4.2.2.1 Consommation de bois

Pour fabriquer les pâtes mécaniques, le bois doit être livré en grumes compte tenu de la conception des défibreurs à meules. Les procédés TMP et CTMP utilisent le bois sous forme de copeaux et ils peuvent donc tous les deux utiliser du bois en grumes ou des copeaux provenant de scieries ou de usines de panneaux.

Les usines de pâtes mécaniques se caractérisent par des rendements élevés, avec de faibles pertes au cours de la fabrication, principalement sous forme de substances ligneuses dissoutes. La consommation de bois est normalement comprise entre 2,4 et 2,6 m<sup>3</sup>/ADt pour les pâtes mécaniques, 2,3 et 2,8 m<sup>3</sup>/ADt pour la pâte TMP et 2,8 et 3,0 m<sup>3</sup>/ADt pour la pâte chimicothermomécanique [CEPI, 1997b].

#### 4.2.2.2 Consommation d'eau

Dans les procédés de fabrication des pâtes mécaniques, l'eau circule habituellement dans des circuits bien fermés de manière à maintenir la température à des niveaux élevés. L'eau fraîche n'est utilisée que pour les joints hydrauliques et le refroidissement, puisque les excédents d'eaux épurées provenant de la machine à papier servent en général à compenser les pertes d'eau liées à la pâte (5 à 10 m<sup>3</sup>/tonne de pâte) et aux rejets. Pour une usine TMP, les sources d'émissions dans les cours d'eau sont la préparation du bois, l'épuration et le blanchiment (voir figure 4.3).

La majorité des usines produisant des pâtes mécaniques sont des usines intégrées, c'est-à-dire qu'elles gèrent leur consommation d'eau et d'énergie en liaison étroite avec l'usine de papier produisant des papiers couchés ou non couchés. Le tableau 4.4 indique des fourchettes types de consommation d'eau pour les procédés des pâtes mécaniques, TMP et CTMP.

Technique de fabrication	m <sup>3</sup> /ADt de pâte
Défibrage mécanique	5 - 15
TMP	4 - 10
CTMP	15 - 50

**Tableau 4.4 - Consommation d'eau dans la fabrication des pâtes mécaniques.**  
La consommation d'eau de l'usine de papier n'est pas incluse.

La figure 4.6 illustre les sources d'émissions dans l'eau et les principales substances à problèmes d'une usine CTMP. On utilise l'eau à contre-courant, à savoir que l'eau de lavage propre est utilisée pour la dernière presse de lavage et acheminée vers le flot de fibres. Le filtrat fortement pollué de la première presse est envoyé vers l'installation de traitement des effluents. Après séparation des fibres, le liquide en circulation peut être traité par flottation pour en extraire les solides de l'eau avant d'être envoyé lui aussi vers l'installation de traitement. Les eaux des joints hydrauliques et de refroidissement sont recueillies et utilisées comme eau de process. Si la capacité du réservoir d'eau blanche est suffisante, c'est-à-dire si l'on n'a pas besoin d'ajouter d'eau fraîche pour maintenir les niveaux, la consommation sera d'environ 10 m<sup>3</sup> d'eau fraîche par tonne de pâte à papier. Si le produit final doit présenter une faible teneur en extraits (dans le cas de la pâte pour carton ou de la pâte "fluff"), ou en fines (dans le cas de la pâte "fluff"), on aura peut-être besoin d'un apport supplémentaire d'eau fraîche.



En revanche, avec un traitement interne de l'eau blanche provenant du premier stade de lavage via une unité de floculation/flottation, la consommation d'eau descend à moins de 10 m<sup>3</sup>/t. L'unité de floculation/flottation élimine les extraits et les fines, et environ 40 à 50 % de la DCO.

#### 4.2.2.3 Émissions d'effluents liquides

La figure 4.6 illustre les émissions dans l'eau des usines de pâte CTMP.

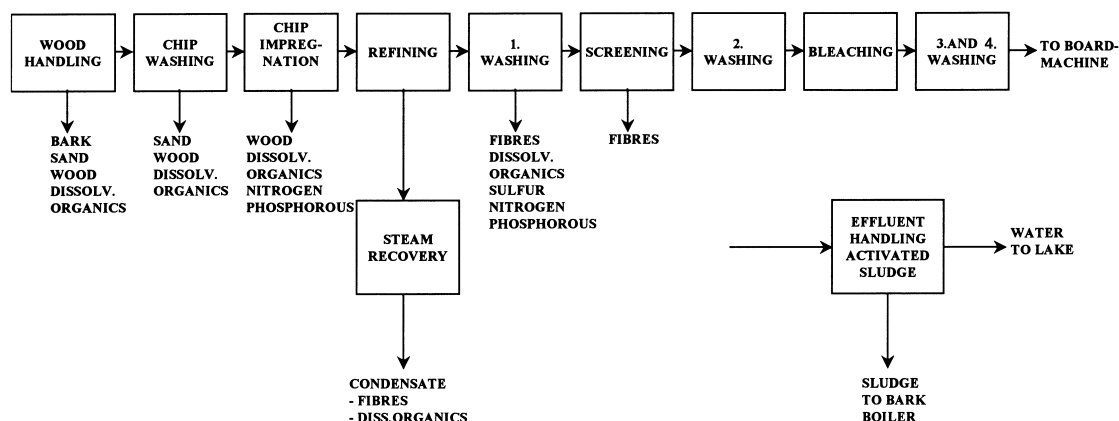


Figure 4.6 - Émissions dans l'eau d'une usine de pâte CTMP

Les émissions dans l'eau consistent principalement en substances organiques consommatrices d'oxygène, qui sont dans la phase aqueuse sous forme de substances organiques dissoutes ou en dispersion. Un rendement de 92 à 97 % signifie que 30 à 80 kg / tonne de bois sont perdues pendant le traitement sous forme de substances solides et dissoutes. Le rendement dépend de l'énergie apportée, de la température du processus et de l'utilisation de produits chimiques. Les essences de bois, les variations saisonnières et les conditions de stockage du bois influent également sur la quantité de solides dissous. Lors de la fabrication de la pâte par le procédé mécanique, celui-ci n'a pas d'incidences sur la stabilité de la cellulose et de la lignine, mais des hydrates de carbone simples, des hémicelluloses, des lignines, des agents d'extraction (par exemple des acides gras ou résiniques), des protéines et des substances inorganiques, notamment azote et phosphore, se retrouvent dissous et en dispersion dans l'eau de process.

Lorsque le rendement baisse et que la température augmente, on note une augmentation de la charge organique de l'eau provenant de la fabrication de la pâte.

Suit une liste des charges spécifiques types mesurées, telles que DBO<sub>5</sub>, DCO et substances nutritives (phosphore et azote) pour différentes pâtes à papier.

Technique de fabrication	Rendement (%)	DBO <sub>5</sub> kg/t	DCO kg/t	Azote	Phosphore
Pâte mécanique (défibrage à la meule)	96-97	8.5-10	20-30	80-100	20-25
Pâte mécanique (défibrage à la meule sous pression)	95-96	10-13	30-50	90-110	20-30
Pâte mécanique (défibrage à la meule sous pression) - soufre	95-96	11-14	45-55		
Pâte mécanique de raffineurs	95-96	10-15	40-60	90-110	20-30
Pâte thermomécanique (TMP)	94-95	13-22	50-80	100-130	30-40
Pâte chimiothermomécanique (CTMP) (CTMP blanchie)	92-94 (91-93)	17-30 (25-50)	60-100 (80-130)	110-140 (130-400)	35-45 (50-60)

**Tableau 4.5 - Charges spécifiques types telles que DBO<sub>5</sub>, DCO et substances nutritives rejetées par des usines produisant de la pâte mécanique à partir de sapin blanc (sapin de Norvège (*Picea abies*), avant traitement externe.**

**[Rapport finlandais sur les MTD, 1997; les chiffres entre parenthèses sont basés sur des renseignements personnels communiqués par des usines finlandaises de CTMP]; la DBO<sub>7</sub> a été convertie en DBO<sub>5</sub> en appliquant la formule  $DBO_7/1,16 = DBO_5$ , proposée dans ce même rapport.**

Si le blanchiment de la pâte mécanique se fait avec du peroxyde en milieu alcalin, on observe une augmentation importante des rejets de polluants organiques due à l'alcalinité pendant le blanchiment. La perte de rendement dans le cas du blanchiment au peroxyde est de 15 à 30 kg/tonne, ce qui correspond à une charge supplémentaire d'environ 10 à 30 kg O<sub>2</sub>/tonne exprimée en DCO. Les valeurs les plus élevées du tableau ci-dessus s'appliquent aux pâtes mécaniques blanchies au peroxyde. Alors que, dans les usines qui n'utilisent que de l'hydrosulfite comme agent chimique de blanchiment, on a mesuré des niveaux de DCO de 2 500 à 3 000 mg O<sub>2</sub>/l, en se référant à un débit d'eau de l'usine de TMP de 3 à 4 m<sup>3</sup>/tonne (sans tenir compte de la machine à papier). Une usine de pâte mécanique par défibrage à la meule a communiqué des concentrations de DCO avant traitement comprises entre 1 700 et 2 000 mg O<sub>2</sub>/l.

Dans la fabrication des pâtes mécaniques, le rejet d'azote provient du bois et des agents chélatants (par exemple EDTA, DTPA) utilisés dans le blanchiment. Une dose de 2 à 3 kg de EDTA /tonne de pâte entraîne un rejet supplémentaire de 150 à 220 g d'azote/tonne de pâte. Le rejet de phosphore dépend du bois. Les émissions de substances nutritives (azote et phosphore) sont faibles mais peuvent avoir une incidence négative sur l'eutrophisation.

Environ 20 à 30 % de l'écorce (par référence à l'écorce sèche) est soluble dans l'eau, qui se compose pour 50 à 60 % de substances phénoliques et pour environ 25 % d'hydrates de carbone solubles. Selon les conditions de stockage du bois, on peut aussi trouver des acides carboxyliques et des alcools dans l'effluent de l'installation d'écorçage. Certains composés rejetés par les usines ont des effets toxiques sur les organismes aquatiques avant le traitement vu que, par exemple, certains agents extracteurs tels que les acides résiniques peuvent être lessivés de l'écorce lors de la manipulation du bois. L'effluent liquide de l'écorçage est habituellement traité avec d'autres courants d'effluents liquides dans des installations de traitement extérieures.

Les additifs utilisés pour la fabrication du papier peuvent représenter une part importante du rejet organique après traitement, compte tenu du fait que certaines substances sont difficilement dégradables.

Etant donné qu'elles réduisent la transparence de l'eau, les émissions de substances colorées peuvent avoir des répercussions négatives sur la faune du milieu récepteur.

Les rejets des usines après traitement dépendent principalement de la conception et de la conduite des processus responsables de la plus grande partie des émissions et de l'installation mise en place pour le traitement des effluents liquides. L'efficacité du traitement biologique des effluents liquides des usines de pâte mécaniques est proche de celle des usines de pâtes chimiques. Mais la réduction de la DCO est généralement supérieure à des niveaux de l'ordre de 70 à 90 %. Qui plus est, plusieurs installations ont recours au traitement tertiaire de l'effluent, ce qui aboutit à une nouvelle réduction des rejets. Cela s'applique plus particulièrement aux polluants associés aux MES.

Technique de fabrication	Débit m <sup>3</sup> /t	DBO <sub>5</sub> kg/t	DCO kg/t	tot-P g/t	tot-N g/t	MES kg/t
CTMP	8-40	0.5-9	12-30	5-50	200-500	0.1-12
TMP	15-25	0.2-1.7	2- 8	5-15	60-160	0.5-1.5

**Tableau 4.6 - Emissions obtenues avec un traitement à boues activées pour les usines de pâtes mécaniques. [Commentaires de EPA Suède et renseignements communiqués par des usines finlandaises de pâte CTMP].**

D'autres sources indiquent des valeurs beaucoup plus élevées pour des usines employant des traitements moins efficaces des effluents.

Pour les usines de pâte CTMP, il existe un petit nombre de solutions alternatives de traitement des effluents liquides : le traitement à boues activées à une ou deux étapes avec ou sans traitement chimique; le traitement interne de l'eau blanche de la première étape, plus traitement à boues activées pour d'autres effluents; l'évaporation et incinération de la plus grande partie des effluents liquides pollués et traitement du reste par les boues activées; la combinaison de traitement aérobie et anaérobie des effluents liquides. Aujourd'hui, le traitement à boues activées est la technique la plus courante et, si elle est correctement conçue, elle permet d'atteindre facilement une réduction de 98 % de la DBO et de 85 % de la DCO. La raison pour laquelle on n'utilise pas plus couramment le traitement anaérobie pour les effluents des usines CTMP est que les circuits anaérobies sont relativement sensibles aux perturbations.

En Europe, un nombre de plus en plus important de papeteries fabrique et utilise non pas un seul type de pâte à papier mais différents types de pâtes sur un même site. Par exemple une papeterie qui fabrique principalement du papier journal et des papiers d'impression SC peut utiliser une combinaison de matières premières telles que pâtes mécaniques (par défibrage à la meule et TMP), pâte désencrée de papiers recyclés, et une certaine quantité de pâte chimique achetée. Dans ce type d'usines, le circuit de l'eau est étroitement lié aux différents process. Une papeterie allemande qui fabrique du papier journal et des papiers SC à partir de 45 000 t/an de pâte TMP, 85 000 t/an de pâte mécanique de meule, 220 000 t/an de pâte désencrée, 45 000 t/an de pâte kraft achetée et 93 000 t/an de pigments, a indiqué un rejet de polluants organiques de 14 kg DCO/t et 6,3 kg DBO<sub>5</sub>/t avant traitement. Après traitement biologique dans une installation à boues activées, on a mesuré les valeurs suivantes DCO : 3,4 kg/t, DBO<sub>5</sub> / 0,1 kg/t, débit total d'eau : 12 à 13 m<sup>3</sup>/t, azote : 0,2 à 4,2 mg/l, phosphate : 0,3 à 1,3 mg/l, AOX : 0,11 mg/l.

#### 4.2.2.4 Émissions dans l'atmosphère

##### Composés organiques volatils (COV)

Les émissions dans l'atmosphère des usines de pâtes mécaniques sont principalement liées aux émissions de COV, dont les sources sont l'évacuation de l'air provenant des bacs pour le lavage des copeaux de bois et d'autres bacs, et la vapeur polluée par des composants volatils du bois qui est émise lors de la fabrication des pâtes mécaniques.

Les concentrations de composés organiques volatils dépendent dans une très grande mesure de la qualité et de l'état de fraîcheur de la matière première (bois) et des techniques utilisées. Les substances émises comprennent des acides acétiques, des acides formiques, de l'éthanol, des pinènes et des térébenthines. Une usine allemande de TMP a communiqué les concentrations suivantes de substances organiques **avant** le traitement externe.

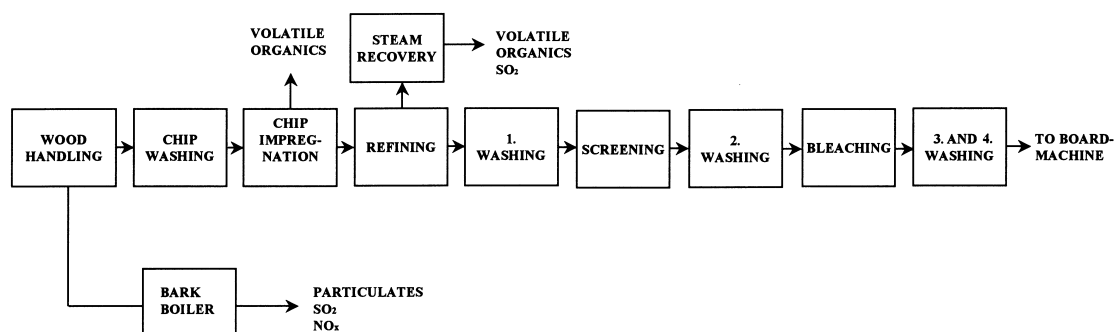
Étape du process	Émission de substances organiques
Vapeur	Total substances organiques C : 6 000 mg/m <sup>3</sup> (plus grande valeur individuelle : 9 600 mg/m <sup>3</sup> ) - pinènes <sup>1)</sup> : 13 000 mg/m <sup>3</sup>
Lavage des copeaux de bois	Total substances organiques C : 300 mg/m <sup>3</sup> - pinènes <sup>1)</sup> : 500 mg/m <sup>3</sup>
Évacuation de l'air provenant d'autres bacs	Total substances organiques C : 150 mg/m <sup>3</sup> - pinènes <sup>1)</sup> : 50 mg/m <sup>3</sup>
<sup>1)</sup> Essentiellement des pinènes (C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> ), mais comprend également d'autres substances organiques volatiles de la classe III des Instructions Techniques Allemandes sur le Contrôle de la Qualité de l'Air; si le débit massique total est > 3 kg/h, la concentration massique ne doit pas dépasser 150 mg/m <sup>3</sup> .	

**Tableau 4.7 - Emissions de composés organiques volatils avant traitement communiquées par une fabrique de TMP allemande.**

Une fabrique de CTMP a indiqué 200 g de terpènes par tonne de pâte avant traitement.

Il existe plusieurs méthodes pour réduire les émissions de COV. La récupération des terpènes à partir des condensats pollués contenant principalement des terpènes ou l'incinération des gaz brûlés dans la centrale électrique sur le site ou un four séparé sont les solutions possibles. Certains COV peuvent être émis par l'installation de traitement des effluents liquides et des émissions non quantifiées proviennent aussi des tas de copeaux.

La figure 4.7 récapitule les émissions dans l'atmosphère d'une usine de pâte CTMP.



**Figure 4.7 - Emissions dans l'atmosphère des usines de pâte CTMP**

Les émissions dans l'atmosphère proviennent principalement de l'imprégnation des copeaux et de la récupération de la vapeur (COV) et des chaudières à écorce utilisées pour l'incinération des résidus de bois (Matières particulaires, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>).

### **Émissions provenant de la production d'énergie**

Comme dans les autres usines de pâte et de papier, la fabrication des pâtes mécaniques produit des émissions dans l'atmosphère qui ne sont pas liées au processus mais avant tout à la production d'énergie par combustion de différents types de combustibles fossiles ou de résidus du bois. Les combustibles fossiles utilisés sont le charbon, l'écorce, le fioul et le gaz naturel. Dans une papeterie intégrée type qui utilise des pâtes mécaniques, la vapeur haute pression est générée dans une centrale électrique. L'énergie est partiellement transformée en électricité dans un turbo-alternateur à contre-pression, le reste étant utilisé pour le séchage du papier. Les centrales employant des combustibles solides sont équipées d'un système d'électrofiltre pour éliminer les matières particulaires des gaz de fumées. L'émission de dioxyde de soufre est limitée grâce à l'emploi de combustibles sélectionnés. En fonction des conditions locales, des papeteries européennes utilisent différentes quantités d'énergie achetée à l'extérieur.

### **Émissions provenant des chaudières à écorce**

Dans le cas des pâtes mécaniques de raffineurs, l'écorce enlevée est généralement brûlée dans des chaudières à écorce. On peut y adjoindre une partie des rejets et des boues. Certaines usines de pâte à papier n'utilisent pas de bois en grumes comme matière première, mais des copeaux de bois provenant de scieries.

#### **4.2.2.5 Production de déchets solides**

Les déchets solides résultant de la fabrication des pâtes mécaniques comprennent l'écorce et les résidus de bois de l'écorçage, du lavage et de l'épuration des copeaux (environ 1,5 % de refus), des rejets de fibres (boues primaires), des cendres de la production d'énergie, et des boues secondaires provenant du traitement biologique externe des effluents liquides. Les résidus contenant du bois sont habituellement brûlés dans la chaudière à écorce. Les cendres sont évacuées ou utilisées dans la construction.

La plus grande fraction des déchets se compose de différents types de boues, principalement des boues primaires contenant des fibres et des boues secondaires provenant du traitement biologique des effluents liquides. Il est possible de réduire la quantité de déchets à éliminer en augmentant le rendement de l'égouttage de la presse à boues. S'il faut prévoir de transporter la boue en vue d'un traitement ultérieur (par exemple son incinération), il est préconisé de la sécher en utilisant la chaleur en excès du processus (par exemple de l'air chaud), jusqu'à l'obtention d'une teneur de 75 % en solides secs.

Le choix d'une réutilisation dépend de la qualité et de la quantité de boues produites. Les boues primaires peuvent être utilisées comme matières complémentaires dans les briqueteries ou bien incinérées sur place ou à l'extérieur du site. Pour trouver une solution adaptée de traitement ultérieur des boues et des rejets, il est préconisé de conserver les divers types de boues séparés.

Une analyse chimique des boues primaires et secondaires d'une usine de pâte et de papier allemande a donné les résultats suivants :

Paramètre	Unité	Boue primaire	Boue secondaire
Teneur en solides secs	%	47.9	31.7
Solides secs	% DS	33.2	48.3
TOC (carbone organique total)	% DS	19	23
Arsenic	mg/kg DS	1.6	2.3
Plomb	mg/kg DS	41	22
Cadmium	mg/kg DS	< 0.67	<0.67
Chrome <sub>total</sub>	mg/kg DS	24	17
Cuivre	mg/kg DS	238	71
Nickel	mg/kg DS	5.7	7.5
Mercure	mg/kg DS	0.08	0.09
Zinc	mg/kg DS	141	135

**Tableau 4.8 - Composition des boues primaires et des boues secondaires de l'installation à boues activées. Rapport d'une usine allemande de pâte mécanique (de meule et TMP).**

#### **4.2.2.6 Consommation de produits chimiques**

Les principaux produits chimiques utilisés dans la fabrication des pâtes mécaniques sont ceux pour le blanchiment et ceux destinés à l'imprégnation des copeaux de bois.

Si l'on a recours au blanchiment au dithionite ( $\text{NaHSO}_3$ ), une charge maximale de dithionite d'environ 8 à 12 kg par tonne de pâte est mélangée à cette dernière. Dans la plupart des usines, on ajoute un agent chélatant (EDTA, DTPA par exemple).

Le blanchiment oxydant au peroxyde ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) est exécuté avec un pH compris entre 10 et 10,5. Le pH doit être ajusté à l'aide d'hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ ). La quantité maximale (au plan économique) de peroxyde est de 3 à 4 % (solution à 50 %) de la quantité de pâte. On ajoute du silicate de sodium (1,5 à 4 % de la quantité de pâte) pour tamponner le pH et stabiliser le peroxyde. On utilise des agents chélatants (EDTA, DTPA par exemple) pour former des complexes avec des métaux lourds (Fe, Mn, Cu, Cr), afin d'empêcher la décoloration de la pâte à papier et la décomposition du peroxyde. La dose d'agents chélatants est d'environ 5 kg par tonne de pâte. Les EDTA et DTPA sont difficilement dégradables et contiennent de l'azote, que l'on retrouve dans les effluents liquides. La pâte blanchie est finalement acidifiée au moyen d'acide sulfurique ou de dioxyde de soufre jusqu'à un pH de 5 à 6.

Les gammes de produits chimiques utilisés varient considérablement, car ceux-ci dépendent surtout de la technique principale utilisée pour le blanchiment de la pâte mécanique. Par exemple, si l'on utilise le blanchiment au dithionite, on n'utilise pas du tout de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaSiO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{SO}_2$  ("0"). En outre, la qualité du bois joue un rôle important. La trituration de copeaux provenant de déchets de scieries se traduit pour la pâte par un niveau de blanc inférieur (de 5 à 6 points) à celui obtenu avec des copeaux de bois en grumes frais. Par conséquent, dans ce dernier cas, on a besoin d'une moindre quantité de produits chimiques pour obtenir le même degré de blanc. Pour le bois à pâte frais, on pourra se contenter d'un blanchiment réducteur moins polluant.

Substances	Quantité de produits chimiques utilisés pour les pâtes mécaniques de défibrage (kg/t)	Quantité de produits chimiques utilisés pour la pâte TMP (kg/t)	Quantité de produits chimiques utilisés pour la pâte CTMP (kg/t)
NaHSO <sub>3</sub>	0 - 12	0 - 12	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0 - 30	0 - 40	0 - 40
NaOH	?	0 - 20	0 - 25
NaSiO <sub>3</sub>	0 - 40	0 - 40	0 - 40
EDTA/DTPA	0 - 5	0 - 5	0 - 5
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /SO <sub>2</sub>	-	-	0 - 10
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	-	-	25 - 30

**Tableau 4.9 - Consommation des principaux produits chimiques en kg/t pour les pâtes mécaniques blanchies.**

Toutes les consommations sont exprimées en solutions contenant diverses quantités d'eau.

Dans les usines intégrées de pâte mécanique, il se peut que l'on utilise d'autres adjuvants en fonction du produit papier final requis (On trouvera des renseignements complémentaires sur les adjuvants dans l'Annexe I).

#### **4.2.2.7 Consommation d'énergie**

La consommation d'énergie spécifique dans la fabrication des pâtes mécaniques dépend de la technique de fabrication utilisée, des propriétés des matières premières et, dans une grande mesure, des exigences de qualité de la pâte compte tenu du produit final requis. L'indice d'égouttage (Canadian Standard Freeness = CSF) caractérise les propriétés de drainage de la pâte et est habituellement utilisé pour spécifier sa qualité. Un indice d'égouttage bas est synonyme de pâte avec un drainage lent et un degré élevé de fibrillation. Pour fabriquer une pâte avec un indice d'égouttage plus faible (meilleure résistance), l'apport d'énergie pour le défibrage ou le raffinage augmente. En plus des propriétés de drainage, la répartition entre fibres longues et fines dans une pâte donnée ainsi que la douceur des fibres sont contrôlées via l'apport d'énergie. C'est le type de papier ou de carton qui sera fabriqué avec la pâte qui détermine quels doivent être son indice d'égouttage, son degré de blanc et ses autres propriétés. Le papier d'impression avec bois, à savoir LWC (papier couché léger), le papier de presse magazine SC (indice d'égouttage 20 à 60 ml CSF) et le papier journal (indice d'égouttage 80 à 150 ml CSF) sont les produits les plus courants. Les pâtes servent également à fabriquer du papier-carton (indice d'égouttage 450 à 750 ml CSF), des papiers à usage sanitaire et domestique (300 ml CSF) et du "fluff" (700 ml CSF).

Une partie seulement du travail mécanique effectué dans le défibreux ou le raffineur est utilisée pour libérer les fibres du bois. Le reste de cette énergie est transformé en chaleur par friction et l'on peut en récupérer un peu sous forme d'eau chaude ou de vapeur, que l'on peut utiliser pour sécher le produit final. Le potentiel le plus important de récupération d'énergie de la fabrication des pâtes mécaniques est limité à la partie du processus qui est exécuté sous pression. La quantité d'énergie récupérable n'est pas un pourcentage constant de l'apport total d'énergie pour toute la plage de l'indice d'égouttage. En effet, une pâte à faible indice d'égouttage implique un raffinage secondaire et tertiaire plus poussé à pression atmosphérique. Les fourchettes types de consommation d'énergie et de taux de récupération sont indiquées dans le tableau 4.10

Pâte mécanique et indice d'égouttage, ml CSF	Consommation d'énergie (kWh/t de pâte)	Énergie récupérable	
		sous forme d'eau chaude (%)	sous forme de vapeur (%)
<b>GW 350-30</b> Pâte mécanique (défibrage à la meule))	1100-2200	20	
<b>PGW 350-30</b> Pâte mécanique (défibrage à la meule sous pression)	1100- 2200	30	20
<b>PGW-S 350-30</b> Pâte mécanique (défibrage à la meule sous pression ) - soufre	1100-2300	30	20
<b>RMP 350-30</b> Pâte mécanique de raffineur	1600-3000	30	20
<b>TMP 400-30</b> Pâte thermomécanique	1800-3600	20	40-45
<b>CTMP 700-30</b> Pâte chimicothermomécanique	1000-4300	20	40-45

**Tableau 4.10 - Consommation d'énergie et récupération de l'énergie dans la fabrication des pâtes mécaniques. [TEKES, 1997].**

**La consommation d'énergie s'applique à la pâte séchée au four (100 %). Ces chiffres ne sont que des moyennes, qui peuvent varier de  $\pm 10$  % en raison des conditions locales de l'usine mais aussi en raison d'imprécisions des mesurages.**

Ainsi, par exemple, pour le bois défibré à la meule, la consommation d'énergie varie d'environ 1 100 kWh/t pour un indice CSF 350 à environ 2 000 kWh/t pour un indice CSF 40. La pâte PGW (bois défibré sous pression) consomme de 1 300 kWh/t environ pour un indice CSF 300 à 2 300 kWh/t environ pour un CSF 40, mais jusqu'à 30 % de l'apport en énergie peut être récupéré sous forme d'eau chaude via un échange de chaleur avec la pâte. On peut récupérer jusqu'à 30 % de l'énergie sous forme d'eau chaude dans le cas de la pâte mécanique de raffineurs, et jusqu'à un total de 60 à 65 % pour la pâte PTM en tant qu'eau chaude et vapeur. Avec la technique TMP fonctionnant à une pression de 6 bars, le processus émet jusqu'à 2 tonnes de vapeur par tonne de pâte, soit environ une tonne de vapeur par MWh du raffineur. En général, la quantité de vapeur récupérée dépend de l'énergie spécifique consommée et se chiffre à quelque 2 tonnes par tonne de pâte sous une pression de 2 à 4 bars.

En règle générale, la technique TMP consomme plus d'énergie que la fabrication de pâte à partir de bois défibré à la meule. Par exemple, la pâte de meule utilisée pour la production de papier SC et de papier journal consomme au total respectivement environ 2 200 kWh/t et 1 600 kWh/t, alors que pour la pâte TMP ces chiffres sont respectivement de 3 600 kWh/t et 2 500 kWh/t.

Le tableau 4.11 illustre la consommation d'énergie sous forme de chaleur et d'énergie électrique dans une usine suédoise de pâte TMP produisant 500 000 t/an de papier journal et le tableau 4.12 illustre l'équilibre énergétique pour cette même usine.



Département	Chaleur de process (MJ/t)	Énergie électrique (kWh/t)
Parc à bois	150	50
Raffinage	0	2110 <sup>1)</sup>
Lavage et épuration	0	50
Blanchiment	0	75
Préparation des produits chimiques pour le blanchiment	0	5
Épuration de la pâte blanchie	0	35
Chaudière de puissance	0	25
<b>Total usine de pâte</b>	<b>150</b>	<b>2350</b>
Préparation de la pâte	0	235
Machine à papier	5300 <sup>1) 2)</sup>	350
<b>Total papeterie</b>	<b>5300</b>	<b>585</b>
<b>Traitement de l'effluent</b>	<b>0</b>	<b>39</b>
<b>Total par tonne de papier</b>	<b>5450</b>	<b>2974</b>
Notes :		
1) Une usine finlandaise intégrée de pâte TMP a communiqué une consommation d'électricité plus élevée de l'ordre de 2 400 kWh/t pour la phase du raffinage (y compris le raffinage des rejets) et une consommation inférieure de chaleur de process de 4 800 MJ/t pour la machine à papier [Commentaires finlandais].		
Une usine de papier journal suédoise indique une demande de chaleur d'environ 4 GJ/t pour le séchage du papier, une demande qui sera réduite d'environ 10 % avec la future mise en place d'une presse à mâchoires.		

**Tableau 4.11 - Consommation d'énergie d'une usine intégrée avec une capacité de production de 500 000 t/an de papier journal à partir de pâte TMP. [Rapport SEPA 4712-4, 1997]**

En Finlande, une usine intégrée a communiqué les chiffres suivants concernant la consommation d'énergie électrique : parc à bois 20 à 30 kWh/Adt, raffinage (CSF 450) 1 600 à 1 900 kWh/Adt, blanchiment et épuration environ 500 kWh/Adt. Soit, au total, une demande d'environ 2 100 à 2 400 kWh/Adt.

Département	Chaleur (MJ/t)	Énergie électrique (kWh/t)
Usine de pâte à papier		
Vapeur récupérée, uniquement pour utilisation dans le processus <sup>1)</sup>	+1500	
Chaudière de puissance, vapeur de process (seulement ses propres écorces)	+1500	
Générateur à turbo-alternateur		+100
Approvisionnement extérieur	0	+2289
Consommation	-150	-2350
Traitement de l'effluent	0	-39
<b>Excédent d'énergie de l'usine de pâte</b>	<b>+2850</b>	<b>0</b>
Papeterie		
Consommation	-5300	-585
Approvisionnement extérieur <sup>1)</sup>	+2450	+585
<b>Total approvisionnement extérieur</b>	<b>2450</b>	<b>2874</b>
Notes :		
1) Du point de vue du papetier finlandais, la récupération de chaleur du processus TMP est nettement supérieure. Pour une usine intégrée de 250 000 t/an de papier journal à base de TMP, on a indiqué une valeur de récupération de la chaleur (vapeur récupérée) de 3 450 MJ/t. Ainsi, dans ce cas, il n'est pas nécessaire de prévoir un approvisionnement extérieur en chaleur [Commentaires finlandais]		

**Tableau 4.12 - Équilibre énergétique d'une usine suédoise intégrée produisant 500 000 t/an de papier journal à partir de pâte TMP. [Rapport SEPA 4712-4, 1997]**

L'équilibre énergétique et le degré de récupération dépendent entre autres du prix de l'énergie dans le pays en question. Si l'énergie du réseau public est relativement bon marché, les usines n'auront besoin que d'une petite installation (par exemple une chaudière à écorce) pour produire la vapeur nécessaire pour la machine à papier, et l'usine de pâte TMP fonctionnera avec de l'énergie achetée. L'énergie récupérée des raffineurs sera suffisante pour produire la chaleur nécessaire pour une deuxième machine à papier. Les pays où l'électricité est relativement onéreuse ont tendance à mettre en place des centrales électriques plus importantes pour produire l'énergie sur place, avec pour résultat la production d'un excédent de chaleur (moins de récupération de la chaleur).

Le tableau 4.13 récapitule les consommations d'énergie d'une usine finlandaise non intégrée de CTMP.

Département	Chaleur (MJ/t)	Énergie électrique (kWh/t)
<b>Usine de pâte à papier</b>		
Vapeur récupérée, uniquement pour utilisation dans le process	+ 2700	
Approvisionnement externe	0	+1650
Consommation	0	-1600
Traitement de l'effluent	0	-50
<b>Excédent d'énergie de l'usine de pâte</b>	<b>+2700</b>	<b>0</b>
<b>Séchage du papier</b>		
Consommation	-5600	- 150
Chaudière à vapeur (résidus de bois et fioul)	+2900	+ 150
<b>Total approvisionnement externe</b>	<b>2900</b>	<b>1800</b>

**Tableau 4.13 - Equilibre énergétique d'une usine suédoise non intégrée de pâte CTMP (CSF 400 ml).**

#### 4.2.2.8 Bruit (local)

L'installation d'écorçage et, dans une moindre mesure, la machine à papier et les raffineurs sont une source de bruit que l'on peut contrôler en isolant soigneusement le local d'écorçage. Les camions et autres véhicules servant respectivement au transport des importantes quantités de matières premières et des produits fabriqués par l'usine sont susceptibles de provoquer des nuisances sonores à proximité de l'usine.

### 4.3 Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD

La présente section décrit toutes les techniques couramment **applicables** pour la prévention ou la réduction des rejets/déchets et pour réduire la consommation d'énergie et de matières premières, tant pour les nouvelles installations que pour les installations existantes. Cette liste des techniques n'est pas exhaustive et pourra être complétée à l'occasion d'une révision du présent document. Ces techniques englobent aussi bien les mesures internes que les traitements finaux avant rejet et représentent les possibilités d'amélioration pour atteindre un haut degré de prévention et de réduction de la pollution.

Le tableau 4.14 donne un aperçu général des techniques disponibles permettant de réduire les émissions des usines de pâte mécanique.

Le tableau indique, pour chaque technique, les interactions entre les milieux (impacts intermilieux). Il en ressort qu'il n'est pas facile de décrire ces interactions de manière indiscutable. Il existe de nombreuses "zones d'ombre" dans leur évaluation. Elles peuvent en outre dépendre d'autres éléments. L'évaluation des interactions entre les milieux ne doit être considérée que comme une aide pour

permettre aux exploitants et à l'Administration de déterminer quels peuvent être les effets secondaires éventuels d'une mesure, et elle ne constitue guère plus qu'un point de départ pour étudier les éventuels transferts de pollution. Les résultats de cette évaluation ne doivent pas être considérés comme des règles. D'autre part, des mesures de prévention et de contrôle peuvent éviter certaines de ces interactions. L'interaction entre les milieux dépend aussi, entre autres choses, des conditions particulières à chaque usine. Il est donc difficile d'établir un bilan général de la situation.

Mais ce tableau peut indiquer quel est le milieu (eau, air, déchets et énergie) visé par une mesure. Les paragraphes correspondants dans l'étude détaillée de chaque technique donnent des explications complémentaires.

A quelques rares exceptions près, les usins de pâte à papier mécanique intègrent une papeterie. Il existe donc un certain chevauchement entre la fabrication de la pâte mécanique et sa préparation d'une part, et la fabrication du papier et les procédés annexes de l'autre. Dans ce cas, une référence croisée renvoie aux chapitres concernés. Cela vaut tout particulièrement pour la consommation et la circulation de l'eau. On ne peut pas les décrire en faisant abstraction de la papeterie.

Enfin, certains des principes et mesures visant à améliorer les résultats en matière d'environnement s'appliquent aussi bien aux papeteries utilisant des pâtes mécaniques qu'à d'autres papeteries. Ces points feront également l'objet d'une référence croisée pour éviter les répétitions inutiles et pour montrer les similitudes et les différences dans la production de différentes qualités de papier.

Dans les colonnes, on indique qualitativement la tendance des effets (impacts) des différentes techniques sur les émissions, la consommation de matières premières et les performances de l'usine à l'aide de flèches vers le haut "↑" ou vers le bas "↓". Les flèches vers le bas "↓" indiquent des économies de matières premières ou d'énergie et une réduction des émissions dans les différents milieux : eau, air et sol. Les flèches vers le haut "↑" indiquent un accroissement des émissions, de la consommation et des impacts sur le processus de production. Certaines des mesures visant à la prévention et à la réduction de la pollution présentées dans la présente section concernent plus d'un milieu environnemental (l'eau, l'air ou le sol) à la fois. Certaines techniques peuvent avoir un impact positif et/ou négatif sur d'autres milieux environnementaux ou sur la consommation d'énergie et de matières premières (interactions entre les milieux). Les effets constatés sont indiqués à l'aide des flèches. Une flèche entre parenthèses "(↑)" signifie qu'il s'agit d'un accroissement léger - souvent négligeable - de la consommation d'énergie, de la quantité de matières premières utilisées ou des émissions dans l'environnement lorsqu'on applique une certaine mesure. Les aspects économiques (investissements, dépenses de fonctionnement) ne figurent pas dans le tableau mais sont commentés dans le texte. Les données de caractère économique peuvent seulement fournir une image sommaire et indiquer le niveau des coûts. Ceux-ci varient selon la conception générale de l'installation et dépendent entre autres de la taille de l'usine et de la façon dont une technique s'intègre avec le reste des équipements.

Chaque technique reçoit un repère de référence qui facilite l'identification de la section correspondante du texte dans laquelle chaque technique est étudiée en détail.

Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD	Effets sur les niveaux de consommation et d'émissions (interaction entre les milieux)				Déchets solides	Observations
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (W)	Émissions dans les cours d'eau	Émissions dans l'atmosphère		
4.3.1 Contrôle des émissions venant du parc à bois	0	0	↓	0	0	
4.3.2 Ecorçage à sec	0	E ↑ dans l'écorçage W ↓	↓ COD, ↓ TSS, ↓ débit	0	0	
4.3.3 Minimisation des pertes dues aux rejets	0	E ↓	↓	0	↓	
4.3.4 Minimisation de l'évacuation des rejets	0	E ↓ incinération E ↑ égouttage	0	(↑)	↓	
4.3.5 Efficacité du lavage et du contrôle du processus	↓ blanchiment	(↑) lavage (électr.)	↓	0	0	essentielt CTMP
4.3.6 Recyclage de l'eau dans les usines de pâte et de papier	0	W ↓	↓	0	0	
4.3.7 Traitement des effluents des usines de CTMP. Mise en circuit fermé des circuits d'eau grâce au recours à l'évaporation et à l'incinération des concentrats	0	↓ (W), ↑ (E)	↓	(↑)	↓	seulemt CTMP
4.3.8 Mise en place de la cogénération de chaleur et d'énergie	0	E ↓	0	↓	0	
4.3.9 Récupération de la chaleur des raffineurs	0	E ↓	0	↓	0	
4.3.10 Réduction des émissions de COV provenant des dégagements de vapeur	0	0	0	↓	0	
4.3.11 Incinération des déchets solides optimisée au niveau des émissions et récupération de l'énergie	0	E ↓	0	(↑)	↓	
4.3.12 Mise en place de réservoirs tampons d'une capacité suffisante pour stocker des liquides concentrés ou chauds	0	0	↓	0	0	essentielt CTMP
4.3.13 Traitement biologique des effluents liquides	↑	E ↑	↓	↓ odeur	(↑)	les déchets solides peuvent être brûlés
4.3.14 Traitement tertiaire des effluents liquides	↑	E ↑	↓	0	(↑)	les déchets solides peuvent être brûlés
Notes : ↑ = augmentation; ↓ = baisse; 0 = pas d'impact (ou négligeable). (↑/↓) impact modéré selon les conditions;						

**Tableau 4.14 - Aperçu des techniques disponibles dans les usines de pâtes mécaniques et mi-chimiques, et leur impact respectivement sur l'environnement et les performances de l'usine.**

#### 4.3.1 Contrôle des émissions venant du parc à bois

Pas de données reçues pour l'instant.

Cette technique est considérée comme pertinente pour la fabrication des pâtes mécaniques car le bois destiné à ce type de pâte doit être conservé frais pour ne pas sécher. Souvent, les grumes sont arrosées pour éviter qu'elles ne se dessèchent.

### 4.3.2 Écorçage à sec

Voir 2.3.1

### 4.3.3 Minimisation des refus par classage et cyclonage

#### Description de la technique

Il existe en principe deux méthodes pour séparer les contaminants de la pâte :

- les épurateurs centrifuges ou hydrocyclones, qui séparent les particules plus lourdes que les fibres
- les classeurs (tamis) sous pression équipés de trous ou de fentes assurant la séparation des matières supérieures à une certaine taille.

Les refus des hydrocyclones et des classeurs sous pression contiennent une importante quantité de matières fibreuses. On les récupère avec plusieurs équipements en série. Cette disposition permet d'économiser des quantités considérables de matière première et de réduire la charge en solides en suspension de l'effluent à traiter.

#### Classage et cyclonage de la pâte

Pour les pâtes mécaniques, le classage a un autre rôle que pour les pâtes chimiques, d'où l'on peut retirer les refus du circuit fibres. Ici, il s'agit au contraire principalement de séparer la matière et, après lui avoir fait subir un traitement adéquat, de la remettre dans le circuit principal de la fibre. Le traitement des refus est spécifique à l'usine et différentes solutions sont possibles. Souvent, les systèmes de classage et cyclonage sont basés sur le principe du fonctionnement "en cascade". Ils présentent l'inconvénient d'être moins facilement contrôlables que les systèmes à action directe.

La pâte est épurée au moyen de classeurs sous pression et d'hydrocyclones. Le classage est effectué à l'aide de trous (diamètre 1 à 2 mm) ou de fentes (de 0,15 à 0,35 mm de largeur) à une concentration de 1,3 % ou plus. Le fait de travailler avec une consistance de 3 % a permis, dans certains cas, de réduire la teneur en bûchettes de 60 % par rapport à la technique traditionnelle du classage avec une pâte de faible consistance.

On utilise souvent les hydrocyclones en complément des classeurs. La matière refusée diffère des refus du classage, car il s'agit en l'occurrence de particules rigides présentant une petite surface spécifique. Le principal défaut des hydrocyclones est la faible consistance de la pâte (0,5 à 0,7 %), ce qui correspond à des volumes d'eau de 150 à 200 m<sup>3</sup>/ADt. Mais la plus grande partie de cette eau peut être recyclée et réutilisée dans l'usine de pâte. Actuellement, de nombreuses usines se penchent de nouveau sur l'utilité des hydrocyclones dans le circuit de la pâte et l'envisagent comme une solution alternative dans les papeteries.

#### Raffinage des refus

Afin de pouvoir renvoyer des refus dans le circuit principal des fibres, ils sont généralement raffinés en une ou deux étapes entre des plaques de raffinages en rotation. La désintégration initiale des paquets de fibres grossiers dans le raffineur a lieu dans la zone des barres de désintégration, où la matière trop volumineuse est transformée en fibres simples. Ces fibres passent par un interstice sous l'action des forces centrifuges et subissent un traitement intensif avec une pâte à consistance élevée (30 à 45 %).

La quantité de refus peut être de l'ordre de 20 à 30 % et la consommation d'énergie représenter 10 à 40 % de la demande globale spécifique d'énergie dans le procédé mécanique. S'il est nécessaire d'avoir une récupération et un recyclage efficaces des refus, on peut concevoir les circuits TMP pour un raffinage de (par ex.) 20 % des refus, calculé à partir de la capacité du circuit des fibres.

Les refus définitifs que l'on ne peut pas renvoyer dans le circuit des fibres sont éliminés du processus sous forme de déchets solides ou incinérés dans une chaudière.

Une question importante est celle de la réintroduction des refus de classage dans le circuit principal des fibres. Grâce à un système en cascade, les refus sont recyclés en un point amont (circuit à contre-courant). Cela donne un volume plus important d'eau en circulation, notamment dans les systèmes avec des débits élevés de refus. L'avantage de cette méthode en cascade est qu'elle minimise le risque d'une teneur trop élevée en bûchettes dans le circuit des matières acceptées.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

L'addition d'étapes de classage, cyclonage et raffinage des refus est possible aussi bien dans les usines nouvelles qu'existantes.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Réduction des pertes de fibres et diminution de quelques points de la production de déchets. Le taux de réduction dépend du degré d'efficacité de l'utilisation des matières premières avant la mise en œuvre des mesures d'amélioration.

### **Interactions entre les milieux**

Le raffinage des refus entraîne une hausse de la consommation d'énergie. Normalement, la vapeur émise n'est pas récupérée. En revanche, les refus ont déjà subi le premier stade du raffinage, gros consommateur d'énergie, de sorte que, globalement, on économisera de l'énergie en réduisant les pertes liées aux refus. Par conséquent, le bilan énergétique net de cette mesure est positif. Il y a moins de résidus provenant du processus.

### **Aspects économiques**

Le montant des investissements types pour une capacité de 700 ADt/j de pâte est de 0,8 à 1,1 MEuros et les dépenses de fonctionnement s'élèvent à 0,3 à 0,5 MEuros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La principale incitation à adopter cette mesure est l'amélioration du rendement des matières premières et de l'énergie. Deuxièmement, la charge de MES envoyée vers l'installation de traitement des effluents est réduite.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

[CEPI, 1997b]

## **4.3.4 Minimisation de l'évacuation des refus vers les décharges par incinération avec récupération d'énergie**

### **Description de la technique**

Les refus et les boues résultant de la fabrication de la pâte et du traitement de l'eau doivent être déshydratés avant leur évacuation définitive ou un traitement ultérieur. Pour cette opération, on utilise

des presses à bandes ou à vis. Il s'agit d'éliminer le plus possible d'eau des boues. On dispose pour cela de différents types d'équipements mécaniques.

- Presses à bandes
- Presses à vis
- Centrifugeuses

La plupart des installations nouvelles de ces 10 à 15 dernières années sont des presses à bandes, fonctionnant de façon fiable et donnant des valeurs relativement élevées de solides secs, 40 à 50 % avec les boues primaires et 25 à 40 % pour les boues mixtes primaires/ biologiques.

Les presses à vis peuvent jouer un double rôle, soit augmenter la teneur en solides secs après le passage à la presse à bandes, lorsqu'on peut obtenir un accroissement de quelque 10 % des solides secs, soit réaliser une déshydratation directe lorsqu'on peut obtenir une teneur en solides secs plus élevée qu'avec la presse à bandes.

Après la déshydratation, les boues et les refus peuvent être incinérés en vue de réduire encore la quantité de déchets des pâtes mécaniques qui sont destinés à être envoyés à la décharge. Les options suivantes sont disponibles :

- incinération avec l'écorce dans des chaudières à écorce,
- incinération séparée des boues.

Pour la co-combustion, notamment dans le cas de boues à teneur relativement basse en matières sèches, c'est la chaudière à lit fluidisé qui est actuellement la meilleure solution pour les nouvelles installations. Elle peut fonctionner avec 100 % de boues, bien qu'il soit courant d'utiliser un combustible d'appoint (charbon ou fioul par exemple). Les besoins en combustible d'appoint dépendent de la teneur de la boue en solides secs et en taux de cendres. Une teneur en solides secs de 35 à 40 % est généralement nécessaire pour assurer une combustion sans soutien.

On a également utilisé avec succès une incinération séparée des boues dans un équipement à foyer à grille mobile.

La section 4.3.11 contient une étude détaillée de la méthode d'incinération avec récupération d'énergie.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

L'incinération dans les chaudières à écorce a été testée et appliquée "à l'échelle industrielle" dans un certain nombre d'usines. Les chaudières à écorce du type à foyer à grille peuvent être converties en chaudières à lit fluidisé, mais cela implique malheureusement des investissements et des coûts d'immobilisation substantiels .

Les incinérateurs séparés sont aussi une technique éprouvée, mais ils consomment habituellement d'importantes quantités de combustibles d'appoint et les incinérateurs de boue standard ne sont pas dotés d'un système de récupération d'énergie, c'est-à-dire qu'ils ne permettent pas de produire de la vapeur ou de l'énergie électrique.

S'agissant de la déshydratation des boues, tous les types de presses ont été utilisés avec de bons résultats. Depuis quelques années, on observe un usage accru des presses à vis, dû à un intérêt croissant dans l'incinération des boues, qui nécessite des teneurs élevées en solides secs, mais implique aussi des investissements supplémentaires.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Il est possible de réduire les déchets provenant des refus dans une proportion significative. D'habitude, il n'y a que des cendres provenant des incinérateurs, qui peuvent être soit acheminées vers une décharge, soit utilisées pour d'autres usages (par exemple dans l'industrie du bâtiment).

### **Interactions entre les milieux**

L'incinération dans des chaudières à écorce permet de récupérer la teneur en énergie excédant l'évaporation de l'eau provenant des refus.

Dans la déshydratation des boues, les rejets d'eau sont habituellement dirigés vers l'installation à boues activées. Il convient d'en tenir compte lorsqu'on étudie le traitement des effluents. La production d'énergie est liée à la teneur en solides secs de la boue si la boue est incinérée.

### **Expériences opérationnelles**

Ces procédés sont utilisés depuis plusieurs années dans les usines modernes. L'incinération dans des chaudières à écorce est plus courante que les incinérations dans des fours séparés à cause du faible rendement calorifique de cette dernière solution.

### **Aspects économiques**

Le montant des investissements pour un nouvel incinérateur de boues et de refus est d'environ 5 à 7 MEuros et les dépenses de fonctionnement s'élèvent à 0,5 à 0,6 MEuros/an correspondant à une production de pâte de 700 ADt/j. La transformation d'une chaudière à foyer à grille en chaudière à lit fluidisé coûte environ 10 à 15 MEuros, avec des dépenses de fonctionnement de 0,3 à 0,4 MEuros par/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La principale incitation à adopter cette mesure réside dans la diminution des déchets à envoyer à la décharge.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

[J. Pöyry, 1997b], [J. Pöyry, 1992]

## **4.3.5 Augmentation de l'efficacité du lavage**

Cette technique est particulièrement pertinente pour la technique de la pâte chimiothermomécanique (CTMP).

### **Description de la technique**

Pour la pâte CTMP, le procédé de lavage est en principe similaire à celui des pâtes chimiques, mais les exigences de rendement sont généralement moins contraignantes. Il s'agit essentiellement de séparer les matières organiques dissoutes lors du raffinage et les fibres. Cette opération est souvent spécifique à l'usine et il existe de nombreuses solutions possibles en ce qui concerne le type de matériel de lavage etc.

Cependant, le lavage de la pâte CTMP est un peu plus délicat que le lavage de la pâte chimique et il requiert un matériel de plus grande capacité. Dans la pratique, cela veut dire plus de surface occupée par les tambours laveurs ou les presses de lavage par tonne de pâte. Le rendement est généralement de 65 à 70 %, calculé à partir des matières organiques récupérées. Cela correspond typiquement à un



stade de lavage, pour lequel on peut utiliser des tambours laveurs, des presses à bandes ou des presses à vis.

Grâce à une amélioration du lavage, on peut atteindre un rendement de 75 à 80 % en ajoutant du matériel en série. Cet équipement supplémentaire est habituellement identique au matériel du premier stade de lavage.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

En améliorant le lavage, il serait possible de concentrer les matières organiques dans un même volume d'effluents et de réduire ainsi les transferts jusqu'à la machine à papier ou à carton. Cela peut constituer un avantage si les effluents sont soumis à un traitement ultérieur distinct de celui des effluents de la papeterie ou de la cartonnerie, par exemple un traitement anaérobie.

### **Interactions entre les milieux**

Pas d'effets inter-milieux majeurs.

### **Expériences opérationnelles**

Seul un petit nombre d'usines intégrées dans le monde ont recours à ce lavage amélioré.

### **Aspects économiques**

Les investissements types sont de 3 à 5 MEuros pour les usines nouvelles et de 2 à 3 MEuros pour les usines existantes avec une production de 700 ADt/j. On n'envisage pas de dépenses majeures de fonctionnement supplémentaires .

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Ce lavage amélioré peut créer de meilleures conditions pour un traitement anaérobie, le cas échéant, de la fraction des effluents de CTMP.

Les aspects de qualité du papier et du carton finis peuvent également faire envisager l'éventuelle application de cette technique.

### **Installations de référence**

Quelques installations en Europe et en Amérique du nord.

### **Bibliographie**

[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1997b]

## **4.3.6 Recyclage de l'eau**

### **Description de la technique**

Le degré de recyclage de l'eau dans le cadre du processus de fabrication de la pâte dépend dans une très large mesure de l'aptitude d'une fraction spécifique de l'eau à être réutilisée et du taux de polluants autorisés à s'accumuler dans le processus. Dans tous les cas, il faut prévoir des points de soutirage en vue de l'envoi vers les égouts et l'élimination des polluants vers une station de traitement des effluents. Normalement, dans les usines non intégrées, l'appoint d'eau se fait avec de l'eau fraîche. Dans les usines intégrées, l'eau blanche de la machine à papier couvre la majorité des besoins en eau du processus.

A l'intérieur du processus, le recyclage concerne les différents filtrats, résidus de pressage des copeaux ou de la pâte, et les eaux blanches provenant des récupérateurs de fibres. Ces flux sont acheminés vers différentes utilisations en fonction de leur disponibilité et de leur aptitude. De nombreux facteurs ont une incidence sur le degré adéquat de recyclage de l'eau dans les usines de pâte. Si l'on considère l'accumulation de composés indésirables dans les circuits, ceux-ci proviennent du prétraitement du bois ou des copeaux, du raffinage et du blanchiment et certains sont amenés dans les usines intégrées par le circuit à contre-courant de l'eau blanche de la machine à papier.

Pour les matières dissoutes, il faut également prévoir une opération de dilution efficace pour éliminer les composés indésirables provenant du bois ou de la pâte. Autrement, ils sont entraînés vers le stade suivant du processus avec des répercussions défavorables. En outre, dans le recyclage et le rejet des eaux, il sera peut-être nécessaire de peser les avantages et les inconvénients afin de parvenir à un équilibre économique. Par exemple, le rejet des eaux de la fabrication de la pâte à papier, en envoyant aux égouts de l'eau blanche claire plutôt que trouble, permet de mieux capturer la matière fibreuse dans la pâte, mais fait que l'on y retrouve aussi plus de composés résiniques indésirables. De façon générale, une bonne sélection des modalités de réutilisation de l'eau est complexe, par exemple en raison de la couleur de l'eau de process, du pH, de la teneur en solides dissous et en suspension y compris également les résidus des produits chimiques de la fabrication, qui peuvent provoquer des réactions chimiques indésirables voire même un accroissement de la consommation de produits chimiques pour la fabrication de la pâte.

Les points fondamentaux à envisager pour réduire la consommation d'eau et la recycler sont les suivants :

- recours, lorsque cela est possible, au principe de la circulation à contre-courant de l'eau,
- améliorer la récupération des fibres en envoyant aux égouts de l'eau blanche claire et non trouble et, dans les usines intégrées, en utilisant l'eau blanche en excès de la papeterie,
- rééquilibrage des capacités, notamment des capacités pour l'eau blanche, pour faire face aux fluctuations, démarrages et arrêts du processus,
- épaississement de la pâte jusqu'à une consistance élevée avant de l'envoyer à la sécherie (ou à la machine à papier), ce qui s'applique aussi bien aux usines intégrées que non intégrées, bien que pour des raisons légèrement différentes,
- utilisation de l'eau blanche claire pour les rinceurs et, si cela est acceptable, comme eau de rinçage.

La figure 4.8 illustre les appoints d'eau dans une usine intégrée de pâte à papier et de papier. L'eau fraîche est introduite dans le processus de fabrication du papier, principalement au niveau de la section d'égouttage en partie humide et de la section de pressage de la machine à papier, après quoi elle est acheminée en amont vers différents processus de lavage et de dilution. Les boucles d'eau sont nettement séparées par des phases d'épaississement après lesquelles la pâte est diluée avec un peu d'eau fraîche pour ajuster la consistance et diluer la pâte avec de l'eau propre avant de pénétrer dans le système de distribution de la pâte en amont de la machine à papier.

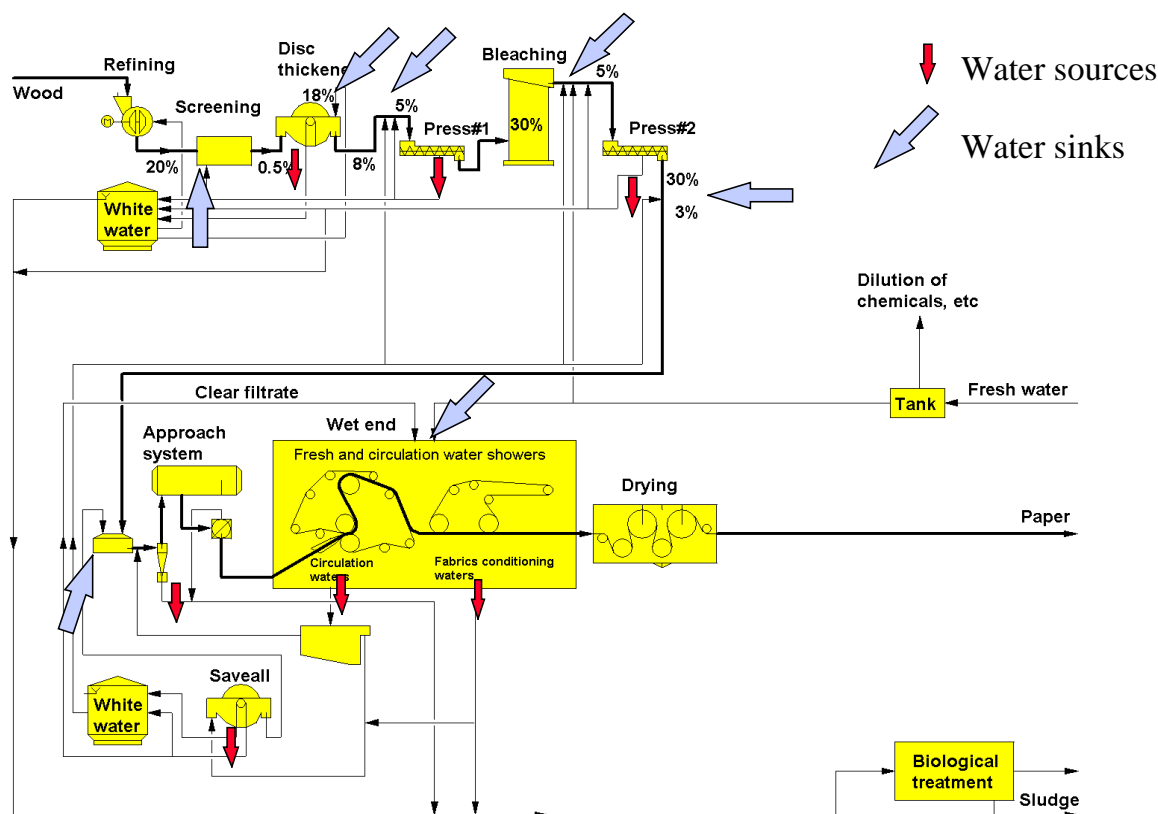


Figure 4.8 - Appoints d'eau dans une usine de pâte mécanique intégrée. [Edelmann, 1997]

### Applicabilité et caractérisation de la mesure

Un recyclage amélioré de l'eau peut être mis en œuvre dans des usines existantes; dans les usines nouvelles, un grand nombre des principes exposés ici sont mis en œuvre de façon satisfaisante.

Il faut procéder à une évaluation de l'aptitude du ou des circuit(s) spécifique(s) à être réutilisé(s) pour éviter les effets négatifs sur le processus proprement dit et sur le produit. Il se peut que les usines existantes soient obligées de rééquilibrer leurs capacités en matière de bacs à filtrat, à eau blanche et à pâte, de manière à minimiser les besoins en eau fraîche d'appoint et le soutirage d'effluents.

Étant donné que la température de l'eau au cours de la fabrication de la pâte augmente à mesure que l'eau circule de plus en plus en circuit fermé, des problèmes peuvent surgir lors du blanchiment et au niveau du rendement du matériel annexe, telles les pompes centrifuges. Il faudra donc aussi procéder à une évaluation de l'équilibre énergétique.

### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Avec un circuit fermé efficace, ce qui signifie pour les usines intégrées la réutilisation à contre-courant de l'eau blanche de la machine à papier, les rejets d'effluents et les pertes de fibre dans les égouts sont réduites. Le degré de réduction de la consommation d'eau dépend des sortes de papier/carton fabriquées.

### **Surveillance des émissions**

Il est préconisé de prévoir une surveillance directe du débit des effluents combinés de l'usine de pâte et une surveillance en laboratoire des solides en suspension et matières dissoutes, du pH, de la température et des teneurs en substances organiques telles que DBO<sub>5</sub> et DCO. On peut également utiliser des dispositifs de mesure directe des solides en suspension ou de la turbidité.

### **Interactions entre les milieux**

Il se peut qu'une plus grande quantité de matières dissoutes ou colloïdales soit retenue avec la pâte compte tenu de la réutilisation efficace de l'eau dans la fabrication de la pâte. Cela doit être compensé dans la machine à papier pour éviter par exemple un accroissement des casses, des modifications de la rétention dans la partie humide, et de l'égouttage.

### **Expériences opérationnelles**

Les principes exposés peuvent être utilisés avec des effets légèrement négatifs ou pas d'incidence du tout dans le processus de fabrication de la pâte.

### **Aspects économiques**

Etant donné que la plupart des usines de pâte mécanique intègrent la production de papier, les mesures visant à améliorer le recyclage de l'eau sont typiquement liées à une réduction de la consommation d'eau dans la fabrication aussi bien de la pâte que du papier.

Les investissements pour une usine intégrée avec une production de 700 ADt/an et ayant pour objectif de ramener la consommation d'eau fraîche de 20 à 10 m<sup>3</sup> s'élèvent à environ 10 à 12 MEuros.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La réduction de la charge hydraulique et en solides en suspension des effluents est le facteur-clé qui a motivé la mise en œuvre de cette mesure. Elle permet de traiter plus efficacement des effluents liquides plus concentrés, en nécessitant moins d'investissements et de dépenses de fonctionnement.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines modernes appliquent des systèmes efficaces de recyclage de l'eau dans le monde entier. Il existe aussi de nombreuses usines existantes qui ont appliqué les mesures énumérées de manière plus sélective.

### **Bibliographie**

[CEPI, 1997b], [Edelmann, 1997],

## **4.3.7 Traitement des effluents des usines de pâte CTMP. Fermeture des circuits avec évaporation et incinération des concentrats**

### **Description de la technique**

Il existe un certain nombre de solutions pour traiter les effluents des usines de pâte CTMP.

- Le traitement à boues activées en une ou deux étapes avec ou sans traitement chimique (voir 4.3.13). Aujourd'hui, le traitement à boues activées est le plus courant et, s'il est correctement conçu, il est très efficace. Il permet d'atteindre facilement des réductions de 98 % pour la DBO et de 85 % pour la DCO. Il présente en revanche l'inconvénient de concentrations assez élevées de

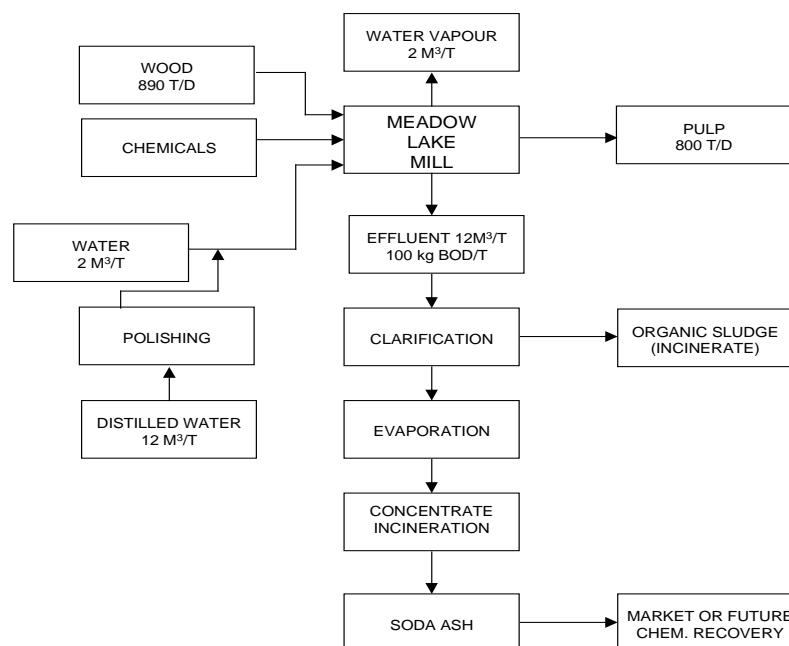
substances nutritives dans l'effluent. C'est pourquoi certaines usines de pâte CTMP ont dû compléter le traitement des effluents par un traitement chimique supplémentaire (voir 2.3.14).

- Traitement physico-chimique interne de l'eau blanche suivi d'un traitement à boues activées. Une usine de pâte CTMP traite l'eau blanche et élimine les extraits et les fines par flottation. L'usine a indiqué une réduction de 40 à 50 % de la DCO. L'inconvénient de cette méthode est le coût relativement élevé en produits chimiques.
- Combinaison des traitements anaérobie et aérobie des effluents. Il n'existe qu'une seule usine en Suède (SCA, Östrand) qui utilise cette technique. La raison pour laquelle le traitement anaérobie n'est pas utilisé plus couramment est qu'il est très sensible aux perturbations (principes, voir 3.3.6 et 5.3.5).
- Évaporation des effluents les plus pollués, incinération du concentrat, et traitement à boues activées des autres effluents. Pour l'évaporation de l'effluent, un nouvel évaporateur (voir Section 4.5.1), le modèle Zedivap, a été mis au point. Cette nouvelle technique d'évaporation est considérée comme une technique émergente. Elle est actuellement mise en œuvre dans une usine de pâte CTMP suédoise et se trouve en phase d'optimisation se traduisant par une amélioration continue de la situation. Le concentrat sera brûlé dans la chaudière de récupération d'une usine de pâte kraft adjacente. L'évaporation est adaptée lorsqu'il s'agit d'augmenter la capacité de production de la pâte et que l'installation de traitement biologique devient trop petite. On peut utiliser le condensat d'une telle installation dans l'usine de pâte CTMP en tant qu'eau de process, ce qui permet d'abaisser considérablement la consommation d'eau fraîche. L'évaporation est également une solution possible si l'on considère qu'un traitement tertiaire est nécessaire, c'est-à-dire dans les cas où il faut abaisser les concentrations de substances nutritives dans l'effluent.
- Il est également possible de soumettre l'ensemble des effluents à l'évaporation et d'incinérer les concentrats dans une chaudière de récupération. Il en résulte un rejet zéro d'effluents liquides. L'usine de Millar Western Pulp (Meadow Lake) Ltd, dans le Saskatchewan au Canada, construite en 1992 avec une production de 240 000 t/an, produit depuis cette date de la pâte CTMP blanchie sans traitement des effluents. Cette usine utilise du tremble, ainsi que le peroxyde en milieu alcalin (Alkaline Peroxyde Pulping ou APP), pour produire de la pâte destinée aux papiers d'hygiène et aux papiers d'impression-écriture. Le système zéro effluent est décrit ci-après car il comporte un certain nombre d'innovations intéressantes. Il a ouvert des perspectives d'utilisation dans d'autres applications industrielles où le milieu aquatique récepteur n'est pas en mesure d'assimiler les rejets.

Le système de recyclage de l'eau de l'usine Meadow Lake comporte six opérations unitaires, qui sont décrites dans les figures 4.9 et 4.10.

- Élimination des matières en suspension (flottateurs Krofta avec en option une décantation)
- Évaporation par recompression mécanique de la vapeur (capacité égale à 1,5 fois le débit théorique de manière à assurer de la souplesse)
- Concentration par la vapeur
- Incinération du concentrat
- Polissage de l'eau évaporée en vue d'une utilisation générale dans l'usine
- Traitement de l'appoint d'eau du lac.

Comme le montre la figure 4.9, l'eau d'appoint compense l'eau perdue par évaporation, soit environ 2 m<sup>3</sup>/ADt.



**Figure 4.9 - Circuit de recyclage de l'eau de l'usine de pâte CTMP de Meadow Lake.**  
On a recours à la technique de l'évaporation pour réaliser la fermeture des circuits [Evans, 1992]

La figure 4.10 illustre le concept du processus zéro effluent, y compris les principaux circuits de l'eau dans les diverses étapes du traitement.

Toutes les eaux de process sont dirigées par pompage vers le traitement primaire, qui sert à éliminer les matières en suspension. Les matières recueillies sont égouttées et incinérées. L'eau clarifiée peut être stockée et constitue la capacité de réserve entre l'usine de pâte à papier et l'évaporation.

L'eau claire est acheminée vers l'évaporation à recompression mécanique de la vapeur (MVR) où la concentration en matières sèches est portée de 2,5 à 35 %. L'eau évaporée « propre » est séparée en fractions et représente environ 85 % du total évaporé. La fraction polluée comprend des composés organiques volatiles et on élimine la plus grande partie de ces substances organiques par stripping à vapeur en vue de leur incinération dans la chaudière de récupération. La majeure partie de l'eau évaporée peut être utilisée directement dans l'usine de pâte à 65 °C. Cependant, on a également besoin d'eau à 20/30 °C. Pour répondre à cette demande, une partie est refroidie, et les substances organiques volatiles sont traitées biologiquement.

L'évaporation permet d'atteindre 70 % en matières sèches dans deux installations MRV, suivi de l'incinération dans une chaudière de récupération.

Le salin est refroidi et stocké dans un silo.



### **Interactions entre les milieux**

On ne dispose pas de données sur l'équilibre énergétique par rapport à un système traditionnel. La boucle ne fonctionne pas encore en circuit fermé, mais dans les systèmes traditionnels non plus. Aucun autre effet inter-milieux n'est connu.

### **Expériences opérationnelles**

Le système de recyclage de l'eau ne provoque pas de pertes au niveau de la production de la pâte et n'a aucun impact négatif sur la qualité de la pâte. La société a mis au point quelques méthodes uniques pour impliquer les employés dans les prises de décisions en matière de gestion. La formation a été un facteur capital pour assurer un lancement réussi à Meadow Lake. Les nouveaux employés ont reçu une formation minimum de trois mois sur leur poste avant de procéder au lancement. Un suivi permanent pour améliorer les qualifications a permis au personnel de se maintenir à la pointe de la technique et des méthodes de travail. Le principe de la sécurité avant tout a contribué à impliquer le personnel dans ce programme essentiel en stimulant sa motivation et en diminuant les primes d'assurance. Des équipes réduites sont constituées régulièrement, qui sont habilitées à apporter des changements au processus lorsqu'il s'avère que ces changements sont positifs.

### **Aspects économiques**

Les dépenses de fonctionnement de ce système supportent la concurrence avec les systèmes conventionnels et le traitement secondaire des effluents des usines de pâte CTMP blanchie. Après la période d'optimisation, les frais de fonctionnement de l'usine de Meadow Lake sont maintenant inférieurs à ceux du traitement secondaire classique. Cependant, les dépenses d'investissement ont été élevées, lors de la phase de lancement, pour l'installation d'évaporation ainsi que pour l'installation de récupération et les capacités tampon pour les effluents (3 jours) largement dimensionnés. L'attrait de cette approche zéro rejet de liquide est encore renforcé par la récupération potentielle de produits chimiques et d'énergie, qui peut contribuer à réduire le coût de la production et à amortir les investissements. Aucune donnée sur les coûts spécifiques n'est disponible. Les exigences réglementaires sur les effluents liquides n'ont pas d'incidence sur les usines zéro effluent, ce qui constitue un avantage économique.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Le site de Meadow Lake a été choisi principalement parce qu'il était très proche des sources d'approvisionnement en fibres, des infrastructures et de la population. Pourtant, l'eau était rare et le milieu aquatique récepteur de dimension réduite et, compte tenu de la sécheresse du climat et de la rigueur de l'hiver, la rivière s'asséchait quelquefois. Un système de traitement classique des effluents aurait nécessité un forage pour atteindre une nappe d'eau souterraine de manière à disposer d'une quantité suffisante d'eau pour diluer le rejet d'effluent et maintenir le niveau d'eau de la rivière tout au long de l'année. Cette option n'était pas acceptable pour les propriétaires de la société, et la décision fut prise d'appliquer la technologie zéro effluent. On peut ajouter que le fait de commercialiser une pâte à papier associée à zéro rejet de liquide à des consommateurs soucieux de leur environnement présente certains avantages.

### **Installations de référence**

Les exemples sont Meadow Lake et Chetwynd au Canada. Stora Fors en Suède a démarré une installation d'évaporation pour une partie de l'ensemble des eaux usées.

### **Bibliographie**

[Ward, 1993], [Evans, 1991], [Evans, 1992], [Evans, 1993], [Fromson, 1993], [Sweet, 1993],



#### **4.3.8 Cogénération de chaleur et d'énergie (CHP)**

Se référer au point 5.3.9. La question de savoir si la cogénération est une MTD dépend de l'équilibre énergétique de l'usine et des modalités de production d'électricité à partir du réseau. La difficulté sera peut-être de comparer les énergies hydraulique, nucléaire, du charbon, du fioul, du gaz et des biocombustibles.

#### **4.3.9 Récupération de la chaleur des raffineurs**

Aucune information reçue à ce jour.

#### **4.3.10 Réduction des émissions de COV**

Aucune information reçue à ce jour.

#### **4.3.11 Incinération des déchets solides et récupération de l'énergie**

##### **Description de la technique**

Dans les usines de pâte mécanique, qui intègrent le plus souvent aussi une papeterie, il y a une diversité de déchets solides - écorce, résidus de bois, boues et refus - dont il faut se débarrasser. L'écorce s'utilise facilement comme combustible dans la chaudière auxiliaire de l'usine, mais traditionnellement les boues doivent être envoyées à la décharge. Une solution alternative viable à l'enfouissement, qui devient de plus en plus coûteux et contraignant pour les usines, consiste à incinérer ces boues. Lors de cette incinération, il est nécessaire de mettre en œuvre des techniques sans danger pour l'environnement, de manière à minimiser les émissions de poussières, SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>.

Étant donné que les boues ont le plus souvent une valeur calorifique inférieure à celle des véritables combustibles solides, tels que l'écorce et le bois, il est rare qu'elles soient incinérées dans une chaudière conçue seulement pour elles.

Dans la pratique, les usines qui utilisent de l'écorce, du bois, ou du charbon pour produire de la vapeur et de l'énergie obtiennent une bonne efficacité par rapport au coût en brûlant les boues provenant de la fabrication de la pâte et du papier dans une chaudière en même temps que des combustibles solides à haute valeur calorifique. Cela est aussi accentué par le fait que les boues, à moins d'avoir une siccité supérieure à 50 % et une faible teneur en cendres, auraient besoin dans tous les cas d'un combustible d'appoint pour leur assurer une combustion correcte.

La technique qui s'avère la plus appropriée pour l'incinération des déchets et des boues est la même que pour le bois, l'écorce et la tourbe. Toutefois, certaines caractéristiques spécifiques liées à la préparation de la boue ou à la combustion peuvent varier.

Les chaudières sont utilisées pour fournir de la vapeur qui sera utilisée directement en tant que vapeur de process pour le chauffage et le séchage, mais de plus en plus fréquemment aussi pour la production d'énergie électrique. Toutefois, si la chaudière est petite et si elle est destinée principalement à éliminer les boues avec un minimum de combustible d'appoint, elle ne peut pas produire économiquement autre chose que de la vapeur basse pression pour le chauffage dans le processus ou dans les bâtiments.

Dans l'incinération des boues des papeteries, on peut satisfaire aux questions d'environnement en utilisant une chaudière adéquate et, comme cela est quelquefois nécessaire, en soumettant le combustible à une série de pré-traitements.

Pour incinérer les boues et les déchets, on peut utiliser aussi bien les chaudières traditionnelles à foyer à grilles que celles à lit fluidisé. Cette dernière technique est toutefois plus polyvalente avec sa plus grande souplesse, un meilleur rendement et des émissions plus faibles.

La valeur calorifique de l'écorce provenant de l'écorçage par voie humide ou de la tourbe avec un taux d'humidité de 40 à 60 % est de 4,5 à 10,5 MJ/kg. En revanche, les boues ont une valeur calorifique de l'ordre de 2,5 à 6,0 MJ/kg en raison de leur taux souvent plus élevé d'humidité et de leur teneur en cendre. La valeur calorifique des déchets secs peut atteindre plus de 20 MJ/kg. Plus le combustible est humide, plus le rendement global de la chaudière sera faible et plus elle sera également difficile à exploiter à moins d'appliquer une technologie efficace. Une chaudière à lit fluidisé est moins sensible à l'humidité du combustible qu'une chaudière à foyer à grille. Comme certaines boues atteignent fréquemment une teneur en cendre de 20 à 30 %, voire au pire 60 % avec les déchets du désencrage, dans les chaudières à foyer à grille, on rencontrera très vraisemblablement des problèmes de fonctionnement tels que l'obstruction des grilles due aux cendres. Des quantités importantes de cendres peuvent également entraîner une détérioration de l'efficacité du système à lit fluidisé, mais dans des proportions nettement moins importantes. La combustion s'améliore lorsque la quantité de cendre ou de boues diminue.

La principale différence entre les techniques du foyer à grille et du lit fluidisé réside dans la méthode de transfert de la chaleur. Dans le premier cas, les particules de combustible sont chauffées essentiellement par radiation. De ce fait, la température et la durée de la combustion revêtent une très grande importance et le rendement peut facilement baisser lorsque l'humidité du combustible augmente. Les variations de siccité de la boue à l'entrée de la chaudière à foyer à grille soulèvent des problèmes pour maintenir une combustion efficace en raison des baisses de la température. Dans les chaudières à lit fluidisé, le transfert de la chaleur se fait essentiellement par la méthode de la conduction qui, grâce à un lit de sable fluidisé à l'intérieur de la chaudière, stabilise la capacité thermique du système et le rend moins sensible à l'humidité et aux fluctuations de la valeur calorifique du combustible. La combustion dans une chaudière à lit fluidisé a lieu à plus basse température qu'avec un foyer à grille typiquement dans la fourchette 750 à 950 °C. Ce qui présente un avantage au niveau de la réduction des émissions gazeuses. En outre, avec les systèmes à lit fluidisé, le transfert de chaleur par surface unitaire est légèrement supérieur.

Il existe deux grandes catégories de chaudières à lit fluidisé: bouillonnant (BFBC) ou circulant (CFBC).

Dans les chaudières BFBC, le lit de sable est fluidisé et maintenu dans la partie inférieure de la chaudière, à part une petite partie s'échappant du lit. Cette fraction de combustible éventuellement à demi brûlé est récupérée dans un cyclone et renvoyée vers le lit. Dans les chaudières CFBC, le lit de sable s'étend au-delà de la première partie des échangeurs de chaleur, après laquelle le sable est séparé des gaz de fumées par cyclonage et renvoyé vers le fond du lit.

Du point de vue du rendement, ces deux techniques sont bonnes. Toutefois, si le combustible présente une teneur élevée en carbone, le type à circulation convient mieux pour prévenir une concentration excessive de chaleur.

Il est possible d'améliorer la valeur calorifique des boues et les résultats d'ensemble de la combustion en améliorant la déshydratation, par exemple grâce à une presse à vis. Il convient de chercher à atteindre un taux de siccité de 45 % lorsque la teneur en cendre est inférieure à 30 %, autrement un taux plus élevé, par exemple jusqu'à 65 à 70 % avec une teneur en cendre de 50 %. Lorsqu'on a une grande quantité de boues et que la quantité proportionnelle de tous les combustibles est supérieure à 30 %, il peut s'avérer économique de les transformer en boulettes ou en briquettes pour augmenter la densité apparente de manière à faciliter la combustion. L'alimentation peut se faire soit alternativement soit via un traitement de préchauffage. Le séchage indirect fait appel à de la vapeur basse ou moyenne pression, produite par l'usine, qui pourrait être utilisée ailleurs comme vapeur à plus basse pression. La méthode du séchage direct utilise les gaz de fumées comme source de chaleur.

L'amélioration de la combustion dans son ensemble dépend de chaque cas spécifique. On peut par exemple procéder à une déshumidification préalable pour certains combustibles solides, à une déshydratation mécanique des déchets solides ou à leur séchage par la chaleur. En général, lorsque l'humidité initiale du combustible était de l'ordre de 45 à 50 %, on a enregistré une amélioration de 10 à 15 % de l'économie de chaleur en augmentant la siccité jusqu'à 55 à 60 %. Naturellement, plus le combustible utilisé dans la chaudière est humide, plus le débit de gaz de fumées sera important.

Les émissions des chaudières à lit fluidisé peuvent plus facilement satisfaire à des exigences plus sévères que celles à foyer à grille. Avec le système à lit fluidisé, qui est non seulement plus simple et plus efficace, on dispose d'un contrôle des émissions de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{NO}_x$ .

Pour le contrôle du  $\text{SO}_2$ , les cendres de la chaudière contiennent déjà un peu de calcium, qui lie le soufre présent dans le combustible. Le  $\text{SO}_2$  est encore réduit par injection de chaux dans la chaudière, en assurant un rapport calcium/soufre dans la plage 1 à 3. Un surplus important de calcium contribue à éliminer jusqu'à 80 à 95 % du soufre dans les cendres de la chaudière, soit plus qu'avec les chaudières CFBC. La capture du soufre est optimale avec une température de combustion de 850 °C. L'inconvénient de l'injection de chaux réside dans l'augmentation de la quantité de cendres.

Dans les chaudières à foyer à grille, il n'existe aucun moyen interne efficace pour limiter les émissions de  $\text{SO}_2$ .

On peut également recourir à des méthodes extérieures pour éliminer le  $\text{SO}_2$  et le soufre. Il existe des méthodes par voie soit humide soit semi-humide, qui toutes les deux font appel à un liquide de lavage alcalin pour lier le soufre, ou des méthodes par voie sèche. Ces dernières sont moins efficaces qu'un contrôle amélioré de la combustion du lit fluidisé, que l'injection de chaux dans la chaudière ou que les méthodes externes par voie humide.

Si les émissions de  $\text{NO}_x$  sont moins importantes dans les chaudières à lit fluidisé, cela est dû avant tout à la température de combustion plus basse. Les brûleurs à bas  $\text{NO}_x$  peuvent contribuer à réduire encore les émissions de  $\text{NO}_x$ .

Il faudra peut-être faire un compromis entre les réductions du  $\text{SO}_2$  et du  $\text{NO}_x$ . Notamment parce que, si les émissions de  $\text{NO}_x$  ont tendance à augmenter, l'excédent de calcium dans la chaudière après injection de la chaux sera plus important. En plus, la formation de  $\text{NO}_x$  est la plus faible pour une température d'environ 960 °C, alors que l'élimination du  $\text{SO}_2$  par injection de chaux est optimale à des températures plus basses.

Les émissions de CO et d'hydrocarbures sont maintenues à un niveau négligeable en évitant de faire marcher la chaudière en surcharge et en conservant un excès d'oxygène dans la combustion.

Les émissions de poussières en provenance de la chaudière sont limitées de manière efficace grâce à la précipitation électrostatique qui, si elle est bien conçue, garantit une capture quasi complète.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

La mise en place ou l'amélioration des chaudières à lit fluidisé pour brûler les résidus de bois ou les solides à éliminer est applicable aussi bien aux usines existantes que nouvelles. Ces chaudières permettent de mieux contrôler le processus et sont plus souples, sous l'angle du combustible solide utilisé et de ses variations de qualité, que celles à foyer à grille.

En apportant des améliorations aux chaudières à foyer à grille, associées à une meilleure récupération de la chaleur et à un meilleur traitement des effluents gazeux, il est possible d'améliorer leurs résultats sous l'angle économique et environnemental, mais sans atteindre le niveau des systèmes à lit fluidisé.

Lorsque les boues représentent un pourcentage important du combustible de la chaudière, l'économie nette de chaleur est faible. Dans les usines qui utilisent aussi d'autres combustibles solides pour produire de la vapeur ou de l'électricité, on améliore le rendement du processus de combustion en y ajoutant les boues comme combustible minoritaire.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Il est possible de limiter efficacement et d'optimiser les émissions des chaudières modernes à lit fluidisé brûlant des boues et des déchets avec des combustibles d'appoint. La diversité des combustibles utilisés ou de leurs combinaisons, les méthodes de contrôle des apports appliquées dans les chaudières, et les diverses façons d'exprimer les limites réglementaires nationales rendent difficile une comparaison cas par cas des performances des chaudières.

On ne dispose pas encore de données sur les niveaux d'émissions possibles.

### **Surveillance des émissions**

La surveillance directe à l'aide d'appareils de mesure des composés gazeux devient de plus en plus répandue car leur fiabilité s'améliore et leur coût baisse à mesure qu'ils deviennent de plus en plus courants. La surveillance de la température en plusieurs points et de l'oxygène de la chaudière présente également des avantages.

### **Interactions entre les milieux**

La réduction des déchets et leur incinération peut entraîner une augmentation des émissions dans l'atmosphère.

### **Expériences opérationnelles**

Les chaudières à lit fluidisé sont utilisées avec de bons résultats depuis 10 à 15 ans et les modèles actuels ont démontré qu'ils possédaient de nombreux avantages sur les chaudières à foyer à grille.

### **Aspects économiques**

La modification d'une chaudière à écorce existante pour pouvoir incinérer des boues et des déchets revient à 0,5 à 0,7 MEuros pour une usine intégrée produisant 700 ADt/j, à condition que la chaudière dispose déjà d'une capacité supplémentaire pour brûler ces déchets. Les dépenses de fonctionnement supplémentaires pour l'incinération sont de l'ordre de 250 000 à 350 000 Euros/an.

Une chaudière distincte pour les boues et les déchets coûte, pour une usine de même taille, de 5 à 7 MEuros, avec des dépenses de fonctionnement de 500 000 à 600 000 Euros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La principale raison est la réduction de la quantité de matières organiques à envoyer à la décharge.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines en Europe du Nord et de l'Ouest.

### **Bibliographie**

[J. Pöyry, 1997b], [Rapport finlandais sur les MTD, 1997], [Papier et Bois, 1993].

### **4.3.12 Mise en place de capacités tampons**

#### **Description de la technique**

L'utilisation de capacités tampons dans la fabrication des pâtes mécaniques (GW) ou thermomécaniques (TMP) ne s'impose pas dans la plupart des cas, étant donné que ces pâtes sont produites presque exclusivement dans des usines intégrées. En général, une grande partie de l'eau utilisée lors de ces procédés de trituration arrive comme excédent d'eau blanche depuis la machine à papier ou à carton. La consommation d'eau pour les pâtes mécaniques et thermomécaniques est faible comparée à celle de la fabrication du papier, de sorte que l'on procède couramment à un soutirage continu de l'eau polluée en excès vers les égouts.

Pour la production de pâte chimicothermomécanique (CTMP), la situation est légèrement différente, car la majorité des usines ne sont pas intégrées et produisent de la pâte marchande. Comme pour les autres pâtes mécaniques, on produit différentes qualités d'eau blanche, qui est recyclée dans le processus. Dans les usines intégrées, l'eau blanche en excès provenant de la machine à papier ou à carton est renvoyée comme liquide d'appoint dans le circuit d'eau de la pâte CTMP, et dans les usines non intégrées, on consomme de l'eau fraîche. Si la pâte est blanchie, le recyclage de l'eau consistant à utiliser le filtrat du blanchiment par exemple pour l'imprégnation des copeaux permet d'optimiser le recyclage de l'eau. L'eau polluée excédentaire est envoyée dans les égouts par exemple à partir du lavage des copeaux et sous forme d'eau blanche en excès, et quelquefois aussi à partir d'un lavage intermédiaire lors du raffinage de la pâte.

Dans les usines de pâte CTMP, contrairement à la pâte chimique, on trouvera moins d'occasions de recyclage des eaux de process répandues, ou de raisons pour mettre en place des réservoirs à grande capacité pour stocker l'eau. En mettant en œuvre le principe du circuit d'eau à contre-courant pour réduire la consommation d'eau, le liquide résiduel doit toujours être envoyé aux égouts. Néanmoins, les réservoirs du processus doivent avoir une capacité suffisante pour permettre l'alimentation en eau pendant les pointes d'écoulement dans le circuit, notamment pour la dilution et le lavage de la pâte. Cela se produit principalement lors de la mise en route d'une ligne de fabrication de pâte, pendant les fluctuations de courte durée de l'équilibre entre la production de pâte et celle de papier, ou par exemple lorsqu'on arrête la fabrication de la pâte écrue mais que le blanchiment est toujours en service.

L'effluent des usines de pâte CTMP, compte tenu du traitement chimique des copeaux, est plus pollué que les effluents des usines de pâte mécanique ou TMP, ce qui exige une gestion plus attentive du niveau des réservoirs pour minimiser les pointes de charges arrivant à l'installation extérieure de traitement de l'effluent. Lors du raffinage des pâtes TMP et CTMP, la conversion de l'énergie électrique en énergie sous forme de vapeur diminue l'accumulation de chaleur dans l'eau au sein du circuit de fabrication. Les usines qui utilisent efficacement la vapeur pour chauffer l'eau ou sécher la pâte ou le papier pourraient réduire les pertes de vapeur. Dans d'autres usines, on pourrait réduire la demande d'eau pour refroidir la vapeur, et l'envoi de cette fraction chaude dans les égouts en conservant un volume d'eau plus important dans la production.

#### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

L'évaluation et l'optimisation des capacités nécessaires peut se faire dans les usines aussi bien existantes que nouvelles. Pour les usines existantes, les données d'exploitation relatives à différentes situations de production permettent de mettre au point plus facilement les procédures de gestion appropriées et de déterminer la nécessité d'une augmentation du volume en toute connaissance de cause.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Les impacts sur l'environnement sont typiquement peu importants, mais le fonctionnement de l'installation de traitement des effluents s'en trouve amélioré grâce à la baisse de fréquence des fuites.

### **Surveillance des émissions**

Il est nécessaire de procéder à des contrôles de niveau pour les principaux bacs d'eau notamment pour limiter les débordements.

### **Interactions entre les milieux**

Pas d'impacts majeurs.

### **Expériences opérationnelles**

En améliorant la mise en circuit fermé de l'usine, on a limité encore plus l'envoi d'eau polluée dans les égouts. Mais les mesures d'optimisation au niveau de l'usine pour gérer ces circuits ont souvent consisté en un perfectionnement ou une modification des procédures opérationnelles plutôt qu'en améliorations au niveau des installations de stockage des liquides.

### **Aspects économiques**

Les investissements sont très variables selon les cas. Lorsqu'on estime qu'il faut prévoir un volume supplémentaire de 2 000 m<sup>3</sup> d'eau ou de pâte (0,5 à 0,6 MEuros) ainsi que des bacs, des canalisations, des circuits électriques et des instruments supplémentaires, le montant de l'investissement supplémentaire se chiffre à 100 000 à 250 000 Euros. Les dépenses de fonctionnement sont peu importantes, s'agissant principalement de maintenance.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La mise en œuvre de ces mesures est encouragée par leur contribution à une meilleure maîtrise des fluctuations inhérentes au processus de fabrication de la pâte et, dans une certaine mesure aussi par leur impact sur l'environnement.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines modernes dans le monde.

### **Bibliographie**

[CEPI, 1997b]

## **4.3.13 Traitement secondaire ou biologique aérobie**

### **Description de la technique**

Les principes fondamentaux du traitement des effluents liquides sont les mêmes que ceux décrits dans les paragraphes 2.3.13, 5.3.6 et 6.3.10. La méthode la plus couramment utilisée pour traiter les effluents des usines de pâte mécanique est celle des boues activées. On utilise de préférence les processus à deux étapes. Certaines usines font appel à de l'oxygène pur pour la première étape, suivi par une seconde étape à aération "normale". D'autres ont recours à une première étape avec une charge élevée, suivie par une seconde avec une charge plus faible. Une usine a indiqué qu'elle procédait à une biofiltration après un système à boues activées en deux étapes. En principe, les effluents des usines de pâte mécanique peuvent aussi être traités efficacement par une méthode anaérobie car les concentrations dans les effluents dépassent souvent 2000 mg DCO/l. Cependant, dans la majorité des

cas, les effluents des papeteries sont traités par des méthodes aérobies, à l'exception des effluents CTMP ou autres circuits d'effluents concentrés pour lesquels on a quelquefois recours au traitement anaérobie (voir 4.3.7)

Il existe un vaste éventail de processus et d'installations différents pour la méthode à boues activées. Ces solutions peuvent varier au niveau de la conception du bassin d'aération, du décanteur, du matériel d'aération ainsi que du recyclage de la boue. Un procédé spécial est celui de la boue activée à l'oxygène pur, dans lequel on utilise de l'oxygène pur ou de l'air enrichi en oxygène à la place d'air.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Ce processus s'applique aux usines de pâte mécanique (et de papier) aussi bien existantes que nouvelles. Dans les usines existantes, il serait préférable de prévoir quelques mesures visant à réduire la consommation d'eau de manière à limiter les investissements.

On a souvent recours au procédé à boues activées lorsque le traitement doit avoir un rendement élevé ou très élevé. Mais, dans ce dernier cas, on peut aussi opter pour un processus biologique en deux étapes.

Les installations de traitement à boues activées sont très répandues dans l'industrie papetière. On estime approximativement qu'environ 60 à 75 % de toutes les installations de traitement biologique des effluents dans cette industrie ont recours à cette méthode à boues activées. C'est également le procédé le plus couramment utilisé dans les installations récentes.

*Les avantages* du procédé à boues activées résident dans les rendements potentiels élevés ou très élevés du traitement, la possibilité de contrôler le processus (notamment la consommation d'oxygène) et le besoin relativement peu important d'espace.

*Ses inconvénients* sont une production importante de boues résiduelles biologiques et des dépenses de fonctionnement élevées. Un bassin tampon en amont de l'installation de traitement biologique peut limiter les perturbations et le risque d'instabilité opérationnelle.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Le rendement du traitement est variable et dépend du type d'effluent, de la conception de l'installation et des conditions de fonctionnement. Les valeurs types se situent dans les fourchettes 90 à 98 % d'élimination de la DBO (normalement 95 + %) et 60 à 85 % d'élimination de la DCO.

Le rendement global de l'élimination des MES par les traitements primaire et secondaire est d'environ 85 à 90 %.

### **Interactions entre les milieux**

L'installation de traitement des effluents produit des boues qui peuvent être brûlées après déshydratation, ce qui dans certains cas se traduit par une valeur calorifique positive nette. L'eau usée traitée est suffisamment propre pour pouvoir être réutilisée dans certaines phases du processus de production. Le problème est que, d'habitude, l'installation de traitement des effluents liquides est située loin de l'usine et que la réutilisation n'est pas rentable.

### **Expériences opérationnelles**

Des installations à boues activées sont utilisées depuis nombre d'années par tous les types d'usines de pâte mécanique nouvelles ou existantes, avec de bons résultats.

**Aspects économiques**

L'investissement à prévoir pour une installation de traitement par boues activées entièrement nouvelle s'élève approximativement à 10/12 MEuros pour une usine intégrée de pâte mécanique produisant 700 ADt/j. Ce coût englobe aussi le traitement primaire nécessaire et le traitement des boues. Les dépenses de fonctionnement correspondantes s'élèvent à 0,9 à 1,2 MEuros/an.

**Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

On aura de préférence recours au traitement à boues activées si l'on a besoin d'un traitement avec des rendements élevés ou très élevés.

**Installations de référence**

De nombreuses usines partout dans le monde pour tous les types d'effluents.

**Bibliographie**

(CEPI, 1997b), (Rapport finlandais sur les MTD, 1997), (Rapport SEPA 4713-2, 1997).

**4.3.14 Traitement tertiaire des effluents**

Voir section 6.3.11



## 4.4 Meilleures Techniques Disponibles

### 4.4.1 Introduction

Pour comprendre le présent chapitre et son contenu, il est demandé au lecteur de se reporter à la préface du présent document et en particulier à sa cinquième section : "Comment comprendre et utiliser le présent document". Les techniques et les niveaux d'émissions et/ou de consommation associés, ou fourchettes de niveaux, présentés dans le présent chapitre ont été évalués selon une méthode itérative comprenant les étapes suivantes :

- identification des problèmes environnementaux cruciaux pour le secteur ; pour les usines intégrées de pâte à papier mécanique et de papier, les principales préoccupations concernent la consommation d'eau, le rejet des effluents liquides (DCO, DBO, matières en suspension, azote (N), phosphore (P)), la consommation d'énergie (vapeur et électricité), les déchets solides tels que les déchets, les boues et les cendres, les émissions dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, poussières), le bruit, la pollution thermique et les odeurs; ces trois derniers points ayant un impact local;
- étude des techniques les mieux appropriées pour résoudre ces problèmes-clés;
- identification des meilleurs niveaux de performance au niveau de l'environnement, sur la base des données disponibles en Europe et dans le monde entier;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance ont été atteints, tels que coûts, interactions entre les milieux (impacts intermilieux), facteurs ayant motivé la mise en œuvre de ces techniques;
- sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommations associés pour le secteur en question au sens large, le tout en conformité avec l'article 2 (11) et l'annexe IV de la Directive.

Le Bureau PRIP (IPPC) européen et le Groupe de Travail Technique compétent (TWG) ont joué un rôle-clé dans chacune de ces étapes et dans la façon dont ces informations sont présentées ici.

Sur la base de cette évaluation, le présent chapitre présente les techniques, et dans la mesure du possible également les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD, que l'on juge pertinents pour le secteur dans son ensemble et qui, dans de nombreux cas, reflètent les résultats effectivement atteints par certaines installations dans le secteur en question. Lorsqu'on présente des niveaux d'émissions ou de consommations "associés aux meilleures techniques disponibles", il s'agit de niveaux correspondant au résultat environnemental qu'il est possible d'envisager en appliquant, dans le secteur en question, les techniques décrites, compte tenu de l'équilibre entre les coûts et les avantages inhérents à la définition de la MTD. Cela dit, ils ne constituent en aucun cas des valeurs limites d'émissions ou de consommations et ne doivent pas être considérés comme tels. Dans certains cas, il se peut que l'on puisse techniquement atteindre de meilleurs niveaux d'émissions ou de consommations, mais que, compte tenu des investissements qu'ils impliquent ou de considérations liées aux interactions entre les milieux, ils ne soient pas considérés appropriés comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Toutefois, de tels niveaux peuvent être considérés comme justifiés dans des cas plus spécifiques avec des motivations spéciales.

Les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD doivent être considérés dans le contexte des éventuelles conditions de référence précisées (par exemple périodes servant de base à l'établissement d'une moyenne).

Il faut faire une distinction entre la notion de "niveaux associés aux MTD" décrite ci-dessus et le terme de "résultat possible" utilisé dans le présent document. Lorsqu'on parle de niveau "possible" en utilisant une technique donnée ou une combinaison de techniques, il s'agit du niveau que l'on peut envisager d'atteindre pendant un laps de temps suffisamment long dans une installation avec une bonne maintenance et une bonne maîtrise opérationnelle, en faisant appel aux techniques en question.

Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives aux coûts sont communiquées avec la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. Cela permet de se faire une idée approximative de l'ordre de grandeur des investissements requis. Cela étant, le coût effectif de la mise en application d'une technique dépend en grande mesure de la situation du cas d'espèce concernant par exemple les taxes, droits et les caractéristiques techniques de l'installation concernée. Or, il n'est pas possible, dans le présent document, de procéder à une évaluation exhaustive de tels facteurs spécifiques au site. En l'absence de données concernant les coûts, les conclusions relatives à la viabilité économique des techniques sont basées sur des observations portant sur des installations existantes.

L'objectif recherché est que les MTD générales présentées dans le présent chapitre servent de référence sur laquelle s'appuyer pour apprécier les résultats réels d'une installation existante ou pour évaluer une proposition relative à une nouvelle installation. De cette façon, elles contribueront à faciliter la détermination de conditions adéquates "basées sur les MTD" pour l'installation ou l'élaboration des prescriptions réglementaires générales en conformité avec l'article 9(8). Il est possible que des installations nouvelles puissent être conçues pour fonctionner en atteignant voire en dépassant les niveaux des MTD générales présentées ici. On peut également envisager que des installations existantes tendent vers les niveaux des MTD générales voire aillent au-delà, sous réserve de l'applicabilité technique et économique des techniques dans chaque cas spécifique.

Si les BREF n'ont pas de caractères juridique et réglementaire, ils entendent fournir des éléments d'orientation à l'industrie, aux États membres et au public sur les niveaux d'émissions et de consommations qu'il est possible d'atteindre lorsqu'on utilise certaines techniques spécifiques. Les valeurs d'émissions devront être déterminées pour chaque cas, en tenant compte des objectifs de la directive IPPC et des considérations locales.

La fabrication de papier avec bois à partir de pâtes mécaniques n'est pas un processus unique mais une série de processus unitaires, souvent liés entre eux et interdépendants. Par conséquent, une MTD pour une usine de pâte mécanique et de papier est toujours constituée par une combinaison appropriée de techniques. L'ordre de priorité et la sélection des techniques ou combinaisons de techniques dépend des conditions locales.

Sauf indication contraire, les meilleures techniques disponibles indiquées ci-dessous sont applicables à des installations nouvelles ou existantes. Dans les papeteries, l'applicabilité d'une technique n'est pas subordonnée au fait qu'il s'agit d'une installation nouvelle ou ancienne. Les usines de pâte et de papier sont caractérisées par le fait qu'elles sont modernisées par étapes plutôt intégralement. Cette adaptation et cet aménagement modulaires des installations signifient que chaque site est unique eu égard à sa situation et à son histoire. En revanche, il existe une série de processus unitaires que l'on retrouve dans tous les pays.

Les critères à prendre en considération pour déterminer les MTD dans des cas spécifiques sont plutôt que les coûts spécifiques sont plus élevés pour les usines de petite taille (économies d'échelle). D'autres facteurs entrant en ligne de compte sont les limitations au niveau de l'espace, telles que peuvent en rencontrer certaines usines anciennes, ou un équipement dont le matériau ou la conception ne convient pas, et qui ne permet pas de développer davantage la circulation de l'eau en circuit fermé. En effet, ce développement de la mise en circuit fermé de l'eau implique habituellement un système plus complexe, qui doit être surveillé, contrôlé et maîtrisé. Or les petites entreprises ne possèdent peut-être pas toujours les connaissances requises pour exploiter et maîtriser de la façon la plus efficace des solutions industrielles plus complexes.

#### **4.4.2 MTD pour les fabriques de pâte mécanique et chimico-mécanique**

Pour les usines de pâte mécanique ou chimicomécanique intégrées, les techniques ou combinaisons de techniques suivantes sont considérées comme des MTD. Cette liste des MTD n'est pas considérée comme exhaustive et n'importe quelle autre technique ou combinaison de techniques permettant

d'atteindre le même résultat (voire un résultat meilleur) peut également être envisagée; il peut s'agir en l'occurrence de techniques en cours de développement ou d'une technique émergente ou déjà disponible, mais qui n'est pas mentionnée/décrite dans le présent document. Pour les usines intégrées de pâte mécanique, il est renvoyé à la section 6.4, qui donne des détails complémentaires sur les MTD pour la fabrication du papier. Sauf indication contraire, les données sont des valeurs annuelles moyennes.

### **Mesures générales**

1. Formation, éducation et motivation du personnel et des opérateurs. La formation du personnel peut s'avérer être une mesure très efficace par rapport à son coût pour réduire les impacts de ces usines sur l'environnement.
2. Optimisation de la gestion du processus. Pour pouvoir réduire plusieurs polluants simultanément et maintenir les émissions à un niveau faible, il est nécessaire d'améliorer la maîtrise opérationnelle.
3. Pour conserver le rendement des unités techniques des usines de pâte à papier et maintenir les techniques de limitation à un niveau élevé, il convient d'assurer une maintenance adéquate.
4. Un système de gestion de l'environnement qui définisse clairement au sein de l'usine les responsabilités pour les aspects touchant à l'environnement. Il suscite la prise de conscience et englobe des objectifs et des mesures, des procédures et instructions de travail, des enregistrements et autre documentation pertinente.

### **Mesures pour réduire les émissions dans l'eau**

1. Écorçage à sec du bois. Les méthodes à sec réduisent la circulation d'eau pour la phase de lavage dans les tambours. Dans les installations d'écorçage, la mise en circuit fermé de la circulation de l'eau est très poussée. Les matières solides sont éliminées de l'eau en circulation, qui ne sert qu'au lavage des grumes et à la séparation des matières indésirables. Une partie de l'eau claire est séparée pour être acheminée vers l'installation de traitement des effluents liquides.
2. Système de circulation de l'eau dans l'unité de fabrication de la pâte mécanique. Afin de maintenir l'accumulation des substances dissoutes ou en dispersion à un niveau acceptable, les circuits d'eau sont ouverts dans certaines limites.
3. Séparation des circuits d'eau de l'usine de pâte et de la papeterie au moyen d'épaississeurs. Une phase d'épaississage de la pâte se traduit par une baisse significative des polluants dans le circuit d'eau de la machine à papier. Le filtrat de l'épaississeur est renvoyé dans le circuit de fabrication de la pâte. Cette mesure empêche que les polluants dissous du bois ne suivent tout le processus de fabrication du papier. En isolant les unités du processus, il devient possible d'éliminer les polluants à l'intérieur de l'unité dans laquelle ils sont générés.
4. Circulation à contre-courant de l'eau blanche de la papeterie vers l'usine de pâte, en fonction du degré d'intégration. Il se peut qu'il s'avère impossible de recycler l'eau de process de la machine à papier vers l'usine de pâte lorsque l'usine possède deux ou plusieurs machines à papier produisant différents types de papier, dont les eaux blanches sont incompatibles, ou en cas de fabrication de papier coloré.
5. Mise en place de bacs tampons d'une capacité suffisante et de systèmes de stockage pour les liquides provenant du processus (principalement pour les pâtes CTMP).
6. Traitement primaire et secondaire biologique. Les effluents du procédé et le blanchiment sont toxiques pour la vie aquatique. Un traitement biologique bien conduit peut éliminer la majeure partie de la toxicité de ces effluents. C'est pourquoi, en plus des mesures internes et du traitement

primaire, on considère le traitement biologique comme une MTD pour les usines de pâte mécanique et chimicomécanique et les papeteries intégrées. Les installations à boues activées comprenant un bassin de régulation, un bassin d'aération, un décanteur secondaire et un traitement des boues présentent d'excellents résultats en matière de traitement de ces effluents. Les installations à boues activées avec une charge faible des boues, inférieure à 0,15 kg DBO/(kg MLSS\*j), et des temps de séjour dans le bassin d'aération d'environ un jour sont considérées comme des MTD. Elles permettent d'atteindre des rendements d'élimination élevés (DCO : 75 à 90 %; DBO : 95+ %) et d'obtenir un traitement stable. Un petit nombre d'usines atteignent aussi de bons résultats (> 85 % de réduction DCO) avec un traitement biologique à charges élevées.

Pour les usines de pâte CTMP, trois autres mesures peuvent être considérés comme des MTD :

1. Un lavage efficace entre l'usine de pâte et la papeterie. Cette mesure permet de réduire le transfert de matières dissoutes et en suspension provenant de la production de pâte et du blanchiment. Si elle ne nuit pas à la qualité de la pâte ni à celle du papier et aux autres machines à papier utilisant la même pâte, l'eau de circulation de la papeterie peut être utilisée comme eau de lavage. Le filtrat du lavage est renvoyé vers l'eau de circulation de l'usine de pâte.
2. Traitement des effluents soit par le procédé biologique à une ou deux étapes avec ou sans traitement chimique, soit traitement chimique interne de l'eau blanche du premier stade de lavage plus traitement aux boues activées. Une combinaison de traitement anaérobie ou aérobie des effluents est aussi possible. L'évaporation des effluents les plus pollués et l'incinération du concentrat avec le traitement biologique des autres effluents peut être aussi une solution.
3. Pour les usines nouvelles, et celles qui augmentent leur capacité dans des proportions significatives, l'évaporation d'effluents particuliers fortement pollués pour aider le traitement biologique ou de tous les effluents avec incinération des concentrats est considérée comme une MTD.

Pour les usines de pâte mécanique intégrées (ce qui est le cas pour la majorité d'entre elles), il faut tenir compte, en plus des mesures liées à la fabrication de la pâte mécanique, des mesures décrites dans le chapitre correspondant sur la fabrication du papier (chapitre 6). Cela dit, les niveaux d'émissions associés aux MTD qui sont indiqués ci-après englobent la production de la pâte et celle du papier.

L'efficacité de chacune de ces mesures varie considérablement en fonction de la conception et des modalités de fonctionnement des différentes usines. Pour être considérée comme une MTD, elle doit aussi être bien conçue et bien appliquée. Le tableau 4.15 indique une fourchette possible d'émissions des usines de pâte mécanique et de papier avant le traitement biologique. Les usines choisies sont des exemples concrets à l'échelle mondiale fonctionnant avec différents procédés et configurations du circuit d'eau. Les plages d'émissions peuvent donner une indication sur les rejets dans l'eau si l'on n'appliquait pas de traitement biologique. En réalité, toutes ces usines possèdent une installation de traitement primaire et secondaire des effluents.

La liste des usines est une sélection d'entreprises pour lesquelles des données étaient disponibles ou communiquées, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Elle comprend des usines de différents pays d'Europe. Ces données sont calculées à partir de renseignements fournis par les membres du groupe de travail technique TWG, de communications personnelles et [Zippel, 1999]. La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs. L'efficacité du traitement biologique des effluents des usines de pâte à papier est étudiée ultérieurement.

Il ne faut pas oublier que certaines papeteries utilisent un mélange de fibres, comprenant par exemple un certain pourcentage de fibres recyclées, différents types de pâte mécanique et également quelquefois de petites quantités de pâte chimique achetée. Cela peut être la cause de variations significatives des charges initiales de polluants.

- (1) Newsprint = papier journal  
SC paper = papier supercalandré (SC)

Usines	DCO [kg/AD t]	Tot N [kg/ADt]	Tot P [kg/ADt]	Débit [m3/AD t]	Production 97 [ADt/a]	Observations
Steyrermühl, AT, P. journal	18 <sup>1)</sup> -35	n/a.	n/a.	17-20	450000	Pâte à papier SGW (défibrage à la meule) blanchie par réduction, TMP blanchie en 1 ou 2 étapes + 50 % pâte désencrée
Usine 2, DE	19	n/a.	n/a.	16	n/a	Pâte TMP, pas d'autres renseignements disponibles
Usine 3, DE, LWC	17	n/a.	n/a.	13	n/a	Pâte TMP, pas d'autres renseignements disponibles
Usine 4, DE, LWC	12	n/a.	n/a.	15	n/a	Pâte mécanique de bois râpé, pas d'autres renseignements disponibles
Usine 5, DE	18	n/a.	n/a.	14	n/a	Pâte mécanique de bois râpé, pas d'autres renseignements disponibles
Usine 6, DE	7	n/a.	n/a.	10	n/a	Pâte mécanique de bois râpé, pas d'autres renseignements disponibles
Usine 7, DE	9	n/a.	n/a.	16	n/a	Pâte mécanique de bois râpé, pas d'autres renseignements disponibles
Norske Skog Saugbrugs NO, papier SC <sup>2)3)</sup>	63	n/a.	0.04	n/a.	530000	55 % de PM (blanchie au peroxyde), 12 % CP, 33 % de charges
Norske Skog Follum, NO, P. journal et MFC <sup>2)3)</sup>	90	n/a.	0.04	n/a.	350000	> 95 % PM (SGW et TMP, dont 70 % blanchie au peroxyde) < 5 % CP
Notes explicatives :						
n/a : pas de données disponibles; MFC = couché fini machine; CP = pâte chimique achetée; PM = pâte mécanique produite sur le site; AS = boues activées						
1) Le chiffre inférieur de la fourchette concerne le blanchiment au dithionite, qui est normalement réalisé avec un pH de 5 à 6. Il n'augmente pas sensiblement la quantité de substances organiques dissoutes. Le chiffre supérieur concerne le blanchiment avec du peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin.						
2) Un degré d'alcalinité élevé entraîne une dissolution importante des substances du bois. En conséquence, le blanchiment avec du peroxyde d'hydrogène alcalin se traduit par une charge supplémentaire de 5 à 15 kg DBO/t et de 15 à 40 kg DCO/t, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que dans le procédé de fabrication mécanique de la pâte proprement dit. Le rejet de phosphore augmente de 20 à 35 g/t et celui d'azote peut augmenter de 400 à 500 g/t [Papermaking Science and Technology, 1999].						
Les chiffres communiqués pour les deux usines norvégiennes sont ceux des rejets avant tout traitement (avant traitement primaire) et ils ne peuvent donc pas être comparés aux autres chiffres.						

**Tableau 4.15 - Exemples de niveaux d'émissions annuels moyens dans l'eau obtenus après traitement primaire pour quelques usines européennes de pâtes mécaniques et de papier (année de référence : 1997).**

La plus grande partie de la pollution est due à la fabrication des pâtes mécaniques. Selon les différents procédés, on obtient une dissolution très différente des substances du bois dans les eaux de process. Pour la technique du défibrage à la meule, la concentration type des effluents est de 2 000 à 2 500 mg/l. Pour la fabrication de pâte TMP, on peut s'attendre à des concentrations plus élevées, entre 2 000 et 3 500 mg/l (voire plus). La CTMP également donne un taux de dissolution des matières du bois sensiblement plus élevé que la pâte TMP. Si l'on postule une consommation spécifique d'eau comprise

entre 10 et 20 m<sup>3</sup>/ADt, la concentration de DCO de l'effluent total de l'usine de pâte et de papier sera normalement de l'ordre de 600 à 2 000 mg/l avant le traitement biologique.

Dans les usines intégrées, les effluents de production de pâte sont mélangés avec les autres (couchage, pâte désencrée) et traités dans une installation commune. La charge type de DCO avant le traitement biologique varie entre moins de 10 kg DCO/t et 35 kg DCO/t (avec une faible proportion de TMP blanchie au peroxyde). Pour la fabrication de pâtes TMP avec prédominance du blanchiment au peroxyde, les charges en DCO sont supérieures (jusqu'à 90 kg/t avant tout traitement).

Pour les usines de pâtes mécaniques et de papier, il est difficile de présenter des niveaux d'émission associés à l'utilisation des MTD avant le traitement biologique car la charge de polluants dépend dans une grande mesure des conditions du défibrage (par exemple la température), des opérations de blanchiment (niveaux de pH) et des matières premières utilisées (essences de bois, stockage). La configuration et le degré de mise en circuit fermé des boucles d'eau (circulations à contre-courant, recours à des épaisseurs, clarification de l'eau de process) jouent également un rôle important. Par conséquent, les données sur la quantité et la nature des substances dissoutes et en suspension dans les eaux de process des usines avant traitement varient et ne permettent généralement pas de tirer des conclusions générales. Une autre difficulté provient du fait que le circuit d'eau de l'unité de fabrication des pâtes mécaniques est lié à celui de la papeterie, ce qui provoque des interférences entre les deux systèmes.

Le tableau 4.16 indique les niveaux d'émissions atteints en Europe par quelques usines de pâte mécanique qui ont mis en œuvre un ensemble de mesures MTD intégrées dans le processus, mais pas nécessairement toutes et pas nécessairement dans toute leur ampleur, en association avec un traitement biologique des effluents liquides. Les chiffres entre parenthèses expriment des concentrations.

Usines intégrées de pâte mécanique et de papier	Niveaux d'émissions communiqués, atteints après traitement biologique (moyennes annuelles)						Matières premières et type de traitement des effluents
	DCO [kg/Adt ]	DBO <sub>5</sub> ou 7 [kg/Adt]	MES [kg/Adt]	Total P [kg/Adt ]	Total N [kg/Adt ]	Débit <sup>3)</sup> [m3/Adt]	
Enso summa, FI, P. journal	1.8 (75 mg/l)	0.21 (9 mg/l)	0.3 (13 mg/l)	0.007	0.07	24	Pas de renseignements
UPM Kaipola, FI, P. journal/LWC	2.8 (150 mg/l)	0.1 (5 mg/l)	0.3 (16 mg/l)	0.005	0.07	19	Pas de renseignements
Steyrermühl, AT, P. journal	2.5 (125 mg/l)	< 0.2 (10 mg/l)	< 0.2 (10 mg/l)	< 0.01	< 0.03	17-20	SGW, TMP+ 50 % DIP, boues activées (AS) faible charge
Braviken, SE, P. journal	2.0 (135 mg/l)	n/a.	0.39 (26 mg/l)	0.004	0.1	15	TMP + PRFC; traitement biologique + précipitation chimique
Kvarnsveden, SE, P. journal, SC	2.0 (135 mg/l)	n/a.	0.22 (15 mg/l)	0.002	0.054	15	TMP + GWP; traitement biologique + précipitation chimique
Mill 2, DE, couché (LWC)	0.85 (65 mg/l)	< 0.1 (8 mg/l)	0.15 (12 mg/l)	0.006	0.04 (inorg. N)	13	30 % CP achetée, 30 % PM, 30 % charges, pâte désencrée, biofiltre à deux étages
Mill 3, DE, LWC	0.8 (95 mg/l)	0.1 (12 mg/l)	0.07 (8 mg/l)	0.01	0.04 (inorg. N)	8.5	30 % CP achetée, 30 % PM, 10 % pâte désencrée, 30 % charges, boues activées (AS)
M-S Kirkniemi, FI, LWC	2.0 (180 mg/l)	0.15 (14 mg/l)	0.5 (45 mg/l)	0.003	0.04	11	Boues activées (AS) + précipitation chimique
Ortviken, SE, P. journal, LWC	2.0 (105 mg/l)	n/a.	0.29 (15 mg/l)	0.004	0.10	19	TMP; traitement biologique + précipitation chimique
Myllykoski, FI, LWC/SC	3.4 (180 mg/l)	0.3 (16 mg/l)	0.5 (25 mg/l)	0.011	0.06	19	Boues activées + précipitation chimique Boues activées
UPM Jämsänkoski, FI, SC	2.4 (160 mg/l)	0.06 (4 mg/l)	0.4 (25 mg/l)	0.006	0.09	15	Traitement biologique + précipitation chimique
M-S Lielähti, FI, CTMP non intégrée	15 (650 mg/l)	1.1 (48 mg/l)	1.6 (70 mg/l)	0.025	0.31	23	Traitement biologique
Rockhammar, SE, CTMP non intégrée	12	n/a.	0.8	0.007	0.2	20	Traitement biologique + précipitation chimique
Waggeryd, SE, CTMP non-intégrée	22	n/a.	2	0.03	0.9	19	Traitement biologique
Fors, SE, CTMP intégrée	20	n/a.	1.5	0.003	0.2	16	Traitement biologique + précipitation chimique
Notes explicatives : CP = pâte chimique achetée, PM = pâte mécanique produite sur le site, AS = boues activées, n/a. : pas de données disponibles. La liste des usines est une sélection d'installations pour lesquelles des données étaient disponibles ou communiquées, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Ces données sont dérivées de rapports disponibles sur l'environnement, de statistiques de l'Institut finlandais de l'environnement, du rapport SEPA 4987 (données pour 1998) et de communications personnelles. La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs. En Suède et en Finlande, les valeurs pour la BOD sont exprimées en BOD <sub>7</sub> .							

**Tableau 4.16 - Exemples de niveaux d'émissions dans l'eau obtenus après traitement biologique par des usines européennes intégrées de pâtes et de papier produisant du papier avec bois (année de référence : 1997).**

En postulant que l'installation de traitement des effluents liquides a été correctement conçue et dimensionnée et qu'elle est conduite et contrôlée par des opérateurs qualifiés, il est généralement

possible d'atteindre les rejets suivants **après** le traitement biologique en association avec l'application de MTD.

Paramètres	Unités	Usines intégrées de pâte à papier et de papier tel que papier journal <sup>1</sup> , papier LWC <sup>2</sup> (couché léger), papier supercalandré <sup>3</sup>
DBO	kg/t de papier	0.2 - 0.5
DCO	kg/t de papier	2.0 - 5.0
MES	kg/t de papier	0.2 - 0.5
AOX	kg/t de papier	< 0.01
Total P	kg/t de papier	0.004 - 0.01
Total N	kg/t de papier	0.04 - 0.1
Quantité d'effluents liquides	m <sup>3</sup> /t de papier	12 - 20
Notes explicatives :		
1)	On postule que > 50 % des fibres consistent en pâte mécanique produite par l'usine. Dans les papeteries européennes produisant du papier journal, on peut trouver différents mélanges de fibres. On peut avoir une composition en fibres constituée par exemple de 50 à 60 % de pâte TMP blanchie, et de 40 à 50 % de pâte désencrée (DIP).	
2)	On postule que > 50 % des fibres consistent en pâte mécanique produite par l'usine. Dans les papeteries européennes produisant du papier couché léger (LWC), on peut trouver différents mélanges de fibres. On peut avoir une composition en fibres constituée par exemple de 30 à 40 % de pâte kraft blanchie achetée et de 50 à 60 % de pâte PWG ou TMP.	
3)	On postule que > 50 % des fibres consistent en pâte mécanique produite par l'usine. Dans les papeteries européennes produisant du papier SC, on peut trouver différents mélanges de fibres. On peut avoir une composition en fibres comprenant par exemple de 10 à 20 % de pâte kraft blanchie achetée, 80 à 90 % de pâte PWG ou TMP. 20 à 45 % de la matière première peut consister en charges.	

**Tableau 4.17 - Niveaux d'émissions associés à des MTD, exprimés en moyenne annuelle, pour la fabrication de papier avec bois (> 50 % de pâte mécanique).**

**Les valeurs sont indiquées pour des usines intégrées après traitement biologique. Les émissions de la machine à papier sont prises en compte. Les MTD pour les papeteries sont décrites dans la section 6.4**

Pour les usines utilisant le peroxyde d'hydrogène en milieu alcalin pour le blanchiment, les niveaux d'émissions associés aux MTD se situent plutôt dans la partie supérieure de la fourchette, voire la dépasse dans quelques cas spécifiques (par exemple si la composition en fibres consiste essentiellement en pâte TMP blanchie au peroxyde). En revanche, les usines intégrées de pâte et de papier qui utilisent une quantité importante de pâte chimique achetée peuvent obtenir des niveaux plus bas, descendant jusqu'à 1 kg DCO par tonne de papier produit.

#### **Autres types d'usines de pâte mécanique et de papier**

Dans les usines de pâte mécanique intégrées, les charges polluantes comprennent à la fois celles de l'usine de pâte et de la papeterie. Dans la majorité des papeteries produisant des papiers avec bois, on postule que la pâte chimique nécessaire (le cas échéant) est achetée à d'autres usines hors site. La part de cette pâte chimique supplémentaire dans la charge totale de l'effluent est négligeable par rapport à celle de la pâte mécanique produite par l'usine. Cependant, certaines usines de papier et de carton produisant du papier couché léger (LWC) ou du carton (par exemple carton pour emballages liquides ou carton pour boîtes pliantes) sont intégrées avec des usines de pâte chimique blanchie. Dans de tels cas, il faut ajouter les émissions provenant de la fabrication de la pâte kraft conformément à la composition en fibres. Se reporter aux niveaux de référence des MTD pour la pâte kraft, tels qu'ils sont exposés dans la section 2.4.

Les niveaux d'émissions MTD pour les **cartonneries** intégrées (> 50 % de pâte mécanique) seront proches de ceux des usines de papier LWC. La composition en fibres d'un carton multicouches sera par exemple 25 à 30 % de pâte kraft blanchie, 70 à 75 % de pâte TMP. Les charges et les produits de



couchage peuvent représenter 10 à 25 %. Cependant, on rencontre une grande variété d'autres mélanges de fibres dans les cartonneries européennes.

Les niveaux d'émissions MTD pour les usines de **papier à usage sanitaire et domestique** à base de bois (> 50 % de pâte mécanique) devraient être du même ordre que ceux des usines intégrées de papier SC ou de papier journal. Il n'existe qu'un très petit nombre d'usines de ce type en Europe. La composition en fibres de cette catégorie de papiers pourrait être par exemple 50 à 60 % de pâte mécanique blanchie et 40 à 50 % de pâte chimique. Aucun niveau d'émissions MTD n'est communiqué pour cette qualité de papier.

En revanche, les niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD pour la fabrication de **pâte CTMP** diffèrent considérablement car cette pâte génère une quantité nettement plus élevée de substances dissoutes provenant du bois que la pâte TMP. Les niveaux d'émissions MTD après traitement sont indiqués dans le tableau 4.18.

Paramètres	Unités	PTCM <sup>1</sup>
DBO	kg/ADt	0.5-1.0
DCO	kg/ADt	10.0-20.0
MES	kg/ADt	0.5-1.0
AOX	kg/ADt	-
Total P	kg/ADt	0.005-0.01
Total N	kg/ADt	0.1-0.2
Quantité d'effluent liquide (eaux usées)	m <sup>3</sup> /ADt	15-20
Note explicative 1) Les émissions concernent la production non intégrée de pâte CTMP. Prétraitement au sulfite de sodium en milieu alcalin ou neutre. Rendement du raffinage 94 à 95 % [données de J. Pöyry, 1998 et données des usines].		

**Tableau 4.18 - Niveaux d'émissions associés à des MTD, exprimés en moyenne annuelle, pour la fabrication de pâte CTMP.**

**Les valeurs sont indiquées pour des usines non intégrées, après traitement biologique. Les émissions de la machine à papier ne sont pas prises en compte. Les usines intégrées doivent ajouter les émissions de la papeterie, suivant la description donnée dans la section 6.4, en fonction du pourcentage de production.**

Les tableaux 4.17 et 4.18 doivent être interprétés dans le contexte des explications suivantes :

- **Demande Chimique d'Oxygène (DCO) :** le taux de réduction de la DCO est lié aux types et aux quantités d'effluents traités (par exemple TMP blanchie au peroxyde, SGW blanchie par traitement réducteur, production de pâte désencrée, effluents du couchage), à la construction et aux caractéristiques hydrauliques de l'installation de traitement et au bon réglage des paramètres de fonctionnement. Les effluents liquides des usines de pâtes mécaniques sont plus facilement dégradables que ceux des usines de pâtes chimiques. Des installations à faible charge, bien conçues et bien conduites, atteignent des taux d'élimination de la DCO de 75 à 90 %. Par conséquent, les usines de papier avec bois peuvent généralement atteindre des niveaux d'émission de 2 à 5 kg DCO/ADt. La concentration mesurée dans les effluents de ces usines est comprise dans une fourchette de 125 à 200 mg DCO/l. Les usines de pâte CTMP rejettent des effluents liquides plus fortement concentrés. En raison du pré-traitement chimique des copeaux de bois, les usines de pâte CTMP ont des taux plus importants de rejets dans l'eau.
- **Demande Biologique d'Oxygène (DBO<sub>5 ou 7</sub>) :** dans les installations de traitement bien conçues, la DBO est presque entièrement éliminée (réduction de 95 % +) des effluents liquides des usines de

pâte mécanique quand le rapport carbone-phosphore-azote et l'apport en oxygène sont maintenus à un niveau suffisant et bien maîtrisés. Une concentration de DBO, dans les effluents traités, inférieure à 25 mg/l (souvent proche du seuil de détection) est associée à des MTD. Selon le débit de l'eau, cela correspond à 0,2 kg DBO<sub>5</sub>/ADt et à 0,7 kg DBO<sub>5</sub>/ADt.

- **Matières en suspension (MES)** : dans des conditions de fonctionnement normales, l'eau provenant du décanteur secondaire est claire et la teneur en matières en suspension se situe dans la fourchette 20 à 30 mg/l. Cela correspond à des rejets de 0,2 à 0,5 kg MES/t. Les valeurs dépendent de la charge surfacique du décanteur secondaire et des caractéristiques de la biomasse.
- **Phosphore et azote (P total et N total)** : on ajoute habituellement des substances nutritives minérales dans l'installation de traitement biologique pour maintenir l'équilibre C : P : N qui est d'une importance capitale pour la croissance de la biomasse active. Il faut rechercher et maintenir un équilibre entre les composés d'azote et de phosphore en entrée qui sont disponibles pour la biomasse, et la quantité de substances nutritives, le cas échéant, qui sont ajoutées et dont le dosage doit être réglé avec une certaine précision. Lorsque le circuit est optimisé, on atteint un rejet de phosphore inférieur à 0,5 mg de P total/l et un rejet d'azote de 1 à 5 mg N total/l. Les charges correspondantes sont respectivement de 0,005 à 0,01 kg P/ADt et 0,05 à 0,2 kg N/ADt.

## Mesures pour réduire les émissions dans l'atmosphère

### Chaudières auxiliaires

En fonction de l'équilibre énergétique réel de l'usine, du type de combustibles extérieurs utilisés et du sort des biocombustibles possibles tels que l'écorce et les déchets de bois, il faut considérer en plus les émissions dans l'atmosphère provenant des chaudières auxiliaires. Les niveaux d'émissions associés aux MTD des chaudières auxiliaires procédant à l'incinération de leurs propres biocombustibles sont récapitulés dans le tableau 4.19. Les rejets totaux sont très étroitement liés au site (par exemple type de combustible, demande d'énergie, production d'électricité). Il convient de noter que, dans l'industrie papetière, les chaudières auxiliaires sont de tailles extrêmement variables (de 10 à plus de 200 MW). Pour les plus petites, seul le recours à du combustible pauvre en soufre et une action au niveau des techniques de combustion sont possibles à des coûts acceptables, alors que pour les plus grandes, on peut aussi envisager des mesures de limitation. Cette différence est illustrée dans le tableau suivant. Les chiffres les plus élevés sont considérés comme des MTD pour les petites installations et atteints lorsqu'on agit uniquement sur la qualité du combustible et en appliquant des mesures internes. Les niveaux les plus bas (entre parenthèses) sont associés à des mesures de limitation supplémentaires telles que la SNCR, et les épurateurs et sont considérés comme MTD pour les installations les plus grandes.

Substances rejetées	Charbon	Huile lourde (mazout)	Gazole	Gaz	Biocombustible (par ex. écorce)
mg S/MJ de combustible consommé	100 - 200 <sup>1</sup> (50 - 100) <sup>5</sup>	100 - 200 <sup>1</sup> (50-100) <sup>5</sup>	25-50	<5	< 15
mg NO <sub>x</sub> /MJ de combustible consommé	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	45-60 <sup>2</sup>	30 -60 <sup>2</sup>	60 -100 <sup>2</sup> (40-70 SNCR) <sup>3</sup>
mg de poussière/Nm <sup>3</sup>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>	10 - 40 <sup>4</sup> à 3 % O <sub>2</sub>	10-30 3% O <sub>2</sub>	< 5 3% O <sub>2</sub>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>
Notes :					
1	Les émissions de soufre des chaudières à mazout ou à charbon dépendent de la disponibilité de mazout et de charbon pauvre en soufre. On pourrait obtenir une certaine réduction du soufre en injectant du carbonate de calcium.				
2	On n'agit qu'au niveau de la technologie de la combustion				
3	On applique également des mesures secondaires telles que la SNCR; uniquement pour des installations de grandes dimensions				
4	Valeurs obtenues lorsqu'on a recours à la précipitation électrostatique. Lorsqu'on utilise un épurateur; ne s'applique qu'aux installations de grandes dimensions				

**Tableau 4.19 - Niveaux d'émissions associés à l'utilisation des MTD pour différents combustibles.**

### Émissions de COV

Compte tenu de la température élevée du défibrage, une partie des composés organiques volatiles (COV) du bois s'évapore pendant les processus. La quantité et la composition de ces COV sont étroitement liées à la teneur en résine du bois. Dans les cas où l'on utilise des espèces de bois à forte teneur en agents d'extraction et où les émissions de COV ne sont pas suffisamment récupérées dans les unités de récupération de la chaleur et dans la vapeur du procédé TMP, la collecte et le traitement ultérieur des composés volatiles sont considérés comme MTD. L'air contenant des COV peut être incinéré dans les chaudières existantes.

### Émissions provenant de l'incinération des déchets

La MTD consiste à recourir à la technique du lit fluidisé dans une chaudière d'incinération des déchets solides. Les gaz de fumées sont épurés conformément aux exigences formulées pour l'incinération du combustible consommé.

### Mesures pour réduire les déchets solides

La majeure partie des matières solides qui constituent les circuits de déchets apparaissent lors de l'écorçage (écorce, perte de bois à l'écorçage, sciure et poussière de copeaux). D'autres déchets solides proviennent des pertes de fibres lors de la réduction en fibres, et des boues résultant des traitements primaire et secondaire des effluents liquides. De nombreuses usines récupèrent tous ces résidus à forte teneur en substances organiques et les incinèrent dans des chaudières auxiliaires. Généralement, les mesures suivantes sont considérées comme MTD :

1. Minimisation de la génération de déchets solides et récupération, recyclage et réutilisation de ces matériaux dans toute la mesure du possible.
2. Collecte séparée des fractions de déchets à la source et, si nécessaire, stockage intermédiaire des matières résiduelles/déchets pour permettre un traitement adéquat des déchets restants.
3. Incinération de toutes les matières organiques non dangereuses (écorce, déchets de bois, boues d'effluents etc.) dans des chaudières auxiliaires optimisées pour ces émissions, spécialement conçues pour brûler des combustibles humides à faible valeur calorifique (par ex. des chaudières à lit fluidisé).
4. Si possible, utilisation à l'extérieur de l'usine des résidus/déchets en tant que substituts pour l'industrie forestière, l'agriculture ou d'autres industries.
5. Minimisation de l'évacuation des refus vers les décharges.

Il convient de noter qu'il existe peu de renseignements détaillés et fiables sur la limitation possible des quantités de déchets solides. Les données statistiques font défaut et, en Europe, on emploie différents termes pour différentes variétés de déchets. Certains pays ne rendent compte que des déchets solides - avant tout des déchets solides inorganiques - qui ne peuvent plus être recyclés ou réutilisés mais doivent être envoyés à la décharge. Cela implique que tous les déchets organiques qui présentent une valeur calorifique acceptable et/ou qui peuvent être incinérés sans risques d'émissions dangereuses dans la chaudière auxiliaire d'une usine sont déjà exclus des quantités déclarées de déchets solides (écorce et déchets de bois, boues primaires et biologiques du traitement des effluents liquides). De ce fait, les déchets solides déposés à la décharge comprennent une grande quantité de cendres de chaudière, quelques déchets de bois et d'écorce, et divers déchets de nettoyage et de type ménagers mixtes.

C'est pourquoi aucune valeur cible n'est présentée concernant la quantité de déchets solides non dangereux.

Toutes les usines produisent une petite quantité de déchets dangereux. Ceux-ci comprennent des résidus d'huile et de graisse, des huiles usées des circuits hydrauliques et des transformateurs, des batteries hors d'usage et autres déchets de matériels électriques, des solvants, des peintures, des biocides et des résidus chimiques etc. Normalement, ils représentent environ 0,05 à 0,1 kg/t de produit.

### **Mesures pour économiser l'énergie**

En général, dans ce secteur, on considère comme MTD le recours à des techniques avec un bon rapport d'efficacité énergétique. Il existe de nombreuses solutions pour économiser l'énergie à de nombreux stades du processus de fabrication. Habituellement, ces mesures sont liées à des investissements en vue de remplacer, reconstruire ou moderniser des matériels. Il convient de noter que la plupart des mesures visant à des économies d'énergie ne s'appliquent pas seulement avec ce seul objectif. Une production efficace, des produits de meilleure qualité et une réduction des coûts globaux sont les incitations les plus importantes à investir.

Pour réduire la consommation d'énergie, on peut choisir les mesures suivantes :

1. Mise en œuvre d'un système pour surveiller l'utilisation et l'efficacité de l'énergie. A partir de renseignements fiables sur les performances en matière d'énergie, il sera possible de prendre des mesures adéquates. La gestion de l'énergie inclut l'élaboration, le suivi, le réexamen et la révision des objectifs en matière de rendement énergétique.
2. Modernisation de l'équipement. Lors du remplacement de matériels, choisir un équipement consommant moins d'énergie et apte à fonctionner en mode automatisé au lieu de systèmes manuels classiques. Les systèmes de commande automatisés sont plus efficaces à commander et peuvent se traduire par une précision accrue au niveau des processus et des économies d'énergie (voir aussi Section 6.3).
3. Minimisation des pertes par rejets grâce à des opérations efficaces de traitement des rejets et un raffinage de ces derniers. Si les paquets de fibres (bûchettes) et les fibres grossières inutilisées sont éliminés de la chaîne principale du processus, l'énergie déjà consommée pour le premier défibrage/raffinage sera perdue. En réduisant les pertes par rejets après le défibrage et le raffinage principal et en raffinant encore une fois les bûchettes et les fibres grossières pour amener les propriétés au niveau de qualité nécessaire, on parviendra à réduire la consommation spécifique d'énergie.

4. Mise en place de circuits efficaces de récupération de la chaleur (ne s'applique qu'aux techniques TMP et CTMP). Le raffinage des pâtes TMP génère d'importantes quantités de vapeur dues au fait qu'environ deux tiers de l'énergie électrique requise pour le raffinage est transformée en énergie thermique sous forme de vapeur chaude saturée. Les impuretés contenues dans la vapeur de TMP justifient l'unité de récupération de la chaleur car cette vapeur ne peut pas être exploitée directement. On sépare les fibres de la vapeur dans des cyclones puis on la condense dans le rebouilleur en présence de vapeur propre d'évaporation. La vapeur propre est habituellement utilisée dans la section de la machine à papier.
5. Mise en œuvre d'une cogénération de chaleur et d'énergie lorsque le rapport énergie/vapeur le permet.

Pour d'autres mesures visant à réduire la consommation d'énergie qui sont généralement applicables aux papeteries, il convient de se référer à la section 6.3. Cette section étudie les principales solutions d'amélioration qui existent, telles que l'optimisation de l'égouttage au niveau de la partie humide, grâce au montage d'une presse large contact, et le recours à des techniques avec un bon rapport d'efficacité énergétique. On y aborde aussi la réduction de la consommation directe de la vapeur grâce à une intégration soigneusement étudiée du processus sur la base d'une analyse des économies possibles.

Dans de nombreux pays européens, il est difficile d'accéder aux informations sur l'équilibre énergétique des papeteries. En effet, en Europe, les pays utilisent différents schémas pour leurs rapports, s'ils en font, et la demande d'énergie dépend aussi de la qualité du produit (par exemple degré de raffinage) et dans une certaine mesure des conditions locales. Il est donc difficile de quantifier les consommations d'énergie associées à l'utilisation de MTD. C'est pourquoi les fourchettes de consommation d'énergie des usines de pâte à papier qui sont indiquées dans le tableau 4.20 doivent être considérées uniquement comme une indication du besoin approximatif en chaleur de process et en énergie des usines de pâte mécanique et de papier avec un bon rapport d'efficacité énergétique. On pourra peut-être ajouter d'autres exemples d'usines avec un bon rapport d'efficacité énergétique dans une version révisée du BREF.

Type d'usine	Consommation de chaleur de process (nette) en GJ/ADt	Consommation d'énergie (nette) en MWh/ADt
Intégrée, papier journal (100 % TMP)	- 1.3 <sup>2</sup>	2.2
Intégrée, papier magazine super calandré (SC) (100 % TMP)	- 0.3 <sup>2</sup>	2.1
Intégrée, papier journal (> 50 % pâte mécanique)	0-3.0	2.0-3.0
Intégrée, papier couché léger (LWC) (> 50 % pâte mécanique)	3.0-12.0	1.7-2.6
Intégrée, papier super calandré (SC) (> 50 % pâte mécanique)	1.0-6.0	1.9-2.6
Intégrée, carton (> 50 % pâte mécanique)	3.5-13.0	2.3-2.8
Non intégrée CTMP	0	2.0-3.0
Notes explicatives : (-) indique un excédent On peut convertir les unités de MWh en GJ selon la formule : 1 MWh = 3,6 GJ et 1 GJ = 0,227 MWh. Données de [J. Pöyry, 1998], [Rapport SEPA 4712-4, 1997], [Rapport finlandais sur les MTD, 1997] 1) La consommation nette de chaleur de process dépend principalement du type de raffinage et du niveau de récupération de la chaleur. On ne peut atteindre ces valeurs qu'à condition d'avoir installé et de gérer de façon idéale le système de récupération de la chaleur, la section presses de la machine à papier et la consommation d'électricité. Dans les processus existants, cela est rarement le cas.		

**Tableau 4.20 - Indication de la consommation d'énergie associée à l'utilisation des MTD pour différents types de papiers avec bois, par tonne de produit.**

### **Atténuation du bruit**

La MTD est la réduction des niveaux sonores audibles dans le voisinage des papeteries. Les mesures prises dépendront dans une très grande mesure des problèmes sonores spécifiques de l'usine et des objectifs fixés. Elles seront généralement beaucoup plus rigoureuses lorsque l'usine est implantée à proximité d'une zone résidentielle.

### **Utilisation des produits chimiques**

Se reporter à la section 6.4.

## **4.5 Techniques émergentes**

### **4.5.1 Utilisation de nouvelles techniques d'évaporation en tant que "reins" pour l'épuration interne de l'eau de process**

#### **Description**

Dans la fabrication des pâtes mécaniques, la plupart des substances organiques rejetées pendant la production proviennent d'un petit nombre de sources (par exemple eau du parc à bois, de l'écorçage, matières organiques dissoutes pendant le défibrage/raffinage, filtrats du blanchiment). Actuellement, dans la plupart des usines, tous les effluents sont traités ensemble, ce qui est une façon judicieuse d'assurer un fonctionnement stable au niveau du traitement biologique. Récemment, quelques usines ont envisagé de nouveaux concepts, axés sur d'autres techniques de traitement interne des effluents partiels les plus concentrés ou les plus problématiques. Ainsi, on cherche à séparer les polluants plus près de leur lieu d'origine afin de réduire la taille de l'équipement requis pour le traitement. En principe, pour réduire la quantité de polluants, on peut recourir à la micro-flottation, à la filtration par membrane, à l'oxydation chimique, à l'évaporation et à des combinaisons de ces techniques. La consommation d'énergie, les investissements et les dépenses de fonctionnement pour ces applications joueront un rôle capital dans le choix du système de traitement. Pour les usines de pâte mécanique et de papier, l'évaporation à multiples effets semble être particulièrement prometteuse car on dispose d'une quantité suffisante de chaleur résiduaire pour assurer le fonctionnement de l'installation.

#### **État d'avancement du développement**

Deux usines de pâte mécanique en Suède et en Finlande viennent de construire une installation d'évaporation destinée au traitement d'une part importante des effluents de pâte PTM (StoraEnso Kotka, FI) et des effluents de pâte CTMP (Stora Fors, SE). Ces deux usines utilisent un nouveau modèle d'évaporateur multiple effet du type à co-courant appelé ZEDIVAP® pour produire de l'eau pure pouvant être réutilisée. L'effluent circule à flux descendant et le transfert thermique est assuré par une importante surface d'échange avec des lamelles en plastique. Des travaux d'optimisation sont encore en cours dans les deux sites.

#### **Incidences pour l'environnement**

Cette nouvelle application de techniques avancées de traitement des effluents liquides laisse entrevoir des possibilités de réduction importante du volume d'effluents et des charges polluantes dans le milieu récepteur. Ce processus utilise la chaleur résiduaire de l'usine et la propre chaleur latente de l'effluent. Dans ce cas, la consommation d'électricité de l'installation d'évaporation est à peu près du même ordre que dans les systèmes biologiques traditionnels. La demande totale d'énergie dépend du nombre d'effets. Par exemple, une installation avec 10 effets aura besoin de 10 % seulement de l'énergie nécessaire pour un seul effet. Cependant, la manipulation et le traitement des concentrats demandent toujours une solution satisfaisante. Actuellement, il existe des solutions qui sont très spécifiques au site (incinération des concentrats dans une chaudière de récupération d'une usine de pâte kraft adjacente). Une condition préalable à la mise en œuvre de tels systèmes est le respect d'une gestion stricte du circuit d'eau dans tous les départements de l'usine.

### Considérations économiques

Des techniques modernes d'épuration interne et de réutilisation des eaux de process peuvent s'avérer aussi économiques que la purification classique des effluents (traitement biologique). [Edelmann, 1999] a rassemblé des chiffres concernant la consommation d'énergie, et les investissements et les dépenses de fonctionnement pour les principales techniques de traitement, qui sont récapitulés dans le tableau suivant. La justification économique de cette technique est subordonnée aux conditions spécifiques de l'usine en question.

Méthodes de traitement de l'eau	Consommation d'électricité kWh/m <sup>3</sup> d'eau	Capacité type m <sup>3</sup> /j	Investissements Euros/(m <sup>3</sup> /j)	Dépenses de fonctionnement Euros/(1 000 m <sup>3</sup> )
Traitement chimique de l'eau brute	0.30	30000	170	73
Traitement biologique des effluents	1.20	30000	620	136
Micro-flottation	0.23	10400	20	104
Ultrafiltration	2.60	5000	470	153
Évaporation à effets multiples	1.34	3600	840	35
Compression mécanique de la vapeur	13	3600	1360	328
Tour de refroidissement	0.12	39000	130	3
Remarque : Les chiffres sont basés sur les livraisons de matériel seulement, et le coût total du projet/coûts locaux de l'application ne sont pas inclus.				

### Références

[Edelmann, 1999], [Gartz, 1996], [Gartz, 1998], [Wigsten, 1995], [Legnerfält, 1997],

#### 4.5.2 Nouveaux procédés plus sobres énergétiquement

##### Description

Le process TMP consomme d'importantes quantités d'énergie électrique de l'ordre de 1 600 à 3 200 kWh/ADt. Ce process se caractérise par une grande souplesse sous de nombreux aspects et il semble peu probable que l'industrie l'abandonne pour passer à la technique du défibrage sous pression (PGW) (sauf quelques cas isolés), qui consomme moins d'énergie (environ 600 à 1 200 kWh/ADt de moins) que le procédé de fabrication TMP.

On s'est donc penché sur le problème de la réduction de la consommation d'énergie dans le process TMP. Des essais prometteurs ont été réalisés (tels le processus KCL en cascade) qui indiquent qu'il existe d'importantes possibilités de réduction, de l'ordre de 10 à 15 % (200 à 450 kWh/t), en modifiant la stratégie du raffinage. Il n'est pas possible actuellement de vérifier cette hypothèse. Mais, depuis le milieu des années 1990, il existe quelques applications, à l'échelle industrielle, de nouvelles techniques avec un bon rapport d'efficacité énergétique. (RTS, Thermopulp®).

##### État d'avancement du développement

Il existe deux nouvelles techniques sur le marché, le processus RTS et le processus Thermopulp®, qui consomment nettement moins d'énergie que les process TMP "normaux". Au milieu des années 90, plusieurs chaînes Thermopulp® ont été mises en service tant en Europe qu'en Amérique du Nord. La première installation RTS est celle de Perlen Papier AG, en Suisse, en 1996. Ces deux systèmes peuvent être considérés comme des techniques disponibles mais ne devraient normalement être installés que dans des usines nouvelles ou lors du remplacement de matériel existant.

**Incidences pour l'environnement**

Le système dit "RTS" permet de réduire la consommation d'énergie dans le raffinage des copeaux en accroissant la vitesse des disques. Ce fonctionnement à grande vitesse est limité au premier stade du raffinage. Simultanément, on élève la température pendant ce premier stade. La lettre "R" correspond au temps de séjour (Retention), "T" à la température et "S" à la vitesse (Speed). La première application à l'échelle industrielle laisse entrevoir que l'utilisation de ce système permet une réduction de l'énergie de l'ordre de 15 % par rapport à la technique TMP classique. La consommation spécifique d'énergie de la première exploitation commerciale se chiffre à 1,85 MWh/t pour un indice d'égouttage de 94.

Dans le procédé Thermopulp<sup>®</sup>, le premier stade du raffinage se déroule à une température relativement basse. On augmente la pression et la température avant le second stade, qui se déroule à température et pression très élevées (jusqu'à 100 kPa et 170 °C). On a indiqué des économies d'énergie de 10 à 20 %. La consommation spécifique d'énergie à l'échelle industrielle dans une usine d'Amérique du Nord se situe à 1,75 MWh/t pour un indice d'égouttage de 160.

**Considérations économiques**

On ne dispose d'aucune donnée. Il faut considérer le rapport entre les économies d'énergie et les investissements. Il est vraisemblable que cette nouvelle technologie ne sera appliquée que progressivement en raison de la durée de vie restante des équipements et installations existants.

**Références**

[Rapport SEPA 4712-4, 1997], [Paper Science and Technology, 1999]



## Chapitre 5

### 5 TRAITEMENT DES PAPIERS DE RECUPERATION

Les fibres de récupération (ou récupérées) sont devenues une matière première indispensable pour l'industrie papetière, et elles représentent environ un tiers de toutes les matières premières. Cela est dû à leur prix avantageux par rapport aux qualités correspondantes des pâtes marchandes et au fait que de nombreux pays européens encouragent le recyclage des vieux papiers. En Europe, le taux d'utilisation moyen des papiers récupérés est de 43 %. Mais il ne faut pas oublier que la continuité du cycle de la fibre repose sur l'apport d'une certaine quantité de fibres primaires (ou neuves) pour garantir la résistance et les autres propriétés du papier à fabriquer.

Pour pouvoir exploiter efficacement les papiers récupérés, il faut les recueillir, les trier et les classer par types de qualité appropriés<sup>4</sup>. Les papiers récupérés sont donc amenés jusqu'aux parcs de collecte où ils sont triés. Ils sont ensuite débarrassés le mieux possible de leurs substances indésirables, par exemple plastique, papiers laminés ou stratifiés etc., avant d'être mis en balles. Les papiers récupérés triés sont habituellement compactés dans le presses à balles. Les papiers de récupération industriels provenant de grands producteurs sont généralement amenés jusqu'aux parcs à papier dans la papeterie, où ils sont traités.

#### 5.1 Processus et techniques appliqués

Le traitement des papiers de récupération varie selon le type de papier à fabriquer : papier d'emballage, papier journal ou papier à usage sanitaire et domestique, et du type de matières utilisées pour le chargement. On peut classer les procédés utilisant les fibres cellulosiques de récupération (FCR) dans deux grandes catégories :

- les procédés avec épuration mécanique, procédés *sans désencrage*, concernant des produits tels que les papiers couverture, les papiers pour ondulé, le carton non couché et le papier-carton,
- les procédés avec *désencrage*, concernant des produits tels que le papier journal, les papiers à usage sanitaire et domestique, les papiers d'impression et à usage bureautique, les papiers pour la presse magazine, (SC/LWC), les papiers-cartons et cartons couchés ou la pâte désencrée (DIP) marchande.

Les papeteries européennes mettent en œuvre de nombreux procédés différents pour traiter les papiers de récupération. Mais tous ces procédés reposent sur des étapes similaires du processus, qui peuvent être combinés différemment pour remplir leur tâche spécifique. Tous les procédés ont pour objet le défibrage, le dépastillage et l'élimination des impuretés, c'est-à-dire une séparation efficace entre les matières fibreuses et les impuretés et polluants. Les installations utilisant les fibres recyclées comprennent des opérations unitaires identiques conçues pour cette tâche spécifique. Ces étapes types du traitement des fibres recyclées sont les suivantes :

#### Stockage du papier récupéré

Les papiers de récupération sont habituellement livrés à la papeterie sous forme de balles maintenues par des cerclages ou des fils métalliques. On les ouvre en coupant ces fils ou cerclages métalliques qui sont recueillis et vendus comme déchets métalliques. Dans certains cas, les papiers de récupération sont également livrés en vrac dans de grands conteneurs ou dans des wagons basculants pour matières en vrac. Le papier de récupération est stocké dans des parcs spéciaux intégrés dans la papeterie.

<sup>4</sup> Le CEPI a publié en février 1999 la Liste européenne des types standard des papiers et des cartons de récupération. Cette liste donne une description générale des types standard en définissant ce qu'ils contiennent et ce qu'ils ne contiennent pas.

### **Mise en pâte**

Les papiers de récupération sont mis en suspension dans un pulpeur (ou désintégrateur) avec de l'eau à haute température ou de l'eau blanche, et réduits en pâte sous l'effet d'une agitation mécanique et hydraulique qui provoque leur désintégration en fibres. Le papier récupéré présente la consistance d'une pâte qui autorise un traitement ultérieur. On ajoute souvent après cette opération certains produits chimiques tels que des agents de désencrage et du NaOH comme additifs. On dispose de différentes solutions techniques pour divers types de matières premières et de produits. Il existe trois types de pulpeurs : faible consistance (LC : 4 à 6 % de DS), haute consistance (HC : environ 15 à 20 %) et les pulpeurs à tambour. Les pulpeurs peuvent être en batch ou en continu. Les contaminants sont éliminés en continu pendant la trituration au moyen d'un collecteur d'impuretés (sas de décontamination, poire à pulpeurs) et sont envoyés vers un convoyeur de refus, de façon à éviter qu'ils ne soient broyés en petits morceaux ou ne s'accumulent dans le pulpeur. On a de plus en plus recours à des pulpeurs secondaires pour poursuivre le défibrage, le dépastillage et l'élimination des impuretés lourdes (HW) ou légères (LW). Les installations sont connues sous différentes appellations, mais elles reposent sur le même principe de fonctionnement.

Normalement, toute l'eau utilisée pour la désintégration est de l'eau de process recyclée provenant de la machine à papier sous forme d'eau blanche.

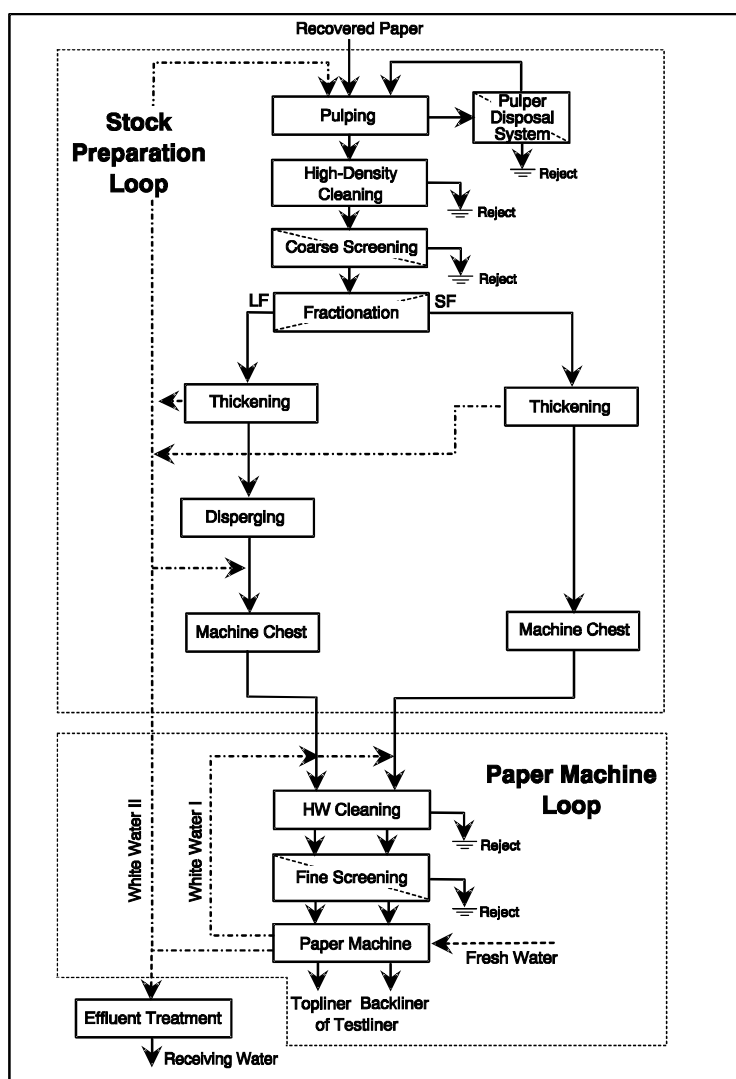
### **Élimination des impuretés**

L'élimination mécanique des impuretés repose sur les différences au niveau des propriétés physiques entre les fibres et les contaminants, telles que taille, densité spécifique par rapport aux fibres et à l'eau. Fondamentalement, on distingue le matériel type classeur, avec des ouvertures (trous et fentes) de différentes dimensions et divers types d'hydrocyclones (épérateurs haute consistance, épérateurs centrifuges etc.). A l'aide d'une pompe, la pâte liquide partiellement épurée est envoyée du pulpeur vers les hydrocyclones (épérateurs haute densité) dans lesquels les petites particules lourdes sont séparées sous l'effet des forces centrifuges. Habituellement, les déchets de ces épérateurs ainsi que ceux du circuit d'évacuation du pulpeur doivent être évacués vers une décharge (teneur élevée en matières inorganiques).

L'étape suivante du processus est une épuration fine pour séparer les matières étrangères qui sont plus grandes que les orifices des paniers perforés des tamis sous pression. Le type de tamis est choisi en fonction du produit final et de la qualité des FCR. On fait une distinction entre le tamisage sommaire (consistance 3 à 4 %) servant à éliminer les polluants grossiers pendant la préparation de la pâte et le tamisage fin du flux de pâte (consistance 1 %) arrivant à la machine à papier. Les matériels utilisés fonctionnent selon le même principe mais ils diffèrent par leur degré de finesse pour obtenir une séparation optimale. De façon générale, l'épuration avec une faible consistance est plus efficace, mais demande des installations mécaniques plus importantes et consomme plus d'énergie. Les refus doivent être envoyés à la décharge ou soumis à un traitement ultérieur.

Selon la qualité de pâte demandée, l'installation de préparation de la pâte pour les papiers de récupération doit être équipée d'installations supplémentaires de fractionnement, d'appareils de dispersion ou de raffineurs. Le fractionnement de la pâte en deux fractions permet ainsi de traiter différemment les fibres courtes et longues. On peut recourir à la dispersion, processus à forte consommation d'énergie, pour améliorer la liaison entre les fibres (meilleures caractéristiques de résistance) du papier et réduire la taille des impuretés. Le cas échéant, une installation de préparation de pâte à partir de papiers de récupération peut également être équipée de raffineurs pour améliorer les caractéristiques optiques du papier et sa résistance. Le raffinage est associé à une demande substantielle d'énergie.

La figure ci-après donne le schéma d'une chaîne de traitement de FCR pour du papier pour couverture. Il convient de souligner que, dans la pratique, chaque installation comprend des équipements qui sont fonction des types de papiers de récupération utilisés, des exigences de qualité du produit final, des caractéristiques de marche de la machine à papier et des conditions locales en matière de problèmes d'environnement.



**Figure 5.1 - Diagramme d'un exemple d'installation de préparation de pâte à base de papiers de récupération, en vue de la fabrication de matériaux pour caisses carton (papier couverture double épaisseur). [IFP, 1998]; HW = impuretés lourdes; LF = fraction fibres longues; SF = fraction fibres courtes.**

En Europe, quelque 150 usines ont recours au recyclage des papiers récupérés pour fabriquer du papier couverture et du papier pour ondulé (Elles<sup>5</sup> représentent 26 % de la production totale de papier et de carton et utilisent en moyenne en Europe 86 % des FCR).

<sup>5</sup>. La principale matière première utilisée par cette industrie consiste en vieux papiers. Cela inclut le kraftliner, le testliner, les papiers pour ondulé avec de la pâte, et les papiers pour ondulé à base de vieux papiers

### **Désencrage par flottation** (en option)

Cette opération consistant à éliminer l'encre est indispensable dans les usines qui fabriquent des types de papier pour lesquels le degré de blancheur tient un rôle important, ce qui est le cas notamment du papier journal, des papiers d'impression-écriture, des papiers à usage sanitaire et domestique ou des rectos des cartons issus de papiers de récupération. Le désencrage vise essentiellement à améliorer le degré de blancheur et à réduire les impuretés.

Une installation complète de désencrage comprend aussi les opérations unitaires mentionnées ci-dessus : pulpage, classage et épuration pour éliminer les impuretés grossières (matières autres que le papier telles que pierres, sable, métal, cerclages, verre, textiles, bois, films plastiques, agrafes etc.). Pour réussir l'opération de désencrage, il est impératif de séparer les particules d'encre des fibres et de les maintenir en dispersion. A cette fin, on ajoute des produits chimiques de désencrage tels que NaOH, silicate de sodium, peroxyde d'hydrogène, savons ou acides gras et agents chélatants (habituellement, on n'a pas besoin d'agents de chélation dans le blanchiment des papiers de récupération). Les particules d'encre en dispersion sont alors séparées des fibres par flottation. L'opération de désencrage par flottation se déroule selon les principes suivants : insufflation d'air dans la pâte d'arrivée sous forme de bulles fines; fixation des particules d'encre sur les bulles à la surface grâce à des produits chimiques; écumage de la mousse chargée d'encre en surface. Selon la taille de la cellule et sa conception, on peut avoir plusieurs cellules en série pour obtenir un temps de séjour approprié pour assurer l'élimination de l'encre. De manière à réduire les pertes de fibres, la mousse des cellules primaires est souvent traitée "en cascade" avec celle des cellules secondaires. La mousse et les rejets d'encre sont égouttés séparément dans une centrifugeuse ou un dispositif du type presse à grillage métallique jusqu'à l'obtention d'une teneur de 50 % en DS. Les boues de désencrage sont incinérées ou envoyées à la décharge.

La pâte ainsi désencrée est épaissie, et quelquefois lavée dans des presses à bande, des épaisseurs (à disque), des presses à vis et des laveurs. Après ces étapes de nettoyage, il se peut que la pâte contienne encore des impuretés résiduelles, telles que des résidus de particules d'encre d'impression, de cire ou de matières adhésives, provenant par exemple de colles à fusion etc. Ces impuretés peuvent faire l'objet d'une dispersion avec une finesse telle que les particules sont invisibles à l'œil nu. Avant cette dispersion, la teneur en solides secs de la pâte doit être portée d'environ 5 - 12 % à 25 - 30 % car la dispersion requiert des forces de friction élevées et des températures de l'ordre de 95 °C ou plus. Les dispositifs de dispersion proprement dits sont semblables aux raffineurs décrits dans la section 4.1.2. Après la dispersion, la pâte est de nouveau diluée.

La suite des opérations peut varier d'une usine à l'autre et certaines étapes peuvent être répétées plusieurs fois.

La figure 5.3 illustre un exemple d'installation de désencrage par flottation des RFC en vue de la fabrication de papier journal.

### **Désencrage par lavage** (en option)

Le désencrage par flottation convient pour les particules d'une taille de 5 à 100 µm. Les particules d'encre d'une taille inférieure à cette taille optimale pour le désencrage par flottation peuvent être éliminées par lavage. Outre les encres, les charges et les particules fines sont également éliminées au lavage. Celui-ci est souvent exécuté en plusieurs étapes avec de l'eau à contre-courant, c'est-à-dire que le filtrat de la seconde étape sert à diluer la pâte dans le stade préliminaire. Les papiers couchés sont particulièrement sensibles aux impuretés et exigent des pâtes très propres. C'est pourquoi une installation moderne de désencrage en vue de la fabrication de papier LWC comporte souvent les deux types de désencrage, par flottation et par lavage, car ils sont complémentaires.

Pour les papiers à usage sanitaire et domestique ou pour les pâtes désencrées marchandes, le circuit devra toujours inclure une phase de lavage conformément aux indications de la figure 5.4.

### **Blanchiment (en option)**

Avant d'arriver dans la tour de stockage, la pâte est souvent blanchie à l'aide de produits chimiques. On utilise généralement pour cela du peroxyde d'hydrogène (P), de l'hydrosulfite (Y) ou de l'acide sulfonique formamide (FAS). Ces produits chimiques sont ajoutés directement dans le dispositif de dispersion pour conserver ou améliorer le degré de blancheur. La réaction proprement dite a lieu dans une tour de blanchiment garantissant un temps de séjour suffisant. L'amélioration éventuelle de la blancheur dépend de la matière première et du prétraitement de la pâte. Le blanchiment par le peroxyde d'hydrogène se fait en présence de NaOH, de silicate de sodium et quelquefois d'agents de chélation. Pour les papiers sans bois récupérés, on peut utiliser les produits chimiques de blanchiment dits traditionnels que sont l'oxygène et l'ozone.

Finalement, la pâte est pompée dans les cuiviers de stockage ou de mélange. Ces cuiviers servent de réservoir tampon entre la préparation de la pâte et la machine à papier proprement dite, pour assurer une meilleure continuité du processus. Dans les cuiviers de mélange, on ajoute les adjuvants nécessaires et l'on règle la consistance de la pâte pour faciliter la formation de la feuille sur la machine à papier.

### **Traitement de l'eau de process**

On peut clarifier l'eau de process dans une unité de micro-flottation, ce qui permet de la recycler ensuite dans le process. Cette unité de micro-flottation donne une boue qui est épaissie et envoyée à la décharge ou incinérée. Dans le cas d'un désencrage par lavage, on peut réduire la consommation totale d'eau en recyclant aussi l'eau de lavage. Il faut éliminer les solides du filtrat dans une unité de flottation séparée.

### **Epuración finale et égouttage**

La pâte liquide très diluée passe ensuite par différents types d'épurateurs fins avant d'arriver à la machine à papier.

On peut utiliser des filtres à disque et des presses à vis pour l'égouttage / l'épaississement de manière à atteindre la consistance requise mais aussi pour assurer la séparation des circuits d'eau blanche.

### **Gestion des refus et des boues**

Le traitement des papiers de récupération produit des quantités variables de diverses sortes de rejets et de boues qui doivent être gérés. Ceux-ci sont traités dans le circuit de traitement des boues et des rejets. Il est possible de réduire la quantité de résidus à envoyer à la décharge si l'on recueille, pour les traiter ensemble, les mêmes types de déchets. La récupération des fibres contribue aussi à réduire la quantité de déchets.

## **5.1.1 Exemples de chaînes de traitement des papiers de récupération**

Selon les caractéristiques demandées, les produits papetiers requièrent des pâtes de FCR présentant des niveaux de pureté et de blancheur différents, et les chaînes de traitement varient en conséquence. Par exemple, pour de nombreuses sortes, le désencrage n'est pas nécessaire. Au contraire, les machines à papier à grande vitesse, les papiers minces ou les qualités où le degré de blancheur joue un rôle important nécessitent un processus très efficace en plusieurs étapes. Le degré de sophistication de l'ensemble du processus dépend de la matière première et du type de papier à fabriquer. On ne peut donc pas décrire raisonnablement "un système type" de traitement des FCR.

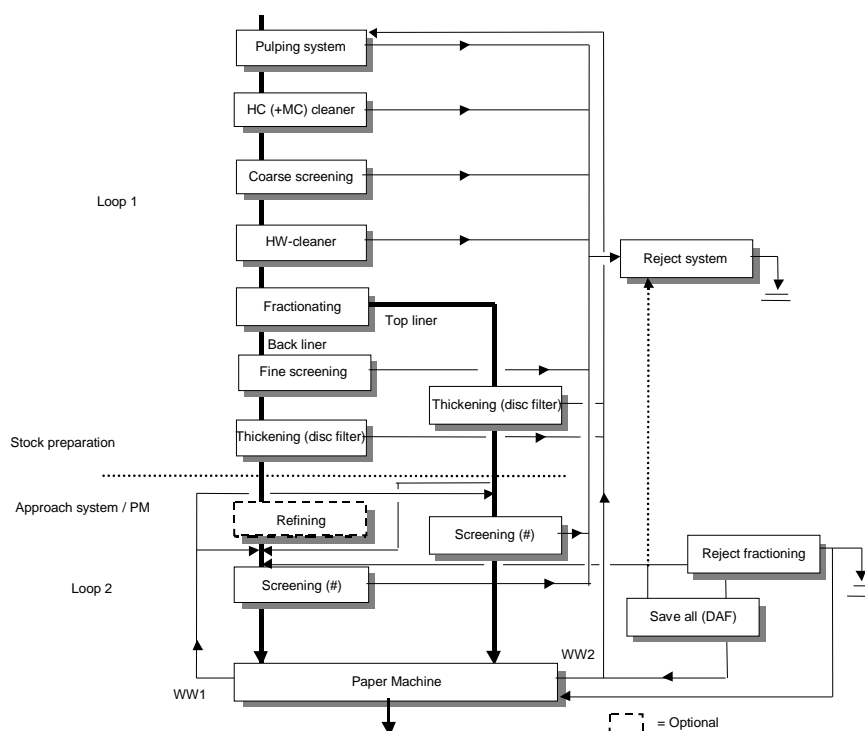
Nous décrivons ci-après plus en détail, à l'aide d'exemples, les principales chaînes de traitement des papiers de récupération que l'on peut identifier :

- pour les papiers d'emballage et le papier pour ondulé et papier couverture
- pour le papier journal et les papiers d'impression-écriture
- pour les papiers LWC/SC et les papiers d'impression-écriture de qualité supérieure
- pour les papiers à usage sanitaire et domestique et la pâte désencrée marchande (DIP).

Les chaînes de traitement des papiers récupérés peuvent différer au niveau des types de FCR utilisés et ils peuvent avoir des impacts différents sur l'environnement en ce qui concerne les besoins en énergie et en eau, les effluents et les déchets.

#### **5.1.1.1 Papier et cartons d'emballage**

Pour les papiers couverture et papiers pour ondulé, on n'a recours qu'à l'épurateur mécanique. Le diagramme ci-après illustre une chaîne de traitement pour du papier couverture à base de fibres recyclées. Il existe des systèmes complexes à deux boucles (figure 5.2) et des systèmes plus économiques à une seule boucle. Le circuit à deux boucles permet de contrôler plus facilement le processus, ce qui se traduit par un meilleur rendement de la machine à papier, et il fonctionne avec une phase de tamisage en tête de machine, simplement comme mesure de précaution (fonction de surveillance). Les rejets grossiers sont séparés et la taille des agglomérats de fibres (flocons) est calibrée préalablement. Suit un circuit d'épuration et un classage pour éliminer les particules lourdes (par exemple du sable), les composants indésirables plats, les matières adhésives, le sable fin, et le circuit aboutit à un dépastillage de la pâte qui présente alors une bonne homogénéité. Certaines usines fonctionnent avec des boucles d'eau entièrement fermées pour les circuits des papiers couverture et cannelure. La circulation de l'eau en circuit fermé fonctionne de façon satisfaisante du point de vue de la gestion de l'installation et de la bonne qualité des produits, à condition qu'environ 3 à 4 m<sup>3</sup> d'eau de process par tonne de pâte produits soient traités dans une installation d'épuration biologique intégrée (voir section 5.3.4).



**Figure 5.2 - Exemple d'un concept global d'installation pour papier couverture (circuit à deux boucles).**

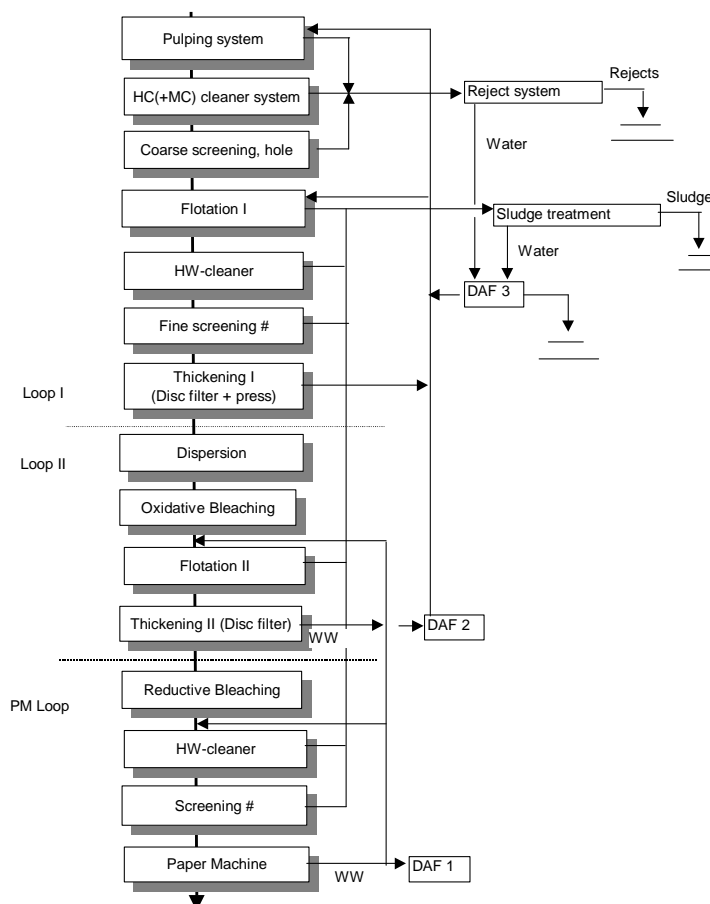
HC + LC = épurateurs à haute et faible consistance; HW = particules lourdes; DAF = flottation par injection d'air dissous; # = tamis à fente.

Le traitement des papiers de récupération tend à s'uniformiser pour les différentes sortes de papier d'emballage.

Le carton pour boîtes pliantes "haut de gamme" a tendance à être plus exigeant en matière d'équipement industriel, la fabrication de papier couverture est généralement plus exigeante que celle du papier pour ondulé.

### 5.1.1.2 Papier journal et papier d'impression-écriture simple

Le circuit représenté dans la figure 5.3 illustre un exemple possible de conception d'une installation pour du papier journal. La matière première utilisée est une pâte désencrée type, composée pour moitié de papiers journaux et pour moitié de magazines. Ce système se caractérise par une flottation et un blanchiment en deux étapes combinées avec une dispersion intermédiaire. Pour le papier journal de qualité supérieure devant satisfaire à des critères élevés de blancheur, l'épaississement peut être suivi d'une étape de réduction à l'hydrosulfite. Pour fabriquer des papiers à usage graphique à partir de papiers récupérés, la conception du circuit d'eau et l'épuration de l'eau jouent un rôle particulièrement important.



**Figure 5.3 - Exemple d'un concept global d'installation pour papier journal.**

**Il existe aussi d'autres méthodes pour concevoir des chaînes de papier journal.**

**LC = faible consistance; MC = consistance moyenne; HC = haute consistance; HW = particules lourdes; DAF = flottation par injection d'air dissous; blanchiment oxydant (au peroxyde) : pour augmenter le niveau de blancheur de la pâte; blanchiment réducteur (hydrosulfite, FAS) : pour enlever la couleur.**

Il est essentiel de prévoir une séparation systématique entre chaque circuit d'eau, basée sur le principe du contre-courant. Les chaînes de désencrage peuvent suivre différentes configurations et il peut y avoir deux, trois ou, dans certains cas, quatre boucles. Un circuit à deux boucles pour la préparation de la pâte avec une boucle distincte pour la machine à papier est illustré ci-dessus. L'épuration interne des circuits d'eau qui sont séparés par des phases d'épaississement se fait par flottation avec injection d'air dissous (DAF), de manière à limiter les charges de substances colloïdales et anioniques dans l'eau de process et maintenir les particules fines et les cendres à un niveau maîtrisé dans les boucles d'eau de process. Les boues de la chaîne de production et des unités de flottation sont envoyées vers l'installation de traitement des boues. Les rejets grossiers obtenus par séparation dans la chaîne de production sont épaissis dans le circuit des rejets. La préparation de pâte dans des circuits à deux boucles donne un degré de blancheur d'environ 63 % ISO (grâce au blanchiment réducteur), des teneurs faibles en impuretés (grâce à la flottation II), une teneur en cendre de l'ordre de 10 à 12 % (grâce à la flottation II) et une faible quantité de stickies (grâce au classage supplémentaire à fentes). Dans des systèmes à une boucle, à savoir sans flottation secondaire, on obtient un degré de blancheur inférieur (environ 59 % ISO en l'absence de blanchiment réducteur), un taux plus élevé de contaminants (en l'absence de flottation secondaire) et une quantité de cendre également plus élevée (dans une fourchette de 14 à 15 % vu l'absence de flottation secondaire).



Les fibres de récupération sont également utilisées pour la fabrication de papiers d'impression-écriture. Le principe de la flottation est semblable à celui décrit dans la figure 5.3 pour le papier journal. Comme matière première, on utilise une proportion pratiquement constante (50 / 50) de papier journal et de papier de presse magazine.

### **5.1.1.3 Papier LWC/SC**

Lorsqu'on traite des papiers ménagers récupérés pour en faire de la pâte désencrée destinée à la fabrication de papiers à usage graphique avec bois de qualité supérieure, tels que des papiers LWC et SC, il faut répondre à des exigences précises. Celles-ci englobent notamment un faible niveau de substances indésirables, une haute qualité de surface (à savoir exempte de bûchettes et de paquets de fibres pour garantir une surface lisse) et des critères rigoureux concernant l'aspect optique (par exemple degré de blancheur, pureté) du produit fini.

Les matières premières sont des journaux et des papiers de presse magazine de récupération. L'un des principaux critères du traitement est d'avoir une qualité constante. Par conséquent, les phases d'épuration, classage et cyclonage sont particulièrement importantes. Compte tenu des exigences (liées à l'aspect optique) à respecter en matière de blancheur et de pureté, il faut prévoir une flottation en deux étapes et une opération de blanchiment.

L'installation pourrait ressembler à celle présentée pour le papier journal dans la figure 5.3. Le problème des matières indésirables (contaminants colloïdaux et anioniques), susceptibles de perturber le délicat mécanisme de rétention sur la machine à papier, est résolu grâce à une conception appropriée des circuits dans la préparation de la pâte. Ce système comporte des boucles d'eau clairement délimitées, dont la première est normalement alcaline et s'étend du pulpeur jusqu'à l'épaississeur précédant la dispersion. La seconde boucle se termine à l'épaississeur avant le blanchiment secondaire. Des phases d'épaississement avec une séparation rigoureuse des boucles d'eau garantissent une réduction des polluants dans l'eau du process. Le concept des boucles séparées est basé sur le principe que les polluants indésirables ne peuvent pas circuler dans l'ensemble du circuit d'eau de process. Les filtrats provenant de l'épaississement contenant des contaminants anioniques et colloïdaux subissent une épuration par micro-flottation.

On peut obtenir les caractéristiques de surface avec un raffinage supplémentaire pour réduire les fibres longues. Ce raffinage permet d'obtenir un papier plus apte à l'impression. On peut placer le raffinage après le blanchiment réducteur, selon un principe similaire à celui de la figure 5.3. Si l'on peut accepter une teneur en cendre de la pâte supérieure à 8 - 10 %, on n'a pas besoin d'un lavage. Le recours à un lavage entraîne des pertes relativement élevées. Par conséquent, pour des raisons économiques, il est préférable de pouvoir s'en passer.

### **5.1.1.4 Papiers à usage sanitaire et domestique et pâte désencrée**

Lorsqu'on utilise des FCR pour produire des papiers à usage sanitaire et domestique ou des pâtes désencrées marchandes, il doit être traité de manière à en éliminer non seulement les polluants grossiers mais aussi les encres d'impression, les stickies, les particules fines et les charges. Cette réduction importante en cendre et particules fines signifie que l'on a besoin d'environ 30 à 100 % de papier de récupération en plus par rapport à la quantité de pâte produite. Par conséquent, on aura une quantité relativement importante de déchets. Il existe des exemples (telle l'usine Niederbipp en Suisse) dans lesquels tous les rejets, y compris les boues, sont incinérés sur place, produisant de la vapeur pour l'usine. Le résultat est une réduction des résidus sous forme de cendre que l'on utilise comme agrégat dans l'industrie du bâtiment (cimenterie). La principale différence entre ces types de papier et le papier journal décrit plus haut (5.1.1.2) est la nécessité d'un traitement visant à éliminer les cendres (élimination des particules fines et des charges) pour satisfaire aux exigences concernant les caractéristiques de marche de la machine à papier et les propriétés de douceur et d'absorption du produit final. Par exemple, selon les types de papier de récupération utilisés comme matière première, la teneur en cendre peut varier entre 15 % et 38 % (dans le cas de papiers sans bois couchés). Il

convient de tenir compte de l'impact direct de la teneur en cendre sur la quantité de déchets solides produits pendant le traitement du papier de récupération lorsqu'on compare des chiffres sur les quantités de déchets solides.

Pour la plupart des produits tels que les rouleaux essuie-tout ou le papier toilette, on pourrait utiliser la même matière première que pour le papier journal, à savoir un mélange de papier journal et de papier de presse magazine, ou de façon plus générale, des papiers de récupération de moyenne et haute qualités. Mais, si elle est disponible à un prix raisonnable, il vaut mieux utiliser de la matière première sans bois (papier de bureau récupéré).

La figure 5.4 illustre un diagramme simplifié d'une préparation de pâte à partir de papiers récupérés. Ce système présente les principales caractéristiques suivantes : pulpeur haute consistance avec un système d'évacuation des polluants grossiers. Ces refus subissent ensuite un traitement dans un tamis à tambour perforé, avant d'être enfin épaissis dans une presse à vis spéciale pour refus. Les matières acceptées sont alors traitées dans des épurateurs haute consistance puis des épurateurs faible consistance, constituant une seconde étape pour enlever les déchets métalliques tels que trombones, agrafes etc. La pâte subit ensuite un nouveau traitement dans un circuit d'épuration, classement, cyclonage en cascade. Comme dans toutes les installations de préparation de pâte procédant au traitement de papiers de récupération, le principe de base est d'assurer une élimination rapide des rejets et des polluants.



## 5.2 Niveaux actuels de consommation / émissions des papeteries à base de FCR

### 5.2.1 Aperçu des intrants (matières consommées) / sortants (matières produites)

La figure 5.5 donne un aperçu des consommations de matières premières et d'énergie ainsi que des produits, résidus destinés à être réutilisés, et des principaux rejets (émissions, déchets etc.) des papeteries à base de FCR.

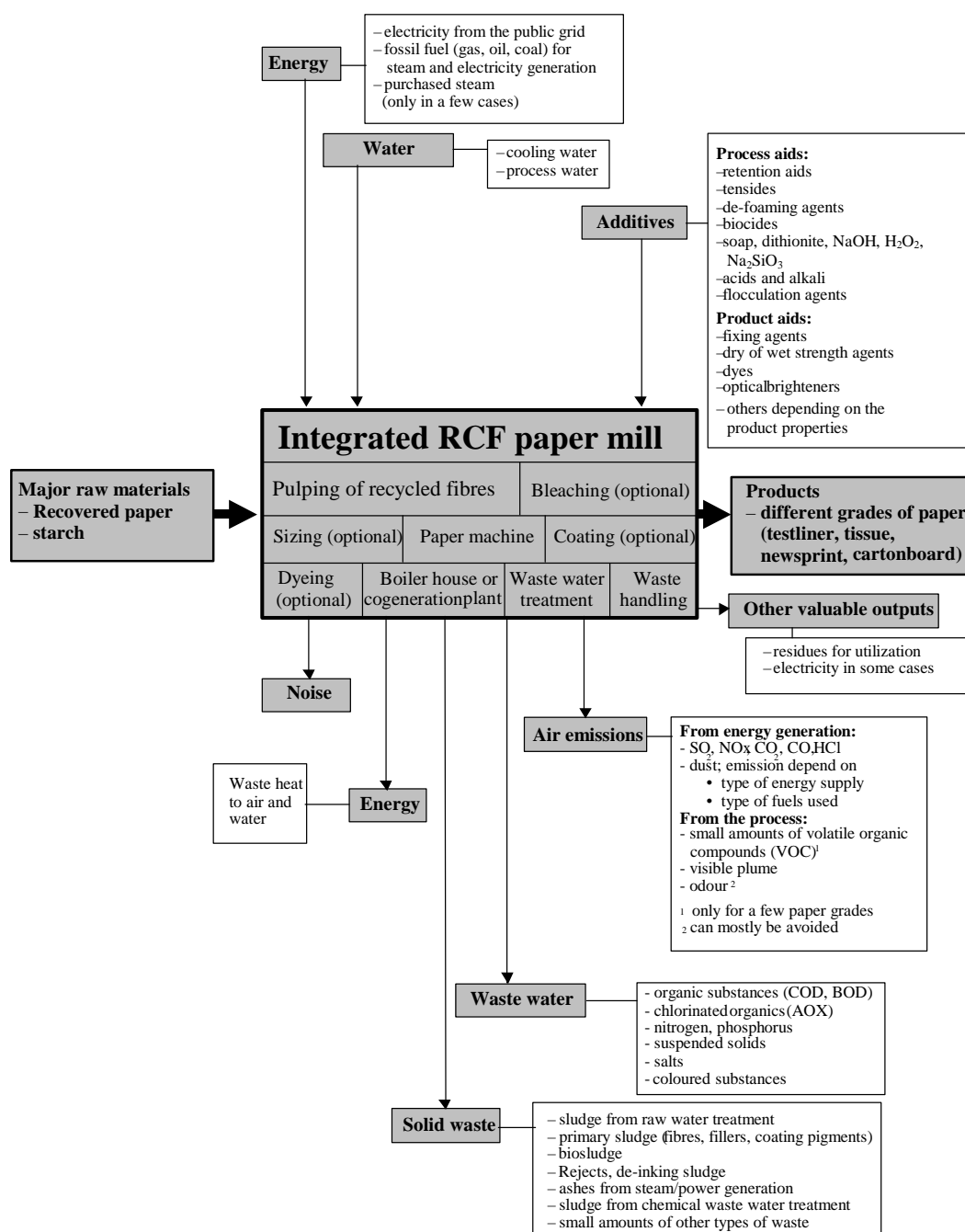


Figure 5.5 - Aperçu du circuit de la pâte dans une usine intégrée de traitement du papier récupéré. La présence de certaines substances dépend essentiellement du type de papier et des propriétés du papier que l'on souhaite obtenir et du type d'approvisionnement en énergie.

Comme cela est indiqué dans la figure ci-dessus, les matières premières sont principalement les papiers de récupération, l'eau ainsi que quelques additifs chimiques. D'importantes quantités d'eau sont utilisées pour le process et le refroidissement. Pendant la fabrication du papier, on fait appel à divers additifs en tant qu'auxiliaires de traitement et pour améliorer les propriétés (adjuvants du papier). Les effets sur l'environnement du traitement des papiers de récupération consistent essentiellement en émissions dans l'eau, en production de déchets solides et en émissions dans l'atmosphère principalement liées à la production d'énergie par combustion de combustibles fossiles. Si l'on met en œuvre des techniques de réduction pour limiter les émissions, on observera peut-être des interactions entre les milieux. Le présent chapitre indique les niveaux quantitatifs de consommation et d'émissions pour les différents types principaux d'usines. On trouvera d'abord les chiffres relatifs aux niveaux globaux d'intrants/sortants pour des usines (considérées comme une boîte noire ou entité globale), suivis par les données relatives aux consommations et émissions pour les principaux processus dont il y a lieu de se préoccuper sous l'angle de l'environnement (Section 5.2.2).

On peut distinguer trois parties ; préparation de la pâte - circuit de distribution de la pâte/machine à papier – traitement du papier. La préparation de la pâte et la machine à papier sont étroitement interconnectées via le circuit d'eau de process (voir 5.2.2.2). Le tableau 5.1 donne un aperçu des principales matières premières utilisées et des émissions pendant la préparation de la pâte à partir de papiers récupérés pour les principaux types de papier fabriqués en Europe. Les chiffres indiqués dans le tableau concernent exclusivement la préparation de la pâte, sans tenir compte de la machine à papier en aval, à l'exception toutefois des circuits d'eau en raison des liens qui existent entre la préparation de la pâte et la machine à papier.

Consommation de matières premières et émissions dans l'eau, déchets	Papier d'emballage	Papier journal	Papier LWC (léger couché) / SC (supercalandré)	Papiers à usage sanitaire et domestique et pâte désencrée marchande
<b>Qualités des FCR</b> (dépend de la disponibilité et du prix du papier de récupération et de la qualité du produit final)	Papiers mixtes triés et cartons, Gros de magasins	Papier récupéré désencrable (environ 50 / 50 papier journal et papier de presse magazine)	Papier récupéré désencrable (environ 50 / 50 papier journal et papier de presse magazine)	Papier récupéré désencrable (environ 50 / 50 papier journal et papier de presse magazine), papier bureau sans bois
<b>Consommation d'énergie</b> <sup>1)</sup> - électricité - énergie thermique (par ex. vapeur)	150-250 kWh/t 0 MJ/t	300-420 kWh/t 450-900 MJ/t (=0.2-0.4 t <sub>vapeur</sub> /t)	400-500 kWh/t 650-1100 MJ/t (=0.3-0.5 t <sub>vapeur</sub> /t)	400-500 kWh/t 650-1100 MJ/t (=0.3-0.5 t <sub>vapeur</sub> /t)
<b>Produits chimiques</b> <sup>2)</sup> - préparation de pâte  - flottation I - - flottation II - - blanchiment  - flocculants utilisés pour la clarification interne de l'eau de process et le traitement des boues <sup>4)</sup>	Biocide  ----- ----- -----  0 kg/t (clarification interne dans la machine à papier (WW II))	0.5-1.0% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.5-1.0% NaOH 1-2% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  0.3-0.6% savon  0.2-0.4% savon (NaOH+acides gras) 1-2% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.5-1.2% NaOH 1 - 1.8% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0.4 - 1% Dithionite jusqu'à 0.2% NaOH Agents auxiliaires de floculation: 0.5-1 kg/t	0.5-1.0% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.5-1.2% NaOH 1-2% Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  0.3-0.6% savon  0.2-0.4% savon (NaOH+acides gras) 1-2.5 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.5-1.5 % NaOH 1-2 % Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0.4 - 1% Dithionite jusqu'à 0.2 % NaOH Agents auxil. de floc.: 1.6-2.6 kg/t Flocculants.: 1.5 - 2.5kg/t	0.0-1.0% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  0.3-0.6% savon  -----  1-2 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.5-1.2 % NaOH 1-1.8 % Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0.4 - 1% Dithionite jusqu'à 0.2 % NaOH Agents auxil. de floc.: 1.8-2.8 kg/t
<b>Eau</b> - débit d'eau <sup>5)</sup> - émissions <b>avant</b> l'installation de traitement biologique des effluents	0 - 4 m <sup>3</sup> /t papier MES <sup>3)</sup> : généralement en dessous de 200 mg/l COD: 27-36 kg/t (6750-9000 mg/l) AOX: < 4 g/t (= 1 mg/l)	8 - 16 m <sup>3</sup> /t papier MES <sup>3)</sup> : généralement en dessous de 200 mg/l COD: 17-27 kg/t (1700-2700 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)	8 - 16 m <sup>3</sup> /t papier MES <sup>3)</sup> : généralement en dessous de 200 mg/l COD: 17-27 kg/t (1700-2700 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)	8 - 16 m <sup>3</sup> /t papier MES <sup>3)</sup> : généralement en dessous de 200 mg/l COD: 26-35 kg/t (2600-3500 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)
<b>Déchets</b> - déchets solides (en sec) <sup>6)</sup> - teneur en substances organiques	50-100 kg/t papier 70-80%	20% pertes 170-190 kg/t papier 35-45%	35% pertes 450-550 kg/t papier 45-55%	500-600 kg/t papier 40-50%
Notes explicatives : 1) Un facteur essentiel des variations de la consommation d'énergie est le recours à un appareil à dispersion qui consomme 60 à 100 kWh/t. Par ailleurs, il faut tenir compte des pertes : les processus avec des pertes importantes requièrent des machines avec une capacité et une énergie spécifique plus importantes. Le nombre d'étapes du processus dans la préparation de la pâte / machines entre aussi en ligne de compte. 2) La consommation totale de produits chimiques est exprimée en 100 % de produits chimiques effectifs et non en tant que solutions commerciales contenant diverses quantités d'eau sauf pour le Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> qui est exprimé en solution commerciale. Les fourchettes peuvent s'expliquer par les différences au niveau de la qualité des papiers récupérés, des encres à enlever et de la qualité requise des produits à fabriquer. 3) Habituellement, on installe une unité de micro-flottation avant de rejeter les effluents vers l'installation de traitement des eaux usées. Cela a pour résultat de soulager l'installation de traitement primaire, voire de la rendre superflue. Sans cette unité de micro-flottation, la teneur en MES dépend des installations existantes pour la déshydratation des boues et des refus. 4) L'utilisation de flocculants est essentiellement fonction du nombre d'unités de micro-flottation pour clarifier l'eau de process et de la quantité de boues à déshydrater. Les laveurs ont des débits d'eau élevés et l'on aura besoin d'une quantité relativement importante de flocculants si l'on doit traiter cette eau. 5) Les données concernant le débit d'eau portent sur toute l'eau utilisée dans l'ensemble de l'usine, à savoir préparation de la pâte + machine à papier. Le débit d'eau ne s'applique qu'à l'eau qui sort de l'installation de traitement biologique et exclut l'eau d'étanchéité 6) Y compris les boues provenant du traitement de l'eau de process (unités de micro-flottation).				

**Tableau 5.1 - Niveaux de consommation et d'émissions pour la préparation de la pâte destinée à différentes sortes de papiers.**

Les données ne concernent que la préparation de la pâte proprement dite, c'est-à-dire qu'elles n'incluent pas la machine à papier en aval [données communiquées par un fournisseur à partir d'expériences opérationnelles]. Cela ne s'applique pas au débit d'eau, car il est difficile de séparer la consommation d'eau pour la fabrication de la pâte et celle de la machine à papier. Les tableaux 5.2 à 5.4 contiennent des données supplémentaires qui illustrent les méthodes couramment adoptées dans des installations complètes.

Les niveaux de consommations et d'émissions globaux pour les principaux types de papier fabriqués à partir de fibres de récupération sont indiqués dans les tableaux 5.2 (papier couverture et papier pour ondulé ou "Wellenstoff"), 5.3 (papier journal) et 5.4 (papiers à usage sanitaire et domestique ci-après).

Il ne faut pas oublier que les valeurs indiquées, qui représentent la valeur moyenne des mesures sur une période annuelle, diffèrent de celles qui peuvent être mentionnées dans les exigences légales. Selon les procédures d'autorisation des pays, ces valeurs concernent d'habitude des périodes plus courtes de 2 heures, un jour ou un mois de manière à pouvoir contrôler plus facilement qu'elles sont bien respectées. Cette période de temps spécifique pendant laquelle les valeurs contrôlées doivent être conformes aux valeurs de consigne est fixée dans l'autorisation et varie d'un pays européen à un autre (voir ANNEXE II sur les réglementations nationales et internationales). Mais les valeurs effectivement mesurées qui figurent dans les tableaux 5.2 à 5.4 peuvent donner une bonne idée générale de l'impact sur l'environnement pour une installation donnée.

Le tableau 5.2 présente des données moyennes pondérées pour le papier couverture et le papier pour ondulé. Ces données sont calculées à partir des Bases de données européennes pour le carton ondulé, qui ont été élaborées pour des études sur les cycles de vie (édition 1997), publiées par FEFCO, Groupement Ondulé et Kraft Institute. Les fourchettes des paramètres représentés sont basées sur des papeteries correspondantes implantées au Danemark, en France, en Allemagne, en Italie, aux Pays-Bas, en Espagne et au Royaume-Uni. Les données relatives à la production de papier couverture et de papier pour ondulé ont été recueillies auprès d'usines qui produisent 52 % (5,2 M tonnes) de la production européenne de papiers pour ondulé à partir de papiers de récupération. Les données sont indiquées par tonne de papier net commercialisable. Il convient de souligner que les chiffres moyens pondérés communiqués ne représentent pas les chiffres d'une usine spécifique utilisant une technologie donnée.

La moyenne pondérée dans le cadre de l'étude FEFCO représente ce que l'on appelle la "Meilleure Méthode Moyenne pour l'Environnement" (MMME). Cela signifie que, lorsqu'une technologie est utilisée par la majorité des usines concernées, et que d'autres usines l'adopteront vraisemblablement dans un avenir proche, on a calculé la moyenne pondérée des données concernant les usines utilisant cette technologie et non la moyenne pondérée de toutes les usines. Les résultats de ces usines au niveau de l'environnement s'appellent alors MMME.

Intrant			Sortant		
Matières premières	Valeur	Unité	Produit	Valeur	Unité
Papier de récupération (poids livré, y compris humidité)	1100	kg/t	Papier pour ondulé (Wellenstoff) Papier couverture	1000	kg
Biocides, poids sec	0 - 0.12	kg/t	<b>Emissions</b>		
Colorants, poids sec	0.2 - 1.0 *	kg/t	CO <sub>2</sub> fossile	320** - 600	kg/t
Agents antimousse, poids sec	0.10 - 0.40	kg/t	CO <sub>2</sub> de régénération	0 - 15	kg/t
Agents de rétention, poids sec	0.3 - 2.4	kg/t	CO	n.a.	kg/t
Agents de collage, poids sec	0.1 - 3.0*	kg/t	NO <sub>x</sub>	0.4 - 1.1	kg/t
Amidon, poids sec	20.0 - 50.0	kg/t	SO <sub>2</sub>	n.a.	kg/t
<b>Énergie</b>			Poussières	n.a.	kg/t
Combustible fossile total	5700** - 9600	MJ/t			
Électricité achetée	2.8 <sup>1)</sup> - 403	kWh/t	COD	0 - 2.2	kg/t
Énergie primaire, total ****	2140 - 3220	kWh/t	BOD <sub>5</sub>	0 - 0.2	kg/t
			Solides en suspension	0 - 0.5	kg/t
			AOX	n.a.	kg/t
			N <sub>total</sub>	n.a.	kg/t
			P <sub>total</sub>	n.a.	kg/t
			Eau évaporée	1 - 2***	m <sup>3</sup> /t
			Débit d'eaux usées	0 - 11	m <sup>3</sup> /t
<b>Demande d'eau</b>			<b>Résidus</b>		
Eau brute / fraîche	1 - 13	m <sup>3</sup> /t	Déchets acheminés vers la décharge	30 - 70 (à 100% DS)	kg/t
Notes explicatives : n.a. = non disponible; b.d. = très sec et très dur 1) La valeur basse d'électricité achetée concerne des papeteries comprenant de grandes installations CHP. * La fourchette indiquée n'est valable que pour la production de papier couverture ** Ces chiffres ne sont valables que dans le cas de génération de vapeur (ce qui signifie pas de co-génération) *** Différence arithmétique entre l'apport d'eau et la quantité d'eau en sortie **** La part de l'électricité achetée par rapport à la consommation spécifique d'énergie primaire est calculée en postulant un rendement énergétique de 36,75 % des compagnies productrices d'électricité, c'est-à-dire que 0,47 MWh/t d'électricité achetée correspond à 1,28 MWh/t d'énergie primaire (1 kWh = 3,6 MJ). Le seuil inférieur de la fourchette pour l'électricité achetée ne semble pas réaliste. Par conséquent, on prend comme hypothèse une consommation moyenne d'électricité de 200 kWh/t (soit 555 kWh/t d'énergie primaire).					

**Tableau 5.2 - Données relatives à l'environnement. Valeurs annuelles moyennes pour le papier couverture et le papier pour ondulé.**

Les chiffres concernent la situation en 1996 [FEFCO, 1997]. Toutes les données sont exprimées en tonne de produit commercialisable net. Ils représentent des données moyennes pondérées ("Meilleure Méthode Moyenne pour l'Environnement", voir page précédente). Les émissions dans l'atmosphère ne tiennent compte que de la production de vapeur.

Les types des papiers de récupération utilisées pour la fabrication de papier couverture et de papier pour ondulé comprennent respectivement 93 et 94 % de qualités entrant dans la catégorie A de la liste européenne des types de papiers de récupération, y compris les qualités mixtes, les déchets de supermarchés ainsi que des matériaux neufs ou usagés de boîtes en carton ondulé.

Au total, l'industrie papetière génère environ 50 kg de résidus par tonne de produit commercialisable net. Par rapport à la quantité de papiers de récupération consommée de 1,1 tonne / tonne de papier net commercialisable, les usines traitent 45 kg de résidus par tonne de papier récupéré traité (= 4,5 %). Ces chiffres relatifs aux résidus comprennent les cendres, les boues organiques et inorganiques et tous les rejets envoyés à la décharge, ainsi que les résidus et boues organiques incinérés. En moyenne, 91 % (papier de couverture) et 95 % (papier pour ondulé) des résidus sont enfouis dans des décharges. La quantité moyenne pondérée de résidus incinérés semble être basse (3 % pour le papier pour ondulé et 7 % pour le papier de couverture). Les usines équipées de chaudières pour l'incinération des résidus brûlent pratiquement tous leurs rejets, à l'exception de ceux des pulpeurs et des épurateurs haute densité. Entre 0,9 et 3,6 kg de boues organiques/tonne de produit commercialisable net sont réutilisés dans le processus de fabrication des papiers de couverture/pour ondulé.



Le combustible fossile utilisé est le gaz naturel à 87 % pour le papier pour ondulé et à 94 % pour le papier de couverture. Toutes les usines produisent de la vapeur pour le séchage dans la machine à papier, mais elles ne produisent pas toutes de l'électricité. Dans certains cas, elles l'achètent en tant qu'énergie du réseau. Les émissions dans l'air dépendent essentiellement du type de combustible utilisé. Combinées à une épuration bien adaptée des gaz de fumées, ce sont les émissions de CO<sub>2</sub> fossile qui ont la plus forte incidence au niveau de l'environnement (pour plus de renseignements, se reporter au paragraphe 5.2.2.7).

La consommation d'eau pour la production de papier pour ondulé et papier couverture se situe dans une fourchette de 2 à 13 m<sup>3</sup>/tonne de produit commercialisable net. Lorsque les papiers sont fabriqués avec de l'eau en circuit fermé, la consommation d'eau la plus basse correspond à la quantité d'eau qui s'évapore dans la sécherie. Les chiffres moyens pondérés de la consommation d'eau sont quasiment identiques pour les deux types de papier, de l'ordre de 6,5 m<sup>3</sup>/tonne de produit commercialisable net. Les effluents spécifiques moyens se situent dans une fourchette de 4,9 à 5,7 m<sup>3</sup>/tonne de produit commercialisable net. Certaines usines fonctionnent aussi avec un circuit d'eau entièrement fermé et zéro effluent.

Les émissions en milieu aqueux correspondent aux substances qui sortent des usines dans l'effluent après un traitement final. Les niveaux de solides en suspension, DCO et DBO sont bas pour la moyenne pondérée et proche de zéro pour les usines avec un circuit d'eau fermé. La teneur en azote et phosphore des eaux usées des papeteries utilisant les FCR est très faible. Il est nécessaire d'ajouter une quantité contrôlée de substances nutritives pour le traitement biologique des eaux usées afin d'assurer la croissance des micro-organismes. Si l'on postule un dosage contrôlé pour optimiser le fonctionnement du système de traitement des eaux usées, on peut ramener les concentrations d'azote total (N<sub>total</sub>) à moins de 10 mg/l et celles de phosphore total (P<sub>total</sub>) à moins de 2 mg/l (moyenne quotidienne).

Les valeurs présentées dans les tableaux 5.3 et 5.4 pour les usines de papier journal et de papiers pour usage sanitaire et domestique à base de FCR ne reflètent peut-être pas tout l'éventail des variations dans l'utilisation des matières premières et les émissions que l'on peut observer dans les papeteries en Europe. Au contraire, eu égard à l'insuffisance des données disponibles, on a regroupé les usines répondant à une situation type (mais non représentative). Le tableau 5.3 contient des données moyennes pondérées pour la fabrication de papier journal à base de FCR. Ces données proviennent de 4 papeteries allemandes produisant principalement du papier journal à partir de papiers récupérés (papier journal standard et de qualité supérieure, année de référence : 1996). Ces quatre usines représentent 72 % de la production totale de papier journal en Allemagne, soit 1,24 Mt/an de papier journal et 73 000 t/an de pâte DIP. Ces chiffres comprennent une petite quantité de pâtes mécanique GWP, thermomécanique TMP et chimique. Deux de ces quatre usines n'utilisent que des papiers de récupération comme matière première fibreuse. Les valeurs mentionnées sont considérées comme typiques des usines de papier journal à base de FCR. Ces données sont exprimées en tonne de papier produit. Les émissions en milieu aqueux correspondent aux substances qui sortent des usines dans l'effluent après un traitement biologique des eaux usées.

Intrant			Sortant		
Matières premières	Valeur (mini-maxi)	Unité	Produit	Valeur	Unité
Papiers de récupération (9 % d'humidité)	1120 (990-1270)	kg/t	Papier journal	1000	kg/t
Copeaux de bois (55 % d'humidité)	130 (0-330)	kg/t	Pâte désencrée marchande (faible quantité)	5.9	kg/t
Bois en grumes	50 (0-230)	kg/t	<b>Emissions</b> (min-max)		
Pâte kraft	10 (0-30)	kg/t	CO <sub>2</sub>		kg/t
Pigments	30 (0-100)	kg/t	CO <sub>2</sub> , de régénération		kg/t
Additifs <sup>1)</sup>	53.17 (40.61-60.99)	kg/t	NO <sub>x</sub>	0.72 (0.56 - 1.06)	kg/t
			CO	0.14 (0.02 - 0.56)	kg/t
<b>Energie</b> (min-max)			SO <sub>2</sub>	0.54 (0.01-2.68) <sup>5)</sup>	kg/t
Gaz naturel	1720 (0 - 3490 <sup>2)</sup> )	kWh/t	Poussières	0.010 (0.003-0.05)	kg/t
Fioul, léger	40 (0 - 180 )	kWh/t	COD	3.31 (2.47 - 4.45)	kg/t
Fioul, lourd	300 (0 - 1510)	kWh/t	BOD <sub>5</sub>	0.12 (0.03 - 0.28)	kg/t
Combustibles de régénération	510 (0 - 970 )	kWh/t	Matières en suspension	no data	kg/t
Énergie hydraulique	50 (0 - 110 )	kWh/t	AOX	2 (1 - 3)	g/t
Électricité achetée	470 (-10 <sup>2)</sup> - 710 )	kWh/t	NH <sub>4</sub> -N	20 (10 - 50)	g/t
Énergie primaire, <sup>3)</sup> total	3880 (3630 - 3990)	kWh/t	Phosphate	5 (2 - 10)	g/t
			Débit d'eaux usées	10.56 (7.7 - 14.97)	m <sup>3</sup> /t
<b>Consommation d'eau</b> (min-max)			<b>Résidus</b> (min-max)		
Eaux de surface	19.34 <sup>4)</sup>	m <sup>3</sup> /t	Écorce	5.6 (0 - 28.6)	kg/t
Eaux souterraines	0.61	m <sup>3</sup> /t	Rejets, résidus de papier	100.2 (0 <sup>6)</sup> -381.4)	kg/t
			Cendres provenant de l'incinération des déchets <sup>6)</sup>	90.8 (0 - 173.2)	kg/t
			Déchets, <sup>6)</sup> total	196.7 (91.8-410.7)	kg/t

1) Les additifs sont des agents auxiliaires pour le processus et les produits, exprimés en solutions commerciales contenant différentes quantités d'eau.

2) La valeur maximale de la consommation de gaz naturel se réfère à une usine équipée d'une turbine à gaz. Elle produit un excédent d'électricité, de sorte qu'une petite quantité d'énergie est livrée au réseau public (10 kWh/t).

3) La part de l'électricité achetée par rapport à la consommation spécifique d'énergie primaire est calculée en postulant un rendement énergétique de 36,75 % des compagnies productrices d'électricité, c'est-à-dire que 0,47 MWh/t d'électricité achetée correspond à 1,28 MWh/t d'énergie primaire (1 kWh = 3,6 MJ).

4) La demande d'eau englobe l'eau de process et l'eau de refroidissement. Cette dernière est partiellement utilisée en tant qu'eau de process.

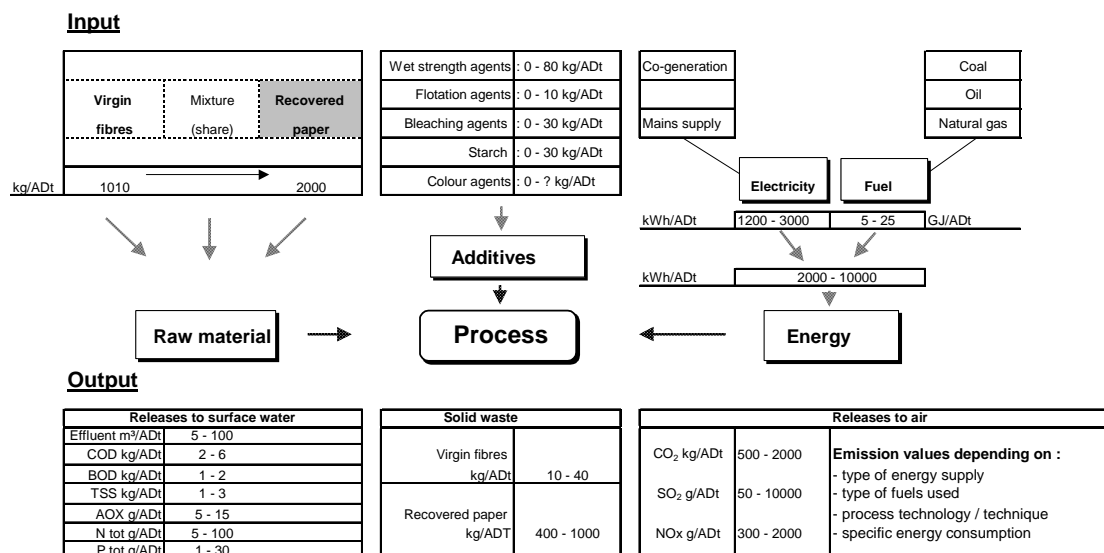
5) La valeur maximale est mesurée lorsqu'on utilise du combustible fossile comme principale source d'énergie, la valeur minimale avec le gaz naturel. Toutes les données relatives aux émissions proviennent de données de surveillance en permanence, moyenne annuelle.

6) On obtient les valeurs minimales (pas de rejets) lorsque les déchets et les boues sont brûlés sur place. La quantité de cendres résultant de l'incinération est nulle lorsqu'aucun incinérateur n'est en service et elle est élevée lorsqu'on brûle des quantités importantes de combustibles supplémentaires. Si l'on a recours à l'incinération sur le site, les déchets résiduels sont principalement de la cendre (mini). Autrement, les déchets non traités représentent la valeur maximale.

**Tableau 5.3 - Niveaux annuels moyens de consommations et d'émissions des papeteries à base de FCR, produisant essentiellement du papier journal (standard et de qualité supérieure).**

Les usines de papiers à usage sanitaire et domestique se caractérisent par la grande variété de leur production. Sur de nombreuses machines à papier à usage sanitaire et domestique, les changements de produits sont fréquents, ce qui réduit quelque peu le rendement de la consommation d'eau, d'énergie et de matière première. La conversion dans le produit final est souvent intégrée dans la production du papier. Les usines de papier à usage sanitaire et domestique ont besoin de quantités relativement importantes d'eau fraîche pour les rinceurs car la propreté des toiles et des feutres de la machine à papier est capitale pour obtenir des feuilles de papier très légères (jusqu'à 12 g/m<sup>2</sup>). S'agissant de la matière fibreuse utilisée, certaines usines n'utilisent que des fibres vierges et d'autres que des fibres de récupération (à propos des usines de papiers à usage sanitaire et domestique produits à partir de fibres vierges, se reporter au chapitre 6 du présent document pour plus de renseignements). Entre les deux, on rencontre toutes sortes de mélanges de fibres, avec 10 %, 20 % et jusqu'à 90 % de fibres de récupération. L'incidence des matières premières sur les performances d'une entreprise en matière d'environnement dans son ensemble est surtout liée aux importantes quantités de boues générées pendant le désencrage (élimination de toutes les charges du papier récupéré).

Les différences au niveau des émissions dans l'eau ne sont pas significatives avec un traitement biologique adéquat des effluents. La performance de l'ensemble de l'usine au niveau de l'environnement est influencée par d'autres facteurs tels que les produits chimiques et le type de combustible utilisés, et la conception de la génération d'énergie et du processus.



**Tableau 5.4 - Niveaux types de consommations et d'émissions pour la fabrication de papier sanitaire et domestique, moyenne annuelle.**

[Données provenant de ETS, 1998; en raison du manque de données, on n'a pas pu faire de distinction entre l'eau provenant des effluents des usines de papiers à usage sanitaire et domestique à base de FCR, de celle provenant d'usines utilisant des fibres vierges].

Bien qu'en Europe presque toutes les usines utilisant des FCR soient intégrées - à l'exception de deux usines produisant des pâtes désencrées marchandes - il faut signaler qu'elles ne le sont souvent que partiellement, c'est-à-dire qu'une partie des matières fibreuses peut être constituée de pâte achetée. Souvent, les papeteries utilisent un mélange de différents types de fibres.

Dans le paragraphe suivant, on étudie point par point la consommation de matières premières et les rejets dans l'environnement des procédés utilisant des papiers de récupération.

## 5.2.2 Niveaux de consommations et d'émissions

- Consommation de papiers de récupération
- Consommation d'eau
- Consommation d'additifs
- Demande d'énergie
- Émissions d'eaux usées
- Génération de déchets solides provenant de la préparation de la pâte, de la purification de l'eau de process et du traitement des eaux usées
- Émission dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie
- Émissions dans l'atmosphère provenant de l'incinération des boues et des résidus (en option)
- Bruit de la machine à papier (au niveau local)
- Odeur provenant des vapeurs et de l'installation de traitement des eaux usées (au niveau local)

S'agissant des chiffres communiqués concernant les émissions et les consommations, il ne faut pas oublier que, compte tenu des différences dans les méthodes de mesure utilisées par les divers États membres, les données ne sont pas toujours rigoureusement comparables d'un pays à l'autre. (Voir annexe III pour plus de renseignements sur ce sujet, mais cette différence dans les méthodes ne modifie en rien les conclusions formulées dans le présent document).

### **5.2.2.1 Consommation de papiers de récupération**

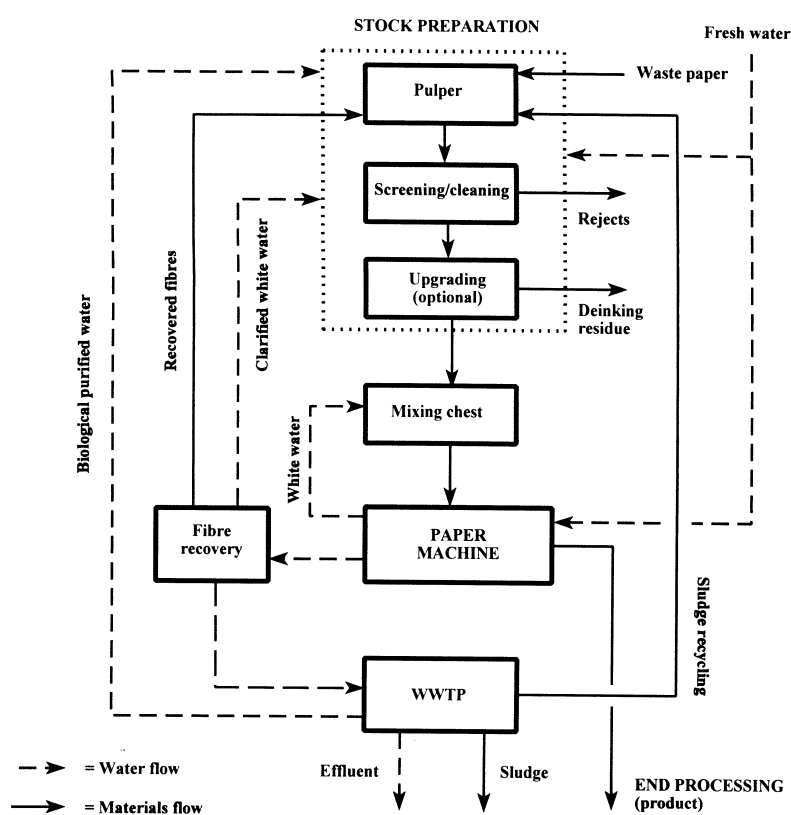
Pour fabriquer différents types de papiers tels que les papiers d'emballage "bruns" ou les papiers à usage graphique "blancs", on utilise différentes quantités et qualités de fibres secondaires. Pour produire une tonne de papier, on utilise entre 1 100 kg (pour le carton ondulé moyen) et 2 000 kg (pour les papiers à usage sanitaire et domestique et les pâtes DIP commercialisées) de papiers de récupération. Les papiers récupérés de qualité inférieure sont utilisés couramment comme matières premières pour les produits soumis à des exigences peu élevées, alors que l'on utilise les types de qualité supérieure pour les produits devant répondre à des exigences plus élevées.

Sur le marché européen, on trouve de nombreux types de papiers de récupération différents, qui sont généralement classés selon leur origine, leur qualité et leur utilisation. Cette classification varie d'un pays à l'autre. Conformément à la Nomenclature des qualités standard européennes des papiers de récupération, ces papiers sont classés dans quatre grands groupes, correspondant aux qualités ordinaire, moyenne, supérieure et kraft [EN 643, 1994], lesquels comportent eux-mêmes des sous-divisions. Les papiers de récupération de qualité inférieure contiennent plus d'impuretés et, pour satisfaire aux exigences du produit, ils doivent faire l'objet d'un traitement plus intensif que les papiers récupérés d'une qualité supérieure. Ces qualités supérieures sont utilisées principalement pour la fabrication de papiers à usage graphique ou à usage sanitaire et domestique, ce qui présente deux inconvénients : les papiers de qualité supérieure sont généralement plus onéreux et risquent de ne pas être disponibles en permanence en quantités suffisantes. Étant donné que la régularité joue un rôle important, il convient de réduire au maximum les variations quantitatives et qualitatives des impuretés et des polluants. Ainsi, il peut arriver que les méthodes de collecte et le tri des papiers de récupération au début du processus tiennent une place plus importante que les efforts déployés pour mettre au point de nouveaux processus de fabrication à partir de fibres secondaires. Outre la méthode de collecte, l'origine des fibres secondaires a également des répercussions importantes. On peut distinguer différents types de papiers de récupération : les "vieux papiers de récupération" provenant des particuliers et des commerces, tels que emballages en carton ondulé, journaux et magazines, les "papiers de récupération industriels", tels que rognures, cassés de fabrication et invendus provenant des imprimeries, de la fabrication des emballages en papier et des ateliers de reliure, et les "papiers de récupération semi-industriels" provenant des supermarchés, grands magasins et grands bureaux.

On prévoit une augmentation du pourcentage des impuretés dans les papiers de récupération en raison du développement continu du recyclage des vieux papiers. Cet effet sera encore accentué par le recours plus intensif aux charges dans la production du papier. Dans l'ensemble, on s'attend à une augmentation de la quantité d'impuretés dans les papiers de récupération, ce qui aura pour conséquence une intensification des étapes d'épuration et de blanchiment. Cela aura aussi pour conséquence une augmentation des déchets solides produits.

### 5.2.2.2 Consommation d'eau

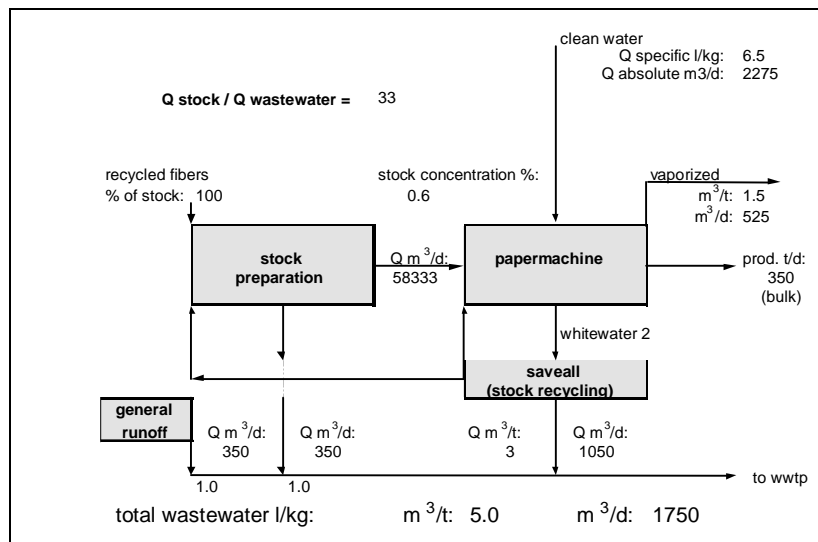
Les papeteries et cartonneries utilisent en général d'importantes quantités d'eau. Mais, dans la plupart des papeteries, l'eau est en grande partie recyclée, ce qui explique que le volume d'eau spécifique ait diminué au cours des vingt dernières années. En Europe, on utilise aussi bien l'eau de la nappe phréatique que les eaux de surface. L'eau devra être préretraitée en fonction du type de papier de manière à répondre aux exigences fixées pour l'eau de process. Le cas échéant, il faut éliminer le fer, le manganèse et quelquefois les algues et les éléments qui troublent l'eau en recourant à la floculation, à la complexation et/ou au filtrage par le sable. L'eau sert à de nombreuses applications fondamentales dans l'industrie papetière, sous forme d'eau de process, de refroidissement ou d'alimentation des chaudières (pour de plus amples détails, voir section 6.1.3, Circuits d'eau et récupération des fibres). Comme cela est illustré dans la figure 5.6, l'eau de process est recyclée de façon extensive dans le processus de fabrication.



**Figure 5.6 - Diagramme schématisé de la production de papier et de carton à base de papiers de récupération.** [Note néerlandaise sur les MTD, 1996]; WWTP = installation de traitement des effluents.

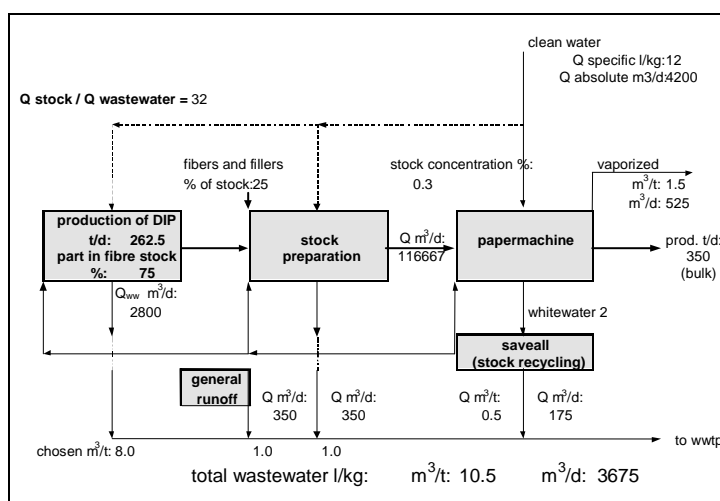
Toutes les usines de papier et de carton recyclent l'eau de la section de la toile (eau blanche). Cette eau blanche est recyclée sans traitement aux fins de dilution vers la cuve de mélange (circuit court) ou bien elle est réutilisée dans le processus lorsque l'eau doit satisfaire à des exigences de qualité plus élevées. Le flux excédentaire en provenance de l'unité de récupération des fibres pour la préparation de la pâte est rejeté pour maintenir l'équilibre en eau et purger les substances indésirables qui ne doivent pas pénétrer dans le circuit de tête en amont de la machine à papier.

Le nombre possible de recyclages dépend des exigences de la production et de la qualité des eaux de process/eaux usées traitées. En outre, la conception des circuits d'eau a une incidence considérable sur les limites de réutilisation sans inconvénients pour la production et la qualité des produits. La figure 5.7 et la figure 6.10 donnent des exemples de circuits eau-pâte possibles pour des usines intégrées à base de FCR produisant des papiers bruns et blancs.



**Figure 5.7 - Exemple de circuits d'eau pour une usine produisant du carton ondulé standard sans désencrage (100 % papiers de récupération). [Communiqué par Möbius].**

Cet exemple de mise en circuit relativement fermé dans la production de papier à partir de fibres de récupération montre que l'on n'utilise de l'eau fraîche que du côté de la machine à papier (et pour la préparation des additifs). L'eau blanche est recyclée vers la préparation de la pâte et utilisée pour la trituration du papier récupéré et pour différentes étapes d'épuration mécanique de la pâte. Une partie est dirigée vers l'installation de traitement des eaux usées (wwtp). Environ 1,5 m<sup>3</sup>/t s'évapore dans la sécherie de la machine à papier. Statistiquement, dans l'exemple de la figure 5.7, l'eau est réutilisée 33 fois dans le processus.



**Figure 5.8 - Exemple de circuit eau-pâte optimisé pour une production intégrée de pâte désencrée. [Möbius, 1994; version originale corrigée par l'auteur]**

La figure 5.8 illustre un exemple de mise en circuit relativement fermé de l'eau dans une usine avec un pourcentage élevé de pâte désencrée (DIP). L'eau de process s'écoule à contre-courant, c'est-à-dire que l'eau blanche est recyclée vers l'installation de désencrage et la préparation de la pâte.

Les excès d'eau provenant de différentes parties de l'usine sont rejetés de manière à protéger le circuit en amont de la machine à papier - qui requiert une eau de qualité supérieure - des substances indésirables et d'équilibrer la consommation d'eau dans le système. Pour la machine à papier, on utilise de l'eau propre pour garantir le respect des exigences élevées de qualité de l'eau à ce niveau du processus. Le rapport entre la suspension fibreuse qui alimente la machine à papier et les eaux usées rejetées est de 32 : 1, c'est-à-dire que l'eau est réutilisée 32 fois dans le circuit. Afin d'éviter les inconvénients de la réutilisation de l'eau, il convient d'analyser et d'optimiser la totalité du système fibres-eau-additifs de l'usine. Certaines usines procèdent à une élimination (partielle) des impuretés jusqu'au niveau souhaité au cours du processus afin de satisfaire aux exigences de qualité de l'eau de process fixées pour un type de papier donné ou pour une unité du processus.

Le tableau 5.5 récapitule la consommation spécifique d'eau de différentes usines utilisant des papiers recyclés.

Process	Consommation spécifique d'eau [m <sup>3</sup> /t]*
Carton non couché pour boîtes pliantes	2 - 10
Carton couché pour boîtes pliantes	7 - 15
Carton ondulé standard et papier d'emballage	1.5 - 10
Papier journal	10 - 20
Papier pour usage sanitaire et domestique	5 - 100
	7 -20
Notes :	
* Il convient de noter qu'environ 1,5 m <sup>3</sup> d'eau par tonne de papier s'évapore dans la sécherie de la machine à papier, c'est-à-dire n'apparaît pas comme eau usée.	

**Tableau 5.5 - Consommation type d'eau dans la production de papier et de carton à base de FCR.**

### 5.2.2.3 Utilisation d'additifs

Pour améliorer les propriétés du papier, les papeteries et cartonneries ont recours à différents additifs. Les quantités utilisées et leur type varient en fonction de la qualité du papier et du matériel en place. Les additifs mis en œuvre par l'industrie papetière peuvent être classés en agents auxiliaires pour le produit, qui servent à optimiser les propriétés spécifiques du papier en conformité avec les desiderata du client, et en agents auxiliaires pour le processus. Ces derniers facilitent les opérations de traitement du papier de manière à améliorer les caractéristiques de marche du processus. Le tableau 5.6 donne des exemples des principaux additifs et de leur application. Lorsque ces additifs sont utilisés conformément aux indications, ils ne doivent pas avoir d'impacts négatifs notables sur le rendement de l'installation de traitement des eaux usées. Des changements brusques dans les charges dus à un nettoyage du système ou à des ajustements par lot des additifs pour répondre aux exigences des produits peuvent avoir une incidence négative sur les performances de l'installation de traitement. Dans ce cas, la biomasse pourra peut-être avoir besoin d'un certain laps de temps pour s'adapter aux additifs apparaissant dans les effluents. Pendant ce petit laps de temps, il se peut que l'on observe une baisse de l'efficacité de l'installation de traitement et une détérioration de la décantabilité des boues (indice de Mohlmann). Par conséquent, il convient de manipuler les additifs avec soin et précaution et selon les indications. C'est ainsi qu'il faut interpréter les commentaires dans la colonne de droite du tableau 5.6.

Produits	Objet	Exemples	Commentaires
<b>Charges</b>	- améliorent les propriétés d'imprimabilité, l'opacité et le degré de blanc et le lissé et le brillant - remplacent (économisent) les fibres	Kaolin ou argile, talc, chaux, gypse, dioxyde de titane	
<b>Agents de collage</b>	- améliorent la qualité de la surface - imperméabilisent le papier	Amidon modifié, résines naturelles modifiées, émulsions de paraffines, produits synthétiques tels que dimères alcoyles cétones et copolymères de l'anhydride de l'acide maléique	Certains peuvent être toxiques pour les bactéries de la station de traitement biologique lorsqu'ils sont cationiques
<b>Agents fixateurs</b>	- améliorent l'adsorption des additifs dans les fibres	Alun	Produits essentiellement cationiques pouvant être toxiques pour les bactéries de la station de traitement biologique
<b>Agents améliorant la résistance à l'état sec</b>	améliorent les propriétés de résistance à l'état sec	Amidon modifié	Certains peuvent être toxiques pour les bactéries de la station de traitement biologique lorsqu'ils sont cationiques
<b>Agents améliorant la résistance à l'état humide</b>	- améliorent les propriétés de résistance à l'état humide	Polymère urée-formaldéhyde, Polymère mélamine-formaldéhyde Condensats d'épichlorhydrine	Habituellement toxiques pour les bactéries de la station d'épuration biologique, certains augmentent le taux d'AOX
<b>Colorants</b>	- donnent au papier une certaine couleur et/ou un certain degré de blanc	Composés azoïques Composés d'ammonium quaternaires	Difficiles à éliminer; certains sont toxiques; peuvent contenir des métaux lourds
<b>Azurants optiques</b>	- confèrent au papier une impression de blanc	Produits chimiques à base de diamino-4,4-stilbène-acide disulfonique-2,2	Certaines substances cationiques peuvent être toxiques
<b>Produits de couchage</b>	- confèrent au papier certaines propriétés de surface	Pigments, liants, agents renforçant la résistance à l'état humide, agents de dispersion et de lubrification, antimousse, antislimes	Les liants doivent être déstabilisés avant d'être mélangés à d'autres eaux usées, autrement ils risquent de perturber la clarification
Agents auxiliaires de fabrication	Objet	Exemples	Commentaires
<b>Agents de rétention</b>	- rétention des fibres, fines et charges - augmentent la production grâce à un meilleur égouttage - réduisent les émissions de polluants	Alun, aluminate de sodium, polychlorure d'aluminium, produits de l'amidon, gommes, polyacrylamides anioniques, polyacrylamides non-ioniques, polymères cationiques	Principalement des produits cationiques
<b>Produits chimiques pour le désencrage et le blanchiment</b>	- dissocient l'encre des fibres - blanchiment - maintiennent les particules d'encre en dispersion	NaOH, acides gras, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , hydrosulfite, FAS, agents complexants, silicate de sodium, tensio-actifs	La sédimentation de la boue dans les décanteurs risque d'être entravée
<b>Agents complexants</b>	- élimination des ions métal par formation de complexes métalliques pour empêcher la décomposition des produits chimiques de blanchiment	DTPA ou ETPA	Difficilement ou non biodégradables
<b>Tensio-actifs</b>	- nettoyage des feutres, toiles et mécanismes - nettoyage des circuits d'eau - dispersions des substances	Agents de surface (surfacteurs) acides ou alcalins	Peuvent provoquer la flottation des boues
<b>Agents antimousse</b>	- prévention et destruction de la mousse	Ethoxylates d'acides gras, poly-oxy-éthylène, dérivés d'acides gras, alcools d'un degré élevé, esters de l'acide phosphorique, produits à base d'huiles végétales	Risquent d'abaisser l'apport en oxygène dans l'installation de traitement des effluents
<b>Biocides (antislimes)</b>	- prévention de la croissance des micro-organismes	Composés organiques de brome, soufre ou azote, composés d'ammonium quaternaire	Certains contiennent des AOX, ils sont toxiques lorsqu'ils parviennent à l'installation de traitement des effluents en concentrations élevées

**Tableau 5.6 - Principaux agents auxiliaires de fabrication utilisés et leur application dans l'industrie papetière.**

Les produits chimiques de base pour l'industrie du papier tels que acides et bases ne sont pas pris en considération. Les commentaires s'appliquent à la substance en tant que telle, sans tenir compte du fait qu'elle est habituellement très diluée et, dans une certaine mesure, retenue dans le papier (d'autres détails sont communiqués dans l'Annexe I). [Notes néerlandaises sur les MTD, 1996, modifiées par le EIPPCB].



Les produits utilisés pour le désencrage sont indiqués dans le tableau 5.7. Les produits chimiques de désencrage présentent une faible rétention par la cellulose et ils seront vraisemblablement présents dans les boues de désencrage qui sont envoyées à la décharge ou incinérées.

Produit chimique	Consommation [kg/t de pâte désencrée]
Hydroxyde de sodium	10 - 20
Silicate de sodium	20 - 30
Savon	5 - 8
Talc	10 - 15
Peroxyde d'hydrogène	5 - 25
Agents chélatants (DTPA) <sup>1)</sup>	2 - 3
Dithionite de sodium	6 - 10
Acide sulfurique	8 - 10

**Tableau 5.7 -Produits chimiques utilisés dans le désencrage, y compris le blanchiment. [Rapport finlandais sur les MTD, 1997).**

<sup>1)</sup> Habituellement, il n'est pas nécessaire d'utiliser d'agents de chélation au blanchiment, à moins qu'il ne présente des concentrations excessives d'ions Fe et Mn.<sup>6)</sup>

Souvent, les additifs ne sont pas complètement utilisés pendant le processus ou pas complètement retenus sur la feuille de papier, notamment en ce qui concerne les produits auxiliaires de fabrication. Une certaine quantité est rejetée dans les effluents. Les additifs en excès sortent également du circuit par les rejets et les boues (voir 6.2.1.3). Certains d'entre eux peuvent avoir une incidence défavorable sur le fonctionnement de l'installation de traitement des eaux usées et/ou sur la qualité du milieu aquatique récepteur s'ils ne sont pas dégradés ou éliminés dans l'installation. Dans certains pays membres, les autorités responsables de la qualité de l'eau demandent à avoir connaissance des quantités et de la nature des additifs employés. Aux Pays-Bas par exemple, les sociétés doivent fournir des informations pertinentes sur la nature et la composition de l'additif. Ces renseignements sont alors utilisés dans le cadre d'une méthodologie d'évaluation [RIZA, 1998] qui détermine l'impact des additifs sur l'environnement aquatique. Ces additifs ne peuvent être mis en œuvre que s'ils ont atteint un score positif dans le cadre de cette évaluation ou s'ils sont retenus par une méthode adéquate.

#### **5.2.2.4 Demande d'énergie**

Les papeteries et cartonneries ont besoin d'importantes quantités de vapeur pour amener l'eau, la pâte, l'air et les produits chimiques à la température requise pour le processus, et surtout pour sécher le papier. Par ailleurs, il faut aussi de grandes quantités d'électricité pour faire fonctionner les machines, les pompes, l'installation de vide, la ventilation et le traitement des eaux usées. Dans les papeteries, l'énergie représente habituellement le principal poste des dépenses de fonctionnement. Les fibres secondaires étant déjà passées par le matériel de préparation de la pâte lors de la fabrication du papier d'origine, la préparation de pâte à partir de FCR nécessite comparativement moins d'énergie totale que la fabrication des pâtes chimiques et surtout mécaniques. Aux Pays-Bas par exemple, on a indiqué une consommation moyenne de 322 kWh/t d'électricité spécifique pour les installations de traitement des

<sup>6)</sup> C. Pauli, R. Patt, V. Gehr, O. Kordsachia. Sur les effets des additifs dans une étape de blanchiment d'une pâte de vieux papiers et de pâte mécanique par la méthode alcali/oxygène avec apport de peroxyde (en allemand), WfP, N°20, 1993, pages 852 à 857.

papiers de récupération (sans tenir compte de la différence de consommation entre avec ou sans désencrage). La consommation totale d'énergie spécifique<sup>7</sup> s'élève à 10,9 GJ/t pour les usines sans désencrage et à 12,1 GJ/t pour les papeteries avec désencrage [Note néerlandaise sur les MTD, 1996].

Chaque usine produit en général sa propre vapeur sur place. Le cas échéant, elle peut acheter de l'électricité. Généralement, dans les papeteries, les besoins en électricité et en vapeur sont équilibrés et elles ont donc tout intérêt à recourir à des installations de co-génération de chaleur et d'énergie (CHP). Ces installations CHP fournissent l'énergie nécessaire en générant simultanément de l'électricité et de la chaleur utile (vapeur) et se caractérisent par un rendement total nettement supérieur (80 à 95 %) à celui de la "génération séparée", qui consiste à produire la vapeur et à acheter l'électricité (cette dernière avec un rendement d'environ 40 %). Quelquefois, la production d'électricité de l'installation CHP des papeteries est supérieure aux besoins réels sur la base de la demande de chaleur. Cet excédent d'électricité peut être écoulé sur le réseau.

Dans le tableau 5.8 ci-après, on trouvera des indications chiffrées détaillées sur les besoins en énergie du traitement des papiers de récupération en vue de produire la pâte utilisée pour la fabrication de papiers à usage sanitaire et domestique et de papier journal. Toutes les données concernent du matériel moderne et des méthodes de préparation de la pâte conçues pour des équipements haut de gamme. Ces valeurs sont tirées d'exemples concrets d'installations récentes. Normalement, les principes des processus choisis varient dans une certaine mesure d'une usine à l'autre. Mais on retrouve les mêmes unités dans toutes les installations utilisant des FCR. Elles peuvent donc donner une indication sur la fourchette de la demande d'énergie prévisible.

Lorsqu'on compare les chiffres de la consommation d'énergie, il convient de tenir compte des aspects suivants :

- le rendement du processus varie principalement en fonction de la matière première,
- Le pays et la région où sont recueillis les déchets ont une grande importance sur la qualité des matières premières.
- Compte tenu de la mauvaise qualité du papier récupéré, certaines usines devront déployer des efforts supplémentaires concernant la préparation de la pâte.
- Habituellement, lorsqu'on étudie la consommation d'énergie, on inclut seulement les équipements principaux, c'est-à-dire que les pompes et les agitateurs ne font pas partie du système. Ces éléments auxiliaires du processus n'améliorent pas la qualité de la pâte, mais ils jouent cependant un rôle dans la demande d'électricité.
- La part des pompes et des agitateurs dans la puissance installée globale peut représenter de 20 jusqu'à 30 %. Du point de vue de l'énergie, il est donc important de concevoir des processus visant à réduire le nombre de pompes. Dans l'exemple pour la fabrique de papier journal à base de FCR du tableau 5.8, la part des pompes dans la demande totale d'énergie est de 30 %.
- Les sous-systèmes périphériques pour l'eau, les boues et les rejets tels que la DAF, les presses à vis pour les rejets ou les presses pour déshydrater les boues ne sont pas inclus parce qu'ils ne sont pas considérés comme matériel principal. Leur demande d'énergie doit donc être ajoutée aux chiffres.
- Il faut faire une distinction entre la puissance *installée* (équipement principal) et la demande moyenne de puissance qui est effectivement *consommée*. De façon approximative, on peut dire que

<sup>7</sup> Pour calculer la consommation totale d'énergie spécifique, on utilise la formule  $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$ . L'énergie achetée est produite par des compagnies d'électricité avec un rendement énergétique d'environ 38,1 %. Il en résulte que la part de l'électricité achetée par rapport à la consommation d'énergie spécifique se calcule de la façon suivante :  $1 \text{ kWh} \text{ équivaut } 3,6 / 0,381 = 9,45 \text{ MJ}$ .

la puissance véritablement consommée représente 70 à 75 % de la puissance installée. Cette proportion varie en fonction de l'étape du processus et du fournisseur de l'équipement.

	Chaîne papier à usage sanitaire et domestique DIP (200 t/j)	Chaîne papier journal DIP (1 000 t/j)
<b>Matière première</b>	vieux magazines/vieux papiers mixtes de bureau	vieux papier journal/ vieux magazines
<b>Rendement</b>	55 à 60 %	80 %
<b>Énergie spécifique totale (estimation)</b>	230 kWh/t de pâte DIP <sup>1)</sup>	300 kWh/t de pâte DIP <sup>2)</sup>
<b>Vapeur basse pression spécifique totale</b>	0,3 t de vapeur/t de pâte DIP	0,3 t de vapeur/t de pâte DIP
<b>Demande d'énergie spécifique pour les principaux processus unitaires</b>		
Tapis d'alimentation	1 kWh/t de pâte DIP	0,4 kWh/t
Production de pâte haute consistance <sup>1)</sup>	39 kWh/t de pâte DIP (méthode CHD avec tamisage sommaire)	16 kWh/t (pulpeur à tambour)
Classage	inutile	18,5 kWh/t
Épuration MC	Énergie pour le pompage	Énergie pour le pompage
Élimination du sable (nettoyeur)	Énergie pour le pompage	Énergie pour le pompage
Épuration fine	17 kWh/t de pâte DIP	22 kWh/t
Flottation I	18 kWh/t de pâte DIP	33 kWh/t
Lavage I	8 kWh/t de pâte DIP	pas de lavage
Filtre à disque (épaississement)	inutile	1 kWh/t
Dispersion (y compris épaississeur)	55 kWh/t de pâte DIP <sup>2)</sup>	67 kWh/t <sup>2)</sup>
Flottation avec injection d'air dissous	pas de données (difficile à calculer en kWh/t de pâte DIP)	pas de données (difficile à calculer en kWh/t de pâte DIP)
Flottation II	5 kWh/t de pâte DIP	19 kWh/t
Lavage II	10 kWh/t de pâte DIP	pas de lavage
Presse à boues	pas de données (n'est pas un équipement principal)	pas de données (n'est pas un équipement principal)
Toutes les pompes	non comprises <sup>3)</sup>	91 kWh/t <sup>4)</sup>
Notes explicatives :		
Normalement, les valeurs sont présentées en tant que kW installé. Lorsque la consommation d'énergie spécifique est calculée à partir de ces chiffres, il convient de procéder à une approximation en fonction de la situation réelle.		
<sup>1)</sup> Méthode CHD : réduction en pâte à papier Haute Densité en Continu. De nombreuses usines utilisent la méthode HD standard par lots (demande supérieure en énergie).		
<sup>2)</sup> Ces valeurs représentent plutôt des chiffres inférieurs à la moyenne. Pour les meilleures qualités, une consommation pouvant atteindre 70 à 80 kWh/t n'est pas inhabituelle dans certaines usines. Normalement, pour l'épaississement et la dispersion, la demande d'électricité communiquée varie entre 85 et 90 kWh/t (voir chiffres ci-après).		
<sup>3)</sup> Dans le matériel servant à la préparation de la pâte pour papiers à usage sanitaire et domestique, on n'a inclus ni pompes ni agitateurs.		
<sup>4)</sup> A l'exception des pompes pour l'installation de flottation, toutes les pompes et tous les agitateurs sont inclus.		

**Tableau 5.8 - Exemples concrets de consommation d'énergie dans la production de papiers à usage sanitaire et domestique et de papier journal à partir de papiers de récupération [données d'après Valmet].**

**Il s'agit d'équipements modernes. On notera que la consommation d'énergie dépend des matières premières utilisées, de la conception de la préparation de la pâte, du matériel installé et des propriétés requises du produit. (On trouvera d'autres exemples types dans le tableau 5.1 et dans la suite de la présente section). Les chiffres ne concernent que la préparation de la pâte, et non la machine à papier. Pour cette dernière, se référer à la section 6.2.2.4.**

Pour plus de détails chiffrés sur la demande d'énergie spécifique des processus unitaires dans l'installation de préparation de la pâte pour le traitement des papiers de récupération sans désencrage (papier de couverture double épaisseur), se référer à la section 5.3.7.

Les tableaux 5.9 et 5.10 concernant une fabrique de papier journal utilisant 100 % de fibres recyclées donnent des chiffres concernant la consommation d'énergie et l'équilibre énergétique. La consommation d'énergie est subdivisée en chaleur et énergie électrique. Cet exemple concerne une usine suédoise avec une capacité de production de 500 000 t/an de papier journal.

Département	Chaleur de process [MJ/ADt]	Énergie électrique [kWh/ADt]
<b>Usine de pâte</b>		
Désencrage	200	175
Lavage et épuration	0	50
Blanchiment	0	75
<b>Total pâte</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
Préparation de la pâte	0	235
Machine à papier	5300	350
<b>Total papeterie</b>	<b>5300</b>	<b>585</b>
<b>Traitement des effluents</b>	<b>0</b>	<b>32</b>
<b>Consommation d'énergie spécifique par t/papier</b>	<b>5500</b>	<b>917</b>

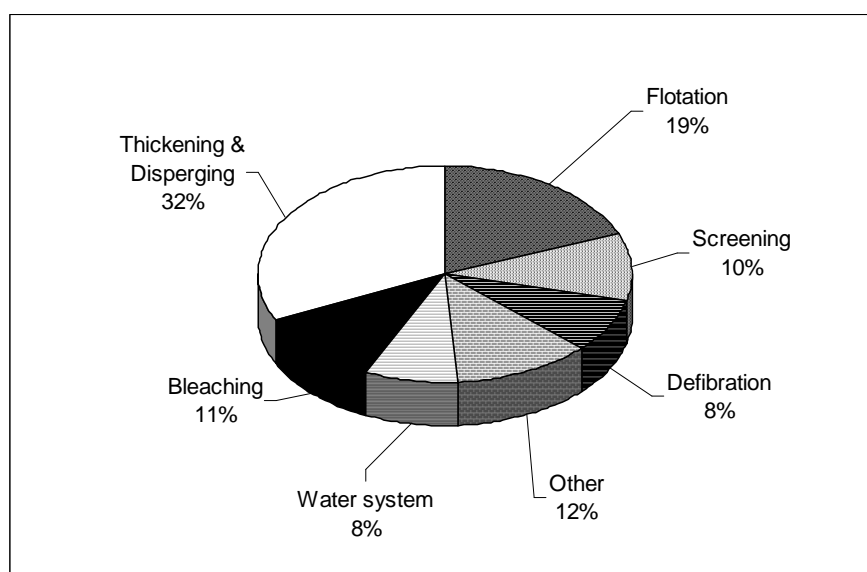
**Tableau 5.9 - Consommation d'énergie dans une usine suédoise intégrée d'une capacité de production de 500 000 t/an de papier journal à partir de pâte désencrée.**  
Année de référence : 1995 [Rapport SEPA 4712-4,1997]

Le tableau 5.10 présente les bilans énergétiques pour la même usine.

Département	Chaleur [MJ/ADt]	Énergie électrique [kWh/ADt]
<b>Usine de pâte</b>		
Turbo-alternateur	0	0
Achats à l'extérieur	+ 200	+ 332
Consommation	- 200	- 300
Traitement des effluents	0	- 32
<b>Énergie excédentaire de l'usine de pâte</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Papeterie</b>		
Consommation	- 5300	- 585
Achat à l'extérieur	+ 5300	+ 585
<b>Total achats à l'extérieur</b>	<b>5500</b>	<b>917</b>

**Tableau 5.10 - Bilans énergétiques de deux usines intégrées de papier journal à partir de pâte de FCR, d'une capacité de production respective de 500 000 t/an et 250 000 t/an.**  
Année de référence : 1995 [Rapport SEPA 4712-4, 1997]

En principe, la consommation d'énergie dans le traitement des fibres recyclées dépend de la conception, du type et du nombre d'étapes employées pour obtenir un produit d'une qualité donnée. L'augmentation du degré de blanc et la réduction de l'effet moucheté notamment impliquent une consommation d'énergie accrue. Par exemple, une usine de papier journal allemande d'une capacité de traitement de 1 900 tonnes de papiers récupérés par jour a fait état d'un accroissement significatif de ses besoins en énergie lorsqu'elle a mis en œuvre une étape de blanchiment au peroxyde avec appareil de dispersion et une seconde étape supplémentaire de flottation pour fabriquer du papier journal de qualité supérieure au lieu des qualités standard. Si la pâte recyclée désencrée standard consomme quelque 350 kWh/t et 250 t de vapeur par jour, la pâte désencrée blanchie de qualité supérieure en demande 420 kWh/t. Il faut prendre en considération que l'électricité achetée est souvent produite par des compagnies d'électricité avec un rendement énergétique d'environ 38 %. Par conséquent, pour obtenir l'électricité achetée requise pour le traitement des papiers récupérés (à savoir 0,35 à 0,45 kWh/kg de pâte DIP), il faut prévoir une consommation d'énergie primaire comprise entre 1 et 1,3 kWh/kg de pâte DIP.



**Figure 5.9 - Consommation d'énergie spécifique d'une usine de papier journal pour le traitement des papiers récupérés [Merkel, 1997].** La flottation comprend deux étapes; le tamisage (*screening*) comprend un tamisage préalable et un tamisage secondaire; "Divers" (*other*) englobe la ventilation, la sécherie pour une partie de la pâte DIP, les installations d'épuration de l'eau etc. L'installation d'eau n'inclut pas l'épuration; le blanchiment est exécuté dans un appareil à dispersion.

Le chiffre relatif à la consommation d'énergie de chaque étape du processus montre qu'environ un tiers est consommé pour l'épaississement et la dispersion. Pour les installations de réduction en pâte, les fourchettes suivantes ont été communiquées : pulpeur classique 25 à 80 kWh/t, pulpeur à tambour 15 à 20 kWh/t, pulpeur secondaire 15 à 40 kWh/t (tous les chiffres : UBA, 19/1994). L'épaississement avant la dispersion consomme environ 30 kWh/t. Le réchauffement à 90 °C et le fonctionnement de l'appareil à dispersion demandent environ 60 à 100 kWh/t. La flottation nécessite environ 27 à 33 kWh/t. La consommation d'énergie pour la flottation dépend du nombre de cellules, de la conception du réseau de tuyauterie dans l'usine et des types d'injecteurs d'air utilisés. Les presses à bande ou à vis pour la désydratation consomment environ 10 kWh/t.

### 5.2.2.5 Rejets d'eaux usées

Les rejets d'eaux usées de l'industrie papetière en particulier - mais aussi la demande d'énergie et la génération de déchets - sont étroitement liés aux exigences inhérentes aux types de papier, à la qualité des matières premières (papiers récupérés) et aux techniques de réduction mises en œuvre. Les additifs employés, la gestion interne du processus, la maintenance et le niveau technique de l'installation ont également une incidence sur les niveaux d'émissions atteints.

Les effluents d'une papeterie utilisant des FCR proviennent principalement des étapes d'épuration et lavage. Une pratique courante consiste à retirer de l'eau usée en des points où l'eau de process est la plus polluée. La pollution de l'eau se produit principalement pendant l'épuration, le désencrage et la récupération des fibres. Il en résulte que les effluents se composent de :

- l'eau provenant de l'épuration, classage, cyclonage
- les filtrats de lavage, des filtres épaisseurs et du traitement des boues
- l'excès d'eau blanche

Les effluents sont en grand partie rejetés après un traitement primaire et biologique sur le site, ou rejetés vers une station municipale d'épuration après une clarification primaire destinée à éliminer les solides en suspension. Les tableaux 5.11 et 5.12 donnent les émissions moyennes dans l'eau après un traitement primaire uniquement.

Paramètre	Sans désencrage		Avec désencrage	
	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)
<b>DBO<sub>5</sub></b> <sup>1)</sup>	1900	4.7	550	10
<b>DCO</b>	3800 (570 - 9000)	9.4 (1.2-24)	1100 (440 - 1900)	20 (7 - 40)
<b>Kj-N</b> <sup>2)</sup>	16 (10 - 40)	0.05 (0.02 - 0.1)	20 (13 - 25)	0.35 (0.19-0.62)
<b>Volume des rejets</b>		5.5 (0.4-15.5) m <sup>3</sup> /t		15 (9 - 39) m <sup>3</sup> /t
Notes <sup>1)</sup> La valeur DBO <sub>5</sub> est évaluée en postulant DCO = 2 * DBO <sub>5</sub> [Note néerlandaise sur les MTD, 1996]. <sup>2)</sup> L'azote dosé selon la méthode Kjeldahl est la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. Une partie de l'azote organique peut faire l'objet d'une hydrolyse au cours du traitement de l'effluent, l'azote ammoniacal est une substance nutritive éventuelle pour la biomasse de l'installation de traitement.				

**Tableau 5.11 - Emissions moyennes dans l'eau après traitement primaire et avant rejet vers une station d'épuration des effluents.**

Les données sont le résultat de mesures par des services compétents en matière de ressources hydrauliques et de mesures autocontrôlées par les sociétés effectuées en 1994/95. [Notes néerlandaises sur les MTD, 1996]

Paramètre	Sans désencrage		Avec désencrage	
	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)
<b>DBO<sub>5</sub> avant treatment*</b>	1800	12.3	770	8.3
<b>DBO<sub>5</sub> après treatment</b>	10 (3 - 28)	0.06 (0.01 - 0.13)	9	0.09
<b>DCO avant treatment*</b>	3200	22	1900	21
<b>DCO après treatment</b>	150 (60 - 270)	0.77 (0.29 - 1.12)	290	3.1
<b>Kj-N<sup>1)</sup></b>	5.6 (3 - 13)	0.03 (0.01 - 0.04)	7.8	0.08
<b>P<sub>tot</sub></b>	1.5 (0.5 - 1.8)	0.01	n.a.	n.a.
<b>MES</b>	25 (17 - 40)	0.13 (0.06 - 0.21)	n.a.	n.a.
<b>Volume des rejets</b>		5.7 (3.1-11) m <sup>3</sup> /t		11 m <sup>3</sup> /t
Notes : * Il n'existait pas de données sur la DBO <sub>5</sub> au niveau de l'arrivée. Par conséquent, les données pour l'arrivée ont été calculées sur la base des données relatives à la charge des eaux usées d'une usine sans désencrage et d'une usine procédant au désencrage. [Notes néerlandaises sur les MTD, 1996] <sup>1)</sup> L'azote dosé selon la méthode Kjeldahl après le traitement des effluents donne seulement une indication sur la quantité d'azote organique dans l'effluent et ne couvre pas la charge d'azote total qui inclut les composés nitrates et nitrites d'azote oxydés.				

**Tableau 5.12 - Emissions moyennes dans l'eau des fabriques RFC après traitement primaire et biologique sur le site.**

**Les données sont le résultat de mesures effectuées par des services compétents en matière de ressources hydrauliques et de mesures autocontrôlées par les sociétés effectuées en 1994/95. [Notes néerlandaises sur les MTD, 1996]**

### **Demande chimique d'oxygène**

Les émissions de DCO proviennent à la fois des matières premières et des additifs. Les processus de désencrage et de blanchiment rejettent une partie importante de la DCO du papier de récupération. Les données relatives aux émissions de DCO varient considérablement selon l'étape du traitement pendant laquelle les mesures ont été effectuées. Les données relatives aux rejets en DCO des usines de papier et de carton équipées d'une installation de traitement sur le site varient peu. Les variations dans le tableau 5.12 sont dues aux usines dont l'installation de traitement des eaux usées (WWTP) ne fonctionne pas correctement. Ces usines envisagent de moderniser leur WWTP. Le désencrage se traduit par des rejets plus importants en DCO.

### **DBO<sub>5</sub>**

Les données relatives aux émissions de DBO<sub>5</sub> après le traitement biologique ne montrent pas de différence significative entre avec ou sans désencrage. Dans les installations fonctionnant correctement, la concentration de DBO<sub>5</sub> après traitement est inférieure à 20 mg/l, quelle que soit la concentration du produit d'arrivée. Après le traitement biologique, on a indiqué des émissions de DBO<sub>5</sub> de 0,01 à 0,13 kg/t de papier et de carton [Note néerlandaise sur les MTD, 1996]. Les différences observées dans la charge spécifique de DBO sont principalement dues aux différences dans le débit d'eau. Le rapport DBO<sub>5</sub> : DCO des effluents des papeteries après le traitement primaire est d'environ 0,5, ce qui indique que ces effluents sont facilement biodégradables.



### **Substances nutritives**

Les effluents des installations de traitement des eaux usées contiennent principalement de faibles concentrations de substances nutritives sous forme d'azote et de phosphore. La présence de ces composés s'explique avant tout par la nécessité d'ajouter ces substances pour assurer le bon fonctionnement de l'installation de traitement biologique, addition de l'ordre de  $\text{DBO}_5 : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$ . Les composés d'azote liés à des substances organiques peuvent également provenir de quelques additifs. Pendant le traitement biologique, certains peuvent être hydrolysés en donnant de l'ammonium - les autres non - et transformés en composés nitrés.

### **Matières en suspension (MES)**

Les données relatives aux MES après traitement n'indiquent que de faibles variations. Le niveau supérieur des fourchettes de MES est le fait d'installations de traitement des eaux usées qui ne fonctionnent pas correctement. Compte tenu du type de matières organiques présentes dans les effluents des papeteries, on observe une certaine tendance à la mauvaise décantation des boues dans les installations de traitement à boues activées. Il existe des mesures de contrôle permettant d'éviter et de limiter ce phénomène indésirable.

### **Métaux lourds**

Les concentrations en métaux lourds dans les effluents des papeteries sont généralement très faibles. Des mesures réalisées dans des usines de traitement néerlandaises ont montré que certains effluents des usines avec désencrage pouvaient contenir des concentrations élevées de cuivre et de zinc. Dans ce cas, on considère que l'encre d'impression des papiers de récupération est la principale source de métaux lourds. Ces métaux lourds observés occasionnellement dans les effluents se présentent essentiellement sous la forme de complexes organiques stables [Luttmer, 1996, cité dans Notes néerlandaises sur les MTD].

### **AOX et autres micro-polluants organiques**

Les sources de composés halogénés organiques adsorbables se trouvent dans quelques additifs (principalement des agents renforçant la résistance à l'état humide), les papiers de récupération à base de pâte blanchie au chlore et dans une certaine mesure dans les encres d'imprimerie. Étant donné que le blanchiment au chlore est pratiquement abandonné aujourd'hui, les composés contenant des AOX provenant de papiers de récupération à base de pâte blanchie au chlore ont considérablement diminué au cours des dernières années. On trouve également sur le marché des agents renforçant la résistance à l'état humide neutres et à teneur réduite en AOX, ce qui offre une solution pour réduire encore les émissions d'AOX. On s'attend donc dans les années à venir à une tendance à la baisse des concentrations d'AOX. Des mesures occasionnelles réalisées dans des usines néerlandaises (avec et sans désencrage) montrent que les concentrations moyennes d'AOX sont de l'ordre de 200 µg/l.

On peut détecter de très faibles concentrations de micro-polluants organiques tels que les chlorophénols ou les biphényles polychlorés dans certains effluents de papeteries, en fonction des matières premières utilisées (papiers de récupération, encres d'imprimerie et additifs). Lors de mesures occasionnelles réalisées dans des usines néerlandaises, on a observé des concentrations en chlorophénols jusqu'à 1 µg/l (0,1 à 0,7 µg/l), et seulement des traces de biphényles polychlorés (valeurs au-dessous du seuil de détection de 0,11 µg/l (valeur maxi). [Note néerlandaise sur les MTD, 1996].

### **Matières minérales, sels**

Les sels, essentiellement des sulfates et des chlorures, proviennent avant tout des papiers récupérés et de certains additifs tels que l'alun. Dans certains cas, par exemple si l'eau de surface est la principale ressource d'eau potable ou pour des raisons de qualité de l'eau, on s'est préoccupé des rejets. Selon les types de papiers récupérés utilisés comme matière première et le degré de mise en circuit fermé des circuits d'eau, on a pu observer des concentrations de sulfate jusqu'à 1 000 mg/l même si l'on n'utilise pas de sulfate d'aluminium pendant le processus.

#### **5.2.2.6 Production de déchets solides**

Les déchets sont essentiellement constitués par des rejets, différents types de boues et - dans le cas où les résidus sont incinérés sur le site - des cendres. Les principales sources de déchets solides sont la préparation de la pâte, l'épuration de l'eau de process et le traitement des eaux usées. Selon les matières premières utilisées, la conception du processus et le traitement de l'eau de process et des eaux usées, on obtiendra respectivement différentes quantités et qualités de déchets (rejets, boues). Les tableaux 5.13 et 5.14 récapitulent les teneurs en solides secs que l'on peut atteindre pour les rejets et les boues, selon les équipements utilisés.

<b>MS % Rejets</b>	<b>Presse hydraulique</b>	<b>Presse pneumatique</b>
Teneurs possibles en solides secs pour une teneur en fibres < 70 % teneur en fibres < 30 %	jusqu'à 65 % environ 70 %	55 - 58 % 60 - 63 %
Consommation d'énergie (kWh/t)	15 - 20	8 - 12

**Tableau 5.13 – Concentrations en MS des rejets, et consommation correspondante d'énergie pour différents teneurs en fibres.**

**[Données communiquées par un fournisseur de machines]**

<b>MS % Boues</b>	<b>Filtre-Pressé</b>	<b>Presse à vis</b>
Teneurs possibles en solides secs pour une teneur en cendres < 50 % teneur en cendres > 50 %	jusqu'à 55 % jusqu'à 60 %	jusqu'à 65 % jusqu'à 70 %
<b>Consommation d'énergie (kWh/t)</b> (y compris épaissement préalable)	10 - 15	18 - 20

**Tableau 5.14 – Concentrations en MS des boues, et consommation correspondante d'énergie pour différents teneurs en cendres.**

**[Données communiquées par un fournisseur de machines]**

Les résidus peuvent être subdivisés (approximativement) en rejets lourds et grossiers, rejets légers et fins, et boues. Selon leur origine et leur nature, les boues peuvent à leur tour être subdivisées en boues de désencrage, boues d'unités de micro-flottation provenant de la clarification de l'eau de process et boues du traitement des eaux usées (boues primaires, boues en excès du traitement biologique).

Les teneurs possibles en MS, après déshydratation et épaississement, sont de 60 à 80 % pour les rejets grossiers, 50 à 65 % pour les rejets fins et environ 60 % pour les boues.

Les quantités de résidus dépendent du type de papiers utilisés comme matière première. Le tableau 5.15 récapitule les quantités moyennes de déchets solides pour les principaux types de papier fabriqués et pour les principales qualités de papiers récupérés utilisés.

Produit	Qualité des papiers récupérés	Total pertes	Rejets		Boues		
			Grossiers/lourds	Fins/légers	Désencrage	Clarification de l'eau de process	Eaux usées
Papiers à usage graphique	Papier journal, papier de presse magazine, qualités supérieures	15-20 10-25	1-2 < 1	3-5 < 3	8-13 7-16	2-5 1-5	≈ 1
Papiers à usage sanitaire et domestique	Papiers bureau récupérés, dossiers, qualités ordinaire et standard	28-40	1-2	3-5	8-13	15-25	≈ 1
Pâte DIP marchande	Papiers bureau récupérés	32-40	< 1	4-5	12-15	15-25	≈ 1
Papier couverture / papier pour ondulé	Déchets de centres commerciaux, papiers de récupération des particuliers, qualités kraft	4-9 3-6	1-2 < 1	3-6 2-4	---- ----	0-(1) 0-(1)	≈ 1
	Papier-carton	4-9	1-2	3-6	----	0-(1)	≈ 1

**Tableau 5.15 - Quantité de déchets solides résultant de la matière première utilisée (%) en fonction des qualités des papiers de récupération et du type de papier produit.**

Selon [Borschke, 1997]. On évalue la quantité de boues provenant du traitement des effluents en postulant qu'une quantité de boue excédentaire de 0,6 kg/kg DBO<sub>5</sub> éliminée (solides secs) est produite pendant le traitement, ce qui est une valeur courante pour les installations à boues activées. On peut donc s'attendre, selon la qualité des papiers récupérés et la conception du processus, à environ 10 kg de boue excédentaire par tonne de papier (base sec).

### Rejets

Les rejets sont des impuretés dans les papiers de récupération et consistent essentiellement en paquets de fibres (bûchettes), agrafes et morceaux de métal des cerclages de balles, sable, verre et plastique. On élimine ces rejets autant que faire se peut et le plus tôt possible dans la préparation de la pâte recyclée. Ils représentent environ 6,5 % des papiers de récupération achetés et n'offrent aucune possibilité de recyclage. Ils sont donc envoyés à la décharge ou incinérés. Si les résidus épaissis sont incinérés dans une installation adéquate pour l'environnement, par exemple des chaudières à lit fluidisé produisant de la vapeur, le résidu est réduit en cendre qui peut être soit utilisée dans l'industrie du bâtiment soit évacuée. Mais la possibilité de réutiliser les cendres résultant de l'incinération dépend de la demande du marché pour ce matériau. L'incinération sur place des rejets n'est possible que pour les usines de grande taille, qui produisent d'importantes quantités de déchets solides. Le tableau 5.16 illustre la composition type de rejets provenant du traitement de papiers récupérés (différences entre les matières premières et les produits).

Paramètre	Pourcentage des différentes fractions (%)	Valeurs moyennes pour une usine
Teneur en eau	45 %	33.3 %
Plastiques	25.9 %	
Fibres	27 %	
Verre et pierres	0.11 %	
Métaux	0.88 %	
Substances organiques	1.05 %	
Teneur en Cl des matières plastiques	5.45 %	
Teneur en Cl liée au combustible	1.43 %	1.21
Valeur calorifique $H_u$ (100 % DS)	23800 kJ/kg	25335
Valeur calorifique $H_u$ (55 % DS)	11991 kJ/kg	12828 kJ/kg
Notes :		
1) Moyenne pour 18 échantillons prélevés dans des papeteries allemandes à base de FCR		

**Tableau 5.16 - Composition des rejets provenant du traitement de papiers de récupération pour fabriquer du papier pour ondulé (4 à 6 % de rejets).**

**Qualités des papiers récupérés traités : principalement "papiers de récupération ménagers" et résidus de cartons ondulés.**

#### **Boues provenant de la récupération des fibres et du traitement primaire des effluents**

Ces boues sont produites lors de la récupération des fibres dans les circuits d'eau blanche et dans l'unité de traitement. Elles sont constituées de fibres en majorité courtes et de charges (respectivement 50 %) selon les FCR. Dans l'industrie du carton et du carton ondulé, elles sont souvent recyclées dans le processus. Pour les produits de qualité supérieure, elles ne satisfont pas aux exigences de qualité pour être recyclées, et elles sont incinérées ou envoyées à la décharge. Si l'on a procédé à un désencrage préalable, la boue contiendra peut-être une certaine quantité de particules d'encre et de pigments. La récupération des fibres contribue à minimiser la quantité de résidus. Le tableau 5.17 illustre la composition type provenant de la récupération des fibres et du traitement mécanique des eaux usées.

Paramètre	Unité	Fourchette des valeurs
Teneur en solides secs (DS)	%	29.4 - 52.7
Solides volatils	% DS	25.5 - 76.1
Plomb	mg/kg DS	10 - 210
Cadmium	mg/kg DS	0.01 - 0.98
Chrome <sub>total</sub>	mg/kg DS	8.8 - 903
Cuivre	mg/kg DS	19.9 - 195
Nickel	mg/kg DS	< 10 - 31.3
Mercure	mg/kg DS	0.1 - 0.89
Zinc	mg/kg DS	34.2 - 1320

**Tableau 5.17 - Composition des boues provenant de la récupération des fibres et du traitement primaire des effluent.**

**Synoptique des résultats complets de l'analyse chimique des déchets solides provenant de la fabrication du papier réalisée par le PTS en Allemagne, publiée dans [Manuel des déchets solides, 1996].**

### Boues de désencrage

Elles contiennent surtout des fibres courtes, des produits de couchage, des charges, des particules d'encre, des extraits et des additifs pour le désencrage. Les particules d'encre sont une source potentielle de métaux lourds mais, comme cela est illustré dans le tableau 5.18, les teneurs types en polluants des boues de désencrage présentent des compositions comparables à celles des boues de traitement biologique des effluents, avec des valeurs légèrement supérieures pour quelques substances telles que le cuivre et le zinc. On observe des variations significatives de la teneur en polluants des papiers de récupération que l'on retrouve dans les boues de désencrage.

Élément	Unité	Teneurs par kg de solides secs			
		Boue de désencrage(1)	Boue de désencrage(2)	Boue de désencrage (3)	Boues du traitement des eaux usées(1)
Cadmium (Cd)	mg	< 0.1	< 0.67	0.02 - 1.54	< 0.1
Mercure (Hg)	mg	< 0.1	0.08	0.1 - 0.89	< 0.1
Cuivre(Cu)	mg	350	238	64.2 - 345	40
Zinc (Zn)	mg	350	141	34.2 - 1320	250
Plomb(Pb)	mg	35	41	9.5 - 79.4	30
Nickel (Ni)	mg	5	5.7	< 10 - 31.3	10
Chrome (Cr)	mg	20	24(Cr <sub>total</sub> )	4.8 - 96.6	10
PCB's	µg	95	n.d.	< 300	5
Chlorophenols	µg	75	n.d.	n.d.	120
Volatile solids	%DS	n.d.	33.2	32.7 - 63.6	48

Notes :

(1) = Note néerlandaise sur les MTD, 1996

(2) = Echantillon représentatif d'une papeterie allemande

(3) = Synoptique des résultats complets de l'analyse chimique des déchets solides provenant de la fabrication du papier réalisée au PTS en Allemagne, publiée dans [Manuel des déchets solides, 1996]

n.d. = non déterminé

**Tableau 5.18 - Teneurs types en polluants des boues de désencrage par rapport aux boues des installations municipales de traitement des eaux usées (stations d'épuration).**

Les boues de désencrage sont normalement envoyées à la décharge ou incinérées. Les cendres peuvent servir de ressource pour les matériaux de construction.

### Boues provenant du traitement des effluents

Ces boues sont produites au niveau de l'installation de traitement biologique des effluents et elles sont soit recyclées dans le produit (carton ondulé standard et carton) soit épaissies, déshydratées puis incinérées (sur place ou en dehors du site), soit enfouies dans une décharge. Les autorités de nombreux États membres freinent la mise en décharge par enfouissement des déchets à forte teneur en matières organiques et celle-ci sera interdite à court terme. La directive de l'Union Européenne sur l'enfouissement des déchets ira dans le sens de cette tendance en fixant des objectifs pour réduire la quantité de déchets biodégradables (municipaux) envoyés à la décharge. La composition type et le potentiel de pollution des boues provenant du traitement biologique des eaux usées sont indiqués dans la colonne de droite du tableau 5.18 et dans le tableau 4.8.

#### 5.2.2.7 Émissions dans l'atmosphère

##### Émissions dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie

Les émissions dans l'atmosphère des usines de papier et de carton proviennent avant tout de la génération d'énergie (électricité et vapeur) et non du processus de fabrication proprement dit. Dans le cas des chaudières à gaz, les principaux polluants sont du CO<sub>2</sub> et des NO<sub>x</sub>, dans celui des chaudières à fioul ou à charbon, du CO<sub>2</sub>, des NO<sub>x</sub>, du SO<sub>2</sub>, des poussières et de faibles concentrations de métaux

lourds. Ces émissions se produisent sur le site. Dans de nombreux cas, l'usine achète l'électricité du réseau, de sorte que les émissions se produisent au niveau de la centrale. Le rapport des consommations électricité/vapeur des papeteries est tel qu'il autorise la co-génération de chaleur et d'énergie (CHP). De nombreuses papeteries ont recours à cette solution et, dans ce cas, toutes les émissions dans l'atmosphère associées à la consommation d'énergie se produisent sur le site. Les émissions types des installations in situ de co-génération de vapeur et d'énergie sont étudiées dans la Section 5.3.9 et celles de la génération de vapeur par combustion de différents types de combustibles (gaz, charbon, fioul) dans la section 6.3.1.5.

Il n'existe que quelques cas spéciaux où des émissions (mesurées en tant que carbone organique) peuvent provenir de la sécherie de la machine à papier. Dans ce cas, elles sont dues à l'utilisation d'additifs (produits chimiques d'enduction) ou à une mauvaise conception des circuits d'eau et des installations de traitement des eaux usées, mais elles sont le plus souvent peu inquiétantes. Par conséquent, les émissions dans l'atmosphère des papeteries sont essentiellement liées à la génération d'énergie.

### **Émissions dans l'atmosphère provenant de l'incinération sur le site de boues ou de rejets (en option)**

Le traitement des papiers de récupération et la fabrication du papier génèrent une quantité de déchets à forte teneur en matières organiques (par exemple papier, rejets, boues de désencrage et boues biologiques). Précédemment, ces déchets étaient envoyés à la décharge, mais de plus en plus de sociétés incinèrent leurs rejets et leurs boues dans des installations d'incinération intégrées qui produisent de l'énergie, laquelle est utilisée dans le processus de fabrication. Cette incinération est associée à des émissions dans l'atmosphère. Le tableau 5.19 donne des exemples de valeurs d'émissions provenant de l'incinération de déchets solides de papeteries à base de FCR. Ces valeurs concernent les polluants potentiels les plus importants.

Paramètre	Unité	Valeurs mesurées <sup>8</sup> (chiffres moyens pour 1997) Rejets d'une usine de papier d'emballage à base de FCR (sans désencrage)	Valeurs mesurées <sup>9</sup> (moyennes quotidiennes pour la période janv. à sept./ 1997) Rejets d'une usine de papier journal à base de FCR (avec désencrage) **	Valeurs limites selon la réglementation allemande (valeurs quotidiennes moyennes) ***
Poussières	mg/Nm <sup>3</sup>	3.2	6.6	10.0
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	26.0	1.2	50.0
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	195	'95: 271; '96: 227; '97: 176	200
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	14.1	14	50.0
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	1.7	2.6	10.0
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	0.06	Pas d'infos (n.d.)	1.0
Total-C	mg/Nm <sup>3</sup>	1.4	1.1	10.0
Cd, TI	µg/Nm <sup>3</sup>	< 17.0	(n.d.)	50.0
Hg	µg/Nm <sup>3</sup>	5	(n.d.)	50.0
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	µg/Nm <sup>3</sup>	71.0	(n.d.)	500
Dioxines/Furanes	ng I-TE/Nm <sup>3</sup>	0.097	(n.d.)	0.1

Notes explicatives :

Toutes les valeurs concernent des conditions standard et une teneur en oxygène de 11 % par volume

\* Données sur les émissions de l'incinération des rejets dans une installation de combustion à foyers multiples; le système d'épuration des gaz de fumées est doté d'un épurateur par voie humide en cascade pour éliminer les polluants acides (principalement SO<sub>2</sub> et HCl). Pour minimiser les émissions de dioxines, on injecte un mélange de carbone actif et de zéolithe dans le courant de gaz de fumées recyclés. La réduction des émissions de NO<sub>x</sub> s'obtient par la méthode SNCR avec injection d'ammoniac dans la chambre de combustion. Les émissions de poussière sont limitées grâce à une installation de précipitation électrostatique.

\*\* La réduction des NO<sub>x</sub> a été obtenue grâce à la méthode SNCR c'est-à-dire avec injection d'ammoniac; pour réduire l'émission de poussières, on utilise des sacs filtrants.

\*\*\* En conformité avec la Dix-septième Ordonnance sur la Mise en application de la Loi fédérale sur le contrôle des émissions (Ordonnance sur les incinérateurs de déchets et matériaux combustibles similaires), du 23 novembre 1990.

**Tableau 5.19 - Valeurs des émissions mesurées provenant de l'incinération des rejets et des boues de deux usines allemandes à base de FCR.**

La colonne de gauche concerne les valeurs des émissions mesurées pour une usine de papier d'emballage à base de FCR (sans désencrage). La colonne de droite indique les valeurs mesurées pour l'incinération de différents types de boues provenant d'une installation de désencrage (boues du traitement de l'eau brute et des eaux usées, boues de la clarification de l'eau de process et boues du désencrage) avant et après la mise en œuvre de mesures de réduction des NO<sub>x</sub>. Les valeurs sont comparées aux normes en vigueur en Allemagne.

### Émanations d'odeurs provenant des vapeurs et d'une installation de traitement des eaux usées (effet local)

On peut rencontrer des problèmes locaux au niveau de l'atmosphère dus à des émanations d'odeur et à des poussières grossières. Aucune mesure associée à une MTD ne sera donc identifiée étant donné qu'il s'agit de problèmes locaux.

En particulier dans le cas d'une mise en circuit fermé avec une consommation d'eau inférieure à 4 m<sup>3</sup>/t, le voisinage des papeteries risque de subir des nuisances olfactives dues aux acides organiques faibles et à H<sub>2</sub>S. Mais les usines où la mise en circuit fermé de l'eau est moins poussée peuvent aussi émettre des odeurs gênantes. Celles-ci peuvent être imputables à des temps de séjour trop prolongés de l'eau de process dans l'installation (canalisations, cuves etc.) ou à des dépôts de boue provoquant une fermentation et un dégagement de sulfure d'hydrogène. Si tel est le cas, on peut les éviter grâce à des mesures techniques adéquates au niveau du processus. L'installation de traitement des eaux usées peut

<sup>8</sup> Voir section 5.3.11, exemple 1

<sup>9</sup> Déclaration sur l'environnement 1997, Sachsen Papier Eilenburg GmbH.

elle aussi être une source importante de nuisances olfactives. Si ce traitement est bien conçu et conduit, on peut éviter ces nuisances.

**Poussières grossières provenant de la manipulation des matières premières (effet local)**

Les papiers récupérés sont stockés dans des parcs prévus à cet effet qui sont intégrés dans la papeterie. Pendant le transport du papier recyclé vers le pulpeur, il peut se former de la poussière, en particulier si les papiers de récupération sont livrés en vrac dans de grands conteneurs ou par chargements en vrac. La limitation de ces poussières relève plus de la sécurité industrielle que de la protection de l'environnement. Elle ne sera pas étudiée en détail ici.

**5.2.2.8 Bruit de la machine à papier (effet local)**

Les machines à papier peuvent être la source de nuisances sonores pour le voisinage. De nombreuses usines ont pris des mesures de lutte contre le bruit. Pour plus de détails sur les niveaux sonores des machines à papier, se reporter à la section 6.2.1.8. Outre le bruit, des vibrations (à basse fréquence) peuvent quelquefois provoquer des nuisances sur le plan local.



### 5.3 Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD

La présente section décrit toutes les techniques **applicables** couramment pour la prévention ou la réduction des rejets / déchets et pour réduire la consommation d'énergie et de matières premières, tant pour les nouvelles installations que pour les installations existantes. Par ces "techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD", on entend des solutions techniques alternatives présentant les meilleures performances environnementales et économiques ou des possibilités d'amélioration pour atteindre une prévention et une réduction intégrées de la pollution.

Ces techniques portent aussi bien sur des mesures internes que sur les traitements finaux avant rejet. Cela étant, il se peut que l'on observe un certain chevauchement entre les solutions internes au processus décrites ci-après et les mesures externes. Cette liste des techniques n'est pas exhaustive et pourra être complétée à l'occasion d'une révision du présent document.

Dans la description, on souligne les avantages et les inconvénients de leur mise en œuvre. Chaque technique est décrite selon le même plan, à savoir description, principaux niveaux d'émissions atteints, applicabilité, interactions entre les milieux, aspects économiques, données opérationnelles, installations de référence et bibliographie.

Certaines des mesures décrites dans la présente section ne sont valables que pour certains types spécifiques de papier à base de fibres récupérées (par exemple des papiers de récupération sans désencrage), alors que d'autres sont applicables quel que soit le type de papier produit. Les premières feront l'objet d'une mention particulière, autrement on considère que les mesures s'appliquent au traitement des papiers de récupération en général.

A quelques rares exceptions près, les usines utilisant des papiers de récupération intègrent une papeterie. Il existe donc un certain chevauchement entre l'un et l'autre. Dans ce cas, une référence croisée renvoie aux chapitres concernés.

Enfin, certains des principes et mesures visant à améliorer les performances s'appliquent aussi bien aux papeteries utilisant des pâtes à base de fibres recyclées (papiers de récupération) qu'à celles utilisant des fibres "vierges". Ces points feront également l'objet d'une référence croisée pour éviter les répétitions inutiles et pour montrer les similitudes et les différences dans la production de différentes sortes de papier.

Le tableau 5.20 donne un aperçu général des techniques permettant de réduire les émissions en provenance des installations de traitement des papiers de récupération. Le tableau indique, pour chaque technique, les éventuelles interactions entre les milieux (impacts intermilieux). Il en ressort qu'il n'est pas facile de décrire ces interactions de manière indiscutable. Il existe de nombreuses "zones d'ombre" dans leur évaluation. Elles peuvent en outre dépendre d'autres éléments. L'évaluation des interactions entre les milieux ne doit être considérée que comme une aide pour permettre aux exploitants et à l'Administration de déterminer quels peuvent être les effets secondaires éventuels d'une mesure, et elle ne constitue guère plus qu'un point de départ pour étudier les éventuels transferts de pollution. Les résultats de cette évaluation ne doivent pas être considérés comme des règles. D'autre part, des mesures de prévention et de limitation peuvent éviter certaines de ces interactions. Les paragraphes correspondants dans l'étude détaillée de chaque technique donnent des explications complémentaires. Le tableau peut aussi indiquer quel est le milieu (eau, air, déchets et énergie) visé par une mesure.

Dans les colonnes, on indique qualitativement la tendance des effets des différentes techniques sur la consommation de matières premières et les émissions à l'aide de flèches vers le haut "↑" ou vers le bas "↓". Les flèches vers le bas "↓" indiquent des économies de matières premières ou d'énergie et une réduction des émissions dans les différents milieux : eau, air et sol. Les flèches vers le haut "↑" indiquent un accroissement des émissions, de la consommation et des impacts sur le processus de production. Certaines des mesures visant à la prévention et à la réduction de la pollution présentées

dans la présente section concernent plus d'un milieu environnemental (eau, air ou sol) à la fois. Certaines techniques peuvent avoir un impact positif et/ou négatif sur d'autres milieux environnementaux ou sur la consommation d'énergie et de matières premières (interactions entre les milieux). Les effets constatés sont indiqués à l'aide des flèches. Une flèche entre parenthèses "(↑)" signifie qu'il s'agit d'un accroissement seulement léger - souvent négligeable - de la consommation d'énergie, de la quantité de matières premières utilisées ou des émissions dans l'environnement lorsqu'on applique une certaine mesure. Les aspects économiques (investissements, dépenses de fonctionnement) ne figurent pas dans le tableau mais sont commentés dans le texte. En principe, les données de caractère économique peuvent seulement fournir une image sommaire et indiquer le niveau des coûts. Ceux-ci varient selon la conception générale de l'installation et dépendent entre autres de la taille de l'usine et de la façon dont une technique s'intègre dans le reste des équipements.

Chaque technique reçoit un repère de référence qui facilite l'identification de la section correspondante du texte dans laquelle chaque technique est étudiée en détail.

Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD	Effets sur les niveaux de consommation et d'émissions (interaction entre les milieux)					
	Consommation de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (W)	Émissions dans les cours d'eau	Émissions dans l'atmosphère	Déchets solides	Applicabilité
5.3.1 Séparation entre les circuits d'eau peu polluée et d'eau polluée et recyclage	(↓)	↓	(↓)	0	0	tous les types
Gestion optimale de l'eau (disposition "en boucles" des circuits d'eau) et clarification	(↓)	↓	↓	0	(↓)	tous les types
Réduction de la consommation d'eau fraîche (propre) par une séparation rigoureuse des circuits d'eau	0	↓	(↓)	0	0	tous les types
Circuit fermé avec traitement biologique de l'eau de process en cours de fabrication	0	(↓)	↓	0	(↓)	"types bruns"
Techniques anaérobies en tant que première phase du traitement biologique de l'eau de process	0	↓ E	↓	(↓)	↓	"types bruns"
5.3.6 Traitement biologique aérobie de l'eau de process	(↑)	↑ E	↓	0	↑	tous les types
Modernisation des installations de préparation de la pâte, avec diminution de la consommation d'énergie et des émissions	0	(↓↑)dépend du concept choisi	0	0	(↓↑)	"types bruns"
5.3.8 Génération d'eau purifiée pour les installations de désencrage	(↑)	(↑)	(↓)	0	(↑)	types désencrés
5.3.9 Cogénération de chaleur et d'énergie	0	↓	0	0	0	tous les types
5.3.10 Traitement des rejets et des boues	↑	(↑)	0	0	0	tous les types
Utilisation et évacuation des résidus par des méthodes sans danger pour l'environnement (méthodes propres)	0	↓	(↓)	(↑)	↓	tous les types
Exemple 1 : incinération de rejets provenant d'usines utilisant des FCR, sans désencrage, pour produire de l'énergie	↑	(↓)	0	(↑)	↓	principalement "types bruns"
Exemple 2 : co-incinération de rejets provenant d'usines utilisant des FCR, sans désencrage, dans des centrales électriques à charbon	0	↓	0	(↑)	↓	principalement "types bruns"
Exemple 3 : incinération de résidus (rejets et boues) provenant d'usines utilisant des pâtes DIP, associée à la génération d'énergie et de vapeur						principalement "types blancs"
Notes : ↑ = augmentation; ↓ = baisse; 0 = pas d'impact (ou négligeable); (↑) ou (↓) = impact modéré selon les conditions;						

**Tableau 5.20 - Aperçu des techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD pour les usines utilisant des FCR; impacts réciproques entre les différents milieux ainsi qu'un commentaire sur l'applicabilité.**

### 5.3.1 Séparation entre les circuits d'eau peu polluée et d'eau polluée et recyclage de ces eaux de process

#### Description de la technique

Cette mesure entre dans le cadre d'une gestion optimale de l'eau dans les papeteries, qui est une tâche complexe revêtant de nombreux aspects. Pour donner une idée générale, les principes fondamentaux des mesures internes visant à réduire la consommation d'eau fraîche et les rejets des usines utilisant les papiers récupérés (fonctionnement en circuit fermé) sont exposés ci-dessous. Dans chaque cas, un renvoi est fait aux sections du document où l'on trouvera des renseignements plus détaillés.

- Recours à des techniques adaptées pour séparer l'eau peu polluée de l'eau de process polluée. Les mesures à envisager sont la séparation et la réutilisation de l'eau de refroidissement et la réutilisation des eaux d'étanchéité et des eaux de process peu polluées utilisées dans les installations à vide. Cette mesure est étudiée ci-après.

- Réduction de la consommation d'eau fraîche par recyclage de l'eau blanche en différents points, en fonction des qualités requises de l'eau. Les points du processus qui présentent un intérêt particulier lorsqu'il s'agit de réduire la consommation d'eau fraîche sont la dilution des matières premières fibreuses et des charges, la dilution des agents auxiliaires pour le processus et les produits, les rinceurs, l'installation à vide et l'eau d'étanchéité des pompes à vide, et les agitateurs (voir sections 5.3.2 et 6.3.1).
- Réduction de la consommation d'eau fraîche par le biais d'une séparation rigoureuse des boucles d'eau, associée à des écoulements à contre-courant (voir section 5.3.3).
- Production d'eau purifiée à partir d'eau blanche pour remplacer l'eau fraîche, habituellement réalisée dans l'unité de récupération des fibres grâce au recours à des grilles courbes, à des filtres polydisques (voir section 6.1.3) ou à la flottation avec injection d'air dissous (voir section 5.3.8).
- Mesures visant à compenser les éventuels effets négatifs d'un recyclage plus poussé de l'eau de process (voir section 6.3.2).
- Dans certains cas, on procède à une nouvelle purification de l'eau blanche purifiée (voir section 6.3.3). Cette eau purifiée satisfait à des critères de qualité relativement élevés.

La séparation entre les eaux de refroidissement propres et les effluents du processus et leur réutilisation pour d'autres usages sont également des solutions pour réduire la consommation d'eau. Il est recommandé d'installer une protection sous forme de micro-tamis ou tout autre filtre pour éliminer les solides. Si des fractions d'eau de refroidissement sont envoyées dans les égouts, il convient d'éviter de les mélanger à l'eau de process polluée afin de garantir l'efficacité du traitement des eaux usées et de réduire le coût du traitement.

Le matériel le plus courant pour réaliser le vide, la pompe à anneau liquide, consomme de l'eau d'étanchéité (eau des "joints" hydrauliques) et de l'eau de process (environ 1 l/mn par kW installé [tm 007, JP 1994]). L'énergie nécessaire pour une machine à papier journal pouvant atteindre jusqu'à 3 000 kW, la consommation d'eau d'étanchéité et de process serait de quelque 7 m<sup>3</sup>/t. L'eau d'étanchéité sera polluée par les fibres et la température augmentera lorsqu'elle traverse la pompe à anneau liquide. On peut réduire considérablement les besoins en eau fraîche pour l'étanchéité et le process des pompes à anneau liquide en recyclant l'eau provenant des pompes au moyen d'échangeurs de chaleur ou de tours de refroidissement. C'est une pratique courante dans de nombreuses papeteries européennes. Quelquefois, l'eau de process pour la pompe à anneau liquide doit être clarifiée avant d'entrer dans l'échangeur de chaleur. On peut aussi être obligé de contrôler le pH dans le circuit de recyclage.

Il sera peut-être nécessaire d'augmenter la capacité de stockage de l'eau de process de manière à éviter les débordements indésirables d'eau recyclée suite à une rupture ou à une autre situation de déséquilibre. Cette augmentation de capacité implique habituellement la mise en place de bacs supplémentaires, de canalisations et de pompes.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Mesure intégrée dans le processus. Cette séparation et réutilisation des eaux de refroidissement propres et de l'eau des installations de vide et des eaux d'étanchéité est possible dans les usines aussi bien existantes que nouvelles. Elle est relativement facile à mettre en œuvre dans une installation nouvelle, mais plus compliquée à intégrer dans les usines existantes. Cela dit, la séparation de l'eau de refroidissement et son recyclage après sa séparation sont une méthode courante. Cela vaut également pour le recyclage des eaux d'étanchéité.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Cette mesure a une incidence significative sur la réduction des besoins en eau fraîche et le rejet d'eaux usées. Dans les usines existantes, on peut atteindre une réduction de 10 à 15 m<sup>3</sup>/ADt de la consommation d'eaux de refroidissement. La séparation entre l'eau de refroidissement et les effluents pollués de la machine à papier peut contribuer à réduire la charge hydraulique vers la station de traitement des effluents.

Avec un recyclage bien conçu de l'eau d'étanchéité, il est possible de ramener la consommation d'eau fraîche pour les pompes à anneau liquide à moins de 1 m<sup>3</sup>/t. Simultanément, si l'on utilise des échangeurs de chaleur, on pourra récupérer une partie de l'énergie.

### **Interactions entre les milieux**

Aucun impact important sur l'environnement. Quelques économies d'énergie sont possibles.

### **Expériences opérationnelles**

La séparation et le recyclage des eaux les moins polluées est une pratique courante dans nombre d'usines européennes, mais le degré de recyclage varie.

### **Aspects économiques**

Le recyclage des eaux de refroidissement et d'étanchéité nécessite naturellement des investissements pour les canalisations, le pompage et la filtration de l'eau. L'augmentation des capacités de stockage implique normalement la mise en place de bacs supplémentaires. On ne dispose pas de données sur les coûts spécifiques. A côté des coûts liés à la mise en œuvre des mesures décrites ci-dessus, on peut s'attendre à une baisse des dépenses, par exemple pour le traitement de l'eau brute et la consommation d'énergie.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La réduction de la consommation d'eau via le recyclage de l'eau la moins polluée est une mesure rationnelle du point de vue économique. De nombreux pays tentent de décourager le rejet de fractions d'eaux de refroidissement et d'étanchéité peu polluées avec l'eau de process contaminée.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

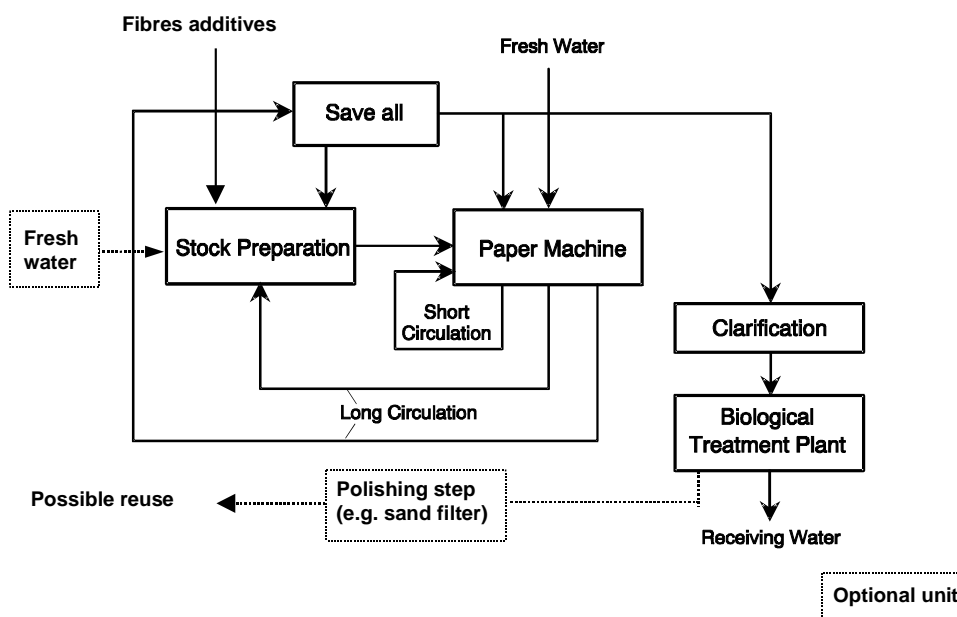
### **Bibliographie**

[CEPI, 1997], [J. Pöyry, 1994b).

## **5.3.2 Gestion optimale (disposition "en boucle" des circuits d'eau) et clarification de l'eau**

### **Description de la technique**

Les boucles d'eau dans la fabrication du papier sont généralement conçues pour minimiser la consommation d'eau fraîche. Dans les systèmes actuels, l'eau de process est réutilisée plusieurs fois, comme l'illustre la figure 5.10.



**Figure 5.10 - Schéma des circuits d'eau dans les papeteries. [ISP, 1998; modifié par EIPPCB]**

Le principe fondamental de la réutilisation de l'eau de process est son recyclage, à contre-courant de la circulation des fibres. Toutes les papeteries utilisent de l'eau blanche non traitée, enrichie avec des fibres, en provenance de la machine à papier pour diluer la pâte dans la caisse de tête (circuit court ou primaire) ou dans la préparation de la pâte (circuit long ou secondaire).

Une partie de l'eau blanche est clarifiée dans les ramasse-pâte (section 6.1.3) par filtration (filtres polydisques, filtres à tambour), flottation (filtration avec injection d'air dissous, DAF) ou sédimentation (décanteurs, séparateurs à lames). L'eau clarifiée est alors réutilisée en remplacement de l'eau fraîche, par exemple pour les rinceurs servant à nettoyer les revêtements du matériel d'épuration (grillages métalliques, feutres). L'eau clarifiée excédentaire est rejetée vers la station de traitement des eaux usées. Dans certains cas, l'eau purifiée est partiellement réutilisée comme eau de process, par exemple pour les papiers pour ondulé et papiers couverture et, dans une moindre mesure, pour le papier journal.

Dans la production de papiers pour ondulé et papiers couverture, on peut atteindre une réduction minimisée de la consommation d'eau fraîche de l'ordre de 4 à 7 m<sup>3</sup> d'eau fraîche par tonne de papier. Quelques usines européennes fonctionnent même avec de l'eau circulant entièrement en circuit fermé. Dans ces usines, la consommation d'eau fraîche est de 1,0 à 1,5 m<sup>3</sup> par tonne de papier. Cela correspond au volume d'eau qui s'évapore à la sécherie de la machine à papier.

Dans de nombreuses papeteries, l'eau fraîche ne sert qu'à diluer les adjuvants chimiques, et aux emplacements de la machine à papier où l'on a besoin d'une eau parfaitement propre. Mais la mise en circuit fermé de l'installation d'eau de process présente à la fois des avantages et des inconvénients. Une mise en circuit fermé poussée se traduit par une eau de process fortement chargée de composés organiques et inorganiques colloïdaux et dissous qui peuvent poser de graves problèmes dans le processus de production si l'on ne prend pas de mesures adéquates pour en éviter les inconvénients possibles (voir 6.3.2). Le tableau 5.21 récapitule quelques-uns des avantages et des inconvénients des installations d'eau en circuit fermé.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- consommation d'eau réduite</li> <li>- moins de prélèvements dans la nappe phréatique</li> <li>- moins de pré-traitement de l'eau fraîche d'appoint</li> <li>- moins de rejets d'eaux usées</li> <li>- accroissement de la production non limité par le traitement final avant rejet</li> <li>- baisse des pertes de fibres et de charges</li> <li>- température élevée du processus → meilleur égouttage sur la toile en partie humide</li> <li>- demande d'énergie réduite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- accumulation de solides (en suspension)</li> <li>- accumulation de substances organiques et inorganiques</li> <li>- processus plus compliqués</li> <li>- problèmes de corrosion</li> <li>- consommation accrue d'additifs</li> <li>- encrassement du matériel</li> <li>- problèmes de qualité des produits</li> <li>- entartrage et formation de slimes</li> <li>- élévation de la température de l'eau de process (peut aussi être un avantage, voir colonne de gauche)</li> </ul>

**Tableau 5.21 - Quelques avantages et inconvénients des installations d'eau en circuit fermé dans les papeteries. (Notes néerlandaises sur les MTD, 1996]**

Dans les installations d'eau à circuit entièrement fermé (applicable uniquement à la production de papiers couverture et pour ondulé), on peut rencontrer des problèmes supplémentaires graves qu'il faut résoudre :

- baisse significative de la teneur en oxygène de l'eau de process, proche des conditions anaérobies, associée à une réduction du sulfate en sulfure d'hydrogène induite par les micro-organismes, et à la formation d'acides gras de faible poids moléculaire malodorants.
- croissance accrue des micro-organismes.
- corrosion accrue due à la température élevée et à des teneurs élevées en chlorures, sulfates et acides organiques.
- émission significative, dans les alentours de la papeterie, de composés organiques malodorants provenant de la partie sécherie de la machine à papier.
- mauvaise qualité du papier produit, et problème d'odeurs du papier.
- besoin plus important d'antislimes.

La plupart de ces problèmes apparaissent lorsque les niveaux de consommation d'eau fraîche sont inférieurs à 4 à 7 m<sup>3</sup>/t de papier. Pour pouvoir contrôler ces problèmes, certaines usines ont ouvert à nouveau leur circuit d'eau qu'elles avaient fermé et fonctionnent actuellement avec environ 2,5 à 5,0 m<sup>3</sup>/tonne de papier produit.

Compte tenu de contraintes environnementales locales, au milieu des années 90, quelques papeteries européennes ont mis en œuvre de nouvelles méthodes pour être en mesure de contrôler les conditions exigeantes inhérentes à la fermeture des circuits (voir section 5.3.4). Elles ont mis en place des mesures internes pour réduire la charge organique de l'eau de process.

Afin de pouvoir faire face à tous les problèmes qui se posent lors de la mise en circuit fermé et satisfaire aux exigences de qualité du papier, on considère souvent qu'une consommation d'eau fraîche de 4 à 7 m<sup>3</sup>/tonne de papier produit est nécessaire. Cela correspond à un volume spécifique d'effluents de 2,5 à 5,5 m<sup>3</sup>/tonne de papier produit (1,5 m<sup>3</sup>/tonne évaporé en sécherie). Du fait de leur rapport DBO<sub>5</sub>/DCO favorable, ces effluents peuvent être traités très efficacement dans des installations combinées anaérobie/aérobie ou aérobie (voir 5.3.5).

Dans les usines de papier journal à base de FCR (qualité désencrée), les volumes d'effluents les plus faibles communiqués descendent jusqu'à environ 7 m<sup>3</sup>/t et se situent normalement dans une fourchette de 10 à 15 m<sup>3</sup>/t.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Mesure intégrée dans le processus. Pour les papiers d'emballage "bruns", la consommation d'eau fraîche peut être ramenée à un niveau de 4 à 7 m<sup>3</sup>/tonne de papier produit dans les usines existantes comme dans les usines nouvelles. Toutefois, il semble que l'on ne puisse y parvenir à moindres frais que dans le cas des usines nouvelles ou récemment modernisées. Dans les installations anciennes dont la consommation d'eau fraîche est plus élevée, cette réduction peut entraîner des phénomènes de corrosion, en fonction de la qualité des matériaux utilisés pour les machines et les tuyauteries. En outre, il faut optimiser les installations existantes de traitement des effluents.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

La mise en circuit fermé se traduit par une moindre génération d'effluents, mais avec une concentration plus élevée de polluants organiques dans les circuits d'eau. Pour les papiers couverture et pour ondulé, le fait de ramener la consommation d'eau fraîche à un niveau de 4 à 7 m<sup>3</sup>/tonne de papier produit augmente la DCO de l'eau de process jusqu'à un niveau de concentration adapté au traitement anaérobie de l'effluent (qui a l'avantage de générer du biogaz). Dans les installations de désencrage, la fermeture des circuits est limitée par les propriétés demandées au papier (degré de blancheur, pureté). Il est possible de ramener le débit des eaux usées à d'environ 10 m<sup>3</sup>/t. Celles-ci sont généralement traitées par la voie aérobie (lit bactérien et/ou installations à boues activées).

### **Surveillance des émissions**

Les dispositifs de surveillance sont constitués par des débitmètres pour l'alimentation en eau fraîche de la machine à papier et des mesures de turbidité pour l'eau blanche claire.

### **Interactions entre les milieux**

L'intensification de la réutilisation de l'eau de process augmente sa température. Cela permet de réduire la consommation de vapeur pour amener l'eau de process à la température requise. Une consommation d'eau fraîche de 4 à 7 m<sup>3</sup>/tonne de papier produit minimise le risque de génération d'odeurs. Le traitement anaérobie des effluents génère du biogaz qui subvient aux besoins énergétiques de l'usine (voir section 5.3.5).

### **Données opérationnelles**

La production de papiers couverture et de papiers pour ondulé avec une consommation spécifique d'eau fraîche de 4 à 7 m<sup>3</sup>/tonne de papier produit est chose courante. Les faits montrent que cette fourchette de consommation d'eau fraîche n'a pas d'incidences négatives sur les caractéristiques de fonctionnement des machines à papier ni sur la qualité du papier. Les expériences sont satisfaisantes même dans les installations existantes, et les machines à papier actuelles sont bien adaptées à leur application. Un certain nombre d'installations fabriquant du carton ondulé de bonne qualité sont en service en Europe.

### **Aspects économiques**

En minimisant la consommation d'eau fraîche, on réduit les coûts inhérents au traitement de l'eau fraîche et au traitement des effluents. Les mesures mises en œuvre dépendent des conditions spécifiques à chaque papeterie. Il est donc impossible d'indiquer des coûts précis. Mais il est nécessaire de prévoir une capacité de stockage suffisante pour l'eau blanche.



### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La mise en circuit fermé peut être liée à un traitement efficace des effluents (réduction des investissements et des dépenses de fonctionnement et meilleure efficacité de l'élimination). Les facteurs ayant motivé la mise en œuvre de mesures pour réduire la consommation d'eau fraîche sont les suivants :

- réduction des dépenses liées à l'eau fraîche (dans certains pays)
- réduction des dépenses liées au traitement des effluents
- réduction des dépenses liées aux taxes sur les rejets
- conditions environnementales locales.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe fonctionnent avec une consommation d'eau ramenée au niveau indiqué.

### **Bibliographie**

[IFP, 1998], [Notes néerlandaises sur les MTD, 1996], [Mönnigmann, 1996]

## **5.3.3 Réduction de la consommation d'eau fraîche par une séparation rigoureuse des circuits**

### **Description de la technique**

Le recyclage de l'eau de process des papeteries à base de FCR repose sur le principe fondamental selon lequel le circuit de l'eau blanche doit se faire à contre-courant. Dans une usine intégrée de pâte et de papier, l'unité de fabrication de la pâte, l'unité de blanchiment (si elle existe) et la papeterie ont chacune leur propre circulation d'eau blanche, et l'excédent d'eau est renvoyé chaque fois vers l'unité précédente où la qualité de l'eau joue un rôle moins important. L'unité de blanchiment utilise l'excès d'eau blanche de la machine à papier au lieu d'eau fraîche, et l'excès d'eau de cette unité de blanchiment est utilisé à son tour à la place d'eau fraîche dans la papeterie.

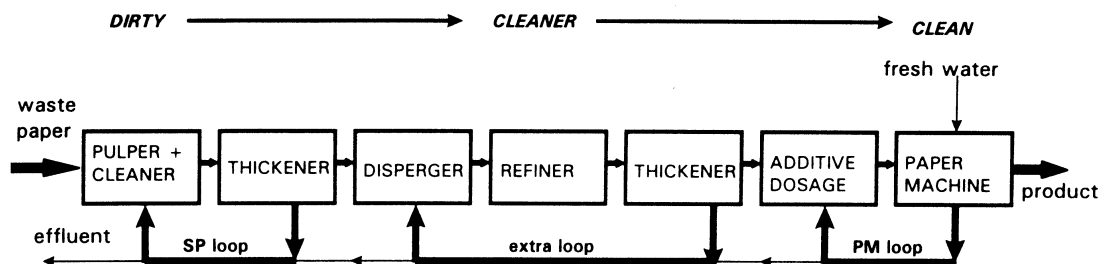
On économise ainsi des quantités considérables d'eau fraîche, qui n'est plus utilisée en principe que comme appoint dans l'installation de la machine à papier.

Toutefois, les usines qui fabriquent des papiers à usage sanitaire et domestique ont quelquefois besoin d'eau fraîche pour assurer un lavage efficace des feutres des machines.

Il est très important de réduire au maximum la quantité d'eau blanche de l'installation de blanchiment vers la machine à papier. De cette façon, on minimise les perturbations dues à la mauvaise qualité de l'eau.

La séparation entre les circuits est réalisée au moyen de filtres épaisseurs, ou de presses à vis. La figure 5.11 illustre le concept proposé pour une papeterie néerlandaise qui vient d'étudier la possibilité de mise en circuit fermé. L'épaisseur supplémentaire permet d'améliorer la séparation entre la préparation de la pâte "sale" et la machine à papier "propre", ce qui entraîne une réduction importante des substances organiques pénétrant dans le circuit de la machine à papier.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> On peut connaître, avec une bonne approximation, le facteur de diminution de la charge en question en considérant le rapport entre le volume qui arrive dans le circuit de la machine à papier en provenance de la préparation de la pâte, et le volume total qui arrive dans le circuit de la machine à papier. Ce rapport représente le degré de dilution des eaux polluées dans les eaux fraîches "propres".



**Figure 5.11 - Conception des circuits dans une papeterie avec séparation des circuits et circulation à contre-courant.**

**SP = préparation de la pâte; PM = machine à papier [RIZA, 1997a]; dans cet exemple, on a calculé que la quantité de DCO qui va du pulpeur à la machine à papier peut être réduite d'un facteur d'environ 2 à 4.**

#### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Cette mesure intégrée dans le processus peut être appliquée aux installations aussi bien nouvelles qu'anciennes.

#### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Réduction de la consommation d'eau fraîche, éventuelle réduction de la charge en DCO dans les rejets et pas d'augmentation de la concentration dans le circuit de la machine à papier, d'où amélioration des caractéristiques de marche du processus. Le taux de réduction dépend essentiellement de la situation avant les mesures d'amélioration et du système de traitement des effluents mis en œuvre après. Les améliorations obtenues en ce qui concerne l'environnement doivent être considérées comme faisant un tout avec le traitement externe des effluents liquides appliqué. Une séparation rigoureuse des circuits ouvre de bonnes perspectives pour éliminer les substances indésirables (traitement interne). Pour un complément d'information sur les traitements internes, se référer aux sections 5.3.4, 5.5.4, 6.3.3 et 6.5.1.

Les mesures visant à réduire les émissions dans les eaux de surface sont souvent étroitement liées à la réduction de la consommation d'eau fraîche. La mise en circuit fermé de l'installation d'eau ne réduit pas la charge polluante mais génère moins d'eaux usées avec des concentrations plus élevées. Cela permet d'améliorer le rendement du traitement des effluents. Il y a moins d'effluents à épurer et, de façon générale, les effluents concentrés peuvent être traités plus efficacement.

Le recyclage des eaux de process et l'accroissement de la capacité de stockage permet de réduire les quantités d'effluents, mais pas dans la même mesure qu'avec des techniques de collecte et de séparation des eaux de refroidissement chaudes et propres.

Les avantages respectifs d'une moindre consommation d'eau fraîche et d'une mise en circuit fermé sont les suivants :

- diminution des volumes d'effluents, l'installation de traitement peut être construite sur la base de capacités inférieures et pour un moindre coût. Les polluants sont plus concentrés, ce qui contribue souvent à améliorer l'efficacité de l'élimination.
- diminution du coût de l'eau brute

- diminution des pertes de fibres et de charges
- diminution de la consommation d'énergie
- les températures plus élevées dans les circuits d'eau de process permettent d'accélérer l'égouttage sur la toile de la machine à papier.

La demande d'eau fraîche dans une installation moderne utilisant des papiers récupérés peut être ramenée à 1 m<sup>3</sup>/tonne. De ce fait, cette installation ne consomme que 10 % seulement de la demande totale d'eau fraîche d'une usine intégrée moderne de papier journal à base de fibres recyclées (≈10 m<sup>3</sup>/tonne).

Toutefois, une fabrique de papiers à usage sanitaire et domestique a quelquefois besoin d'importantes quantités d'eau fraîche pour assurer l'efficacité du lavage des feutres de la machine à papier. Dans les usines sans désencrage, on n'a pas besoin d'eau fraîche pour la préparation de la pâte.

### **Interactions entre les milieux**

La séparation des circuits et l'utilisation d'épaississeurs entraîne un changement important dans la composition de la boucle d'eau de la machine à papier en ce qui concerne les niveaux de substances organiques et inorganiques (par exemple, la demande anionique). Cela entraînera un changement des adjuvants dans la partie humide, ce qui à son tour aura des répercussions sur les niveaux de DCO. Dans certaines applications, la mise en place d'une boucle supplémentaire peut faire baisser la température dans le circuit de la machine à papier, par exemple lorsque ce circuit est séparé du disperseur et du raffineur qui jouent le rôle de dispositif de chauffage pour l'eau de process (voir figure 5.11).

### **Expériences opérationnelles**

Le principe de base, circulation de l'eau blanche à contre-courant, ne peut être appliqué dans les usines intégrées de pâte et de papier/carton. A quelques rares exceptions près, les fabriques de pâte recyclée intègrent une papeterie. Dans la préparation de la pâte, la pureté de l'eau de process est moins critique que pour l'eau blanche de la machine à papier. Par conséquent, au pulpeur on utilise dans une très grande mesure l'excédent d'eau blanche clarifiée provenant de la machine à papier.

Il faut contrôler les inconvénients de la mise en circuit fermé des circuits d'eau (voir 6.3.2). Sinon, l'accumulation de matières en suspension ainsi que de substances organiques ou inorganiques dissoutes dans le circuit d'eau blanche risque d'avoir des répercussions négatives (voir 5.3.3).

### **Aspects économiques**

Le coût de cette mesure dépend du nombre et de la nature des modifications nécessaires au niveau des circuits d'eau et du type des installations supplémentaires.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La principale raison à la base du recyclage de l'eau de process est la réduction de la charge des effluents. Un facteur local pourrait être la réduction de la consommation d'eau de la nappe phréatique.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1994b]. [RIZA, 1997a]

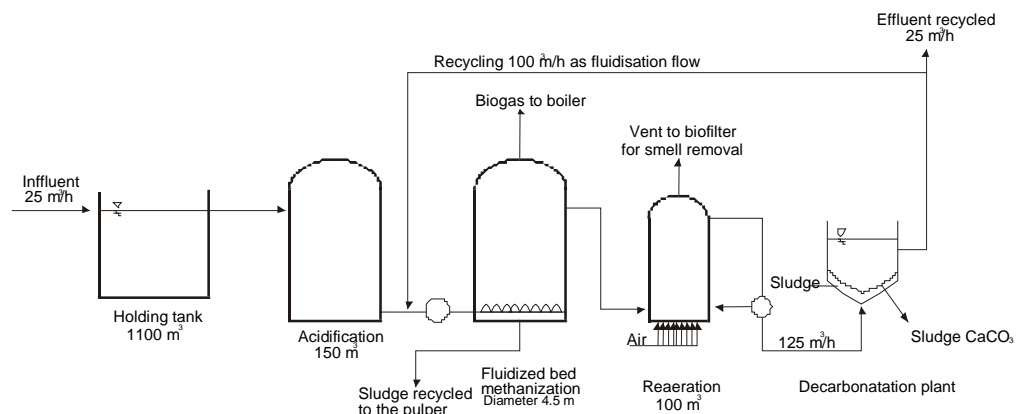
### 5.3.4 Fermeture des circuits avec traitement biologique intégré (traitement "en ligne")

Cette technique ne doit être prise en considération que pour les MTD pour les "papiers bruns" fabriqués à partir de papiers de récupération. Le principe de base, le traitement d'un effluent partiel du process par voie physique et biologique, présente un intérêt pour de nombreuses autres usines de papier. On peut considérer que les installations de traitement des effluents jouent le rôle d'un « rein » dans les circuits d'eau entièrement fermés.

#### Description de la technique

Quelques usines produisant du papier pour ondulé et du papier couverture en Europe et en Amérique du Nord ont réussi à ramener leurs rejets à zéro et exploitent une installation d'eau dite "en circuit fermé". Toutefois, l'accumulation inévitable de matières organiques colloïdales ou dissoutes dans les circuits provoque de nombreux problèmes tels que corrosion, odeur désagréable du papier et également des buées d'extraction des machines à papier. Afin de réduire la pollution organique de l'eau de process, les techniques couramment utilisées pour le traitement final des effluents avant rejet ont été adaptées pour réaliser un traitement au sein de l'usine. Une partie des effluents est soumise à un traitement biologique et l'eau épurée est réutilisée dans la fabrication du papier. Le principal avantage de ce traitement est qu'il suffit d'éliminer une partie seulement de la charge en DCO pour maintenir un niveau constant de polluants dans les circuits. C'est ce qui constitue l'intérêt économique de ce traitement. Actuellement, il existe différentes solutions techniques différentes. Deux d'entre elles sont sommairement décrites ci-après :

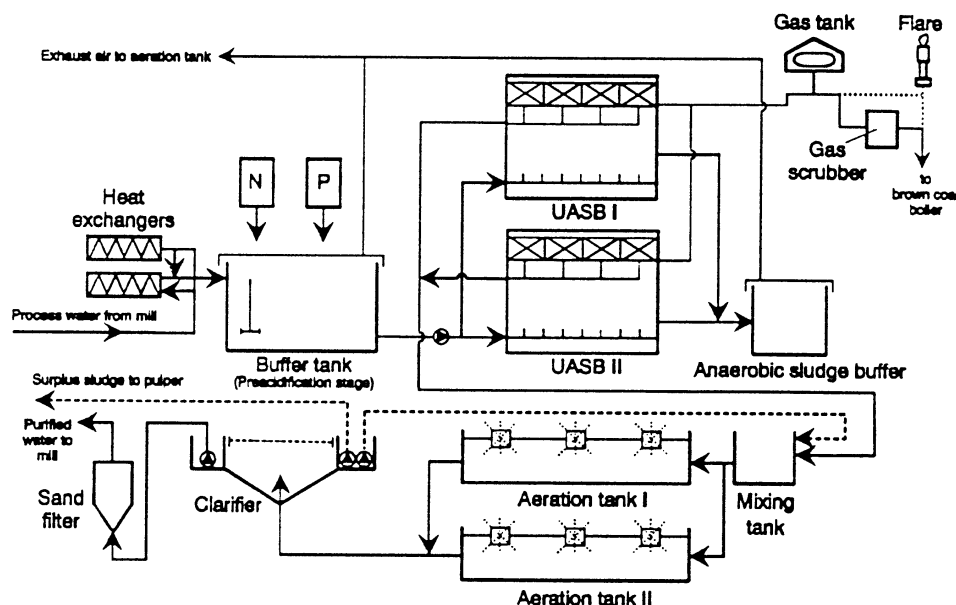
Solution 1 : traitement anaérobie suivi d'une étape de ré-aération et d'une installation de décarbonatation. Après un traitement physique destiné à éliminer les fibres récupérables, une partie de l'eau de process est purifiée dans une installation de traitement et réutilisée comme eau de process. La boucle de déconcentration se compose d'un traitement anaérobie dans un réacteur à lit fluidisé complété par une phase de ré-aération pour convertir les sulfures en sulfates, et d'une installation de décarbonatation pour éviter que le carbonate de calcium n'entarte le réacteur anaérobie et d'autres parties de l'installation.



**Figure 5.12 - Exemple de traitement interne de déconcentration dans une usine "zéro effluent" fabricant du papier pour ondulé [Niovelon, 1997].**

Solution 2 : traitement anaérobie combiné avec une installation à boues activées et un filtre à sable. Une partie des effluents est refroidie pour ramener la température de l'eau de 55 à 35 °C. On utilise un réservoir tampon/réacteur de pré-acidification pour préconditionner l'eau avec des substances nutritives avant de l'envoyer dans le réacteur UASB. Après ce réacteur, on procède à un traitement aérobie dans deux bassins d'aération en parallèle. Après être passé par un clarificateur, l'eau traitée est envoyée vers les filtres à sable pour réduire sa concentration en MES. Le biogaz produit dans les réacteurs anaérobies est lavé (épuré) pour éliminer  $H_2S$  puis utilisé pour la génération de vapeur.

La figure 5.13 représente un schéma simplifié du traitement de l'eau de process.



**Figure 5.13 - Exemple de traitement interne dans l'usine en circuit fermé de Zuelpich Papier GmbH, Papier Recyclé Europe [Diedrich, 1997].**

Le traitement interne permet d'atteindre le niveau désiré de DCO dans les circuits en fonction du débit traité et de la taille de l'installation. La solution zéro rejet n'implique pas qu'il faut atteindre un taux élevé de la réduction de la pollution en conformité avec les exigences légales, mais simplement des

taux de concentration acceptables dans les circuits pour que les produits papetiers présentent de bonnes caractéristiques. Quand la concentration en DCO est maintenue aux alentours de 7 000 à 8 000 mg/l dans le circuit d'eau fermé, la qualité de l'eau de process est identique à celle des usines avec un volume moyen habituel d'effluents de l'ordre de 3 à 4 m<sup>3</sup>/t.

### **Applicabilité et caractérisation**

Technique intégrée au processus. En théorie, la fermeture des circuits avec traitement biologique interne peut être appliquée aux papeteries nouvelles aussi bien qu'existantes. Mais plusieurs raisons font que cette technique n'est pas généralement considérée comme une MTD. La principale est la précipitation du carbonate de calcium dans le circuit de l'eau de process et aussi dans les installations de traitement aérobie et anaérobie. Le contrôle de la concentration en calcium dans l'eau blanche est une opération très complexe qui n'est pas entièrement comprise. Il faut encore mettre au point des solutions techniques pour résoudre ce problème. En outre, pour pouvoir mettre en œuvre un traitement biologique interne dans une papeterie existante, il faut optimiser l'ensemble du circuit eau-fibre, ce qui peut demander quelques années voire se révéler irréalisable, en particulier dans les usines les plus anciennes. Néanmoins, un petit nombre de papeteries en Europe, qui fabriquent du carton ondulé standard, procèdent au recyclage d'une partie de l'eau après un traitement biologique.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

La mise en circuit fermé avec traitement interne se traduit par l'absence d'émissions dans le milieu aquatique (zéro émission). Dans le cas d'une papeterie sans effluent, le principe du traitement interne peut être une mesure efficace pour réduire la « pollution » du papier produit et la génération d'odeurs à la machine à papier.

Une papeterie allemande fabriquant depuis 1970 du papier pour ondulé et du papier couverture absolument sans effluents (sans installation de traitement biologique interne) a considérablement amélioré la qualité de l'eau de process, la qualité du papier et les émissions de substances organiques dues aux buées des extracteurs des machines à papier après le démarrage d'une installation de traitement biologique interne réalisée en 1995.

### **Surveillance des émissions**

Dans les usines "zéro effluent", on n'a pas besoin de surveiller les émissions dans le milieu aquatique récepteur.

### **Interactions entre les milieux**

Les techniques anaérobies pour le traitement interne réduisent la génération de biomasse excédentaire. Celle-ci peut être soit réutilisée dans la fabrication, soit incinérée pour récupérer l'énergie. La demande d'énergie de l'installation de traitement (pompes, aérateurs, agitateurs) est couverte en totalité par l'utilisation thermique du biogaz généré. Par rapport au circuit entièrement fermé d'eau sans traitement "en ligne", la concentration des composés malodorants dans l'eau de process (par exemple acides formiques, acide acétique, acide propionique et acide lactique) peut être réduite de 95 %. Le résultat est une diminution significative des émissions de ces substances organiques dans les buées de la machine à papier, d'où une réduction importante des nuisances olfactives.

### **Expériences opérationnelles**

Dans une usine allemande qui a appliqué la solution 2, le traitement biologique de l'eau de process a démarré en septembre 1995 et a atteint le rendement escompté au bout de quelques semaines. Depuis, cette usine fonctionne sans problèmes particuliers. Néanmoins, les problèmes dus à la précipitation du carbonate de calcium dans les tuyauteries et le bassin d'aération doivent encore être résolus. Des mesures pour réduire cette précipitation sont toujours à l'étude.

Pour assurer la fiabilité hydraulique de la mise en circuit fermé, on ne peut introduire en permanence que 50 % du courant d'eau qui s'est évaporé dans la section séchage de la machine à papier (environ 1 m<sup>3</sup>/t), c'est-à-dire qu'il faut procéder à une modification interne des circuits de manière à réduire la consommation d'eau.

L'usine française recourant à un traitement en ligne avec décarbonatation (solution 1) n'a atteint les conditions de fonctionnement prévues qu'en mars 1997 seulement. L'eau de process circulait en circuit entièrement fermé. Selon l'usine, cette mesure n'a apparemment pas eu d'incidences défavorables sur les caractéristiques de marche de la machine à papier ni sur la qualité du papier produit.

### **Aspects économiques**

Les installations anaérobies demandent moins d'équipements que le traitement aérobie, avec des dépenses de fonctionnement moins élevées, et elles permettent d'économiser l'énergie grâce à la production de méthane. Pour la solution 1, on a indiqué un investissement de 2,5 millions d'Euros (y compris le bassin tampon, le bac d'acidification, le réacteur anaérobie, l'unité de ré-aération avec filtre biologique). La décarbonatation a nécessité un investissement supplémentaire de 0,5 million d'Euros [1].

Pour une installation de traitement réalisée en Allemagne selon la solution 2, le montant des investissements indiqué est de 6 MEuros (dont 1 MEuros sous forme de subvention). Les dépenses de fonctionnement annuelle globales, incluant les produits chimiques, l'évacuation du soufre séparé, le personnel et la maintenance, se chiffrent à 165 000 Euros, en incluant les économies nettes d'énergie de 13 000 Euros/an. Dans l'hypothèse d'une production de papier de 360 000 tonnes/an et d'une quantité d'eau de process traitée de 1 000 000 m<sup>3</sup>/an, on obtient des dépenses spécifiques de fonctionnement de 0,5 Euro/tonne de papier et 0,2 Euro/m<sup>3</sup> d'eau de process. Les frais spécifiques comprenant les investissements en capital et les dépenses de fonctionnement sont respectivement de 1,8 Euro/tonne de papier et 0,7 Euro/m<sup>3</sup> d'eau de process [2].

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Les papeteries fabriquant du papier pour ondulé et du papier couverture sont quelquefois implantées au bord de rivières servant à l'alimentation en eau potable ou de petits cours d'eau susceptibles de présenter des taux de pollution inacceptables en période d'étiage. Afin de garantir une qualité acceptable de l'eau, les autorités locales fixent, pour les cours d'eau, des normes rigoureuses en matière de rejets, basées sur les objectifs de qualité de l'eau définis pour la rivière. Dans certains cas, le traitement des eaux usées en bout de canalisation ne permet pas aux papeteries de satisfaire à ces normes en matière de rejets. Elles sont donc obligées d'envisager une mise en circuit entièrement fermé. Mais cette mesure a des répercussions négatives sur la qualité du papier et les émissions de vapeur des machines à papier. Pour éviter un accroissement de la teneur en sel, de la dureté de l'eau et de la concentration en acides gras volatiles nauséabonds, une mesure possible consiste en un traitement biologique en cours de fabrication de l'eau de process. Mais il faudra poursuivre les recherches pour résoudre le problème de la précipitation du carbonate de calcium et quelques autres problèmes secondaires.

### **Installations de référence**

Fabrique de papiers d'emballage Lecoursonnois, Mennecy/France; Zülrich Papier- Recycled Paper Europe, Zülrich/Allemagne; Tillmann, Allemagne.

### **Bibliographie**

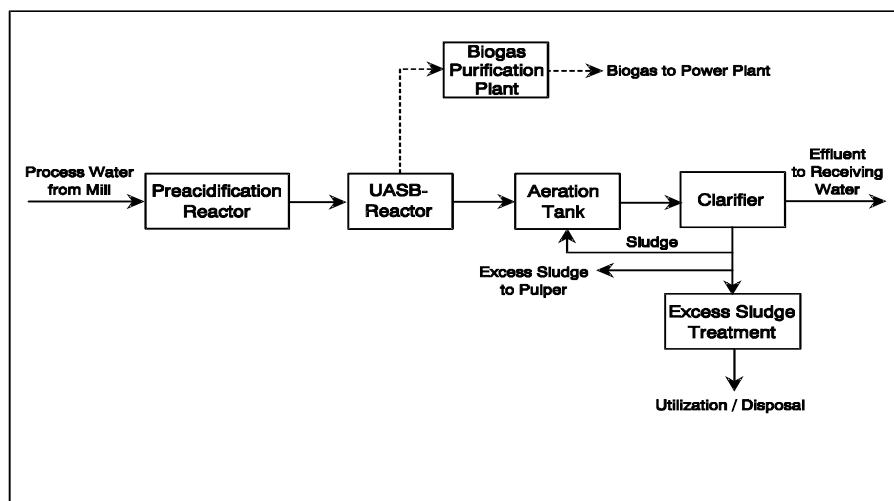
[Nivelon, 1997], [Rapport UBA 7041, 1996], [Diedrich, 1997].

### 5.3.5 Techniques anaérobies en tant que première phase du traitement biologique

Cette technique doit être prise en considération dans la détermination des MTD principalement pour les "papiers bruns" fabriqués à partir de papiers de récupération. Mais, théoriquement, le traitement anaérobie ou le traitement combiné aérobie/anaérobie peut également être envisagé pour les qualités désencrées, car son applicabilité dépend surtout de la teneur en DCO des eaux usées. Mais les expériences pratiques sont très peu nombreuses pour les qualités désencrées.

#### Description de la technique

Une mise en circuit fermé poussée de l'installation d'eau dans les papeteries utilisant du papier recyclé entraîne des concentrations élevées de substances organiques dissoutes dans l'eau de process. C'est pourquoi, avant d'être rejetées dans les milieux aquatiques récepteurs, ces eaux de process doivent être purifiées au moyen d'un traitement biologique. Les traitements biologiques combinés aérobie et anaérobie permettent d'atteindre une réduction significative de la charge organique de ces eaux usées. La figure 5.14 illustre, par un schéma simplifié, la structure d'une installation de traitement combiné aérobie/anaérobie des eaux usées.



**Figure 5.14 - Schéma simplifié d'une installation de traitement combiné aérobie/anaérobie des eaux usées. [IFP, 1998]**

Comme réacteurs anaérobies, on peut utiliser les systèmes suivants :

- réacteur à contact
- réacteur UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : à lit de boue ascendante)
- réacteur à lit fixe
- réacteur à lit fluidisé

Le principal objectif des différents types de réacteurs est d'assurer une concentration élevée de biomasse à l'intérieur du réacteur. On y parvient soit en recyclant de la biomasse après sédimentation dans un séparateur extérieur (système du réacteur à contact) ou en fixant la biomasse sur un milieu support à l'intérieur du réacteur (réacteur à lit fixe, à lit fluidisé ou UASB). Les réacteurs peuvent fonctionner sous forme d'unités simples ou d'unités modulaires combinées. Les types de réacteurs qui fonctionnent avec un milieu support pour la biomasse sont particulièrement bien adaptés pour des charges en DCO élevées. Le biogaz, essentiellement un mélange de méthane et de dioxyde de carbone résultant de la dégradation anaérobie des polluants de l'eau de process, peut être utilisé comme source d'énergie après la désulfuration. Comparé au traitement aérobie des effluents, ce traitement produit beaucoup moins de biomasse pendant le processus de dégradation anaérobie.



Les effluents traités par la méthode anaérobie ne satisfont pas aux exigences relatives aux concentrations finales de DCO et DBO. C'est pourquoi le traitement anaérobie n'est habituellement pas utilisé seul. Les effluents subissent toujours un traitement ultérieur aérobie.

Pour que le recours aux techniques anaérobies en tant que première phase du traitement biologique des effluents soit économiquement rentable, la charge en DCO ne devrait pas être inférieure à 2 000 mg/l. Les papeteries produisant des "papiers bruns" avec une faible consommation d'eau fraîche atteignent facilement ce niveau. Celles fabriquant des qualités désencrées peuvent aussi l'atteindre avant tout traitement. Néanmoins, il n'existe que très peu d'exemples de traitement anaérobie/aérobie des eaux usées pour les types de papiers désencrés [Driesen]. Le processus de dégradation anaérobie pourrait être perturbé par le sulfate dissous, si la concentration dépasse 1 000 mg/l car, pendant le processus anaérobie, le sulfate est transformé en sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) qui est toxique pour les micro-organismes anaérobies. Normalement, le niveau toxique n'est pas atteint.

### **Applicabilité et caractérisation**

Lorsqu'on ajoute un traitement anaérobie avant le traitement aérobie dans une installation existante, il est possible de réduire la capacité requise des installations de traitement aérobie. En principe, on ne rencontre pas de problèmes pour ajouter une étape préalable de traitement anaérobie à une installation de traitement aérobie lorsque la composition de l'eau de process, la charge DCO et la teneur en sulfates autorisent ce traitement anaérobie. L'addition d'un stade de pré-traitement anaérobie est une mesure adaptée lorsque le stade aérobie a atteint sa capacité maximale et est probablement surchargé.

Les installations combinées de traitement anaérobie/aérobie doivent avant toute chose être considérées comme des traitements finaux avant rejet. Cela dit, compte tenu des efforts déployés pour contrôler la mise en œuvre d'additifs chimiques (par exemple agents d'épuration, antimousse, antislimes) dans le circuit de fabrication du papier dans le but de protéger les micro-organismes anaérobies sensibles dans l'installation de traitement, le traitement biologique est une mesure de protection de l'environnement intégrée dans le processus.

Certaines papeteries procèdent à des essais portant sur le recyclage dans le circuit d'eau d'une partie des effluents ayant subi un traitement biologique. Les principaux problèmes auxquels elles se heurtent encore sont l'accumulation de chlorures, de sulfates et de calcium dans l'eau de process, source de corrosion et de précipitation du carbonate de calcium et d'entartrage des canalisations, toiles et feutres. La précipitation du carbonate de calcium est un problème complexe qui doit encore faire l'objet de travaux de recherche.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Les rendements du traitement dans les réacteurs anaérobies dépendent de la conception de l'installation et des conditions de fonctionnement. Les rendements types se situent dans une fourchette de 60 à 85 % pour l'élimination de la DCO et 85 à 95 % pour la DBO. Le rendement global de combinaison des techniques anaérobie et aérobie se situe dans une fourchette de 95 à 97 % pour l'élimination de la DCO et 99,0 à 99,8 % pour la DBO. La charge organique dans l'effluent est ramenée, respectivement, à 0,5/1,5 kg DCO/tonne de papier produit et à 0,02/0,1 kg DBO/tonne de papier.

Une papeterie allemande fonctionnant à 100 % avec des FCR (sans désencrage) a fait état d'une amélioration de l'efficacité du traitement en recourant à la méthode combinée anaérobie/aérobie par rapport à un traitement aérobie à deux étapes. Elle a atteint les valeurs annuelles moyennes suivantes :

Paramètre	Unité	Traitement aérobie 2 étapes	Traitement anaérobie/aérobie
Concentration DCO	mg/l	290	190
Concentration DBO <sub>5</sub>	mg/l	21	12
Charge DCO	kg/t	0.93	0.68

**Tableau 5.22 - Valeurs annuelles moyennes de l'effluent traité d'une usine allemande produisant du papier et du carton à base de 100 % FCR sans désencrage.**

Dans les installations avec traitement combiné anaérobie/aérobie, la demande d'énergie pour 1 tonne de DCO éliminée (principalement pour le pompage et l'aération) est d'environ 200 à 300 kWh, alors que dans les installations aérobies, cette même demande est de 500 à 600 kWh.

Le volume de biogaz produit pendant la dégradation anaérobie est compris entre 400 et 600 m<sup>3</sup>/tonne de DCO éliminée. La teneur en méthane est située dans une fourchette de 65 à 75 %. Étant donné que la valeur calorifique du méthane est de 35,7 MJ/m<sup>3</sup>, l'énergie résultant de l'utilisation thermique du biogaz dans une centrale électrique CHP est comprise entre 1 900 et 2 900 kWh/tonne de DCO éliminée, dans l'hypothèse d'un rendement de 75 % de la centrale. L'utilisation du biogaz en tant qu'énergie ne couvre pas seulement la demande globale d'énergie de l'installation de traitement anaérobie/aérobie. Une partie de l'énergie produite (environ 70 à 80 %) peut être utilisée pour la fabrication du papier.

### Surveillance des émissions

Le principal paramètre utilisé pour contrôler les résultats des techniques de traitement anaérobie et aérobie des eaux usées est la DCO, qui est analysée en principe sur une base quotidienne. Pour les systèmes anaérobies, le taux de production du biogaz, qui est mesuré en permanence à l'aide d'un compteur à gaz, est un autre paramètre important de contrôle, de même que le mesurage en continu des teneurs en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, et H<sub>2</sub>S du biogaz.

### Interactions entre les milieux

Le pré-traitement anaérobie contribue à réduire significativement la production de boues excédentaires. Par rapport au seul traitement aérobie des eaux usées, dans une installation de traitement combiné anaérobie/aérobie, la production de biomasse est réduite de 70 à 80 %. On peut renvoyer la boue excédentaire dans le processus de fabrication du papier. Toutefois, cette dernière solution n'est applicable que dans certains cas spécifiques. La proportion de boue par rapport à la production est inférieure à 1 %. Après la désulfuration, le biogaz produit peut être utilisé comme combustible dans la centrale électrique des usines, en remplacement des combustibles fossiles.

### Données opérationnelles

Des installations de traitement combiné anaérobie/aérobie sont en service depuis 1990/91. Par rapport aux installations procédant au seul traitement aérobie, elles semblent être des systèmes stables eu égard aux variations des charges de DCO et aux substances toxiques et inhibitrices contenues dans l'eau de process. Elles présentent une disponibilité proche de 100 %.

Les matières en suspension avec des concentrations de plus de 200 mg/l pourraient soulever des problèmes dans les systèmes anaérobies, en particulier dans les réacteurs à lit fixe. Dans certains réacteurs UASB, on a observé une désintégration lente des pellets (boulettes) de biomasse. Dans ce cas, on peut remplacer la biomasse par de nouvelles boulettes d'autres réacteurs UASB de manière à maintenir le rendement du réacteur. Le pré-traitement anaérobie réduit considérablement la tendance à la prolifération filamenteuse dans la phase aérobie qui suit. La boue excédentaire résultant de la phase aérobie peut être recyclée sans aucun problème dans le processus de production du papier.

### Aspects économiques

Le montant des investissements requis pour des installations de traitement combiné anaérobie/aérobie des effluents dépend dans une large mesure de la charge DCO spécifique et du volume des effluents. En postulant des charges DCO de 20 à 35 tonnes/j, ce qui correspond à une production annuelle de 200 000 à 350 000 tonnes de papiers pour ondulé et de papiers couverture, l'investissement est de l'ordre de 7 à 12 MEuros.

Si l'on tient compte des économies nettes d'énergie réalisées en utilisant le biogaz produit en tant que combustible, les dépenses de fonctionnement, y compris les produits chimiques et les moyens de production, l'évacuation des déchets, le personnel et la maintenance, se situent dans une fourchette de 0,6 à 1,0 Euro/tonne de papier produit.

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

La raison la plus importante pour installer des systèmes combinés anaérobie/aérobie pour le traitement biologique de l'eau de process est qu'ils sont plus stables par rapport aux fluctuations des charges de DCO que les systèmes faisant appel au seul traitement aérobie. Un autre motif est la production de biogaz, que l'on peut utiliser comme combustible dans les centrales électriques. Ce biogaz couvre non seulement la demande d'énergie de l'installation de traitement, mais il y reste un excédent d'énergie qui peut servir dans le processus de fabrication. Enfin, il faut tenir compte de la quantité considérablement réduite de boues excédentaires produites. En recourant aux techniques combinées anaérobie/aérobie au lieu de la seule technique aérobie à un ou deux stades, la production de boues est réduite de 70 à 80 %. Ce fait est particulièrement intéressant pour les papeteries qui ne possèdent pas d'installations spécifiques pour exploiter les boues excédentaires en vue de produire de l'énergie et ne recyclent pas ces boues dans le processus de production, et qui doivent donc procéder, à grand frais, à leur évacuation à l'extérieur.

### Installations de référence

De nombreuses installations anaérobies sont exploitées en tant que première étape du traitement des eaux usées dans les papeteries européennes produisant des papiers couverture et pour ondulé. Il en existe une douzaine, par exemple en Allemagne, dont 9 utilisent le système UASB, deux le principe des réacteurs à lit fixe et une est équipée d'un réacteur à contact.

### Bibliographie

[Koepp-Bank, 1991], [Hamm, 1991], [Driessen], [IFP, 1998].

## 5.3.6 Traitement biologique aérobie

Voir également 6.3.9

### Description de la technique

Le traitement biologique aérobie des effluents provenant des papeteries utilisant des papiers de récupération est utilisé depuis plus de 20 ans pour en éliminer les substances organiques consommant de l'oxygène et les composés organiques spécifiques. Ces substances sont converties en biomasse, dioxyde de carbone et eau au moyen de différents procédés de traitement biologique. Les traitements à boues activées aérobies à faible charge sont très répandus. La teneur en substances nutritives des effluents des papeteries à base de papiers récupérés est généralement faible. Par conséquent, pour assurer un fonctionnement efficace du traitement biologique, il est nécessaire de procéder à l'addition

contrôlée de phosphore et d'azote. Afin de limiter les problèmes d'eutrophisation, il faut prévenir un surdosage et des émissions indésirables de ces substances nutritives.

### Applicabilité et caractérisation

S'applique aussi bien aux usines existantes qu'aux nouvelles.

### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Le rendement possible d'élimination se situe dans la fourchette 95 à 99 % pour la DBO<sub>5</sub> et 75 à 90 % pour la DCO. Le tableau 5.23 récapitule les données concernant les effluents que l'on peut obtenir grâce au traitement par les boues activées à faible charge.

Paramètre	Concentrations et charges possibles pour les usines à base de fibres recyclées avec désencrage		Rendement typique de l'élimination [%]
	mg/l	kg/t	
<b>Concentration DBO<sub>5</sub> après traitement</b>	< 20 (pouvant descendre jusqu'à 5)	0. 21	95 - 99
<b>DCO après traitement</b>	< 230	2.3	80 - 85
<b>MES</b>	< 30	0.2	99
<b>Volume des rejets</b>	11 m <sup>3</sup> /t		

**Tableau 5.23 - Données relatives aux résultats obtenus avec des boues activées à faible charge dans la production de papier et de carton à partir de fibres de récupération.**

[Notes néerlandaises sur les MTD, 1996] et mesures réalisées sur des effluents de papeteries allemandes utilisant les fibres recyclées sans désencrage].

Lorsqu'on a recours aux traitements biologiques combinés anaérobie/aérobie, l'efficacité de l'élimination est habituellement légèrement supérieure (voir 5.3.5). Le rendement global du traitement dépasse 99 % pour l'élimination de la DBO<sub>5</sub> et 95 % pour l'élimination de la DCO. Mais, jusqu'à présent, la mise en œuvre du traitement anaérobie est limitée aux papeteries utilisant les papiers de récupération sans désencrage. Aux Pays-Bas, les eaux usées de trois papeteries à base de FCR sont traitées simultanément dans une installation anaérobie/aérobie. L'une de ces usines est une installation avec désencrage. Il existe des essais prometteurs à l'échelle du laboratoire en vue d'appliquer le traitement biologique combiné anaérobie/aérobie également aux installations avec désencrage.

Il semble qu'il soit possible de recycler une partie de l'eau après le traitement biologique. Il existe au moins une usine de papier journal utilisant 100 % de papiers récupérés en tant que matière première qui utilise sans problème environ 10 % de l'effluent traité (boues activées + filtre à sable) dans l'usine de papier.

### Surveillance des émissions

Habituellement, les principaux paramètres des effluents sont mesurés quotidiennement ou au moins plusieurs fois par semaine. Des mesures supplémentaires pour contrôler le circuit des boues activées sont également nécessaires, par exemple la teneur en O<sub>2</sub>, le SVI (Sludge Volume Index = Indice de Mohlmann), le débit d'eau et des analyses de la biomasse.

### **Interactions entre les milieux**

Le traitement aérobie produit de la boue en excès qui doit être déshydratée, puis de nouveau traitée. Une valeur type pour les installations de boues activées est de l'ordre de 0,6 kg de boue excédentaire/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée (sous forme de solides secs) qui est générée pendant le traitement. Ainsi, selon la qualité des papiers de récupération et la conception du processus, on peut prévoir quelque 10 kg de boue excédentaire en provenance du traitement biologique par tonne de papier (base matière sèche). On a besoin d'énergie pour l'aération de la biomasse active (boues activées) et pour les pompes.

La consommation d'énergie nécessaire pour la dégradation/élimination de 1 kg de DBO<sub>5</sub> s'élève à 0,6 à 3 kWh/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée. Si le système est bien conçu, on peut atteindre une valeur de < 1 kWh / DBO<sub>5</sub> éliminée [Möbius, 1997]. Cette valeur peut aussi servir à comparer les dépenses de fonctionnement de divers systèmes de traitement.

Pendant la période d'été notamment, les installations peuvent être la source de mauvaises odeurs. Mais si ce traitement est bien conçu et bien conduit, on peut éviter ces nuisances olfactives.

### **Expériences opérationnelles**

Le traitement biologique aérobie des effluents provenant des papeteries à base de FCR est utilisé avec succès depuis plus de 20 ans. Il faut contrôler le phénomène de développement filamentueux.

### **Aspects économiques**

On ne dispose de données concernant les coûts que pour une papeterie intégrée fabriquant du papier à partir de pâte mécanique. Le système de traitement des effluents est comparable à celui utilisé pour le traitement des effluents du traitement des papiers de récupération. Par conséquent les chiffres relatifs aux coûts peuvent donner un aperçu sommaire de la plage des coûts auxquels on peut s'attendre. Le montant des investissements pour une installation de traitement à boues activées entièrement neuve est de l'ordre de 13,0 à 15,5 MEuros pour une usine nouvelle intégrée de pâte mécanique et de papier d'une capacité de 1000 ADt/j. Ce montant inclut également le traitement primaire indispensable et le traitement des boues. Les dépenses de fonctionnement correspondantes s'élèvent à 1,2 à 1,5 MEuros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

De nombreux États membres ont fixé des exigences concernant les effluents des papeteries, qui considèrent généralement le traitement biologique comme MTD sur le plan sectoriel. Par conséquent, la plupart des papeteries utilisant des fibres recyclées doivent mettre en place des systèmes à boues activées ou d'autres types de traitement ayant une efficacité identique.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations de traitement aérobie sont en service en Europe dans les papeteries produisant du papier à partir de fibres de récupération désencrées.

### **Bibliographie**

[Notes néerlandaises sur les MTD 1996], [Möbius, 1997b], [CEPI, 1997b]

### 5.3.7 Amélioration des installations de préparation de la pâte, avec diminution de la consommation d'énergie et des rejets

La description suivante s'applique essentiellement aux usines utilisant les papiers de récupération *sans* désencrage, telles que celles produisant des emballages (papier de couverture, pour ondulé). Cependant, les principes de base sont valables pour toutes les usines à base de papiers récupérés. Les usines avec désencrage peuvent présenter des options supplémentaires dans les unités de désencrage.

#### Description de la technique

Les objectifs dépendent des priorités fixées par l'entreprise concernée, par exemple améliorer l'élimination des petites impuretés et des contaminants pour accroître la qualité des produits et le rendement de la machine à papier, récupérer plus de fibres des déchets et réduire ainsi les pertes de fibres ou faire des économies d'énergie. Un autre objectif peut être la simplification du circuit de préparation de la pâte, qui se traduit par une diminution de la consommation d'énergie, des pertes de matière et de l'espace nécessaire. On étudie les solutions possibles pour supprimer les étapes de dispersion et d'épuration traditionnelles, grosses consommatrices d'énergie, afin de simplifier la préparation de la pâte, en particulier pour les qualités "brunes". En revanche, on peut envisager des procédés comportant un nombre plus élevé d'étapes, pour fabriquer des papiers à usages spéciaux ou répondre aux besoins des clients (produits "haut de gamme").

Le traitement des papiers de récupération a pour tout premier objectif de supprimer les composants autres que les fibres (par exemple plastiques, métaux, bois, sable) et d'éliminer les substances indésirables, telles que les stickies, la poix ou les petits fragments non désintégrés (flocons ou agglomérats) de papiers résistants à l'état humide. Le second objectif est le traitement des fibres proprement dites pour contrôler la qualité du papier à produire. Pour l'atteindre, on peut fractionner les fibres en fibres longues ou courtes avant de continuer à les traiter. Par exemple, un raffinage basse intensité améliore l'aptitude à la liaison des fibres recyclées, avec pour résultat de meilleures caractéristiques de résistance du papier produit, et la dispersion améliore l'homogénéité optique du papier.

Pour chaque traitement spécifique de la pâte recyclée, il existe des opérations particulières. Ainsi, les processus d'épuration doivent comporter deux à quatre étapes de façon à réduire les pertes de fibres dans le dernier stade de chaque processus. Pour obtenir des caractéristiques de marche adéquates de la machine à papier, il est également capital de mettre en œuvre des stades d'épuration supplémentaires dans le circuit de pâte en tête de la machine à papier. Cela empêche les dépôts provenant des parois des bacs ou des canalisations d'arriver dans la caisse de tête et la partie humide de la machine à papier. Ces dépôts entraîneraient des ruptures de la toile et des immobilisations de la machine. Il convient de trouver un équilibre entre pureté de la pâte, pertes de fibres, besoins en énergie et coûts, qui dépend dans une certaine mesure de la qualité du papier produit.

Nous étudions ci-après quelques-unes des différentes solutions techniques existantes pour concevoir les installations de préparation de la pâte, y compris leurs principaux avantages et inconvénients, et leurs implications pour la demande d'électricité.

La figure 5.15 illustre quatre exemples de concepts d'installations de préparation de la pâte pour traiter des papiers récupérés destinés à la fabrication de papier de couverture double épaisseur. On a choisi ce type de papier comme exemple en raison de l'importance de son tonnage pour les papeteries européennes et parce qu'on disposait de renseignements facilement accessibles. Le tableau 5.24 résume les principales caractéristiques de ces quatre exemples et la demande d'électricité, et donne certaines explications concernant la structure de l'installation de préparation de la pâte. Les chiffres de la demande d'électricité des quatre systèmes sont calculés à partir de la demande spécifique d'électricité pour les différentes unités du processus, telle qu'elle figure dans le tableau 5.25 ci-après. Ces chiffres doivent être considérés comme une approximation proche de la réalité. Les usines réelles peuvent présenter des valeurs légèrement supérieures ou inférieures.







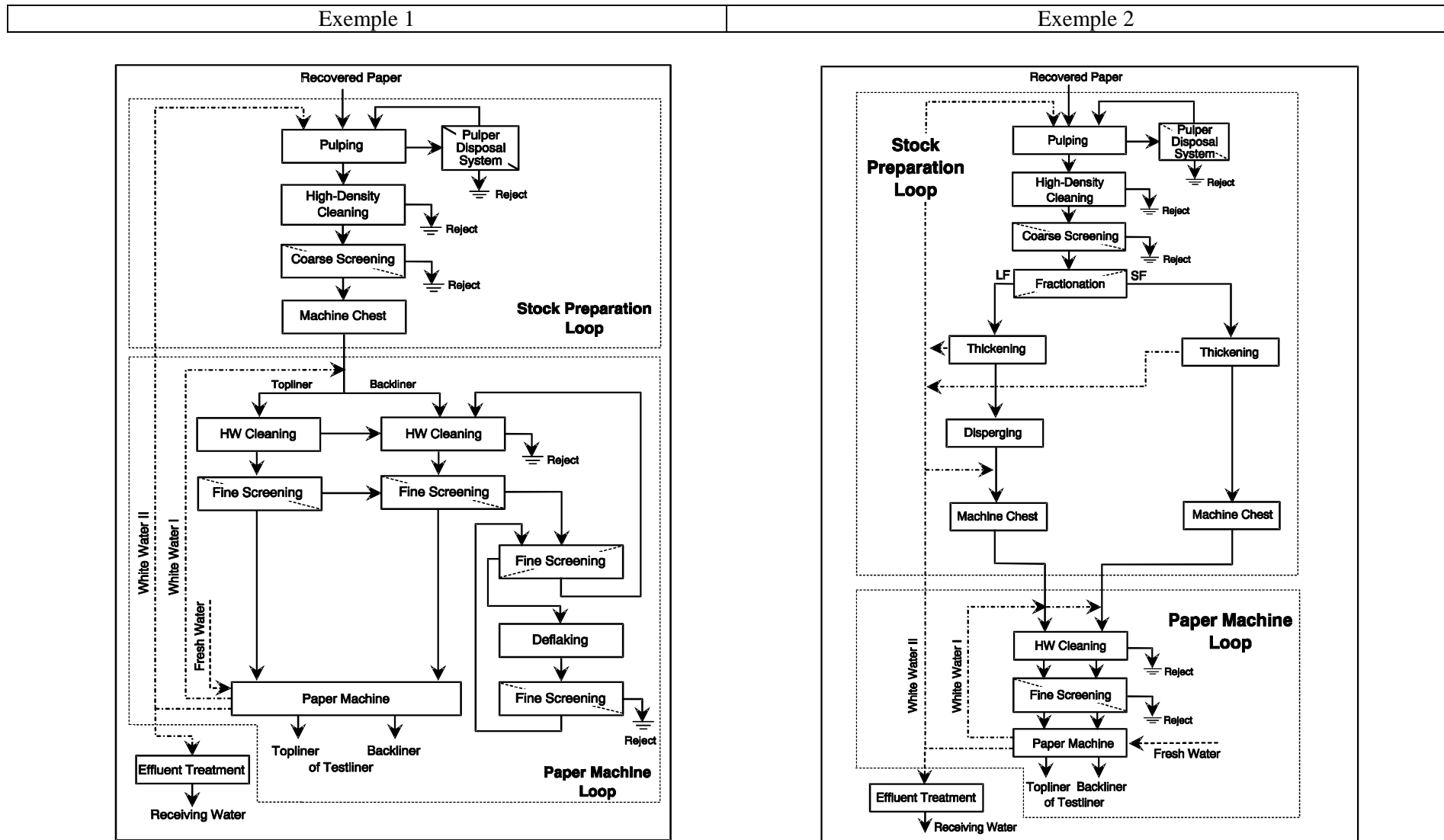
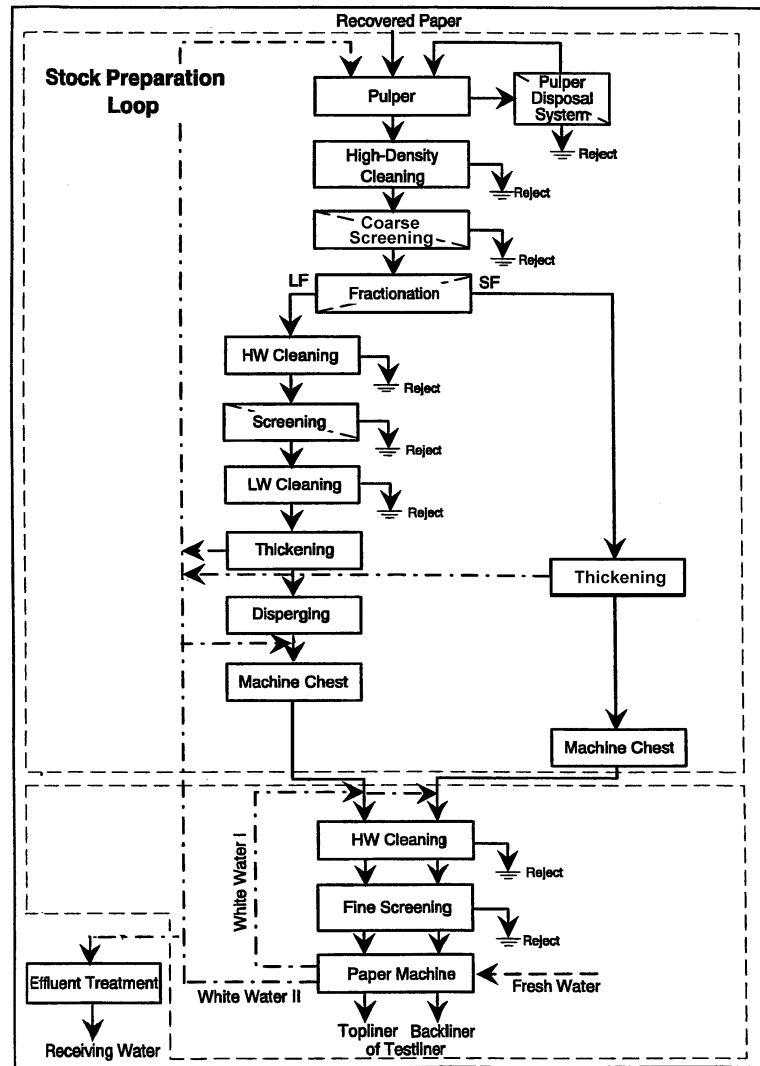


Figure 5.15 - 4 exemples d'installations de préparation de la pâte en vue du traitement de papiers de récupération pour la fabrication de papier de couverture double épaisseur. [IFP, 1998]

Exemple 3



Exemple 4

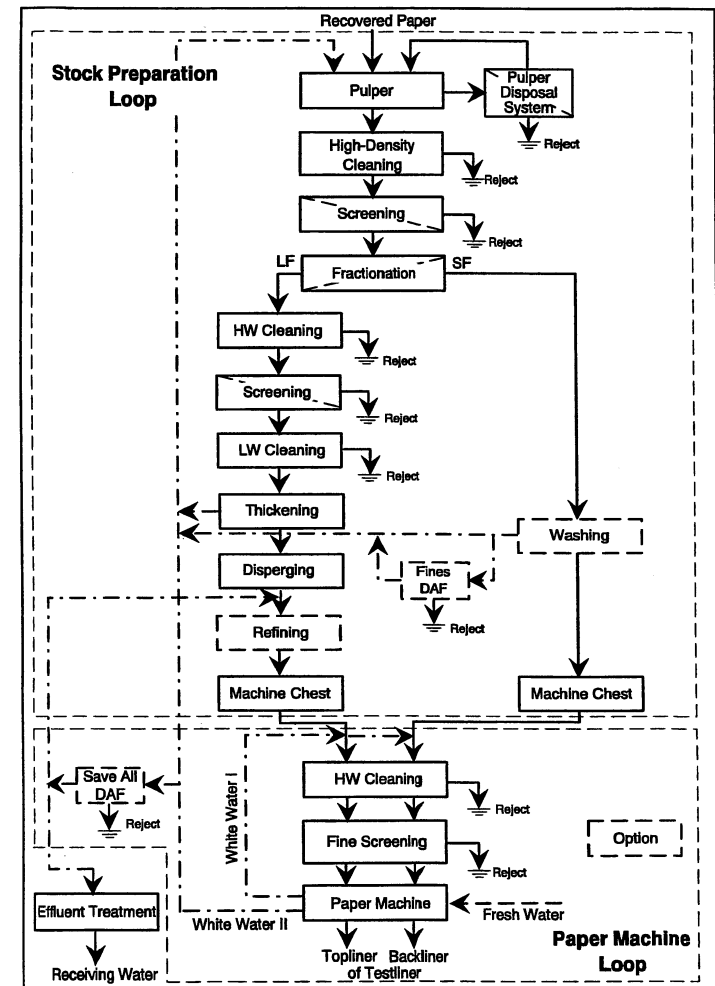


Figure 5.15 (suite) - 4 exemples d'installations de préparation de la pâte en vue du traitement de papiers de récupération pour la fabrication de papier de couverture double épaisseur. [IFP, 1998]

	Principales caractéristiques des différents exemples d'installations de préparation de la pâte	Fourchette de la demande d'électricité (moyenne)	Notes explicatives
Exemple 1	Épuration et tamisage minimisés dans l'installation de préparation de la pâte, sans fractionnement ni traitement ultérieur des fibres, tel que dispersion et épuration et tamisage additionnels. Le système de distribution de la pâte en amont de la machine à papier est étendu en ce qui concerne le tamisage et l'épuration de manière à obtenir une pâte suffisamment pure.	45 - 95 (70) kWh/t	La pâte est séparée sans fractionnement et chargée dans deux chaînes distinctes pour subir une épuration et un tamisage dans chacune des chaînes avec des fentes de taille différentes. Les rebuts de la ligne de tête sont incorporés dans la ligne secondaire pour subir un nouveau traitement. Dans la ligne secondaire, on procède à un dépastillage pour désintégrer les agglomérats de fibres en fibres individuelles de manière à améliorer le rendement final du tamisage et réduire la quantité de rebuts.
Exemple 2	Inclut fractionnement et dispersion; après le fractionnement, pas de tamisage ni d'épuration des particules lourdes et légères de la fraction fibres longues : compromis entre minimisation de la demande d'énergie par la réduction des équipements mécaniques et les exigences de qualité du produit final.	65 - 175 (110) kWh/t	On procède au fractionnement pour économiser de l'énergie au cours de la phase suivante de dispersion, grande consommatrice d'énergie, en ne traitant qu'une partie du courant de la pâte (fraction fibres longues). La suppression du tamisage et de l'épuration des particules lourdes et légères de la fraction fibres longues après le fractionnement économise de l'énergie.
Exemple 3	En plus de l'exemple 2, il est procédé au tamisage ainsi qu'à l'épuration des particules lourdes et légères de la fraction fibres longues après le fractionnement.	75 - 175 (120) kWh/t	Les appareils à dispersion doivent être alimentés avec de la pâte haute consistance (22 à 32 % de siccité). Au préalable, il est nécessaire de procéder à un égouttage (épaississement) au moyen d'un filtre à disque, d'une presse à bande ou d'une presse à vis.
Exemple 4	Le fractionnement est prolongé par un tamisage et une épuration supplémentaires (particules lourdes et légères - HW et LW), par un raffinage de la fraction fibres longues, un lavage de la fraction fibres courtes en option et par deux flottations avec injection d'air dissous (DAF)* dans le recyclage de l'eau de process.	110 - 270 (190) kWh/t (avec toutes les options)	Le lavage associé à l'élimination des particules fines et des charges dans une partie du courant grâce à un système DAF permet de limiter la teneur en particules fines et charges du papier, avec pour résultat une amélioration des caractéristiques de résistance du papier produit. Le raffinage peut être exécuté pour améliorer l'aptitude à la cohésion des fibres recyclées.
<p>Note explicative</p> <p>* L'épuration de l'eau de process par le procédé DAF d'une partie du courant du filtrat de lavage de la fraction fibres longues ainsi que de l'eau blanche II de la machine à papier permet de contrôler l'élimination des solides (particules fines et charges) et aussi des substances colloïdales dans une certaine mesure. L'élimination de ces substances colloïdales limite la charge organique de l'eau blanche (exprimée en DCO et DBO). Encore plus important, la limitation des particules fines et des charges dans l'eau de process joue en faveur de meilleures caractéristiques de résistance du papier produit. Ces deux mesures améliorent la qualité du produit et les caractéristiques de marche de la machine à papier.</p>			

**Tableau 5.24 - Principales caractéristiques et demande d'électricité de différents exemples d'installations de préparation de la pâte en vue du traitement de papiers de récupération pour la fabrication de papier de couverture double épaisseur.**

Quand cela est nécessaire, quelques notes explicatives sont données. (Données provenant d IFP, 1998)

### **Applicabilité et caractérisation**

Cette mesure est intégrée dans le processus. Dans les usines existantes, il est généralement possible de moderniser les installations de préparation de la pâte ainsi que le système de distribution en amont de la machine à papier. Une usine de préparation de la pâte "standard" utilise généralement plus d'opérations qu'il n'en faut pour ce système "minimisé" de préparation (exemple 1). Pour adapter un système "standard" à ce concept "minimisé", il suffira d'arrêter une partie seulement de l'équipement et l'on aura probablement besoin de quelques tuyauteries et pompes supplémentaires pour le raccordement à la caisse de tête de la machine. Le système de distribution de la pâte en amont devra être étendu. D'habitude, les tamis existant au niveau de la distribution ou de l'installation de préparation de la pâte ne sont pas suffisants, compte tenu de la capacité limitée lorsqu'on a installé des paniers de tamisage dotés de fentes d'une largeur de 0,15 mm seulement. Il faut alors prévoir d'investir dans des tamis pressurisés perfectionnés pour le système de distribution de la pâte.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

La demande d'électricité pour la préparation et le système de distribution de la pâte représente entre 20 et 40 % de la demande totale d'énergie d'une usine de traitement de papiers de récupération sans désencrage. On a donc intérêt à étudier la possibilité d'optimiser l'installation de préparation de la pâte sous l'angle des économies d'énergie électrique. Une réduction de la consommation d'électricité entraîne une réduction des émissions dans l'atmosphère, qui dépendent aussi du type de combustible fossile utilisé.

L'avantage pour l'environnement du concept "exemple 1" réside dans les économies d'électricité pour la préparation de la pâte et le système de distribution du flux de pâte. Un système installé dans une papeterie allemande fonctionne avec une demande d'énergie électrique de 60 kWh/tonne de papier produit. A titre de comparaison : la valeur moyenne de la demande d'électricité indiquée dans le tableau 5.25 ci-dessous se situe entre 45 et 95 kWh/tonne (moyenne 70 kWh/tonne) de papier pour le système décrit dans l'exemple 1.

Par comparaison avec un concept qui fait appel à un tamisage ainsi qu'à l'épuration des particules lourdes et légères dans la fraction fibres longues après le fractionnement (exemple 3), la demande d'énergie de l'exemple 2 est inférieure de 10 à 20 % (65 à 160 kWh/tonne).

Le principal effet positif sur l'environnement procuré par des concepts élaborés de préparation de la pâte comme celui de l'exemple 4 réside dans un rendement élevé de la machine à papier obtenu grâce à la grande pureté de la pâte et l'amélioration de ses caractéristiques de résistance.

La demande d'électricité mentionnée dans le tableau 5.24 ci-dessus résulte des chiffres relatifs à la demande spécifique d'énergie des processus unitaires indiqués dans le tableau 5.25 ci-dessous. On s'aperçoit que la consommation d'électricité diffère notablement selon les 4 techniques présentées : l'exemple 4 (avec toutes les options) requiert entre 110 et 270 kWh/tonne contre une consommation de 65 à 160 kWh/t pour l'exemple 2.

Toutefois, il ne faut pas oublier que l'amélioration du rendement de la machine à papier due à la plus grande pureté de la pâte se traduit par une diminution des demandes spécifiques d'électricité et de vapeur pour la production du papier car la machine à papier continue de consommer de l'électricité et de la vapeur même à l'arrêt. Au contraire, les technologies qui impliquent un lavage plus fréquent du système (temps d'arrêt) diminuent le rendement énergétique et augmentent les émissions.

Processus unitaire	Demande spécifique d'énergie kWh/tonne	Consistance de mise en œuvre
Réduction en pâte	10 – 20	3 – 6
Dépastillage	20 – 60	3 – 6
Tamissage	5 – 20	0.5 – 4.0
Tamissage final	20 – 40	1 – 4
Épuration par centrifugation	4 – 8	<0.5 $\Rightarrow$ 4.5 (<6.0)
Fractionnement	5 – 20	3 – 4
Épaississement	1 – 10	0.5 $\Rightarrow$ 5 (10)
Égouttage (presse à vis)	10 – 15	2 – 5 $\Rightarrow$ 15 – 50
Égouttage (presse à double tamis métallique)	2 – 4	2 – 5 $\Rightarrow$ 15 – 50
Dispersion	30 – 80	22 – 32
Raffinage basse consistance	5 – 25 (per SR* unit)	3.0 – 5.5
Raffinage haute consistance	10 – 60 (per SR* unit)	25 – 35
Lavage	5 – 20	0.7 – 1.4 $\Rightarrow$ 5 – 12
Flottation avec injection d'air dissous (DAF)	10 – 20	<0.3 $\Rightarrow$ 0.01
Stockage	0.02 – 0.1	3.0 – 5.5 (12)
Mélange	0.2 – 0.5	3.5 – 4.5
Notes :		
$\Rightarrow$ : changement de plage de consistance entre l'entrée et la sortie de l'équipement concerné		
*SR : indice d'égouttage Schopper-Riegler		

**Tableau 5.25 - Demande spécifique d'énergie et consistance de mise en œuvre pour les différents processus unitaires dans la fabrication de papier couverture et pour ondulé.**  
[IFP, 1998; (données fournies par un fournisseur de machine); données pour un rendement de 100 %].

### Interactions entre les milieux

Les machines qui fonctionnent avec un rendement amélioré consomment moins d'électricité et de vapeur par tonne de papier. La meilleure qualité des fibres recyclées a pour résultat un papier de meilleure qualité. Les rejets (ou rebuts) provenant des diverses étapes du processus peuvent être recueillis séparément et utilisés pour différents usages. Par exemple, ceux qui contiennent d'importantes quantités de matières plastiques peuvent être incinérés, avec l'avantage d'une importante récupération d'énergie grâce à leurs pouvoirs calorifiques élevés. Les rebuts qui contiennent beaucoup de matières fibreuses organiques peuvent être utilisés comme compost. Les rejets de l'épurateur haute densité ainsi que ceux du système d'évacuation du pulpeur sont habituellement évacués vers une décharge en raison de leur teneur élevée en matières inorganiques (pierres, sables, agrafes, trombones etc.).

### Données opérationnelles

Dans le monde, de nombreuses usines produisent du papier de couverture avec fractionnement et dispersion. Quelquefois, l'installation de préparation de la pâte comprend aussi une étape de raffinage. Néanmoins, il ne semble pas qu'il existe des systèmes absolument identiques.

On peut considérer que l'exemple 1 tel qu'il est décrit dans la figure 5.15 peut être considéré comme un concept d'installation de préparation "minimisé". Il est en service dans une fabrique produisant des papiers de couverture et pour ondulé (Zülpich Papier - Papier recyclé Europe, Allemagne). Compte tenu du rendement possible de la machine à papier et des contraintes locales, ce concept d'installation doit être considéré comme une expérience. En raison de la durée limitée de l'essai, il n'est pas encore possible d'évaluer la rentabilité de ce concept visant à réduire la consommation d'énergie. Il semble que le système entraîne un léger accroissement des pertes de fibres.

Dans un système traditionnel de distribution du flux de pâte en amont de la machine, le tamisage sert avant tout d'assurance contre les risques de pollution avec une maintenance réduite. La maintenance

nécessaire dans une installation de préparation classique n'implique pas nécessairement un arrêt de la machine à papier, puisque l'on dispose d'une capacité de stockage de la pâte dans les cuiviers disponibles. En revanche, si l'on utilise des paniers de tamisage à fentes étroites (d'une largeur de 0,15 mm) dans le système de distribution, dans le but d'obtenir une pâte de récupération suffisamment pure (comme dans l'exemple 1), le décolmatage de ces tamis implique une maintenance plus poussée. Il s'ensuit une mise à l'arrêt de la machine à papier et une perte de production. Cela explique que le rendement de la machine à papier soit normalement moins bon avec la préparation "minimisée" de la pâte qu'avec une installation de préparation "standard" bien équipée.

### **Aspects économiques**

Les investissements et les dépenses de fonctionnement de l'exemple 2 sont inférieurs à ceux des exemples 3 et 4 et supérieurs à ceux de l'exemple 1 de la figure 5.15. Mais il faut toujours évaluer cette augmentation des dépenses de fonctionnement à la lumière de l'amélioration du rendement de la machine à papier. Une diminution du nombre des arrêts et des ruptures de toile ainsi qu'une meilleure qualité du papier sont également des facteurs importants. À côté des investissements plus élevés pour le matériel des installations élaborées (exemple 4), il faut également prévoir une augmentation des dépenses de fonctionnement liée à la demande d'électricité pour la préparation de la pâte. Les concepts d'installations "minimisées" (comme dans l'exemple 1) ne nécessitent que des investissements relativement réduits. Une faible consommation d'électricité fait également baisser les dépenses de fonctionnement.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La principale motivation justifiant la mise en place d'installations de préparation de pâte comportant un nombre plus élevé d'étapes réside dans les exigences de qualité élevées à respecter pour le papier à produire, qui doit faire face sur le marché à la concurrence du papier fabriqué à partir de fibres vierges. Un autre facteur est la nécessité d'améliorer les caractéristiques de marche de la machine à papier. Les motifs en faveur des installations avec un nombre "minimisé" d'opérations sont des investissements et des dépenses de fonctionnement moins élevés grâce surtout à des économies d'énergie rendues possibles du fait du nombre moins importants de machines requises.

### **Installations de référence**

Plusieurs usines en Europe sont équipées d'un système de préparation de la pâte semblable à celui de l'exemple 2, avec fractionnement et dispersion. Mais le matériel installé et le nombre de phases varient et il ne semble pas qu'il existe deux systèmes exactement identiques. Certaines usines ont également mis en place une installation de flottation avec injection d'air dissous pour le traitement de l'eau de process. Jusqu'à présent, on n'a pas encore réalisé la combinaison avec lavage selon l'exemple 4 pour la production de papiers couverture.

### **Bibliographie**

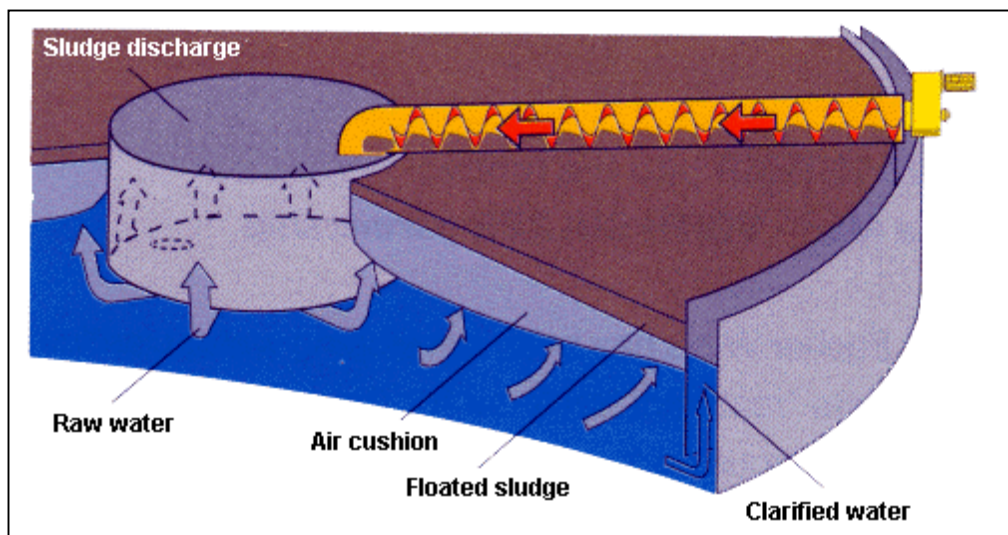
[IFP, 1998], ce rapport mentionne de nombreuses autres références.

## **5.3.8 Clarification des eaux dans une usine FCR avec désencrage**

### **Description de la technique**

Le recyclage d'importantes quantités d'eau blanche dans une installation de traitement de papiers récupérés avec désencrage n'est possible qu'en présence d'un système de clarification de cette eau blanche. Les systèmes de clarification de l'eau qui sont utilisés presque exclusivement dans l'industrie papetière reposent sur les principes de la sédimentation, de la filtration (filtre à disque) et de la flottation. La meilleure technique disponible actuellement est la flottation avec injection d'air dissous. On utilise comme flocculants des polymères à poids moléculaire élevé et solubles dans l'eau ou des

électrolytes organiques. Les agglomérats ainsi obtenus (flocons) sont ensuite éliminés par flottation dans le bassin de décantation. Dans le système de flottation avec injection d'air dissous, les matières solides en suspension sont fixées à des bulles d'air, qui les transportent à la surface d'un bassin rectangulaire ou circulaire où elles sont raclées puis renvoyées dans l'installation de préparation de la pâte. L'eau blanche clarifiée est alors prélevée au fond (voir figure 5.16 ci-dessous).



**Figure 5.16 - Principe de fonctionnement de la flottation par injection d'air dissous (DAF). [M. Schwarz, 1995]**

Dans un système de flottation, on obtient les bulles d'air en mélangeant de l'air sous haute pression à l'eau en circulation. Lorsque la pression baisse à l'arrivée au bassin, il se forme des bulles d'air microscopiques. La taille de ces bulles est cruciale. On ajoute habituellement des agents de floculation à l'eau blanche en amont de la flottation pour améliorer la séparation.

L'avantage de la flottation est qu'elle permet d'éliminer aussi les matières colloïdales de petite taille. Cela est très avantageux dans les installations de désencrage, dans lesquelles une grande partie des matières à éliminer sont des colloïdes. La flottation est actuellement la seule façon de purifier l'eau de process en vue de son recyclage. Dans une installation de désencrage, les matières sont dirigées vers le dispositif de déshydratation des boues au lieu d'être recyclées dans le processus comme dans les papeteries utilisant des fibres neuves.

Les techniques de flottation donnent généralement de l'eau très pure, mais leur rendement dépend de plusieurs facteurs qu'il faut surveiller et contrôler, par exemple le pH, le débit, la taille des bulles d'air et la consistance. Cela étant, lorsque les conditions sont optimisées, le rendement est très élevé. Un autre avantage de la flottation est que la saturation de l'air (oxygène) dans l'eau de process empêche la formation de bactéries anaérobies.

#### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Technique intégrée dans le processus. La modernisation du système de clarification de l'eau est souvent associée à une restructuration des circuits d'eau. On peut l'adopter dans les usines nouvelles ou existantes à base de fibres recyclées.

#### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

L'avantage de la flottation avec injection d'air dissous est qu'elle permet d'éliminer les matières colloïdales de petite taille. Cela est très avantageux dans les installations de traitement des papiers

recupérés avec désencrage, dans lesquelles d'importants pourcentages de matières solides de l'eau de process sont des colloïdes. En utilisant la technique DAF, le degré de fermeture des circuits est adapté aux exigences en matière de qualité de l'eau de process.

### **Interactions entre les milieux**

On a besoin de produits chimiques comme agents de floculation. Il faut de l'électricité essentiellement comme énergie de pompage pour saturer une partie de l'eau non traitée, ou l'eau clarifiée, avec de l'air comprimé à environ 7 bars. On obtient des boues qui doivent être déshydratées.

### **Expérience opérationnelle**

Les systèmes de flottation avec injection d'air dissous sont des techniques qui sont au point. Tous les composants peuvent être combinés sur une base modulaire pour optimiser les résultats pour différentes applications.

### **Aspects économiques**

On ne dispose d'aucune donnée.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

La principale raison invoquée pour justifier la modernisation des systèmes de clarification de l'eau par la technique de la flottation avec injection d'air dissous dans les installations de désencrage est qu'elle permet d'optimiser la gestion de l'eau et la fermeture des circuits en fonction des besoins (voir figures 5.3 et 5.4).

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1994b]; [Schwarz, 1995].

## **5.3.9 Cogénération de chaleur et d'énergie (CHP)**

### **Description de la technique**

L'industrie papetière est une industrie qui consomme beaucoup d'énergie. L'accroissement de la vitesse des machines à papier, la sophistication des systèmes de traitement des papiers récupérés et le perfectionnement technologique en général se sont traduits par une hausse de la consommation d'électricité dans les papeteries alors que la consommation de vapeur restait pratiquement inchangée.

On peut réduire les pertes d'énergie dues à sa génération et à la production de chaleur en combinant la génération des deux, chaleur et électricité (CHP ou cogénération). Les installations de cogénération font passer le rendement de la conversion du combustible consommé d'environ un tiers dans les centrales traditionnelles à environ 80 % ou plus. Ainsi, de nombreuses papeteries sont à même d'augmenter le rendement énergétique global du processus en faisant appel à la cogénération, réduisant de ce fait leur consommation de combustible et les émissions dans l'atmosphère. Dans l'industrie papetière, les besoins en énergie et le rapport chaleur-énergie sont parfaitement adaptés à la technique de la cogénération [Pröger, 1996]. Les caractéristiques des processus, tels que des besoins élevés et équilibrés en électricité et en vapeur, et la régularité du fonctionnement pendant des années sont également des facteurs en faveur de cette technique.



De nombreuses papeteries ont mis en place différents processus de cogénération. Par exemple, dans le cas des chaudières fonctionnant au gaz, on peut installer une ou plusieurs turbines à gaz avant le générateur de vapeur existant de manière à augmenter le rendement électrique de l'installation. Si l'on dispose déjà d'une turbine à vapeur, on peut installer une turbine à gaz avant le générateur de vapeur pour augmenter le rendement en énergie.

Il existe différents types de centrales à cycle mixte sur le marché. Le choix du système dépend avant tout des installations existantes déjà en service et des conditions locales.

A titre d'exemple, nous décrivons brièvement le système de cogénération à cycle mixte gaz/vapeur le plus efficace. Ce système se caractérise par un rendement très élevé et son aptitude à produire - pour la même quantité de chaleur requise par la papeterie - une quantité d'électricité sensiblement plus importante que les anciennes centrales à vapeur. Dans la mesure du possible, ce système devrait être considéré comme l'option préférentielle.

Comme pour la technique habituelle des turbines à gaz, on aspire de l'air et on le comprime. Dans la chambre de combustion, le combustible est mélangé à l'air du compresseur de la turbine à gaz et la combustion se produit. Après la combustion, on fait détendre les gaz de fumées dans une turbine qui entraîne un générateur. Dans une centrale à cycle mixte, l'énergie thermique contenue dans le gaz d'échappement de la turbine à gaz est utilisée dans un générateur à vapeur à récupération de chaleur pour produire de la vapeur, laquelle est utilisée pour produire de l'électricité supplémentaire par le biais d'une turbine à vapeur. Dans les centrales de cogénération de chaleur et d'électricité, 80 à 93 % de l'énergie consommée sont convertis en 40 à 70 % de chaleur et 45 à 20 % d'électricité en fonction des besoins spécifiques et du système employé. La génération traditionnelle d'électricité convertit un peu moins de 40 % de l'énergie consommée en électricité. Le reste de l'énergie est perdue.

### **Applicabilité et caractérisation**

Cette technique est intégrée dans le processus. La cogénération est une technique parfaitement connue et au point. Elle peut être appliquée dans les usines nouvelles ou existantes, si leur conception le permet. Dans les installations existantes, on peut appliquer la cogénération par exemple en augmentant la puissance des unités existantes à vapeur à contre pression en les transformant en centrales cogénératrices à cycle combiné. La taille relativement petite de la plupart des usines de papier à usage sanitaire et domestique peut faire que la cogénération CHP peut être moins rentable que pour les grandes usines.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

On observe une baisse significative des émissions par unité de chaleur ou d'électricité produite, en raison de la meilleure efficacité thermique de la CHP. Les rendements thermiques globaux peuvent atteindre 93 %, ce qui réduit le taux de rejet de dioxyde de carbone d'environ 50 % par rapport aux systèmes traditionnels à combustion pour la génération d'électricité dont le rendement électrique est d'environ 38 %. En revanche, on constatera une augmentation des émissions dans l'atmosphère sur le site.

Le tableau 5.26 illustre un exemple des économies de combustibles réalisées et des taux de réduction des émissions obtenus pour les principaux polluants pour une turbine à gaz utilisée dans des applications à cycle mixte (GuD). Cet exemple représente une technique de cogénération qui atteint le rendement technique maximal possible.

Dans cet exemple, on compare la cogénération de vapeur et d'électricité (rendement du combustible = 93 %) à la génération classique d'électricité par une installation utilisant du charbon (rendement électrique = 40 %, typique pour la situation en Allemagne) et à la génération de vapeur in situ (rendement thermique = 90 %). Il convient de noter que les améliorations possibles dépendent du système de comparaison.

Exemple d'une centrale de cogénération combinée conçue pour 40 t de vapeur/h; production d'environ 20 t/h					mg/MJ*
Production d'électricité mixte	MW			9.5	
Production de chaleur mixte	MW			26.0	
Rapport électricité/chaleur	MW/MW			0.37	
	Utilité	Turbine à gaz	Combustible supplémentaire	Total	
Capacité thermique du combustible	MW	14.8	24.4	38.2	
Débit de gaz (sec, conditions normales)	m <sup>3</sup> /h			48150	
Emission NO <sub>x</sub> *	mg/m <sup>3</sup>			160	
Emission CO *	mg/m <sup>3</sup>			5	
Emission SO <sub>2</sub> *	mg/m <sup>3</sup>			0	
Débit massique NO <sub>x</sub>	kg/h			7.7	60
Débit massique CO	kg/h			0.2	1.5
Débit massique SO <sub>2</sub>	kg/h			0	0
Débit massique CO <sub>2</sub>	t/h			7.6	59.5
* la teneur en oxygène du gaz de combustion est de 3 %					
Électricité du service public (centrale au charbon) 360 MW - Vapeur de process de l'unité autonome de vapeur 40 t/h					
Part de la génération d'électricité	MW			9.5	
Génération de chaleur	MW			26	
		Génération d'électricité	Génération de vapeur	Total	
Capacité thermique du combustible	MW	25	29	54	
Débit de gaz (sec, normal)	m <sup>3</sup> /h	28500	29200	57700	
Emission NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	300	130		
Emission CO	mg/m <sup>3</sup>	250	10		
Emission SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	200	0		
Débit massique NO <sub>x</sub>	kg/h	8.6	3.8	12.3	96
Débit massique CO	kg/h	7.1	0.3	7.4	58
Débit massique SO <sub>2</sub>	kg/h	5.7		5.7	44.6
Débit massique CO <sub>2</sub>	t/h	8.27	5.8	14.07	110
Note explicative : On postule que la cogénération remplace la génération d'électricité de base par les services publics. En Allemagne, la base supérieure est générée par des installations chauffées au charbon. On procède à la comparaison avec une centrale d'un rendement de 40 % recourant à des techniques modernes de désulfuration et de dénitrification et des pertes de transmission de 2 %. * Formule pour convertir les chiffres en valeurs spécifiques : 1 MW x 3 600 = MJ; par ex. (9,5 + 26,0) x 3 600 = 127 800 MJ/h; On peut par exemple calculer les émissions spécifiques de NO <sub>x</sub> sous la forme 7 700 g/h : 127 800 MJ/h → 60 mg/MJ.					

**Tableau 5.26 - Comparaison des résultats, pour l'environnement, entre une installation de cogénération fonctionnant en cycle mixte et la fourniture par le service public, dans les conditions prévalant en Allemagne.**

[Exemple calculé par F. Hutter GmbH Biberach, Allemagne]

Dans le cas décrit dans le tableau 5.26, la mise en service de la cogénération mixte permet d'atteindre les niveaux de réduction suivants :

- consommation de combustible : réduction de 29 %
- NO<sub>x</sub> : réduction de 38 %
- CO : réduction de 97 %
- SO<sub>2</sub> : réduction de 100 %
- CO<sub>2</sub> fossile : réduction de 46 %

### **Surveillance des émissions**

Dans les grandes installations de cogénération, on contrôle en permanence la teneur en NO<sub>x</sub> et en CO du gaz de combustion. Dans les autres usines, on peut se contenter de mesures périodiques du NO<sub>x</sub> et du CO.

### **Interactions entre les milieux**

En liaison avec l'effet de serre, les installations de cogénération utilisant des turbines à gaz dans des applications à cycles mixtes sont considérées comme un choix important sous l'angle de la réduction du CO<sub>2</sub>, en raison de leur rendement thermique comparativement élevé, même pour des unités d'une capacité relativement faible (à partir de quelques MW). Le rapport électricité/chaleur élevé et le rendement élevé de la conversion des combustibles en énergie et en chaleur entraînent une diminution significative des émissions spécifiques de CO<sub>2</sub> par kWh produit par rapport aux centrales électriques traditionnelles. Les émissions globales relatives à la génération d'électricité baissent en raison de l'amélioration du rendement thermique.

### **Expériences opérationnelles**

La cogénération de chaleur et d'électricité grâce à la mise en place de différents systèmes de cycles combinés est appliquée avec de bons résultats par un certain nombre de papeteries en Europe. Aucun problème majeur n'a été signalé. Un personnel qualifié est nécessaire pour assurer le fonctionnement des installations à grande capacité.

### **Aspects économiques**

Les économies réalisables, et le laps de temps nécessaire pour rentabiliser l'investissement, dépendent essentiellement du prix de l'électricité et des combustibles dans les pays européens respectifs. Il faut tenir compte du montant des investissements et des frais d'amortissement et de maintenance. Pour les usines qui ont appliqué cette technique, la cogénération d'électricité et de chaleur est une mesure efficace par rapport à son coût (en fonction des prix de l'énergie communiqués). L'investissement spécifique requis pour transformer des unités existantes de vapeur à contre-pression en installations de cogénération à cycles mixtes est de l'ordre de 1 000 Euros/kW.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Elle réduit considérablement la consommation de combustibles fossiles, les émissions de CO<sub>2</sub> (effet de serre) et autres polluants de l'atmosphère liés à la génération d'électricité par la combustion de combustibles fossiles. La cogénération de chaleur et d'électricité est souvent une mesure économiquement viable et elle rend les usines moins dépendantes des fournisseurs d'électricité extérieurs. Si l'on exploite tout le potentiel de cogénération d'un site, dans la plupart des cas, la production de l'usine dépassera ses besoins en électricité. Une certaine quantité d'électricité obtenue avec un rendement élevé sera disponible pour le réseau public, sous réserve que les conditions globales du marché soient favorable à cette opération.

Cela pourrait apporter une contribution substantielle aux engagements du Protocole de Kyoto.

### **Installations de référence**

La technique de la génération mixte de chaleur et d'électricité est une technique bien connue et qui est mise en œuvre par de nombreuses papeteries en Europe.

### **Bibliographie**

[Rentz, 1996], [Pröger, 1996], [Données fournies par une papeterie allemande à base de FCR].

### **5.3.10 Traitement des déchets et des boues (déshydratation)**

Cette technique s'applique, à strictement parler, uniquement aux "papiers bruns" fabriqués à partir de papiers de récupération. Cela dit, la déshydratation est un problème d'environnement qui préoccupe toutes les papeteries à base de FCR, même si elles doivent faire face à des déchets et des boues en quantités et de composition différentes.

#### **Description de la technique**

Dans le traitement des papiers de récupération, l'élimination des impuretés (principalement sous forme de corps étrangers au papier) de la pâte est l'une des étapes les plus importantes du processus. On procède à cette élimination par une épuration en plusieurs étapes et un tamisage en divers points de la préparation de la pâte. Lors de la fabrication des papiers pour ondulé, la perte de matières se situe entre 4 et 8 %, en fonction du type de papiers récupérés qui sont traités, de la disposition du système de préparation de la pâte et de la qualité du produit à fabriquer. Les refus générés peuvent être subdivisés en refus grossiers lourds, et en refus fins légers. D'habitude, ces rejets n'offrent pas de possibilité de recyclage et sont envoyés à la décharge.

Que les refus soient réutilisés ou évacués définitivement, leur égouttage est une étape essentielle de la manipulation des déchets. Les rejets du système d'évacuation des pulpeurs ne sont habituellement pas soumis à un égouttage spécial. Compte tenu de leur composition physique, on atteint une siccité de 60 à 80 %. Pour égoutter les refus lourds et grossiers provenant de l'épuration haute densité et du pré-tamisage, on utilise des vis convoyeuses tamisantes, des tamis vibrants, des classeurs. On peut atteindre des teneurs en solides secs de 60 à 80 %. L'égouttage des refus fins et légers de l'épuration secondaire et du tamisage fin à l'aide de tamis, de filtres ou de tamis vibrants, est généralement suivi par une déshydratation ultérieure au moyen de presses à vis. La teneur possible en solides secs est comprise dans la fourchette 50 à 65 %.

La boue en excès produite dans les installations de traitement biologique des effluents dans la plupart des papeteries européennes produisant du papier de couverture et du papier pour ondulé est réutilisée dans la fabrication du papier. Par rapport au volume de papier de récupération utilisé, le volume des boues réutilisées est inférieur à 1 % en poids sec. Une quantité aussi faible peut être utilisée comme matière première pour la production du papier sans avoir d'incidence sur les caractéristiques de marche de la machine à papier ni sur les propriétés du papier. Dans ce cas, une installation de déshydratation s'avère inutile. Diverses études ont démontré que la réutilisation des boues excédentaires de l'installation de traitement biologique des effluents dans la fabrication du papier n'entraîne pas d'augmentation de la concentration en contaminants dans le papier produit.

#### **Applicabilité et caractérisation**

Technique intégrée dans le processus. Les installations de déshydratation des refus sont courantes dans les papeteries nouvelles comme dans les anciennes. La modernisation des systèmes de déshydratation pour améliorer leur efficacité est possible. Il faut tenir compte de l'accroissement de la charge hydraulique de l'installation de traitement qui en résulte.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Selon le type de rejets et le système de déshydratation, leur teneur en eau peut être réduite de 40 à 75 %. Dans le cas de leur mise en décharge, le risque de fuites d'eau est minimisé. Lorsque ces refus sont brûlés avec d'autres matières dans des centrales électriques ou des fours rotatifs de cimenterie, la demande d'énergie pour faire évaporer l'eau qu'ils contiennent diminue. Cela contribue à améliorer le niveau de récupération de l'énergie.

### **Surveillance des émissions**

Les rejets des installations de déshydratation sont contrôlés à l'aide de débitmètres. L'eau est en général rejetée envoyée vers la station de traitement des effluents.

### **Interactions entre les milieux**

La déshydratation étant généralement réalisée par des moyens mécaniques, la pollution de l'eau récupérée équivaut à celle de l'eau de process. Lorsqu'on utilise des presses à vis, on a la possibilité de chauffer les refus par injection de vapeur, ce qui modifie la pollution de l'eau résultant de la déshydratation. Il faut tenir compte de ce phénomène en particulier lorsque l'installation de traitement des effluents a presque déjà atteint son seuil de capacité. L'injection de vapeur a un effet secondaire sur la consommation d'énergie et les émissions dans l'atmosphère.

### **Données opérationnelles**

De bons résultats sont atteints en terme d'amélioration de la siccité et de la disponibilité des machines concernées. Pour obtenir un rendement élevé, la plupart des nouvelles installations ont fait appel à des presses à vis.

### **Aspects économiques**

Le montant des investissements - comprenant un tambour d'égouttage comme première phase et une presse à vis comme seconde phase - avec pour objectif une teneur en solides secs de 65 %, se chiffre à environ 200 000 Euros. Les dépenses de maintenance annuelles ne devraient pas dépasser 25 000 euros. Ces coûts correspondent à un volume annuel de 13 000 tonnes de substance sèche.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Le principal motif était la réduction du volume de déchets à envoyer à la décharge. Étant donné que la co-combustion des déchets et des boues en vue de récupérer de l'énergie, par exemple dans les cimenteries, est devenue une solution alternative à la mise en décharge, cette technique bénéficie d'un traitement tout à fait prioritaire.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe.

### **Bibliographie**

[IFP, 1998], [Borschke, 1997], [Krieger, 1998].

## **5.3.11 Utilisation et évacuation des résidus par des méthodes propres (sans danger pour l'environnement)**

Sur les aspects généraux de la gestion des déchets et les solutions de recyclage et de récupération d'énergie dans les papeteries, se reporter également à la section 6.3.14.

Les principales sources de déchets solides dans les papeteries à base de FCR sont la préparation de la pâte, la clarification de l'eau de process et le traitement des effluents (voir aussi 5.2.2.6). Il faut faire une distinction entre deux grands types de processus :

Dans les papeteries traitant du papier de récupération *sans* désencrage (par exemple papier couverture, papier pour ondulé, papier-carton), les principales fractions de déchets sont représentées par les impuretés grossières provenant du système d'évacuation du pulpeur, les refus des différentes phases de tamisage et d'épuration de l'installation de préparation de la pâte et les boues du traitement des effluents. Ces déchets représentent environ 4 à 10 % par rapport aux matières premières consommées. Les refus des installations de préparation de la pâte à partir de papiers d'emballages bruns sans désencrage n'offrent que peu de possibilités de recyclage parce qu'ils se composent d'un mélange indéfini d'éléments autres que du papier, qui sont éliminés. D'habitude, ces refus vont en décharge. Cependant, compte tenu de leur pouvoir calorifique élevé, de l'ordre de 22 à 24 MJ/kg de matières sèches dû à leur pourcentage élevé de plastiques, ces refus conviennent pour la récupération d'énergie, en remplacement des combustibles fossiles (voir ci-après).

Seuls les déchets des étapes finales d'épuration et de tamisage peuvent faire l'objet d'un recyclage en raison de leur faible teneur en plastiques et autres impuretés. Par conséquent, dans certaines usines, cette fraction de déchets est recueillie et égouttée à part et utilisée comme co-substrat pour le compostage de déchets biologiques. Mais la pratique courante du compostage varie considérablement selon les États. Alors que certains pays encouragent le compostage des boues des usines de papier à base de FCR, d'autres (par exemple l'Allemagne) découragent voire interdisent le compostage des déchets provenant de la fabrication de papiers.

Les papeteries à base de FCR *avec* désencrage produisent en plus d'importantes quantités de boues de désencrage et souvent des boues provenant de la clarification de l'eau de process. La quantité de déchets et de boues générés s'élève à environ 15 à 40 % par rapport à la quantité de matières premières consommées. Dans les installations à base de pâte DIP, les boues du désencrage, qui contiennent essentiellement des fibres courtes, des produits de couchage, des charges et des particules d'encre, constituent la fraction-clé des déchets à manipuler. Habituellement, la majeure partie de ces boues va en décharge. Un petit nombre de pays procède à leur épandage sur les terres agricoles ou à leur compostage, alors que d'autres découragent voire interdisent cette solution. Dans les grandes installations DIP, les boues de désencrage peuvent être incinérées en même temps que les boues du traitement des effluents. Il existe différentes solutions pour une utilisation énergétique des déchets et des boues contenant des matières organiques (plastiques, fibres et particules fines) :

- incinération dans une installation intégrée à l'usine (voir exemples 1 et 3 ci-après. L'exemple 1 s'applique aux papiers couverture et pour ondulé, alors que l'exemple 3 décrit l'incinération des déchets et des boues de désencrage des installations à base de pâte DIP).
- co-combustion dans une centrale électrique à charbon intégrée à l'usine (voir exemple 2 ci-après).
- co-combustion dans l'industrie du ciment (non décrite ici en détails parce que cette solution est réglementée dans le cadre des autorisations pour les fours à ciment. Nous nous limiterons à décrire quelques aspects seulement par la suite).

Les déchets peuvent être utilisés comme combustible de remplacement dans les cimenteries à la place des combustibles fossiles. Les déchets qui alimentent le brûleur principal seront décomposés dans la première zone de combustion à des températures pouvant atteindre 2 000 °C. Les composants inorganiques seront liés dans le clinker. Les déchets qui alimentent un brûleur secondaire, un dispositif de préchauffage ou de pré-calcination seront brûlés à des températures inférieures, qui ne sont pas toujours suffisantes pour oxyder complètement les substances organiques. Les déchets sont normalement chargés dans l'étape de combustion secondaire à l'entrée du four rotatif. En chargeant les déchets et les boues des papeteries dans la phase secondaire de la combustion, il existe un certain

risque de voir se produire des émissions d'hydrocarbures indésirables (COV, dioxines). Dans cette zone de combustion, la hausse de température est lente, ce qui peut provoquer une combustion lente des matières plastiques. Par conséquent, les exploitants de cimenteries doivent s'assurer que l'utilisation des déchets de papeteries en tant que substituts pour les combustibles fossiles ne provoque pas une hausse des émissions de COV ou de substances organiques halogénées. On peut éviter ce risque en procédant à des analyses et à un contrôle de la composition des résidus à brûler et des émissions qui en résultent dans l'atmosphère. C'est au cas par cas que les cimenteries devront décider de l'opportunité d'utiliser des fractions de déchets provenant des papeteries en remplacement des combustibles fossiles. Lorsqu'on incinère des déchets venant de papeteries traitant des papiers de récupération, la teneur en chlore des cendres volantes peut être un facteur limitant leur usage ultérieur dans une cimenterie. Pour obtenir une surface résistante et un bon comportement à la calcination, il est nécessaire de soumettre les déchets à un pré-traitement. Celui-ci comprend un broyage primaire, un tamisage et un broyage secondaire. On peut combiner ces deux opérations, par exemple grâce à un séparateur magnétique et une séparation par l'air, de manière à récupérer les métaux ferreux et à éliminer les impuretés qui pourraient endommager les groupes de broyage secondaire. Habituellement, les papeteries ne procèdent pas à ce pré-traitement des déchets.

Jusqu'à présent, aucune des méthodes d'utilisation des déchets mentionnées ci-dessus ne peut être considérée comme une MTD en général. Les techniques d'utilisation diffèrent d'une papeterie à l'autre, principalement en raison des conditions locales. Étant donné que, dans un proche avenir, la mise en décharge, en tant que solution actuelle prioritaire d'évacuation, ne sera autorisée que pour les déchets inertes ou ceux à faible teneur en composés organiques, l'industrie papetière européenne est confrontée au problème de la mise au point de techniques d'utilisation des rejets. On donne la préférence aux méthodes de récupération comme technique de traitement des déchets. Il convient d'identifier les possibilités qui existent pour réduire la quantité de déchets à envoyer à la décharge, et le cas échéant, de s'assurer qu'elles sont bien exploitées.

L'incinération associée à la cogénération de vapeur et d'électricité est considérée comme une solution sans danger pour l'environnement. Les papeteries européennes mettent en œuvre différentes options techniques pour incinérer les résidus avec récupération d'énergie. Trois d'entre elles sont décrites ci-après, avec leurs principaux avantages et inconvénients.

L'incinération, dans une installation sur le site même, de déchets des usines à base de FCR sans désencrage (exemple 1) dépend principalement de la taille de l'usine et de la quantité de déchets à incinérer. La co-combustion de ces déchets dans une centrale électrique intégrée à l'usine (exemple 2) est une technique très récente et son applicabilité dépend du type de combustible utilisé pour produire de la chaleur. De ce fait, elle est traitée comme un cas particulier et ne peut pas être considérée non plus comme une MTD en général. Au contraire, l'incinération des déchets et des boues dans les installations à base de pâte DIP est plus largement pratiquée aujourd'hui dans les papeteries européennes et elle est considérée comme MTD, lorsqu'elle est réalisable.

---

### **Exemple 1 : Utilisation, aux fins de production d'énergie, des déchets des usines à base de FCR sans désencrage dans des installations d'incinération.**

---

La description de cette technique concerne les "papiers d'emballage bruns" fabriqués à partir de papiers récupérés. Cela dit, des systèmes similaires sont applicables pour d'autres usines traitant des papiers de récupération (voir exemple 3).

#### **Description de la technique**

Dans la majorité des cas, les déchets du traitement des papiers de récupération dans les papeteries produisant des papiers pour ondulé et des papiers de couverture sont éliminés en étant envoyés à la décharge. Si l'on postule qu'ils représentent un pourcentage de 4 à 10 % du papier récupéré consommé en entrée, le volume de déchets obtenus sera insuffisant dans de nombreuses usines pour assurer la rentabilité d'une installation d'incinération. Par conséquent, contrairement à l'incinération des boues

(voir exemple 3), seules quelques papeteries modernes à grande échelle et avec une capacité de production élevée ont mis en place des installations autonomes d'incinération pour les déchets provenant du traitement des papiers de récupération. Une papeterie allemande exploite depuis le début des années 1990 une technique d'incinération améliorée. L'installation d'incinération utilise le principe de la combustion à plusieurs étages (soles multiples) et elle est intégrée dans la centrale électrique de l'usine. Elle est conçue pour un volume annuel de déchets de 14 000 tonnes. La teneur en eau des déchets est comprise entre 45 et 50 %. Après le broyage et la séparation magnétique des matériaux ferreux, les déchets sont chargés sur la sole supérieure, où ils sont séchés par des gaz de combustion chauds ascendants. Pour transporter ces déchets vers les autres soles, on fait appel à des agitateurs. Ceux-ci transportent les déchets dans toutes les zones de combustion, du haut vers le bas. Les gaz de combustion du sommet du four sont recyclés vers les soles de combustion, où ils sont réchauffés. A 800 ou 900 °C, les gaz de combustion des soles sont entièrement brûlés. Il est donc inutile de prévoir une chambre de combustion distincte, et les déchets sont brûlés dans des conditions économiques.

L'unité de purification des gaz de combustion est équipée d'un épurateur par voie humide à deux étages pour éliminer les polluants acides, principalement du dioxyde de soufre et du chlorure d'hydrogène. Le liquide résultant de cette épuration par voie humide est neutralisé et traité par des agents de précipitation et de floculation pour en éliminer les métaux lourds. La boue contenant ces métaux est envoyée dans une décharge. Pour minimiser les émissions de dioxine, on injecte un mélange de charbon actif et de zéolite dans le courant de gaz de combustion recyclé. Les adsorbants utilisés sont mis à la décharge. Pour réduire les émissions de NO<sub>x</sub>, on procède à une réduction sélective non catalytique (SNCR) en utilisant de l'ammoniac qui est injecté dans la chambre de combustion. Les émissions de particules solides sont réduites par un dépoussiérage électrostatique.

### **Applicabilité et caractérisation**

Etant donné que la teneur en énergie des déchets est utilisée pour produire de l'électricité directement sur le site, l'incinération des déchets doit être considérée comme une technique intégrée dans le processus.

L'incinération des déchets dans des installations autonomes est une technique relativement récente que l'on ne retrouve que dans quelques grandes installations neuves ou ayant subi une extension récente. Dans de nombreuses papeteries européennes, la quantité de déchets produite ne sera peut-être pas suffisante pour pouvoir exploiter une installation d'incinération des déchets dans des conditions économiques. Les installations autonomes ne peuvent donc être envisagées que pour de grandes usines. Il est possible de moderniser des papeteries existantes, mais rien ne garantit qu'une installation d'incinération, avec la purification nécessaire des fumées, pourra être exploitée de façon économique. Si l'on considère que le montant de l'investissement est d'environ 20 MEuros pour une installation d'incinération d'une capacité de 15 000 t/an, on peut douter de sa rentabilité dans le cas des petites usines.

C'est pour cette raison par exemple que, dans la province de Gelderland, aux Pays-Bas, un groupe d'usines situées à relativement peu de distance l'une de l'autre procèdent à l'incinération de leurs résidus dans une chaudière à lit fluidisé qu'elles exploitent en commun. La composition de la cendre fait l'objet d'un contrôle rigoureux et celle-ci est utilisée dans l'industrie des matériaux de construction.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> N.V. AVIRA et CDEM Holland BV, MER, Thermische Conversie-Installatie Duiven, 1997.



### Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement

Les données relatives aux émissions de l'installation d'incinération décrite ci-dessus sont récapitulées dans le tableau 5.27. Les valeurs indiquées sont des chiffres moyens pour 1997.

Paramètre	Unité	Valeurs mesurées	Valeurs limites (conformément aux normes allemandes)*
Particules solides	mg/Nm <sup>3</sup>	3.2	10.0
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	26.0	50.0
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	195	200
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	14.1	50.0
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	1.7	10.0
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	0.06	1.0
Total-C	mg/Nm <sup>3</sup>	1.4	10.0
Cd, TI	µg/Nm <sup>3</sup>	< 17.0	50.0
Hg	µg/Nm <sup>3</sup>	5	50.0
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	µg/Nm <sup>3</sup>	71.0	500
Dioxines/Furanes	ng I-TE/Nm <sup>3</sup>	0.097	0.1
Remarque : * Conformément à la Dix-septième Ordonnance sur la mise en œuvre de la Loi fédérale sur la limitation des nuisances (ordonnance sur les incinérateurs de déchets et autres matières combustibles similaires) du 23 novembre 1990, les valeurs indiquées s'entendent pour une température et une pression standard (0 °C, 1 bar, état sec) et une teneur en oxygène de 11 % par volume.			

**Tableau 5.27 - Comparaison entre les données relatives aux émissions provenant de l'incinération de déchets dans une installation d'incinération à soles multiples et les valeurs stipulées dans les normes allemandes (IFP, 1998).**

### Surveillance des émissions

Mesure en continu des particules solides, des SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et CO, les autres paramètres faisant l'objet d'analyses d'échantillons individuels.

### Interactions entre les milieux

L'incinération des déchets permet d'économiser sur la capacité des décharges. Les cendres obtenues peuvent être réutilisées par exemple dans la construction des routes. Les combustibles fossiles pour la production d'énergie peuvent être remplacés. L'incinérateur dégage des émissions dans l'atmosphère, qui doivent être traitées. Le tableau 5.27 ci-dessus indique les émissions possibles. En revanche, les émissions potentielles de gaz des décharges diminuent. Il y a génération d'eaux usées lorsqu'on utilise des épurateurs par voie humide pour le traitement des gaz de combustion.

### Expériences opérationnelles

En 1997, le rendement opérationnel de l'installation d'incinération en question a été d'environ 85 % et elle fonctionne de façon satisfaisante. Les travaux de maintenance et d'inspection n'ont pas dépassé les durées prévues.

### Aspects économiques

En 1991, le montant de l'investissement s'est chiffré à quelque 20 MEuros. Les dépenses de fonctionnement spécifiques ne sont pas connues. Le coût total de l'incinération d'une tonne de déchets (50 à 60 % de substances sèches) était d'environ 100 Euros. Ce coût inclut les frais d'investissement et

de fonctionnement, ainsi que les économies de gaz naturel, qui est la source d'énergie de l'usine de référence.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Dans le cas de l'installation de référence, il était évident il y a 10 ans que la capacité de mise en décharge à proximité de la papeterie allait devenir inadéquate, avec pour conséquence une hausse des frais d'enfouissement.

### **Installations de référence**

SCA Packaging Industriepapier GmbH, Allemagne.

### **Bibliographie**

Inexistante

---

## **Exemple 2 : Co-incinération de rejets provenant d'usines utilisant des FCR sans désencrage dans des centrales électriques à charbon incluant le traitement des gaz de fumées.**

---

Cette technique s'applique uniquement aux usines à base de FCR produisant du carton ondulé standard. Cela dit, il pourrait être intéressant d'étudier au cas par cas l'application dans d'autres usines traitant des papiers de récupération.

### **Description de la technique**

En raison de leur composition hétérogène, les rejets des usines utilisant des FCR sans désencrage sont couramment enfouis dans des décharges. Cela dit, compte tenu de leur pouvoir calorifique élevé, de l'ordre de 22 à 24 MJ/kg de matières sèches en raison du pourcentage élevé de plastiques, ces déchets conviennent pour la récupération d'énergie, en remplacement des combustibles fossiles (voir aussi exemple 1).

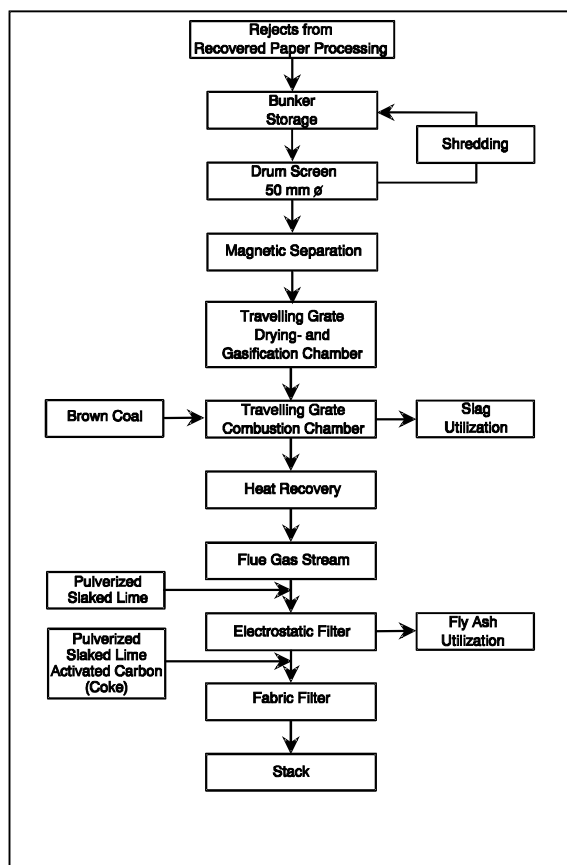
Le tableau 5.28 illustre la composition des déchets d'après la moyenne de 18 analyses réalisées dans différentes papeteries allemandes fabriquant des papiers pour ondulé et couverture.

<b>Composé</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur</b>
Plastique	poids-%	26.0
Fibres	poids-%	27.0
Verre et pierres	poids-%	0.1
Métaux	poids-%	0.9
Autres matières organiques	poids-%	1.0
Eau	poids-%	45.0
Pouvoir calorifique (100 % de substance sèche)	MJ/kg	23.8
Pouvoir calorifique (55 % de substance sèche)	MJ/kg	12.0
Teneur en chlore de la fraction plastique	poids-%	5.5
Teneur en chlore des déchets	poids-%	1.4

**Tableau 5.28 - Composition des déchets provenant de la fabrication de papiers couverture et de papiers pour ondulé. [IFP, 1998]**

Dans les papeteries utilisant des combustibles solides tels que le lignite ou le charbon dans leurs centrales électriques, on peut envisager de procéder à la co-incinération des déchets. Il est nécessaire d'installer une chambre de séchage et de gazéification associée à la chambre de combustion de la centrale, dans laquelle les déchets sont gazéifiés par oxydation des matières contenant du carbone avec de l'air. Les gaz générés pendant la gazéification sont ensuite brûlés dans la chambre de combustion de la centrale. Il convient de garantir des conditions adéquates ( $> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$  et un taux d'oxygène  $> 6\%$ ) pour éviter les problèmes de COV et de suie. Comme paramètre de contrôle, on peut surveiller le CO ( $< 50\text{ mg/Nm}^3$ ).

Avant le séchage et la gazéification, les déchets doivent subir le traitement suivant : lors d'une première étape, on procède à une classification dans un tamis à tambour. Les refus de plus de 50 mm sont broyés. Les matières ferreuses sont ensuite éliminées par séparation magnétique. On a recours à une grille mobile pour charger les déchets dans la chambre de séchage et de gazéification. La figure 5.17 présente un diagramme simplifié de cette technique.



**Figure 5.17 - Schéma simplifié de la co-incinération des déchets dans une centrale électrique à lignite. (IFP, 1998)**

### Applicabilité et caractérisation

Etant donné que leur teneur en énergie est utilisée pour produire de l'énergie directement sur le site, la co-incinération des déchets doit être considérée comme une technique intégrée dans le processus. En principe, toutes les centrales électriques existantes fonctionnant avec des combustibles solides (lignite, houille) devraient convenir à la co-incinération des déchets. La plupart des producteurs européens à grande échelle de papier pour ondulé et de papier couverture utilisent du gaz naturel comme

combustible pour alimenter leurs centrales électriques. Par conséquent, la co-incinération des déchets est limitée aux petites usines, souvent anciennes.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

La co-incinération des déchets dans les centrales existantes requiert des mesures supplémentaires de purification des gaz de combustion. Normalement, ce traitement des gaz de combustion doit répondre à des exigences très strictes. Pour éliminer le HCl qui provient de la teneur élevée en chlore des rejets, on injecte de la chaux éteinte sèche pulvérisée (hydroxyde de calcium) dans le courant de gaz de combustion. Cette injection de chaux sèche dans la zone de température appropriée permet de minimiser les teneurs en HCl, HF et SO<sub>2</sub>. Généralement, on peut atteindre des niveaux d'émissions de HCl < 30 mg/Nm<sup>3</sup>, HF < 5 mg/Nm<sup>3</sup> et SO<sub>2</sub> < 200 mg/Nm<sup>3</sup>. Des valeurs plus basses sont possibles selon le dosage de l'adsorbant. Les gaz de combustion sont ensuite traités dans une installation de dépoussiérage électrostatique puis dans un filtre à manches. La concentration en particules solides du gaz de combustion purifié n'est pas supérieure à 10 mg/ m<sup>3</sup>. Pour éliminer les dioxines de ces gaz de combustion, on fait généralement appel à du charbon actif ou à du coke. Généralement, les niveaux d'émissions possibles pour les dioxines/furanes sont > 0,1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. Des valeurs plus basses sont possibles selon le dosage du charbon actif. Le gaz de combustion est ensuite traité dans l'installation de dépoussiérage mentionnée ci-dessus. Étant donné que les installations de co-incinération existantes n'ont été mises en service que récemment (1997), on ne dispose pas de données fiables.

### **Surveillance des émissions**

La concentration d'HCl, de particules solides et de O<sub>2</sub> dans les fumées est mesurée en continu.

### **Interactions entre les milieux**

On considère que la co-incinération des déchets a un effet global positif quant aux performances sur l'environnement, par rapport à la mise en décharge. Lorsqu'on utilise des déchets pour produire de l'énergie, ils peuvent remplacer des combustibles fossiles. Une tonne de déchets avec une teneur en eau d'environ 45 % remplace quelque 0,7 tonne de lignite. Étant donné que la proportion de fibres dans les déchets est de l'ordre de 50 % par rapport aux matières sèches, l'émission de CO<sub>2</sub> fossile qui en résulte va diminuer. La co-incinération des déchets est une méthode efficace pour minimiser la mise en décharge. Dans ce cas, les cendres peuvent être réutilisées. Dans d'autres cas, les poussières et les cendres doivent être évacuées.

### **Données opérationnelles**

La co-incinération des déchets est une technique très récente. Les premières installations ont été mises en service à la fin de 1997. Par conséquent, on ne dispose pas encore de renseignements suffisants sur les méthodes et la disponibilité des installations d'incinération.

### **Aspects économiques**

Le montant des investissements pour une installation de co-incinération comprenant le pré-traitement, pour un volume maximum de déchets de 3 tonnes/h, se chiffre à environ 2,5 MEuros. Si l'on postule que le coût de la mise en décharge est de 50 Euros/t, il en résulte une économie annuelle de 0,6 MEuros. Le remplacement du lignite permet d'économiser 0,3 MEuros/an. Pour l'instant, les dépenses liées à la maintenance n'ont pas pu être précisées. Le coût de l'amortissement et des intérêts n'est pas pris en considération car il n'est pas connu.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Selon l'emplacement des papeteries, le coût de la mise à la décharge peut atteindre des niveaux très élevés et il augmentera encore à l'avenir. Les deux usines appliquant la co-incinération des déchets

dans les centrales électriques à charbon sont en service en Allemagne. Si l'on tient compte du fait que, après 2005, en Allemagne, l'évacuation de déchets avec une teneur en matières organiques supérieure à 5 % ne sera plus autorisée dans les décharges, il est évident que la mise en œuvre de cette technique est un investissement pour l'avenir.

### Installations de référence

Zülpich Papier-Recycled Paper Europe (Papier recyclé Europe), Zülpich/Allemagne  
Schöllerhammer Industriepapier, Düren/Allemagne

### Bibliographie

Inexistante

---

### Exemple 3 : Incinération de résidus (déchets et boues) d'installations de DIP, associée à la génération de vapeur et d'électricité.

---

A la différence des exemples 1 et 2, l'exemple suivant concerne des installations de DIP ou celles utilisant un mélange de pâte désencrée (DIP) et de pâte mécanique.

### Description de la technique

L'incinération de différents types de boues et de déchets est une pratique couramment mise en œuvre aujourd'hui dans l'industrie papetière et couvre les déchets, les boues de désencrage, les boues du traitement des effluents etc. Les deux méthodes d'incinération des déchets et des boues décrites ci-après sont utilisées :

- co-incinération avec des écorces dans des chaudières à écorce (uniquement pour les papeteries utilisant un mélange de matières premières, par exemple un mélange de pâte désencrée et de pâte mécanique lorsqu'on a recours à l'écorçage). Pour la co-incinération, notamment de boues à teneur relativement faible en solides secs, la chaudière à lit fluidisé est actuellement la solution la plus répandue pour les nouvelles installations. Elle peut fonctionner avec 100 % de boue, bien que l'on utilise souvent un combustible d'appoint, tel que du gaz naturel, du charbon ou du fioul. La nécessité d'un combustible d'appoint dépend de la teneur de la boue en solides secs et en cendres. Généralement, il faut que la boue ait une teneur d'au moins 35 à 40 % en solides secs pour assurer une combustion auto-entretenue (voir figure 6.19).
- incinération séparée des boues.

Pour pouvoir être utilisée comme combustible dans une chaudière, la boue provenant de la production de pâte basée sur des papiers de récupération doit d'abord subir une déshydratation (voir section 5.3.10). Les filtrats de déshydratation doivent être traités dans l'installation de traitement des effluents de l'usine. Actuellement, certaines usines traitent et réutilisent le filtrat après microfiltration dans le processus de fabrication de la pâte.

Les *boues* de désencrage provenant des cellules de flottation peuvent être incinérées sans pré-traitement après déshydratation. La boue excédentaire du traitement biologique des effluents peut être ajoutée mais elle ne représente qu'une faible partie du volume de l'ensemble des boues (environ 5 %). Pour assurer une température élevée ( $> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), on brûle généralement du gaz ou de l'écorce dans la chaudière à combustible solide (à lit fluidisé). Certaines usines ne brûlent que les boues alors que d'autres incinèrent tous les résidus, y compris les déchets ou l'écorce.

Dans le cas où des *déchets* DIP sont également brûlés, ils doivent subir un traitement préalable les rendant aptes à l'incinération dans une chaudière à lit fluidisé (voir exemple 2, figure 5.17). Le

principal objectif du traitement des déchets de l'installation de désencrage est de séparer les matières incombustibles et de broyer les particules de combustibles pour obtenir un bon comportement à la combustion. Après le traitement primaire et le tamisage, les combustibles doivent être amenés à la chaudière. Les autres déchets seront séparés sous forme de déchets ferreux et autres déchets incombustibles.

Le pré-traitement de ces rejets peut comporter les étapes suivantes :

- pré-tamisage 1 pour séparer les grosses particules de fer
- broyage primaire, pour réduire les particules à une taille appropriée pour les étapes de tamisage suivantes
- pré-tamisage 2 qui élimine le reste du fer
- tamisage qui sépare les matières incombustibles (métaux, pierres, verre etc.)
- broyage secondaire qui coupe les rubans en plastique, les cerclages et les cordes qui peuvent avoir échappé au broyage primaire.

### **Applicabilité et caractérisation**

L'incinération des résidus (déchets et boues) associée à la génération d'électricité et de vapeur peut être mise en œuvre dans la plupart des installations nouvelles ou existantes. Cependant, cette applicabilité dépend du type et de la capacité de la chaudière considérée. Par exemple, les petites usines ne peuvent pas appliquer cette technique. En effet, souvent, elles ne disposent que de chaudières à fioul ou à gaz très simples avec une capacité ou une aptitude technique limitée pour brûler des matières solides. La teneur en chlore plus élevée des rebuts demande une attention particulière (corrosion, traitement des gaz de combustion).

Lorsqu'elles sont utilisées, les chaudières à lit fluidisé sont plus appropriées et elles peuvent être modernisées à moindres frais que les chaudières à grille. Du point de vue fonctionnel, les chaudières à lit fluidisé présentent de nombreux avantages, parmi lesquels une moindre sensibilité aux variations de qualité et de quantité du combustible et, dans la plupart des cas, un niveau d'émissions plus faible que les unités à grille.

### **Principaux résultats atteints en ce qui concerne l'environnement**

Le principal résultat est la réduction d'environ 80 à 90 % de la quantité de matières à envoyer à la décharge. En outre, on obtient aussi un changement au niveau de la qualité, à savoir que les matières organiques sont presque entièrement éliminées. Pour l'élimination définitive ou la réutilisation des cendres, on peut choisir parmi plusieurs solutions selon la qualité des cendres obtenues. Dans certains cas, elles seront mises en décharge, dans d'autres elles seront utilisées dans l'industrie du bâtiment ou à d'autres fins de valorisation.

Les données relatives aux émissions des installations d'incinération de boues de désencrage et de boues du traitement biologique des effluents sont résumées dans le tableau 5.29. Les valeurs indiquées représentent des chiffres moyens pour 1998.

Paramètre	Unité	Valeurs mesurées en 1998 *	Valeur limite moyenne journalière *	Techniques mises en œuvre pour limiter les émissions
Poussières	mg/Nm <sup>3</sup>	4.8	10.0	- utilisation de manches filtrantes (Téflon)
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	1.1	50.0	- teneur en S très faible de la boue
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	185	200	- SNCR (injection d'ammoniac)
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	16.3	50.0	- lit fluidisé assurant une bonne combustion
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	3.5	10.0	- injection d'un adsorbant (mélange de calcium et de carbone activé) avant les filtres à manches
Total-C	mg/Nm <sup>3</sup>	1.1	10.0	
Note : * Les valeurs mesurées et les limites d'émission s'appliquent à une teneur en oxygène de 11% par volume. Les métaux lourds et les dioxines sont à des taux nettement inférieurs aux valeurs limites. Ils sont mesurés périodiquement.				

**Tableau 5.29 - Données relatives aux émissions de l'incinération de boues de désencrage (environ 5 % de boues en excès) dans une installation à lit fluidisé, comparées aux normes en vigueur en Allemagne (1998 Déclaration simplifiée sur l'Environnement, Sachsen Mill).**

La récupération d'énergie peut représenter un objectif secondaire justifiant l'application de cette technique. Après déshydratation, le bilan énergétique est légèrement positif, de l'ordre de 4 à 5 MJ/t rapporté à l'incinération de la boue (avec environ 58 % de solides secs). Cependant, pour certaines papeteries procédant au désencrage par lavage (par exemple les usines de papiers à usage sanitaire et domestique à base de FCR), l'incinération des boues se traduit par une consommation nette d'énergie.

### Interactions entre les milieux

L'incinérateur dégage des émissions dans l'air, qu'il faut traiter. Les niveaux d'émissions possibles sont mentionnés dans le tableau 5.29 ci-dessus. En revanche, les émissions potentielles de gaz au niveau des décharges sont diminuées. Normalement, la purification des gaz de combustion des incinérateurs produit une certaine quantité de déchets qu'il faut éliminer. Dans le cas de traitement de gaz de combustion humides, il y a génération d'eaux usées.

### Expériences opérationnelles

L'incinération des boues associée à la génération d'électricité et de vapeur est pratiquée dans de nombreuses usines modernes. Toutefois, l'incinération des déchets est beaucoup plus complexe et soulève des problèmes potentiels d'émission et de corrosion. Dans la pratique, les possibilités dépendent de la capacité et du type de chaudière. Cette technique est applicable dans certaines limites dans les petites papeteries.

Le chlore qui s'évapore lors de la combustion sur lit fluidisé se présentera aussi, en plus du HCl, sous forme de chlorure de potassium (KCl) et de chlorure de sodium (NaCl). On sait que ces substances se condensent à la surface des tubes avec une tendance à accroître l'éventualité d'une corrosion. Ce type de corrosion se rencontre quelquefois dans les surchauffeurs lorsque la température de la vapeur dépasse 500 °C.

### Aspects économiques

Le montant des investissements pour un incinérateur neuf de boues et de déchets est d'environ 7 à 9 MEuros et les dépenses de fonctionnement de 0,7 à 0,9 MEuros/an pour une production de pâte de 700 ADt/jour.

**Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

L'incinération de résidus permet de réduire considérablement l'espace requis pour les décharges, en fonction de la teneur organique des matériaux à brûler. De nombreux États membres découragent l'envoi à la décharge de déchets avec une teneur élevée en matières organiques.

**Installations de référence**

Certaines usines européennes fabriquant du papier journal et des papiers à usages domestiques et sanitaires à base de DIP ont installé des systèmes d'incinération à lit fluidisé, telles que Sachsen Papier Eilenburg, papier journal (DE), Tela Papierfabrik AG, papier à usage sanitaire et domestique (CH), Haindl Papier Schwedt, papier journal (DE), WEPA Giershagen, papier à usage sanitaire et domestique (DE).

**Bibliographie**

[CEPI, 1998b], [Rapport finlandais sur les MTD, 1997], [StoraEnso, 1999].



## 5.4 Meilleures Techniques Disponibles

### 5.4.1 Introduction

Pour comprendre le présent chapitre et son contenu, il est demandé au lecteur de se reporter à la préface du présent document et en particulier à sa cinquième section : "Comment comprendre et utiliser le présent document". Les techniques et les niveaux d'émissions et/ou de consommations associés, ou fourchettes de niveaux, présentés dans le présent chapitre ont été évalués selon une méthode itérative comprenant les étapes suivantes :

- identification des problèmes environnementaux cruciaux pour le secteur; pour les papeteries intégrées procédant au traitement de FCR, les principales préoccupations concernent la consommation d'eau, le rejet des eaux usées (DCO, DBO, matières en suspension, N, P, AOX), la consommation d'énergie (vapeur et électricité), les déchets solides tels que les refus/rejets, les boues et les cendres, les émissions dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, poussières), le bruit, la pollution thermique de l'eau, et quelquefois les mauvaises odeurs; ces trois derniers points ayant un impact local;
- étude des techniques les mieux appropriées pour résoudre ces problèmes-clés;
- identification des meilleurs niveaux de performance au niveau de l'environnement, sur la base des données disponibles en Europe et dans le monde entier;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance ont été atteints, par exemple coûts, interactions entre les milieux (impacts intermilieux), principaux facteurs pour la mise en œuvre de ces techniques;
- sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommation associés pour le secteur en question au sens large, le tout en conformité avec l'article 2(11) et l'annexe IV de la Directive.

L'avis autorisé formulé par le Bureau PRIP européen et le Groupe de Travail Technique compétent (TWG) a joué un rôle-clé dans chacune de ces étapes et dans la façon dont ces informations sont présentées ici.

Sur la base de cette évaluation, le présent chapitre présente les techniques, et dans la mesure du possible également les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD, que l'on juge pertinents pour le secteur dans son ensemble et qui, dans de nombreux cas, reflètent les résultats effectivement atteints par certaines installations dans le secteur en question. Lorsqu'on présente des niveaux d'émissions ou de consommations "associés aux meilleures techniques disponibles", il faut comprendre qu'il s'agit de niveaux représentant le résultat, au niveau de l'environnement, qu'il est possible d'envisager lorsqu'on applique, dans le secteur en question, les techniques décrites, en tenant compte de l'équilibre entre les coûts et les avantages inhérents à la définition de la MTD. Cependant, ils ne constituent en aucun cas des valeurs limites d'émissions ou de consommation et ne doivent pas être compris comme tel. Dans certains cas, il se peut que l'on puisse techniquement atteindre de meilleurs niveaux d'émissions ou de consommations, mais que, compte tenu des investissements qu'ils impliquent ou de considérations liées aux interactions entre les milieux, ils ne soient pas considérés appropriés comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Toutefois, de tels niveaux peuvent être considérés comme justifiés dans des cas plus spécifiques avec des motivations spéciales.

Les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD doivent être considérés dans le contexte des éventuelles conditions de référence précisées (par exemple périodes servant de base à l'établissement d'une moyenne).

Il faut faire une distinction entre la notion de "niveaux associés aux MTD" décrite ci-dessus et le terme de "résultat possible" utilisé dans le présent document. Lorsqu'on parle de niveau de résultat "possible" en utilisant une technique donnée ou une combinaison de techniques, il s'agit du niveau que l'on peut

envisager d'atteindre pendant un laps de temps suffisamment long dans une installation ou un processus bien entretenus et bien gérés en faisant appel aux techniques en question.

Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives aux coûts sont communiquées avec la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. On peut ainsi se faire une idée approximative de l'ordre de grandeur des investissements requis. Toutefois, le coût effectif de la mise en application d'une technique dépend en grande mesure de la situation du cas d'espèce concernant par exemple les taxes, droits et les caractéristiques techniques de l'installation concernée. Or, il n'est pas possible, dans le présent document, de procéder à une évaluation exhaustive de tels facteurs spécifiques au site. En l'absence de données concernant les coûts, les conclusions relatives à la viabilité économique des techniques sont fondées sur des observations portant sur des installations existantes.

L'objectif recherché est que les MTD générales présentées dans le présent chapitre servent de référence sur laquelle s'appuyer pour apprécier les résultats réels d'une installation existante ou pour évaluer une proposition relative à une nouvelle installation. De cette façon, elles contribueront à faciliter la détermination de conditions adéquates "basées sur les MTD" pour l'installation ou l'élaboration des prescriptions contraignantes générales en conformité avec l'article 9 (8). Il est prévu que des installations nouvelles puissent être conçues pour fonctionner en atteignant voire en dépassant les niveaux des MTD générales présentées ici. On peut également envisager que des installations existantes tendent vers les niveaux des MTD générales voire aillent au-delà, sous réserve de l'applicabilité technique et économique des techniques dans chaque cas spécifique.

Si les BREF n'imposent pas de normes à caractère juridiquement contraignant, ils entendent fournir des renseignements destinés à servir d'orientation à l'industrie, aux États membres et au public concernant les niveaux d'émissions et de consommations qu'il est possible d'atteindre en utilisant certaines techniques spécifiques. Les valeurs limites pertinentes pour un cas particulier devront être déterminées en tenant compte des objectifs de la directive PRIP et des considérations locales.

La fabrication de papier à partir de papiers de récupération n'est pas un processus unique mais une série d'opérations distinctes, souvent liées entre elles et interdépendantes. Par conséquent, une MTD pour une usine de papier à base de FCR est toujours constituée par une combinaison appropriée de techniques. L'ordre de priorité et la sélection des techniques ou combinaisons de techniques dépend des conditions locales.

Sauf indication contraire, les meilleures techniques disponibles indiquées ci-dessous sont applicables à des installations nouvelles ou existantes. Dans les papeteries, l'applicabilité d'une technique n'est pas subordonnée au fait qu'il s'agit d'une installation nouvelle ou ancienne. Les usines de papier sont caractérisées par le fait que leur matériel est modernisé plutôt que remplacé intégralement. Cette adaptation et cet aménagement modulaires des installations signifient que chaque site est un produit unique influencé par sa situation et son histoire. En revanche, la fabrication du papier comporte une série d'opérations unitaires que l'on retrouve dans tous les pays.

Les critères à prendre en considération pour déterminer les MTD dans les cas d'espèces sont plutôt que les coûts spécifiques sont plus élevés pour les usines de petite taille (économies d'échelle). D'autres facteurs entrant en ligne de compte sont les limitations au niveau de l'espace, telles que peuvent en rencontrer certaines usines anciennes, ou un équipement dont le matériau ou la conception ne convient pas, et qui ne permet pas de développer encore plus la circulation en circuit fermé de l'eau. En effet, ce développement de la mise en circuit fermé de l'eau implique habituellement un système plus complexe, qui doit être surveillé, contrôlé et compris. Or les petites entreprises ne possèdent peut-être pas toujours les connaissances requises pour exploiter et maîtriser de la façon la plus efficace ce type de solutions industrielles plus complexes.

### 5.4.2 MTD pour les papeteries utilisant des FCR

Pour les papeteries utilisant des papiers récupérés, les techniques suivantes sont considérées comme des MTD. Cette liste des MTD n'est pas considérée comme exhaustive et n'importe quelle autre technique ou combinaison de techniques permettant d'atteindre le même résultat (voire un résultat meilleur) peut également être envisagée; il peut s'agir en l'occurrence de techniques en cours de développement ou d'une technique émergente ou déjà disponible mais qui n'est pas décrite dans le présent document. Pour les usines intégrées utilisant des papiers de récupération, il est renvoyé à la section 6.4, qui donne des détails complémentaires sur les MTD pour la fabrication du papier. Sauf indication contraire, les données sont des valeurs annuelles moyennes.

#### Mesures générales

1. Formation, éducation et motivation du personnel et des opérateurs. Les papeteries sont conduites par des hommes. Par conséquent, la formation du personnel peut s'avérer être une mesure très efficace, par rapport à son coût, pour réduire la consommation d'eau et les rejets de substances dangereuses, par exemple les rejets accidentels de produits chimiques.
2. Optimisation de la gestion du processus. Pour pouvoir réduire différents polluants simultanément et maintenir les émissions à un niveau faible, il est nécessaire d'améliorer la maîtrise du processus et de procéder à des mesurages.
3. Pour conserver le rendement des unités techniques des papeteries, et maintenir les techniques associées de limitation à un niveau élevé, il convient d'assurer une maintenance adéquate.
4. Un système de gestion de l'environnement qui définisse clairement au sein de l'usine les responsabilités pour les aspects touchant à l'environnement. Il suscite la prise de conscience et englobe des objectifs et des mesures, des instructions relatives au processus et aux tâches, des listes de contrôle et autre documentation pertinente.

#### Mesures pour réduire les émissions dans l'eau

Il est possible d'aboutir à une réduction de la consommation d'eau fraîche et, par conséquent, des rejets d'eaux usées, en appliquant une combinaison de différentes techniques telles que :

1. Séparation de l'eau peu polluée et de l'eau polluée, et recyclage de l'eau de process. La séparation et la réutilisation des eaux propres de refroidissement et le recyclage des eaux d'étanchéité et de process des pompes à vide sont des méthodes permettant de réduire la consommation d'eau fraîche.
2. Gestion optimale du circuit d'eau. Épuration de l'eau par décantation, flottation ou filtration et recyclage de l'eau de process pour différents usages.
3. Réduction de la consommation d'eau fraîche grâce à une séparation rigoureuse des circuits d'eau et des circuits à contre-courant.
4. Production d'eau clarifiée pour les installations de désencrage (flottation).

La réduction de la pollution de l'eau est étroitement liée à la récupération et au recyclage de l'eau de process en vue de réduire la consommation d'eau fraîche. En augmentant le degré de mise en circuit fermé de l'eau, les rejets seront plus concentrés et moins importants et, de ce fait, plus faciles à traiter. L'appoint d'eau fraîche dépend principalement des exigences liées au produit fabriqué, des types de papiers et de la conception du circuit d'eau. La consommation d'eau dépend de la quantité d'eau requise sur les rinceurs. En outre, la consommation d'eau fraîche est aussi liée à la formation et au comportement des opérateurs et de l'ensemble du personnel. L'eau blanche en excès et les autres eaux de process polluées sont soumises à un traitement biologique.

5. Mise en place d'un bassin tampon et d'un traitement primaire.  
Ces mesures sont mises en œuvre dans pratiquement toutes les papeteries et sont plutôt considérées comme une bonne pratique. Elles sont une condition préalable à un fonctionnement correct et stable des installations de traitement biologique des effluents. Pour les papeteries traitant des FCR, elles ne sont pas considérées comme des MTD en tant que technique isolée.
6. Traitement biologique aérobie. C'est la méthode préconisée pour les qualités désencrées et, selon les conditions rencontrées, également pour les qualités non désencrées. Il existe de nombreuses méthodes permettant d'atteindre de bons résultats en ce qui concerne la réduction de la charge organique rejetée. Le choix du traitement est dicté avant tout par la concentration initiale, les caractéristiques des effluents et le seuil à atteindre. Une condition préalable indispensable au bon fonctionnement des systèmes biologiques est que l'installation de traitement soit correctement conçue et entretenue. En fonction de la concentration initiale et du système de traitement choisi, les résultats de l'élimination de la charge polluante associés à des MTD sont ceux qui sont présentés dans les sections 6.3.10 et 5.3.6. Un traitement en commun des effluents provenant d'une papeterie ou d'un groupement de papeteries dans la station municipale de traitement biologique des eaux usées est également considéré comme MTD lorsque qu'il permet d'atteindre des résultats comparables en matière d'élimination.
7. Un traitement biologique combiné, aérobie et anaérobie. C'est la méthode préconisée pour les qualités non désencrées. En effet, ces qualités impliquent habituellement de traiter des effluents plus concentrés parce que la mise en circuit fermé de l'eau est plus poussée et/ou parce que la préparation de la pâte comporte de plus grandes quantités de substances organiques dissoutes. On connaît aussi quelques cas réussis de traitement anaérobie des effluents dans des installations DIP. Le traitement anaérobie n'est jamais utilisé seul comme traitement biologique mais il est toujours suivi d'un traitement aérobie. Comparé au seul traitement aérobie, le traitement combiné génère considérablement moins de boues excédentaires (voir ci-après Mesures visant à réduire les déchets solides).
8. Recyclage partiel des eaux ayant subi un traitement biologique. Le taux possible de recyclage de l'eau dépend des types spécifiques de papiers produits. Pour les qualités sans désencrage, cette mesure est considérée comme une MTD. Il faut cependant analyser soigneusement ses avantages et ses inconvénients, et il faut habituellement envisager un traitement supplémentaire (traitement tertiaire).
9. Traitement des circuits d'eau internes.  
Cela inclut des techniques à envisager lors d'un remplacement de matériel, ou dans des zones dans lesquelles les contraintes environnementales sont plus rigoureuses. En général, on ne traitera que des effluents partiels de l'ensemble du circuit d'eau, contenant des substances spécifiques qu'il faut éliminer. Bien que la fermeture des circuits avec traitement biologique intégré de l'eau de process soient déjà en service à l'échelle industrielle en Europe pour des qualités de papier sans désencrage, cette technique n'est pas encore considérée comme MTD. La raison en est que l'on n'a pas encore trouvé de solution technique satisfaisante aux problèmes dus à la précipitation du carbonate de calcium dans les canalisations et dans le bassin d'aération de l'installation à boues activées.

Il est difficile de présenter des chiffres fiables sur la charge polluante des effluents avant le traitement biologique car ces éléments font rarement l'objet de rapports transparents. Par exemple, il n'est pas toujours évident de savoir quelles sont les techniques qui sont mises en œuvre dans le procédé de fabrication pour atteindre les niveaux d'émissions communiqués avec le seul traitement primaire. Les émissions dans l'eau avant traitement dépendent dans une grande mesure de la qualité des matières premières utilisées (papiers de récupération, additifs chimiques) et de la conception du processus (consistance, température, conception des circuits). On ne considère pas que ces usines représentent des MTD mais des exemples concrets susceptibles de donner des indications concernant les rejets dans les milieux aquatiques lorsqu'on n'a pas recours à un traitement biologique. Par conséquent, les valeurs mentionnées dans le tableau 5.30 concernent toutes des rejets dans l'eau après le seul traitement primaire.

Exemples de papeteries à base de FCR	Niveaux d'émissions communiqués atteints après le seul traitement primaire			Production 1997 [t/an]		Commentaires
	DCO [kg/t]	DBO <sub>5</sub> [kg/t]	Débit <sup>3)</sup> [m <sup>3</sup> /t]			
<b>Usines de pâte désencrée *</b>						
Haindl Papier Schongau, DE	20.2 (2500 mg/l)	10.1 **	8.2	500 000 papier journal 40 000 papier SC 47 000 DIP		données pour 1997, 84 % DIP, 16 % TMP
Haindl Papier (Schwedt), DE	23.0 (1500 mg/l)	11.5 **	15.2	250 000 papier journal		données pour 1997, 100 % DIP
Lang Papier Ettringen, DE	15.9 (2100 mg/l)	7.9 **	7.7	129000 papier journal 123000 SC papier, 5100 DIP		données pour 1997, 88 % DIP, 12 % pâte mécanique GW
Sachsen Papier Eilenburg, DE	18.1 (1600 mg/l)	9 **	11.4	284000 papier journal, 47000 DIP		données pour 1997, 100 % DIP; 1998 : 10 m <sup>3</sup> /t, 13 kg DCO/t
Usine 1, papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR	47	23.5 **	10	n.a.		papiers de récupération de qualité inférieure utilisés comme matière première
Usine 2, papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR	20	10 **	10	n.a.		papiers de récupération de qualité moyenne (standard) utilisés comme matière première
Usine 3, papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR	37	18.5**	11	n.a.		papiers de récupération de qualité moyenne (standard) utilisés comme matière première
Usine 4, papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR	17.8	9**	17	n.a.		papiers de récupération de qualité supérieure utilisés comme matière première
<b>Sans désencrage</b>						
DCO d'après [Note néerlandaise sur les MTD, 1996]	20-30	10-15** (Valeur estimée)	0 - 5	n.a.		pas de données disponibles concernant des exemples concrets dans le monde
n/a : pas de données disponibles;						
* Les données pour les installations DIP sont extraites de [Pfitzner, 1999]; les données pour les usines de papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR sont extraites de [Zippel, 1999];						
** La valeur DBO <sub>5</sub> est estimée en postulant DCO = 2 * DBO <sub>5</sub>						
Cela n'apporte rien de plus de donner les valeurs d'azote (N) et de phosphore (P) avant le traitement biologique, car N et P sont ajoutés aux effluents de la papeterie, comme nutriments nécessaires à la biomasse de l'installation de traitement biologique.						

**Tableau 5.30 - Exemples de niveaux d'émissions annuels moyens dans l'eau, obtenus après traitement primaire seulement, pour quelques usines de papier à base de FCR avec ou sans désencrage.**

La liste des usines est une sélection d'usines pour lesquelles des données étaient disponibles, et elle ne prétend donc pas être exhaustive.

Compte tenu du manque de transparence pour savoir si (et le cas échéant dans quelle mesure) les usines sans traitement biologique avaient appliqué des MTD, aucun niveau d'émission associé à l'utilisation de MTD avec le seul traitement primaire n'est proposé.

Le tableau 5.31 indique les niveaux d'émissions atteints en Europe par quelques usines de papier intégrées à base de FCR. On postule qu'elles ont mis en œuvre une combinaison appropriée de MTD mais pas nécessairement toutes, ainsi qu'un traitement biologique des effluents.

Exemples de papeteries utilisant des FCR	Niveaux d'émissions communiqués atteints après traitement biologique						Type de traitement
	DCO	DBO <sub>5</sub>	tot-P	MES	Débit [m <sup>3</sup> /t]	Production '97 [t/a]	
<b>Usines avec désencrage</b>							
Usine I, papier journal, DE ( <i>DE = Allemagne</i> )	300 mg/l (2.1 kg/t)	10 mg/l (0.07 kg/t)	0.4 mg/l	14 mg/l (0.09 kg/t)	7	100000	Boues activées
Usine I, papier journal, DE ( <i>DE = Allemagne</i> )	335 mg/l (5 kg/t)	19 mg/l (0.3 kg/t)	0.4 mg/l	n./a.	15	233000 (chiffre 1996)	Boues activées
Sachsen Papier, papier journal, DE	200 mg/l (2 kg/t)	4 mg/l (0.04 kg/t)	0.3 mg/l	n./a.	10	355000 (chiffre 1998)	Filtre bactérien + boues activées
Usine 4, papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR, DE	100 mg/l (0.9 kg/t)	10 mg/l (0.09 kg/t)	n./a.	n./a.	9	64000	Boues activées
<b>Usines sans désencrage</b>							
Usine de carton Fiskeby, SE	90 mg/l	5 mg/l	0.1 mg/l	5 mg/l	n./a.	123000	Filtre immergé à charges élevées (Kaldnes) + boues activées
Industriewater Eerbeek, (groupement de 3 usines traitant des FCR), NL	85 mg/l	5 mg/l	0.4 mg/l	9 mg/l	n./a.	450000 (15% DIP, 5% GWP)	Anaérobie/aérobie (boues activées)
Usine I (principalement du papier pour ondulé standard + des papiers moins spéciaux), DE	94 mg/l (0.9 kg/t)	4 mg/l (0.04 kg/t)	0.6 mg/l	17 mg/l	9	120 000, papier pour ondulé	Anaérobie/aérobie (boues activées)
Usine 2, carton fin, DE	65 mg/l (0.32 kg/t)	5 mg/l (0.02 kg/t)	0.65 mg/l	n./a.	5	650000	Filtre bactérien + boues activées
Usine 3, papier pour ondulé standard, DE	168 mg/l (1.1 kg/t)	9 mg/l (0.06 kg/t)	1 mg/l	25 mg/l	7	38000	01 à 08/97 : boues activées; puis : traitement anaérobie/aérobie
Usine 4, papier pour ondulé standard, DE	140 mg/l (0.6 kg/t)	5 mg/l (0.02 kg/t)	0.9 mg/l	4 mg/l	4.2	300000	Anaérobie/aérobie (boues activées)
Usine 5, papier pour ondulé standard, DE	0	0	0	0	0	40000	Anaérobie/aérobie en cours de fabrication (zéro effluent)
Usine 5, papier couverture blanc et cartons pour boîtes pliantes, DE	90 mg/l (0.6 kg/t)	13 mg/l (0.09 kg/t)	1.1 mg/l	n./a.	7	120000, chiffre 1998	Anaérobie/aérobie (boues activées)

**Tableau 5.31 - Exemples de niveaux annuels moyens d'émissions dans l'eau atteints après le traitement biologique par quelques usines européennes traitant des FCR (année de référence : principalement 1997).**

La liste des usines est une sélection d'usines pour lesquelles des données étaient disponibles ou communiquées, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Ces données proviennent de membres du groupe de travail TWG et de contacts personnels. La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs. En Suède, les valeurs pour la DBO sont exprimées en DBO<sub>7</sub>.

En postulant que l'installation de traitement des eaux usées a été correctement conçue et dimensionnée et qu'elle est conduite et contrôlée par des opérateurs qualifiés, on considère que les niveaux d'émissions associés à une combinaison de MTD sont ceux qui figurent dans le tableau ci-après. Les charges relatives aux effluents incluent la transformation en pâte, le blanchiment, pour les qualités désencrées, et la fabrication du papier.

En dépit de la grande variété de types de papiers différents fabriqués à partir de papiers de récupération, on peut dire que les papeteries qui ont mis en œuvre des MTD atteignent pratiquement les mêmes niveaux d'émissions. Par conséquent, en ce qui concerne les rejets après un traitement approprié des effluents provenant des différentes catégories de production de papier, on n'a pas identifié de différences significatives entre les types de papier.

Paramètres	Unités	Sans désencrage <sup>4</sup>	Avec désencrage <sup>1</sup>	Papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR
DBO <sub>5</sub>	kg/t de papier	<0.05-0.15 <sup>5</sup>	<0.05-0.2 <sup>5</sup>	<0.05-0.5 <sup>5</sup>
DCO	kg/t de papier	0.5-1.5	2.0-4.0	2.0-4.0
MES	kg/t de papier	0.05-0.15	0.1-0.3	0.1-0.4
AOX	kg/t de papier	<0.005	<0.005	<0.005
Total P	kg/t de papier	0.002-0.005 <sup>2</sup>	0.005-0.01 <sup>2</sup>	0.005-0.015 <sup>2</sup>
Total N	kg/t de papier	0.02-0.05 <sup>2</sup>	0.05-0.1 <sup>2</sup>	0.05-0.25 <sup>2</sup>
Quantité d'effluents	m <sup>3</sup> /t de papier	<7	8-15	8-25 <sup>3</sup>
Notes explicatives :				
1) On peut utiliser un mélange d'autres types de fibres (telles que pâtes mécaniques, TMP ou CTMP) en différents pourcentages allant de 0 à 30 %.				
2) Les rejets d'azote (N) et de phosphore (P) dépendent du dosage optimisé de ces substances nutritives vers l'installation de traitement biologique des effluents. Pour atteindre des niveaux de rejets faibles, il faut régler ce dosage de façon assez fine.				
3) La production de papier à usage sanitaire et domestique est associée à un certain nombre de facteurs susceptibles d'entraîner une augmentation de la consommation spécifique d'eau : grammages plus faibles (pouvant descendre jusqu'à 12 g/m <sup>2</sup> ), propreté, changements fréquents de qualité ou de couleur, moins grandes vitesses des machines à papier, et recours à des quantités plus élevées d'eau de rinceurs. Dans ces conditions, pour ce type de papier, on estime qu'une demande d'eau de 8 à 25 m <sup>3</sup> /t de papier est considéré comme MTD.				
4) La fabrication de papier-carton couché demande un peu plus d'eau que, par exemple, la production de papier couverture, de papier pour ondulé (ou wellenstoff) ou de papier-carton non couché (7 à 15 m <sup>3</sup> /t). Par conséquent, les chiffres les plus élevés de la plage des émissions associées à des MTD sont valables pour le papier-carton couché.				
5) Les chiffres les plus bas de la fourchette des émissions de DBO indiquent une élimination quasi complète des matières organiques biodégradables. Ils doivent être interprétés comme tels et non comme un chiffre précis.				

**Tableau 5.32 - Niveaux moyens annuels de rejets associés à l'utilisation des MTD pour des usines intégrées traitant des FCR (> 50 % de FCR), avec désencrage (par exemple papier journal), ou sans désencrage (papier pour ondulé/papier cannelure/couverture).**

Les données relatives aux émissions concernent des usines de papier intégrées utilisant des FCR. Les niveaux d'émissions MTD pour les usines utilisant aussi des pâtes mécaniques ou des pâtes chimiques sont présentés dans les sections 4.4 et 6.4.

Les rejets dans l'eau ne sont présentés que pour trois types de production seulement: les qualités sans désencrage, les qualités désencrées et les usines de papiers à usage sanitaire et domestique à base de FCR. Concernant ces rejets, les différences entre les divers types ne sont pas très significatives. Par exemple, les usines traitant des FCR pour des papiers d'impression et d'écriture peuvent atteindre des fourchettes d'émissions du même ordre que les usines de papier journal à base de FCR.

En Europe, pour les qualités non désencrées, la production la plus importante concerne les usines de papier couverture, cannelure et papier pour ondulé. Les autres usines fabriquent des cartons pour boîtes pliantes à partir de papiers de récupération. Ces dernières utilisent différentes sortes de papiers récupérés et différents processus de préparation de la pâte pour le carton multi-couches. Quelques unes utilisent une certaine quantité de pâte kraft blanchie. Certaines couches peuvent être en DIP. Pour ces usines, les niveaux d'émissions dans l'eau associés à l'utilisation des MTD sont du même ordre de



grandeur que les émissions des usines FCR sans désencrage mentionnées dans le tableau 5.32. En revanche, la consommation d'eau peut être un peu plus importante, notamment lorsque le papier et le carton sont fabriqués dans des usines qui produisent différentes qualités de papier sur une même machine. On connaît des exemples de cartonneries à base de FCR produisant du carton pour boîtes pliantes qui ont recours au désencrage pour obtenir des produits répondant à la qualité demandée, tout en utilisant des types de vieux papiers de qualités inférieures. Pour ces usines, comme pour toutes celles qui produisent des sortes avec désencrage, les techniques à prendre en considération sont celles applicables à la classe des papiers désencrés.

Un grand nombre d'usines de papier à usage sanitaire et domestique utilisent aussi des fibres de récupération comme principale source de fibres. Elles peuvent employer différents mélanges de fibres recyclées et de fibres "vierges". Si elles utilisent essentiellement de la pâte DIP, elles ont souvent recours à des papiers de récupération de meilleure qualité comme matière première. Comme il ressort du tableau ci-dessus, les rejets dans l'eau sont comparables à ceux des autres qualités désencrées. Cela dit, pour la production des papiers à usages domestiques et sanitaires, il existe un certain nombre de facteurs pouvant entraîner une consommation spécifique d'eau légèrement supérieure.

Le tableau ci-dessus doit être interprété à la lumière des explications supplémentaires suivantes :

- **DBO** (Demande Biologique d'Oxygène) : dans les installations de traitement bien conçues, la DBO est presque entièrement éliminée (suppression de 95 % +) des effluents liquides des papeteries utilisant des FCR quand le rapport carbone-phosphore-azote et l'apport en oxygène sont maintenus à un niveau suffisant et bien maîtrisés. Les niveaux de la  $DBO_5$  sont généralement nettement inférieurs à 25 mg  $DBO_5$ /l et peuvent descendre jusqu'à 5 mg/l, soit une élimination presque complète. Des niveaux aux environs de 5 mg/l sont difficiles à mesurer avec précision et difficilement reproductibles. Ils doivent être interprétés comme des valeurs proches du seuil de détection. Selon le débit de l'eau, ces niveaux de performances correspondent respectivement à <0,05 kg  $DBO_5$ /t et 0,3 kg  $DBO_5$ /t.
- **DCO** (Demande Chimique d'Oxygène) : les productions avec unité de désencrage entraînent des émissions supérieures à celles sans désencrage. Des facteurs tels que les matières premières utilisées, les mesures internes et les mesures externes, ainsi que le débit d'eau par tonne, ont une incidence sur la charge finale de polluants. L'application de MTD permet d'atteindre des concentrations comprises entre moins de 100 mg/l et 200 mg/l (sans désencrage) et 200 à 300 mg/l (avec désencrage).
- **MES** (Matières en suspension) : dans des conditions de fonctionnement normales, l'eau traitée est relativement claire. La teneur en matières en suspension se situe dans la fourchette 10 à 30 mg/l. Cela correspond à des rejets de 0,1 à 0,3 kg MES/t. Les valeurs dépendent de la charge surfacique du décanteur secondaire et des caractéristiques de la biomasse.
- **AOX** : aujourd'hui, les rejets de matières organiques chlorées sont très faibles étant donné que la teneur en chlore des papiers récupérés a baissé au cours des années. Dans les usines de papier qui utilisent des fibres vierges, il s'agit normalement de pâte blanchie ECF ou TCF, ce qui se traduit par une réduction des rejets en AOX. Le traitement biologique à boues activées se traduit par une réduction supplémentaire des AOX, de l'ordre de 30 à 50 %. Toutefois, cette réduction est obtenue en partie grâce au stripping de ces composés lors du traitement. Selon le type des papiers récupérés et des additifs chimiques utilisés, les usines traitant des FCR rejettent normalement moins de 0,3 mg/l de composés organiques chlorés, soit moins de 0,004 kg/t.
- **N et P** (Phosphore et azote) : on ajoute habituellement des substances nutritives minérales dans l'installation de traitement biologique pour maintenir l'équilibre C : P : N qui est d'une importance capitale pour assurer la croissance de la biomasse active. Afin de trouver et maintenir un équilibre entre le carbone biodégradable et les composés d'azote et de phosphore, le dosage des substances nutritives ajoutées doit être réglé avec une certaine précision. Habituellement, le phosphore est

ajouté sous forme d'acide phosphorique et l'azote sous forme d'urée. Lorsque le circuit est optimisé, on peut atteindre un rejet de substances nutritives nettement inférieur à 1 mg de phosphore total/l et à 5 mg d'azote total/l. Les charges correspondantes sont respectivement de 0,005 à 0,01 kg P/t et 0,05 à 0,1 kg N/t avec désencrage et légèrement moins pour les usines sans désencrage en raison des débits d'eau moins élevés.

### **Mesures pour réduire les rejets dans l'air**

Les rejets dans l'air des usines de papier à base de FCR sont principalement liés aux unités de production de chaleur et d'électricité. De ce fait, les économies de chaleur et d'énergie se traduisent par une réduction des rejets dans l'atmosphère. Ces centrales sont habituellement des chaudières standard et elles peuvent être traitées comme n'importe quelle autre centrale électrique. C'est pourquoi, dans la présente section, on ne mentionne que brièvement les MTD généralement reconnues. Pour réduire les émissions dans l'atmosphère, les mesures suivantes sont disponibles :

1. Cogénération de chaleur et d'énergie
2. Amélioration des chaudières à vapeur existantes grâce à l'application d'une technologie à faible teneur en  $\text{NO}_x$  et à l'utilisation de combustibles pauvres en soufre ou à la limitation des émissions de S.
3. Utilisation de sources renouvelables telles que le bois ou les déchets de bois de manière à réduire les émissions de  $\text{CO}_2$  fossile (ne peut s'appliquer que dans les usines intégrées à une chaîne de production de pâte vierge).

Les niveaux d'émissions, associés aux MTD, en provenance des chaudières auxiliaires procédant à l'incinération de leurs propres biocombustibles et/ou de différents combustibles fossiles sont récapitulés dans le tableau 5.33. Il convient de noter que, dans l'industrie papetière, les chaudières auxiliaires sont de tailles extrêmement variables (de 10 à plus de 200 MW). Pour les plus petites, seul le recours à du combustible pauvre en S et une action au niveau des techniques de combustion sont possibles à des coûts acceptables, alors que pour les plus grandes, on peut aussi envisager des mesures de limitation. Cette différence est illustrée dans le tableau suivant. Les chiffres les plus élevés sont considérés comme des MTD pour les petites installations et atteints lorsqu'on agit uniquement sur la qualité du combustible et en appliquant des mesures internes. Les niveaux les plus bas (entre parenthèses) sont associés à des mesures de limitation supplémentaires telles que la SNCR et les scrubbers, et sont considérés comme des MTD pour les installations les plus grandes.

Emissions atmosphériques	Charbon	Huile lourde (mazout)	Gazole	Gaz	Biocombustible (par ex. écorce)
mg S/MJ de combustible consommé	100 - 200 <sup>1</sup> (50 - 100) <sup>5</sup>	100 - 200 <sup>1</sup> (50-100) <sup>5</sup>	25-50	<5	< 15
mg NO <sub>x</sub> /MJ de combustible consommé	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	45-60 <sup>2</sup>	30 -60 <sup>2</sup>	60 -100 <sup>2</sup> (40-70 SNCR) <sup>3</sup>
mg de poussière/Nm <sup>3</sup>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>	10 - 40 <sup>4</sup> à 3 % O <sub>2</sub>	10-30 3% O <sub>2</sub>	< 5 3% O <sub>2</sub>	10 à 30 % avec 6 % de O <sub>2</sub>
Notes :					
1) Les émissions de soufre des chaudières à mazout ou à charbon dépendent de la possibilité de se procurer du mazout et du charbon pauvres en S. On pourrait obtenir une certaine réduction du soufre en injectant du carbonate de calcium.					
2) On n'agit qu'au niveau de la technologie de la combustion.					
3) On applique également des mesures secondaires telles que la SNCR; uniquement pour des installations de grandes dimensions.					
4) Valeurs obtenues lorsqu'on a recours au dépolluier électrostatique.					
5) Lorsqu'on utilise un scrubber; ne s'applique qu'aux installations de grandes dimensions.					

**Tableau 5.33 - Niveaux d'émissions associés à l'utilisation de MTD pour différents combustibles.**

Pour les papiers couchés, les formulations des sauces de couchage sont considérées comme MTD. Grâce à cette mesure, il est possible d'éviter ou de réduire l'émission de composés organiques volatiles (COV) et de certaines substances susceptibles de poser des problèmes telles que l'acrylonitrile ou le formaldéhyde de couchage. Il convient d'éviter en particulier les formulations comprenant des composés cancérogènes.

Il est possible d'éviter en grande partie les nuisances locales dues à des odeurs grâce à des mesures internes, et, dans le cas où l'installation de traitement biologique est la principale source de ces nuisances, grâce à des installations bien conçues et bien conduites.

### Mesures pour réduire les déchets solides

Pour réduire la quantité de déchets solides mis en décharge, les mesures suivantes sont considérées comme MTD :

1. Minimisation de la génération de déchets solides et récupération, réutilisation et recyclage dans toute la mesure du possible.
2. Collecte séparée des fractions de déchets à la source et, si nécessaire, stockage intermédiaire des matières résiduelles/déchets pour permettre à une plus grande quantité d'être réutilisée ou recyclée plutôt qu'envoyée à la décharge.
3. Optimisation de la récupération des fibres grâce à l'amélioration des installations de préparation de la pâte.
4. Optimisation des stades d'épuration dans la préparation de la pâte.
5. Flottation avec injection d'air dissous (DAF) pour récupérer les fibres et les charges et pour clarifier l'eau de process. Pour concevoir des installations de préparation de la pâte (en conformité avec les points 3 à 5), il convient de trouver un équilibre entre pureté de la pâte, pertes de fibres, qualité du produit, besoins en énergie et coûts.
6. Pré-traitement anaérobie des effluents  
Par rapport au seul traitement aérobie des effluents, le traitement combiné anaérobie/aérobie génère considérablement moins de boues en excès.

7. Déshydratation des déchets et des boues et augmentation de la siccité en vue de l'incinération. La siccité obtenue dépend principalement des caractéristiques de la boue et du matériel de déshydratation. Des teneurs plus élevées signifient en général une réduction des transports nécessaires et un pouvoir calorifique plus élevé de la boue, ce qui est particulièrement avantageux lorsqu'on brûle les résidus.
8. Réduction des quantités de déchets à envoyer à la décharge. Identification des possibilités de mise en place d'opérations de récupération et, le cas échéant, utilisation des déchets pour recycler les matériaux ou incinération des déchets et des boues avec récupération d'énergie. Les cendres produites peuvent souvent être utilisées comme matière première dans l'industrie des matériaux de construction. Il existe différentes techniques d'incinération des déchets et des boues. Leur applicabilité est fonction de la taille de l'usine. Dans certains cas (par exemple les usines de papiers à usage sanitaire et domestique), on a besoin de combustibles d'appoint ou de résidus supplémentaires à pouvoir calorifique plus élevé (par exemple écorce, déchets de bois) lorsqu'il est possible de réduire la quantité mise en décharge grâce au recours aux techniques de combustion.

La quantité de déchets solides varie en fonction de la qualité des papiers de récupération utilisés pour la production et des propriétés requises du produit fabriqué. Le traitement de papiers de récupération de qualités inférieures ainsi que la fabrication de papiers de qualités supérieures à partir de matières premières similaires se traduisent dans les deux cas par un accroissement des déchets. Généralement, la production de papiers non désencrés donne moins de déchets solides que celles des types désencrés. Dans ces derniers, on observe des différences notables. Par exemple, la fabrication de papiers d'impression écriture à partir de papiers de récupération génère habituellement une plus grande quantité de déchets solides que celle à base de papier journal, en particulier si l'on a besoin de recourir au désencrage par lavage. Pour les papiers à usages graphiques, on a tendance à utiliser des papiers récupérés de la meilleure qualité. Pour la production de papiers à usage sanitaire et domestique à base de FCR, il faut éliminer par lavage les charges et les fines en procédant à un désencrage par lavage. Cette technique produit des quantités de déchets devant être manipulés et traités nettement plus élevées que les autres techniques de fabrication de papiers désencrés.

Nous ne présentons pas de niveaux associés aux MTD pour les quantités de déchets destinés à être mis en décharge, parce qu'ils dépendent essentiellement du taux d'utilisation, des méthodes de traitement choisies et de la qualité du papier récupéré utilisé en tant que matière première fibreuse. En outre, il existe peu de renseignements détaillés et fiables sur la limitation possible des quantités de déchets solides en provenance des papeteries à base de FCR. On manque de données statistiques comparables et, en Europe, on emploie différents termes pour différentes variétés de déchets.

### **Mesures pour économiser l'énergie**

En général, dans ce secteur, on considère comme MTD le recours à des techniques avec un bon rapport d'efficacité énergétique. Il existe de nombreuses solutions pour économiser l'énergie à de nombreux stades du processus de fabrication. En général, ces mesures sont liées à des investissements en vue de remplacer, reconstruire ou moderniser des matériels. Compte tenu des économies d'échelle, les petites usines sont moins en mesure d'investir dans de nouvelles technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique. Il convient de noter que la plupart des mesures visant à des économies d'énergie ne s'appliquent pas seulement dans ce seul objectif. Une production efficace, des produits de meilleure qualité et une réduction des coûts globaux sont les incitations les plus importantes à investir. Les techniques permettant d'économiser l'énergie peuvent donc être considérées comme des techniques qui sont intégrées dans de nombreux autres aspects de la fabrication du papier.

Pour réduire la consommation d'énergie, on peut choisir parmi les mesures suivantes :

1. Mise en œuvre d'un système pour surveiller l'utilisation et l'efficacité de l'énergie. A partir de renseignements fiables sur les performances en matière d'énergie, il sera possible de prendre des mesures adéquates. La gestion de l'énergie inclut l'élaboration, le suivi, le réexamen et la révision des objectifs en matière de rendement énergétique.
2. Modernisation de l'équipement. Lors de son remplacement, choisir un équipement consommant moins d'énergie et apte à fonctionner en mode automatisé au lieu de systèmes manuels classiques. Les systèmes à commande automatisée sont plus efficaces à commander et peuvent se traduire par une précision accrue au niveau des processus et des économies d'énergie (voir aussi Section 6.3.8).
3. Mise en place d'un traitement anaérobie des effluents. La consommation d'énergie est 10 fois inférieure à celle d'un traitement aérobie et le gaz méthane généré peut servir de combustible. Le traitement anaérobie n'est pas toujours applicable. Les effluents doivent satisfaire aux exigences minimales mentionnées dans la section 5.3.5.

Pour d'autres mesures visant à réduire la consommation d'énergie, qui sont généralement applicables aux papeteries, il convient de se référer à la section 6.3.18. On y étudie les principales solutions d'amélioration qui existent, telles que l'optimisation de l'égouttage au niveau de la toile grâce au montage d'une presse à large surface de contact (voir section 6.3.17) et le recours à des technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique. On y aborde aussi la réduction de la consommation directe de vapeur grâce à une intégration soigneusement étudiée du processus sur la base d'une analyse des économies possibles.

Dans de nombreux pays européens, il est difficile d'accéder aux informations sur l'équilibre énergétique des papeteries. En effet, ils utilisent différents schémas pour leurs rapports, s'ils en font, et la demande d'énergie dépend aussi de la qualité du produit (notamment dans les usines de papiers à usage sanitaire et domestique) et dans une certaine mesure des conditions locales. Il est donc difficile de quantifier les consommations d'énergie associées à l'utilisation de MTD. C'est pourquoi les fourchettes de consommation d'énergie des usines de papier qui sont indiquées dans le tableau 5.34 doivent être considérées uniquement comme une indication du besoin approximatif en chaleur de process et en énergie pour des usines avec un bon rapport d'efficacité énergétique. On pourra peut-être ajouter d'autres exemples d'usines avec un bon rapport d'efficacité énergétique, y compris les conditions spécifiques, dans une version révisée du BREF.

Type d'usine	Consommation de chaleur de process (nette) en GJ/t <sup>1)</sup>	Consommation d'énergie (nette) en MWh/t <sup>1)</sup>
Papier pour ondulé, testliner	6.0 - 6.5	0.7 - 0.8
Carton ou carton pour boîtes pliantes à base de FCR, sans désencrage	8.0 - 9.0	0.9 - 1.0
Papier journal à base de FCR, avec désencrage	4.0 - 6.5	1.0 - 1.5
Papier à usage sanitaire et domestique à base de FCR, avec désencrage	7.0 - 12.0 <sup>2)</sup>	1.2 - 1.4
Notes explicatives : On peut convertir les unités de MWh en GJ selon la formule : 1 MWh = 3,6 GJ et 1 GJ = 0,227 MWh. 1) Toutes les données extraites de [J. Pöyry, 1998], 2) Dans les usines de papier à usage sanitaire et domestique, la consommation d'énergie dépend essentiellement du système de séchage utilisé. Le séchage à l'air dans la masse et le re-crêpage consomment d'importantes quantités supplémentaires d'énergie. Ces usines utilisent en premier lieu du fioul à la place de vapeur pour le séchage.		

**Tableau 5.34 - Indication de la consommation de chaleur et d'énergie associée à l'utilisation de MTD pour différents types de production de papier recyclé, par tonne de produit.**

### Atténuation du bruit

La MTD est la réduction des niveaux sonores audibles dans le voisinage des papeteries. Les mesures prises dépendront dans une très grande mesure des problèmes sonores spécifiques de l'usine et des objectifs fixés. Elles seront généralement beaucoup plus rigoureuses lorsque l'usine est implantée à proximité d'une zone résidentielle.

### Utilisation des produits chimiques

On considère en général comme MTD pour l'utilisation de produits chimiques :

1. La mise en place d'une base de données pour tous les produits et additifs chimiques utilisés, comprenant des informations sur leur composition chimique, leur dégradabilité, leur toxicité pour les personnes et l'environnement et le risque potentiel de bio-accumulation.
2. La mise en œuvre du principe de substitution, à savoir l'utilisation de produits moins dangereux lorsqu'ils existent.
3. Des mesures pour éviter les rejets accidentels, dans le sol ou dans les cours d'eau, provenant de la manipulation et du stockage de produits chimiques.  
La conception et la conduite des installations de manière à éviter toute fuite de ces substances dangereuses.

## 5.5 Techniques émergentes

Dans le présent paragraphe, on étudie un certain nombre de techniques qui ne sont pas (encore) appliquées à l'échelle industrielle. D'autres techniques ont atteint un niveau de développement plus avancé mais ne sont pas encore considérées comme disponibles.

### 5.5.1 Traitement des effluents par ozonation et biofiltration

#### Description

De nombreuses papeteries européennes ont recours au traitement secondaire de leurs eaux usées, ce qui leur permet de réduire de façon significative les émissions dans les cours d'eau. Mais des travaux récents dans cette industrie papetière cherchent à réduire encore plus les rejets de substances organiques et les déperditions de chaleur en combinant des mesures internes à des mesures externes. Le traitement des polluants résiduels après le traitement biologique vise à réduire encore les DCO, AOX, la couleur et autres matières.

Un traitement efficace des effluents - à moins que l'on puisse procéder avec succès à un prétraitement efficace de flux partiels - est souvent en aval du biologique. Un traitement a été mis au point au cours des cinq dernières années pour améliorer la qualité de l'effluent traité eu égard aux réglementations plus strictes en matière d'environnement et à la possibilité de réutiliser l'effluent traité dans le processus. Ce traitement tertiaire des effluents consiste en une combinaison d'ozone et de réacteurs à film biologique à lit fixe, et permet d'éliminer une quantité significative de DCO, de couleur et d'AOX avec une dose minimum d'ozone. Un schéma type de ce processus est illustré dans la figure 5.18.

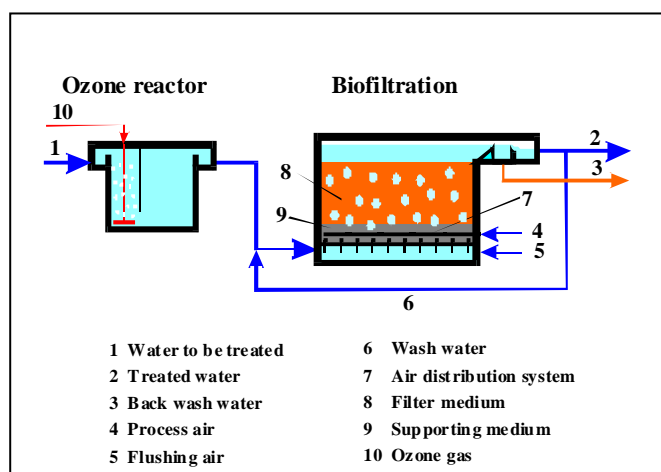


Figure 5.18 - Processus combiné d'ozonation et de réacteur biologique à lit fixe

L'effluent ayant subi un traitement tertiaire présente une faible teneur en matières indésirables, de sorte que sa réutilisation dans le processus semble une option intéressante. Cela signifie que l'eau ozonisée peut être soit rejetée soit réutilisée dans la production.

L'analyse chimique des effluents soumis à un traitement tertiaire indique que, en plus de l'élimination des matières organiques (mesurées en tant que DCO), ce traitement entraîne l'élimination ou une diminution spectaculaire d'autres substances telles que couleur, AOX, azurants optiques, difficilement dégradables, et agents de chélation, bactéries et spores.

#### État d'avancement du développement

Le traitement à l'ozone des effluents après traitement biologique est testé depuis quelques années à l'échelle du laboratoire et dans des installations pilotes. Ces essais en laboratoire (Öller, 1997 a + b) et

des travaux de recherche à l'échelle semi-industrielle (Möbius, 1996) ont montré que l'ozonation peut réduire la DCO et la couleur de façon significative en fonction de la quantité d'ozone mise en œuvre. On peut considérer que ce processus a franchi le stade de la mise au point. Pour les applications à l'échelle industrielle, il ne reste plus qu'à déterminer la quantité d'ozone (kg d'ozone/h) dans des essais de laboratoire ou des essais pilotes.

De façon générale, il semble que ce type de technique sera d'abord appliqué dans des usines avec des milieux récepteurs sensibles, ou dans des usines qui envisagent d'accroître sensiblement leur capacité mais qui, en même temps, n'ont pas l'autorisation d'accroître la charge polluante dans les cours d'eau. Dans ces cas, il faut réduire la charge spécifique de substances.

La première installation de traitement à l'échelle industrielle, comportant une étape combinée d'ozonation et de biofiltration sera mise en service en 1999 (Société Lang, Allemagne).

### **Incidences pour l'environnement**

Le rendement du traitement à l'ozone dépend dans une très grande mesure de l'effluent à traiter et de la conception spécifique du système de traitement. On ne peut donc pas formuler de déclaration générale sur les résultats possibles pour l'environnement. Pour des effluents répondant à certaines conditions limites en matière de DCO et de rapports  $\text{DBO}_5/\text{DCO}$ , on peut améliorer la biodégradabilité pour permettre un traitement biologique supplémentaire. L'eau ozonisée peut alors être soit rejetée soit réutilisée dans la production.

La principale caractéristique est la transformation de composés organiques persistants (DCO résiduelle, AOX et couleur) en fractions biodégradables (oxydation partielle seulement, c'est-à-dire oxydation limitée et contrôlée des carbones organiques). Le résultat est une augmentation significative du rapport  $\text{DBO}/\text{DCO}$ . Les résultats d'essais pilote avec des effluents de papeteries ayant subi le traitement biologique montrent que l'on peut obtenir des rendements supplémentaires d'élimination de la DCO pouvant atteindre 90 % (exprimé en concentration de DCO après la décantation secondaire) avec une consommation spécifique d'ozone de 0,7 à 1,0 kg  $\text{O}_3/\text{kg}$  DCO éliminée après la biofiltration. On atteint des rendements d'élimination d'environ 50 % ou plus avec une ozonation-biofiltration en une seule étape. Avec un procédé en deux étapes, les rendements d'élimination de la DCO dépassent largement 50 % pour atteindre jusqu'à 90 %. Après la première phase d'ozonation, un biofiltre assure la dégradation des matières organiques partiellement oxydées. La seconde étape consiste en une nouvelle phase d'ozonation suivie par une biofiltration. Le processus est conçu de manière à éviter une oxydation complète des matières organiques par l'ozonation, ce qui permet de réduire la quantité d'ozone requise et d'optimiser les dépenses de fonctionnement. L'objet de cette conception est de ne pas consommer d'ozone pour les matières facilement biodégradables.

A l'exception de la petite quantité de boues biologiques en excès produites dans les biofiltres, les substances polluantes sont véritablement éliminées et pas seulement dissociées. De ce fait, ce traitement ne génère pas de concentrat exigeant un traitement ultérieur, comme dans le cas où l'on a recours à des membranes ou à l'évaporation.

Les interactions négatives entre les milieux sont la consommation d'énergie pour la génération de l'ozone, qui se situe dans une fourchette de 10 à 13 kWh/kg d'ozone et une consommation d'énergie plus réduite pour la production d'oxygène pur.

### **Considérations économiques**

Des estimations financières ont mis en évidence que, par comparaison avec les méthodes de traitement avancées actuelles, telles que la floculation/précipitation, le traitement par l'ozone est une solution alternative économiquement viable dans certaines conditions.

Le coût type du traitement spécifique pour un processus en une seule étape, avec une ozonation suivie par une biofiltration, se chiffre à moins de 0,5 Euro par  $\text{m}^3$  d'effluent traité. Ce coût couvre la totalité de l'investissement et les dépenses de fonctionnement (génération de l'ozone, pompes etc.) et inclut l'alimentation en oxygène sous forme liquide. Le traitement par l'ozone peut également éliminer plus ou moins la couleur des effluents à un coût raisonnable.



## Bibliographies/Références

[Öller, 1997 a + b], [Möbius, 1997 a], [Möbius, 1999], [Helble, 1999], [Kaindl, 1999]

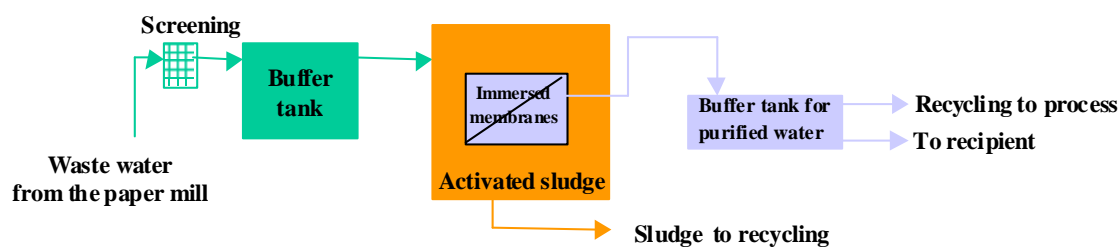
### 5.5.2 Traitement par bioréacteur à membrane

#### Description

Les bioréacteurs à membrane (MBR) sont des processus combinés de séparation-oxydation. Ils remplissent deux fonctions principales :

1. Oxydation biologique renforcée (décomposition des matières organiques). Renforcée parce que les conditions dans un réacteur à membrane sont telles qu'elles favorisent l'adaptation de la biomasse (âge des boues et rétention totale de la biomasse).
2. Séparation des MES grâce aux membranes.

Cette nouvelle génération de bioréacteurs à membrane utilise des membranes immergées au lieu de modules externes comme cela est illustré dans la figure ci-dessous :



**Figure 5.19 - Bioréacteur à membrane utilisant des membranes immergées dans un réacteur à boues activées.**

Les membranes sont directement immergées dans la biomasse de l'installation à boues activées et fonctionnent avec des pressions transmembranaires très basses (typiquement 0,2 bar). La consommation d'énergie de ce processus ne dépasse pas 0,2 kWh/m<sup>3</sup> pour la filtration (y compris le pompage et l'aération de la membrane pour favoriser les turbulences), contre 4 à 8 kWh/m<sup>3</sup> pour les membranes à l'extérieur du bassin à boues activées (les chiffres s'appliquent aux conditions du réacteur dit BIOSEP).

#### État d'avancement du développement

La première application à l'échelle industrielle a été mise en service en 1999 dans une cartonnerie française (Papeterie du Rhin). Dans le cas de cette cartonnerie, la boue est réinjectée dans le pulpeur. Le débit théorique est relativement faible (900 m<sup>3</sup>/jour). Les exploitants de l'usine vont progressivement chercher à augmenter la fraction de l'eau traitée qui sera recyclée dans l'usine.

#### Incidences pour l'environnement

Pour certains types d'usines qui ne sont pas en mesure de satisfaire aux seuils de rejets (par exemple à cause d'une concentration ou de charges légèrement trop élevées), un réacteur MBR pourrait leur permettre d'atteindre ces seuils. Mais ce processus pourrait également être utilisé comme prétraitement pour les processus de séparation/concentration, comme la nano-filtration (NF) ou l'évaporation. Cette

application pourrait se révéler intéressante pour les exploitants de papeteries qui envisagent de recourir à des MBR pour la mise en circuit fermé de l'eau, en leur permettant par exemple d'utiliser des structures NF moins coûteuses et de bénéficier de conditions de marche plus stables.

Avec les bioréacteurs à membrane, on peut s'attendre à une production de boues nettement inférieure (jusqu'à moitié moins) qu'avec un traitement biologique traditionnel, en raison des caractéristiques spécifiques de la biomasse active qui croît dans ces applications MBR.

### Considérations économiques

On ne dispose d'aucune donnée.

### Bibliographie/Références

Il existe différents fournisseurs de bioréacteurs à membranes immergées.

## 5.5.3 Récupération des cendres des chaudières et du dioxyde de carbone gazeux pour produire des charges minérales recyclées dans le papier

### Description

Un nouveau processus chimique utilise à la fois les cendres de la combustion des résidus du désencrage et le dioxyde de carbone généré pendant la combustion, pour produire un type de charge minérale recyclée de carbone de calcium précipité (RMF PCC) destinée à être utilisée dans la fabrication du papier. Ce nouveau procédé est dérivé de la chimie utilisée pour produire du carbonate de calcium précipité pur (PCC), une substance minérale d'un emploi courant dans la fabrication du papier. Ce PCC est chimiquement identique au carbonate de calcium naturel (calcaire broyé ou chaux), mais il est généralement plus pur. Le principal avantage pour le papetier est que son processus chimique de fabrication permet aux particules de PCC de prendre différentes formes et tailles (morphologie). En choisissant soigneusement ces tailles et formes, il devient possible de maximiser la fonctionnalité du PCC pour tout un éventail d'applications dans l'industrie papetière. On retrouve ces avantages au niveau du papier lorsque ce RMF PCC est utilisé comme charge.

On peut décrire le processus servant à produire une charge minérale recyclée PCC (RMF PCC) à l'aide de l'équation suivante :

<b>Matières</b>	Cendres des chaudières	+ Ca(OH) <sub>2</sub>	+ CO <sub>2</sub>	=> Cendre/CaCO <sub>3</sub>	+ H <sub>2</sub> O
<b>Quantités</b>	5-50g	37-70g (Chaux vive)	22-43g	100g <b>Charge minérale recyclée</b>	9-18g

La cendre résultant de la combustion des résidus des papeteries ou des boues de désencrage contient avant tout des composés riches en calcium, silice et aluminium qui proviennent des minéraux contenus dans les déchets, essentiellement du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) et du kaolin (H<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>-H<sub>2</sub>O).

On a découvert que les minéraux d'aluminosilicate de calcium des cendres des chaudières conviennent pour la nucléation et la croissance du PCC. On s'est également aperçu que ces cendres peuvent remplacer jusqu'à la moitié de la chaux (CaO) qui est utilisée pour produire les boues d'hydroxyde de calcium. Les particules individuelles de la charge RMF PCC sont des composites de PCC et de cendres de chaudière. La réaction étant contrôlée, il y a précipitation du PCC d'une certaine morphologie qui recouvre la surface d'un "noyau" de cendres. Ce procédé a été breveté (U.S. 5 759

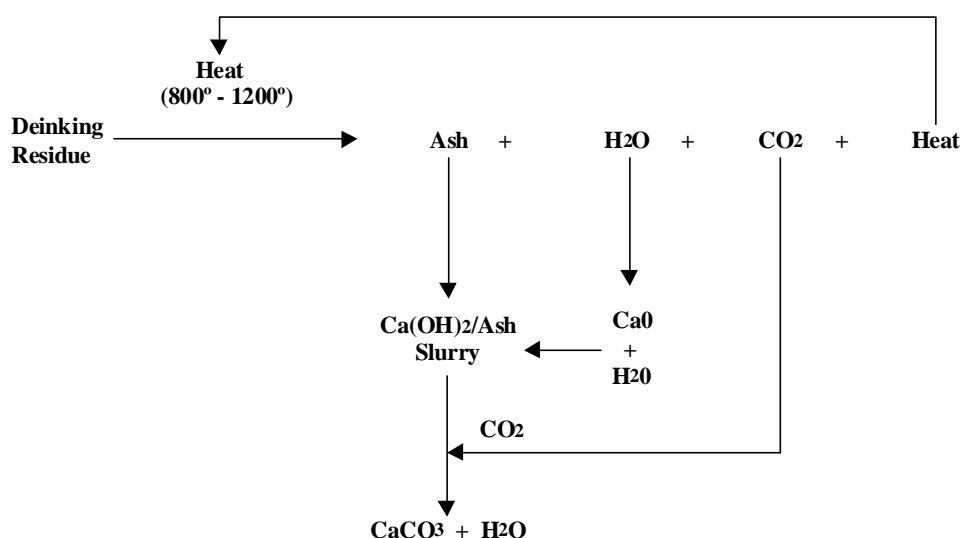
258) et est fourni par Speciality Minerals Inc. (SMI), l'un des principaux fournisseurs de carbonate de calcium précipité (PCC) utilisé par l'industrie papetière européenne.

### État d'avancement du développement

Une papeterie allemande (Haindl Schongau) procède actuellement à un essai pilote pour adapter l'installation existante de production de PCC pur à la production d'une charge minérale recyclée de PCC. Des travaux sont également en cours concernant l'utilisation du PCC pour le couchage.

### Incidences pour l'environnement

Cette technique réduit considérablement la quantité de déchets solides du désencrage à envoyer à la décharge. L'utilisation des cendres de chaudière comme matière première dans la production de carbonate de calcium précipité (PCC) réduit jusqu'à 50 % la consommation de combustibles fossiles pour produire du CaO à partir des carrières ( $\text{CaCO}_3$ ). Si les papeteries qui produisent d'importantes quantités de résidus de désencrage réduisent la quantité de déchets solides du désencrage en les incinérant, des émissions de  $\text{CO}_2$  sont rejetées dans l'atmosphère, et il reste toujours des cendres à évacuer. Un procédé destiné à produire une charge RMF PCC peut consommer une partie ou la totalité des cendres et du  $\text{CO}_2$  généré par ces usines. Cela vient s'ajouter aux réductions à la fois de la consommation de combustible fossile et des émissions de  $\text{CO}_2$  au niveau de la carrière. Le principe fondamental de cette technique et ses principaux avantages sont résumés dans l'illustration ci-après.



**Figure 5.20 - Principe de base du processus RMF PCC.**

Tiré de "Recyclage des charges minérales provenant des résidus d'une installation de désencrage de papiers", Sohara et coll. U.S. 5 759 258, 1998.

### Considérations économiques

Dans les pays où le coût de l'évacuation en décharge est élevé et en hausse, la technique qui consiste à employer les cendres de désencrage comme matière première pour produire du carbonate de calcium précipité (PCC) est intéressante, étant donné qu'elle présente des avantages aussi bien économiques que pour l'environnement. Cependant, le degré de blanc de la charge minérale recyclée PCC, basée sur un mélange réaliste d'un tiers de cendre et deux tiers de PCC pur, est de 90 %, et, par conséquent, inférieur à celui du PCC pur (96 %). Cette technique peut également entraîner une augmentation du pouvoir abrasif. En revanche, la charge RMF PCC présente de meilleures propriétés d'opacité que le PCC pur. Les aspects économiques liés à la charge PCC dépendent beaucoup de la qualité des papiers récupérés produisant les résidus de désencrage (il vaut mieux avoir d'importantes quantités de charges

de carbonate de calcium). Plus les teneurs en calcium du papier récupéré sont élevées, plus cela est avantageux pour le processus.

Une condition préalable à la mise en œuvre de cette technique est la présence d'une incinération en chaudière des résidus du désencrage. Normalement, une installation de production de PCC pur est adaptée à la production d'une charge minérale recyclée PCC, la chaux étant progressivement remplacée par les cendres de désencrage.

## **Bibliographie/Références**

[Roberts, 1998]

### **5.5.4 Traitement de déconcentration des circuits**

Se reporter également à la Section 6.5.1.

#### **Description**

Il est possible de réduire la charge des eaux usées en combinant un système bien adapté pour l'eau de process et une purification interne des eaux usées. Dans l'industrie papetière, l'eau de process sert à de nombreuses applications différentes, avec différentes exigences en matière de qualité de l'eau. La séparation hydraulique des différentes unités du processus donne naissance à des circuits d'eau internes relativement limités, qui peuvent être traités plus efficacement.

Actuellement, la mise en circuit fermé de l'eau est limitée par la présence de divers contaminants (substances indésirables) dans l'eau de process, qui ont un effet néfaste soit sur la technologie soit sur le produit. La séparation entre les différentes unités du processus (par exemple via des épaisseurs) permet d'éliminer les substances indésirables à l'intérieur de l'unité dans laquelle elles sont générées, de façon que les polluants ne se propagent pas dans tout le processus de fabrication du papier. Les contaminants dans les boucles d'eau distinctes peuvent être (partiellement) éliminés du circuit en question jusqu'à un niveau donné, de manière à répondre aux exigences de qualité imposées à l'eau de process pour l'unité considérée. Cette méthode implique des concepts sophistiqués qui demandent des connaissances approfondies pour contrôler le système.

Il existe des différences fondamentales entre la matière première, les technologies et les exigences du papier fini selon qu'il s'agit de papiers à usages graphiques ("papiers blancs") ou de papiers d'emballage ("papiers bruns"). En principe, la configuration des systèmes pour les papiers d'emballage est toujours plus simple que pour les papiers blancs. Pour les papiers bruns fabriqués à partir de fibres recyclées, il est possible de contrôler complètement les circuits fermés en intégrant une étape de traitement biologique (voir section 5.3.4). Il existe même des papeteries qui fabriquent des papiers bruns en ayant recours à un système d'eau en circuits fermés (zéro émission dans les cours d'eau) sans traitement interne.

Dans le cas des papiers graphiques "blancs", la charge des eaux usées peut être minimisée grâce à un traitement interne de l'eau de process au moyen d'une filtration sur membrane, d'une ozonation plus biofiltration ou, au choix, d'une technique d'évaporation dite traitement « de déconcentration ». Toutefois, il convient d'analyser avec soin l'applicabilité de telles techniques dans le cas d'un fonctionnement en continu avant de les mettre en œuvre dans la production industrielle. On peut aussi appliquer ces techniques en tant que traitement externe avancé faisant suite à un traitement biologique courant (se reporter aux sections 5.5.1 et 5.5.2).

#### **Etat d'avancement du développement**

Un traitement avancé d'effluents partiels du process fait appel à des méthodes de gestion de l'eau et de traitement qui ne sont pas encore répandues dans les papeteries. Cela dit, la plupart des pays européens ont déployé de nombreux efforts en matière de recherche sur le traitement des eaux de process. Une quantité de petites installations d'essai et quelques applications à l'échelle industrielle sont déjà en

service. Néanmoins, un certain nombre de questions restent encore en suspens, notamment pour les "papiers blancs", concernant les aspects chimiques de la mise en circuit fermé de l'eau et des méthodes de séparation des divers composés. Il faut encore poursuivre les travaux de recherche expérimentale, de modélisation, de mesures de qualité de l'eau et sur les méthodes de contrôle.

La configuration optimale d'une installation a toujours été étudiée avec soin au cas par cas en tenant compte de tous les aspects pertinents (tels que propriétés du produit, coûts, exigences du marché, coûts de l'alimentation en eau et de son traitement, les dispositions législatives à respecter, les aspects spécifiques liés au site etc.).

### **Incidences pour l'environnement**

Le recyclage de l'eau traitée permet de réduire la consommation d'eau fraîche ainsi que le volume des effluents. En choisissant le circuit d'eau de process partiel le mieux adapté au traitement interne, il est possible de réduire les rejets globaux dans l'eau. Cependant, il faut aussi soigneusement évaluer l'incidence de la mise en circuit fermé sur l'équilibre énergétique et le bilan matières de l'ensemble de l'usine. Dans certains cas, le concept de traitement interne de déconcentration peut se traduire par une amélioration des rendements pour toute l'usine (par exemple, économies d'énergie, réduction de la consommation de produits chimiques). Dans d'autres cas, il se peut que le seul résultat atteint soit une réduction des émissions dans l'eau.

### **Considérations économiques**

Aucune donnée spécifique n'est disponible. Souvent, l'addition d'une troisième étape au système de traitement externe n'est pas considérée comme rentable dans le cas de niveaux élevés de consommation d'eau. Le traitement interne de l'eau présente l'avantage qu'il peut se faire à l'endroit même où il est requis. Par ailleurs, on a la possibilité de procéder à un traitement séparé des différentes eaux seulement dans la mesure strictement nécessaire. En revanche, ces mesures requièrent une modification au niveau de la gestion des processus et des investissements relativement importants.

### **Bibliographie/Références**

[Borschke, 1997], [Rapports, 1997 a]

## **5.5.5 Système de récupération des fibres (CBFR)**

### **Description**

Cette technique, le système de récupération des fibres (dit "tunnel de lavage") offre aux petites usines et aux petites machines à papier la possibilité d'améliorer leur compétitivité grâce à un traitement économique des papiers de récupération même pour des quantités ne dépassant pas 3 t/j. Le but principal est d'alimenter les mini-usines situées à proximité de la source des papiers récupérés. Le matériel n'est pas conçu pour servir de base à une grande usine utilisant de la pâte de FCR. Ce système CBFR associe un pulpeur, un laveur et un tamis grossier dans une seule machine. Il s'inspire d'idées développées dans le secteur des laveries industrielles.

Ce système se compose de cellules à l'intérieur d'unités que l'on peut étendre et juxtaposer en fonction du produit final demandé. La configuration idéale consiste à juxtaposer deux unités de quatre cellules de façon à obtenir une capacité de 7 à 8 tonnes par jour de FCR. Le papier récupéré est introduit dans la première cellule. Les cellules sont réparties à l'intérieur d'un tambour en rotation selon un ordre donné. Le premier chargement est transporté jusqu'à la cellule suivante cependant que la première cellule reçoit un nouveau chargement. Ces opérations se répètent en continu jusqu'à ce que les fibres acceptées, sous forme de pâte, soient rejetées via une plaque d'extraction située au fond des quatre dernières cellules.

### **Etat d'avancement du développement**

Une telle installation est en service dans une papeterie en Amérique du Nord, la papeterie IPMC, à Détroit, dans le Michigan. Cette fabrique produit 175 tonnes par jour de papiers de qualités spéciales et a installé une chaîne de 25 t/j pour traiter des papiers de récupération venant du Michigan. Une seconde installation pour produire 20 à 25 t/j de fibres récupérées à partir d'emballages de packs de boissons a été mise en place au Mexique. D'autres applications sont prévues dans un proche avenir.

### **Incidences pour l'environnement**

L'avantage de ce système CBFR est de combiner les effets de différents éléments classiques qui sont couramment utilisés pour traiter les papiers récupérés. Il supprime donc la nécessité d'installer plusieurs matériels pour le processus (par exemple dépastilleur, lavage, flottation, dispersion, malaxeur), ce qui permet d'économiser de l'énergie et des investissements.

Comme dans les systèmes traditionnels, l'eau de process circule à contre-courant. Ce qui présente l'avantage de réduire le volume d'eau de process nécessaire. Les eaux usées peuvent être traitées par flottation avec injection d'air dissous, ce qui donne une eau suffisamment pure pour pouvoir être réutilisée. La consommation d'eau de process prévue est inférieure à 4,5 m<sup>3</sup>/t.

Ce système traite aussi des matières plus difficiles (comme cartons de lait, packs de boisson, cartons ondulés paraffinés etc.) qui contiennent des fibres de qualité supérieure mais qui ne sont habituellement pas triés parce qu'ils représentent de trop faibles volumes et que leur recyclage n'est pas considéré comme rentable. L'exploitant peut envisager une approche davantage axée sur le plan local ou régional pour localiser les matières récupérées.

Ce système peut également être utilisé pour traiter des fibres contenant des rebuts d'autres systèmes en cours de fabrication. La récupération des fibres se traduit par un meilleur rendement du traitement des papiers récupérés, et ainsi par une diminution des déchets à envoyer à la décharge.

### **Considérations économiques**

Aucune donnée spécifique n'est disponible. Le fournisseur déclare que le système peut assurer un traitement rentable de papiers de récupération en quantités ne dépassant pas 3 t/j en raison du montant relativement peu important des investissements.

### **Bibliographie/Références**

[Regenex, 1996], [Braeuer, 1998]

## Chapitre 6

### 6 Fabrication du papier et processus connexes

La présente section décrit la production des principales sortes de papier et de carton fabriquées dans les papeteries européennes.

Pour produire ces différentes qualités de papiers, on peut utiliser comme matières premières soit des fibres "vierges" ou neuves (pâtes chimiques ou mécaniques) soit des fibres recyclées. En Europe, de nombreuses usines fabriquent des papiers à partir d'un mélange de matières fibreuses. Aujourd'hui, la composition de la matière première employée pour la fabrication du papier est plus que jamais influencée par le coût de ses différents composants. Cette composition (par exemple matières fibreuses, charges minérales, couchage) a une incidence capitale sur le prix de revient global, la qualité du produit et l'impact du processus sur l'environnement. La fabrication des pâtes utilisées dans la production des papiers a été décrite dans les chapitres 2 à 5 ci-dessus. Nous allons maintenant décrire la fabrication du papier et du carton indépendamment de la fabrication de la pâte. Cette manière de procéder est justifiée par le fait que l'on retrouve les mêmes processus unitaires autour du papier et du carton dans toutes les usines. La description de la fabrication du papier en tant que partie des usines de pâte intégrées ne ferait que compliquer la description technique. Enfin, en Europe, la plupart des papeteries ne sont pas des usines intégrées.

Bien que les papeteries présentent une grande diversité de produits papetiers et de concepts de processus, presque tous les processus de fabrication de papier et de carton comportent les unités de base suivantes :

- préparation de la pâte
- système de distribution de la pâte en amont de la machine à papier
- une machine à papier ou à carton comprenant :
  - une caisse de tête qui répartit la suspension de fibres sur la toile et crée une dispersion de fibres sur toute la largeur de cette toile
  - une section toile qui égoutte la feuille de papier jusqu'à une teneur de 12 à 20 % en siccité
  - une section pressage qui enlève l'eau de la feuille de papier par pressage pour abaisser sa teneur en humidité jusqu'à environ 50 %.
  - une section séchage qui enlève l'humidité résiduelle en chauffant la feuille au moyen de cylindres sécheurs
  - une enrouleuse qui enroule la feuille de papier en bobine
- Selon le type de papier ou de carton produit, le processus comporte d'autres unités (en option) telles que calandres, couchage, préparation de sauce de couchage, bobineuses, rebobineuses.

Ces différentes unités de base de la fabrication du papier sont décrites ci-après. Les principaux additifs ou adjuvants et produits chimiques utilisés dans cette fabrication sont inclus dans ces descriptions. Leurs propriétés environnementales sont décrites plus en détail dans l'annexe 1. Étant donné que la fabrication du papier est un secteur qui utilise d'importantes quantités d'eau, un paragraphe est consacré aux circuits d'eau. Le couchage et les principales opérations de finition sont également traités.

#### 6.1 Processus et techniques utilisés

##### 6.1.1 Préparation de la pâte

La pâte, y compris le mélange de différentes pâtes, subit différents traitements avant d'arriver sur la machine à papier, ainsi que l'addition de produits chimiques. Les pâtes utilisées sont les divers types de pâtes chimiques, de pâtes mécaniques et de pâtes à partir de papiers de récupération, et leurs combinaisons. La qualité de la pâte est le facteur prépondérant qui détermine les propriétés du papier

produit. La pâte brute se présente sous forme de balles, de matières en vrac ou, dans le cas des usines intégrées, de suspensions. La préparation de la pâte comporte plusieurs opérations, telles que désintégration des fibres, épuration, modification des fibres et stockage et mélange. Ces processus diffèrent considérablement en fonction de la pâte utilisée et de la qualité requise. Par exemple, dans le cas d'une usine intégrée, les étapes de trituration et de dépastillage sont supprimées.

La préparation de la pâte consiste à éliminer les impuretés, à développer les propriétés de liaison des fibres (raffinage) et à ajouter des produits chimiques pour faciliter le processus et modifier la qualité finale de la feuille de papier (résines, agents de renforcement de la résistance à l'état humide, colorants, charges). Les usines non intégrées reçoivent les fibres à l'état sec. Elles sont mises en suspension dans un pulpeur de façon à pouvoir être pompées. On procède alors à l'élimination des impuretés non dissoutes présentes par classage et épuration (épurateurs à force centrifuge). Le but du tamisage est de séparer les substances indésirables et les fibres. On fait ensuite passer la suspension de fibres à travers un tamis avec des ouvertures en forme de fentes ou de trous ronds, et les impuretés à séparer sont rejetées par le tamis. L'épuration consiste à séparer les impuretés de la suspension de fibres sous l'effet de la force centrifuge. On distingue les épurateurs pour particules lourdes et ceux pour particules légères. La plupart des épurateurs sont des systèmes étagés (jusqu'à cinq étapes).

Pour améliorer l'aptitude à la liaison des fibres individuelles, on peut faire subir à la pâte une opération de raffinage (en option). Ce raffinage a pour objet de conditionner les fibres par formation de fibrilles de manière à ce qu'elles puissent conférer les propriétés requises au produit fini. Il est réalisé dans des raffineurs équipés par exemple d'un disque en rotation qui appuie sur un stator. L'énergie électrique consommée par le raffinage dans le cadre du processus de fabrication du papier est comprise dans une fourchette de 100 à 500 kWh/t pour la plupart des papiers, mais elle peut atteindre jusqu'à 3 000 kWh/t pour certains papiers spéciaux. Ainsi, pour une papeterie non intégrée utilisant de la pâte mécanique, le raffinage représentera le plus grand poste consommateur d'énergie électrique (le séchage étant le plus important poste consommateur de chaleur). Presque toute l'énergie consommée par ce raffinage est transformée en chaleur et il n'existe dans ce cas aucune solution pour récupérer l'énergie, bien que cette chaleur produite contribue à l'augmentation de température recherchée dans le processus.

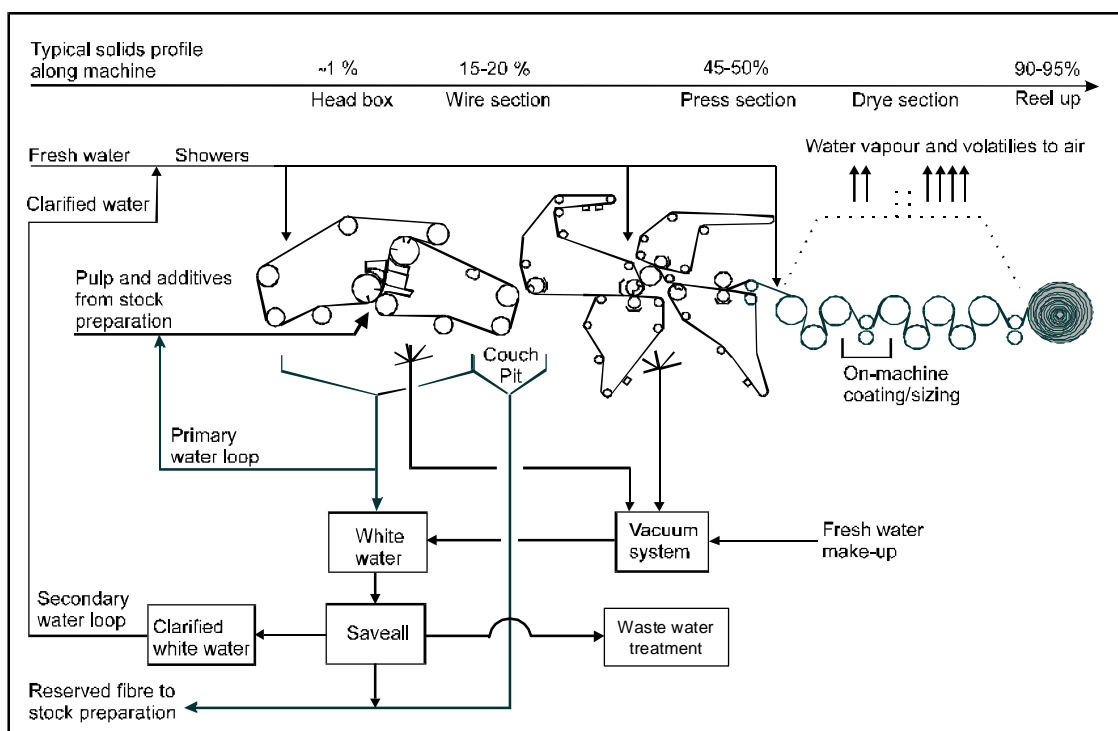
La préparation complète de la pâte pour une machine à papier comprend habituellement plusieurs chaînes. Le traitement des cassés de fabrication de la machine à papier fait également partie de ce processus (voir section 6.1.4). Enfin, la pâte est pompée dans des cuves de stockage ou de mélange. Ces cuves servent de tampons entre la préparation de la pâte et la machine à papier proprement dite, de manière à garantir la continuité du processus. Dans les cuves de mélange, les pâtes préparées sont mélangées dans différentes proportions pour obtenir une qualité donnée de papier, puis on ajoute les additifs nécessaires et l'on ajuste la consistance des fibres en fonction des exigences.

### 6.1.2 La machine à papier

La machine à papier sert à former la feuille de papier et c'est là que sont déterminées la plupart des propriétés de ce dernier. En fait, cette machine est un large dispositif d'égouttage comprenant une caisse de tête, une section toile, une section presses et une section sécherie. Le principe encore le plus couramment utilisé est le Fourdrinier à table plate. La feuille est formée sur une toile qui reçoit la suspension de fibres distribuée par la caisse de tête. Depuis peu, on utilise des tables de formation à deux toiles qui sont devenues habituelles. Dans ces tables de formation à deux toiles, la suspension de fibres est amenée entre deux toiles se déplaçant à la même vitesse, l'égouttage se faisant sur une face ou sur les deux. Il existe différents types de "formeur" à deux toiles (par exemple les tables de formation à fente, dans lesquelles la pâte diluée est injectée directement entre les deux toiles).

La figure 6.1 illustre les caractéristiques clés d'une machine à papier.



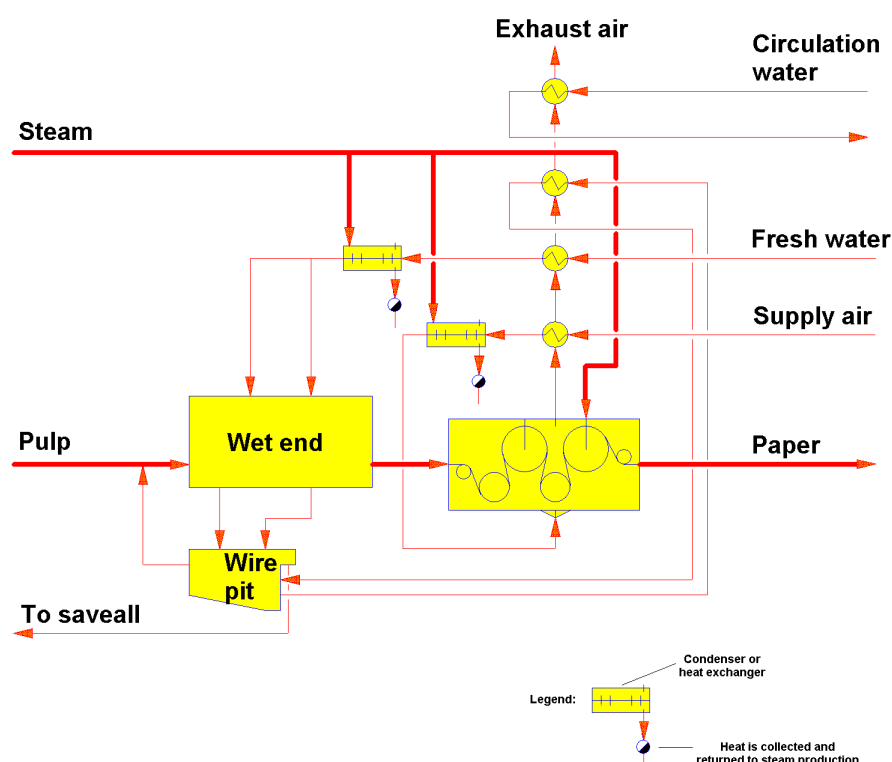


**Figure 6.1 - Caractéristiques clés d'une machine à papier à deux toiles**

Le papier est fabriqué en distribuant une suspension diluée de fibres et si possible de charges, colorants et autres produits chimiques, sur une toile à travers laquelle l'eau s'égoutte, en laissant la couche de fibres et de particules fines et de charges se déposer sur la toile. La consistance est normalement comprise entre 0,2 et 1,5 % dans la caisse de tête. Le rôle de cette dernière est de former une dispersion uniforme du matelas fibreux sur toute la largeur de la toile, de manière à assurer une formation homogène de la feuille de papier. Une fois que la feuille de papier a atteint une teneur en solides de 10 à 20 % environ sur la table, la feuille est suffisamment résistante pour pouvoir être séparée de la toile et amenée jusqu'aux étapes suivantes de pressage et de séchage. L'eau s'écoule à travers la toile avec l'aide d'éléments dits d'égouttage. Il peut s'agir par exemple de pontuseaux et de caisses aspirantes situés sous la toile de telle sorte que la feuille de papier soit formée au bout d'environ 10 mètres. Dans une table de formation à deux toiles, la pression d'égouttage est obtenue aussi bien par la tension du textile sur une surface courbe de lames ou par un rouleau. La vitesse de la machine varie considérablement, la toile pouvant se déplacer sur les machines les plus rapides, par exemple pour le papier journal, à une vitesse de 1 500 m/min avec une toile de 10 m de large. Les machines à papiers à usage sanitaire et domestique, bien que généralement plus étroites, atteignent maintenant des vitesses de plus de 2 000 m/min. Certaines machines comprennent plusieurs toiles pour fabriquer des papiers ou des cartons multi-couches.

La feuille pénètre ensuite dans une section de pressage en reposant sur des feutres situés entre des rouleaux puis elle passe à travers des sections à vide pour éliminer encore plus d'eau (normalement jusqu'à une teneur en humidité de 60 à 55 %, voire dans certains cas jusqu'à 50 %) et finalement à travers la sécherie. Le séchage se fait normalement au moyen de cylindres chauffés à la vapeur enfermés dans une hotte. Dans la sécherie, la feuille atteint sa siccité définitive de 90 à 95 %. Pratiquement toute la chaleur utilisée pour le séchage s'échappe avec les buées (air d'extraction). Cet air d'extraction est normalement à une température de 80 à 85 °C et son humidité est de 140 à 160 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>air sec</sub>. Une partie de l'humidité (environ 1 à 1,5 m<sup>3</sup>/t papier) est rejetée dans l'atmosphère. Pour des raisons économiques, presque toutes les papeteries ont mis en place des systèmes de récupération de la chaleur. La figure 6.2 illustre un tableau schématique de la section de séchage et de récupération de la chaleur d'une machine à papier.

Dans le premier échangeur de chaleur du système de récupération de la chaleur, la chaleur est recyclée dans l'air alimentant la sécherie. L'échangeur de chaleur suivant sert à chauffer l'eau fraîche en arrivée. Dans certains cas, la chaleur est également recyclée vers la fosse sous toile pour compenser les pertes de chaleur dans la partie humide. Le dernier échangeur est pour l'eau de circulation. Cette eau de circulation sert à chauffer l'air de ventilation en arrivée. L'air d'alimentation et l'eau des rinceurs sont réchauffés à leur température finale (90 à 95 °C et 45 à 60 °C respectivement) à l'aide de vapeur.



**Figure 6.2 - Système de récupération de la chaleur de la machine à papier**

Le tableau 6.1 illustre un exemple de circuits de la chaleur dans une machine à papier type, moderne et de grandes dimensions, avec une capacité de production de 240 120 t/an (667 t/jour). La siccité de la feuille qui pénètre dans la section de séchage est de 44,5 % et celle du produit de 91 %. La température des buées est de 82 °C et son humidité de 160 g<sub>H2O</sub>/kg<sub>air sec</sub>. Ces valeurs s'entendent pour les conditions hivernales en Scandinavie. Dans les climats chauds, la part de l'eau de circulation baisse ou disparaît et les émissions dans l'atmosphère augmentent en conséquence.

Emplacements pour la récupération de chaleur	Chaleur provenant de la sécherie [MW] et [MJ/t]	Répartition de la chaleur [%]
Alimentation en air (rouleaux de sécherie)	1.8 MW or 233 MJ/t	6
Eau de la fosse de la toile	3.6 MW or 466 MJ/t	11
Eau fraîche	5.5 MW or 712 MJ/t	19
Eau de circulation	8.0 MW or 1036 MJ/t	27
Échappement dans l'atmosphère	10.8 MW or 1399 MJ/t	37
Total (air des hottes)	29.7 MW or 3847 MJ/t	100

**Tableau 6.1 - Exemple de récupération de chaleur et des pertes pour une machine à papier d'une capacité de 667 t/j [données communiquées par Valmet].**

**Ces valeurs s'entendent pour les conditions hivernales en Scandinavie. Dans les pays à climat plus chaud, on n'a pas besoin de chauffer l'eau de circulation qui est utilisée pour le chauffage de la salle de machine.**

Une variante pour la production de papier léger frictionné ou de papier à usage sanitaire et domestique traditionnel consiste à utiliser un cylindre de grand diamètre chauffé type "Yankee" sur la machine. Le séchage de la feuille continue de papier s'effectue au contact des cylindres sécheurs en rotation.

Dans une machine simple, le papier peut ensuite être enroulé puis envoyé dans les unités de découpage et de finissage. Dans d'autres cas, la machine comprend une variété d'opérations diverses. Une presse encolleuse est une section de la machine qui permet de déposer de l'amidon et d'autres produits chimiques à la surface du papier par dépôt ou pulvérisation, l'eau résiduelle étant éliminée dans une post-sécherie.

Dans la plupart des applications, les bords de la feuille sont rognés en continu au moyen de jets d'eau de découpage, et sont récupérés dans la fosse sous le cylindre aspirant, lorsqu'elle se sépare de la toile. En cas de rupture de la feuille, et cela peut se produire plusieurs fois par jour, la perte de papier est considérable. Des pertes similaires se produisent lors des démarrages programmés. Tout ce papier, désigné par l'appellation de "cassés de fabrication", est désintégré en pulpeur et renvoyé vers la zone de préparation de la pâte, puis stocké et réintroduit ultérieurement. Les cassés de fabrication colorés ou couchés sont recyclés dans la mesure du possible, mais ils ont quelquefois besoin de subir au préalable un blanchiment ou un traitement chimique (voir section 6.1.4).

Il faut s'employer en permanence à éviter l'encrassement des toiles, feutres ou rouleaux, car ils entraîneraient rapidement une rupture de la feuille. Les rinceurs utilisés à cette fin sont les principaux consommateurs d'eau fraîche et/ou d'eau purifiée dans le système. Les installations de vide peuvent elles aussi consommer d'importantes quantités d'eau fraîche.

Un principe important est celui de la rétention aussi bien des solides (fibres, particules fines et charges) que des substances solubles (adjuvants chimiques, matières organiques provenant de la pâte etc.) dans la feuille de papier, plutôt que de les laisser traverser la toile et se retrouver dans le circuit d'eau. Cela influe de façon évidente sur la destination probable de n'importe quelle substance - soit vers le produit soit vers l'effluent. On a souvent recours à la surveillance de la consistance en cours de fabrication pour stabiliser la rétention. On peut augmenter la rétention des solides sur la toile en ajoutant des agents auxiliaires de rétention (produits chimiques destinés à améliorer la rétention), et c'est une pratique courante pour la plupart des types de papier. Mais elle est limitée, pour certaines qualités, par les exigences de qualité imposées au produit.

### 6.1.3 Circuits d'eau et récupération des fibres

Une papeterie comprend trois circuits d'eau de process : le circuit primaire, le circuit secondaire et le circuit tertiaire. Un schéma des circuits d'eau d'une papeterie est reproduit dans la figure 6.3.

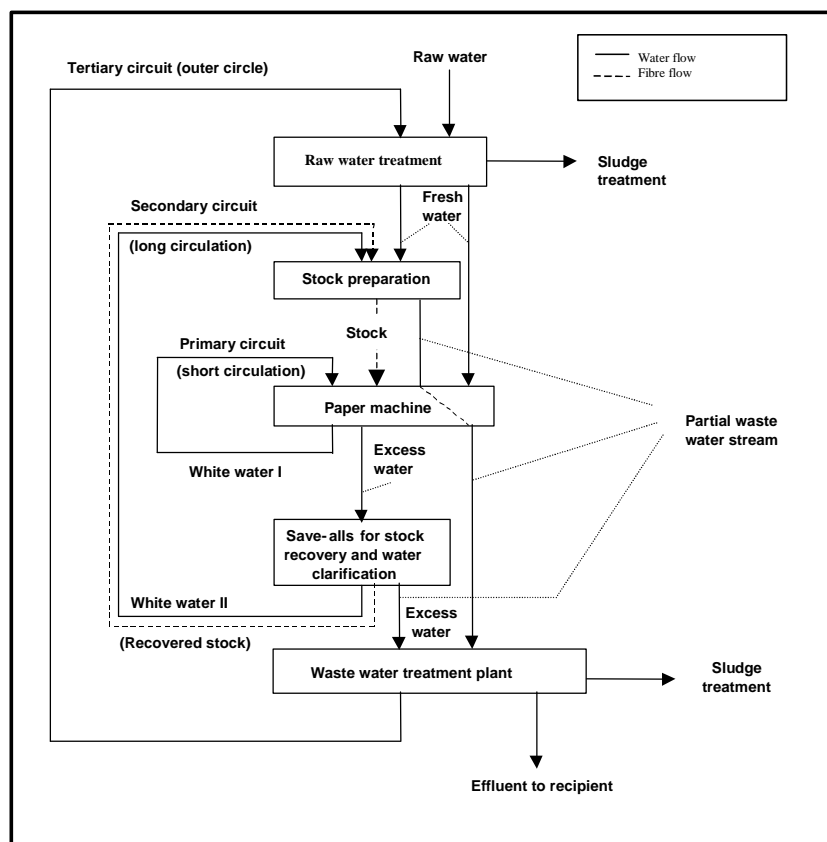


Figure 6.3 - Schéma simplifié des circuits d'eau et de la pâte dans une papeterie

Dans le circuit primaire (circulation courte), l'eau riche en fibres, particules fines et charges obtenue dans la zone de formation de la feuille de la section de la toile (eau blanche I) est recyclée pour diluer la pâte épaisse dans le système de distribution de la pâte. Le circuit primaire est maintenu au maximum en circuit fermé.

L'eau en excès de la section de formation de la feuille, l'eau d'aspiration et de pressage ainsi que l'eau de nettoyage est appelée eau blanche II et circule dans le circuit secondaire (circulation longue). Typiquement, l'eau blanche qui s'égoutte de la toile est traitée à l'aide de ce que l'on appelle un ramasse-pâte, qui peut être une installation de décantation ou de flottation ou une unité de filtration tel qu'un filtre à tambour ou à disque. Cette eau est alors appelée eau clarifiée (ou eau claire).

Un filtre à disques à pré-couche, conditionné avec de la pâte brute, permet d'atteindre une consistance maximale (10 à 30 %) de la pâte et successivement, un premier soutirage d'eau trouble, et des soutirages ultérieurs de filtrat clair et ultra-clair. Le filtrat trouble est généralement recyclé dans le filtre comme eau de dilution, mais il peut aussi remplacer l'eau fraîche dans le processus ou être utilisé pour diluer la pâte. Un taux de recyclage plus élevé du filtrat trouble dans le filtre à disques donne un filtrat plus propre. La concentration de matières en suspension dans le filtrat clair (particules fines et charges) est d'environ 10 à 150 mg/l pour la pâte de fibres neuves ou 100 à 400 mg/l pour la pâte de FCR.

On utilise aussi des systèmes de flottation comme ramasse-pâte. Dans des conditions optimales, le rendement des systèmes de flottation pour éliminer les matières en suspension est souvent proche de 100 %, soit une concentration de matières en suspension de 10 à 50 mg/l (pour la pâte vierge). La consistance des boues de flottation est comprise entre 3 et 10 %. Les installations de flottation se composent d'un bassin de décantation avec élimination des boues, d'une installation d'aération de l'eau clarifiée et d'une installation de dosage pour les produits chimiques de flottation. L'avantage de la flottation est qu'elle permet d'éliminer également les matières colloïdales de petite taille (sous réserve d'une floculation convenable préalablement à la flottation). Cela est un avantage important dans les installations utilisant des papiers de récupération (voir section 5.3.8) avec désencrage, dans lesquelles une grande partie des matières solides dans l'eau de process sont colloïdales (dans une installation avec désencrage, la boue de flottation est pompée vers l'installation de déshydratation de la boue au lieu d'être recyclée dans le processus).

Les installations de décantation conviennent pour clarifier l'eau de process à teneur élevée en charges, mais elles sont synonymes de volumes importants et demandent par conséquent beaucoup de place.

Les fibres récupérées au ramasse-pâte sont renvoyées vers le cuvier de pâte et les différentes eaux sont renvoyées, en fonction de leur qualité, vers différentes utilisations où elles remplacent l'eau fraîche.

Le circuit tertiaire contient l'eau en excès du circuit secondaire et, en plus, toute l'eau de process qui n'est pas ou pas directement réutilisable en raison de son degré de pollution. Ces eaux sont traitées dans des installations de traitement physico-chimique et/ou biologique des eaux usées. Jusqu'à présent, la réutilisation de l'eau purifiée n'est pas intégralement applicable pour toutes les qualités de papier. Dans certains cas, l'eau purifiée est partiellement renvoyée dans le processus, en fonction de la qualité requise du produit et des conditions locales. La mise en circuit fermé du système d'eau n'est réalisée que dans un petit nombre d'usines produisant du papier pour ondulé à base de papiers de récupération (voir section 5.3.4) ou du carton.

On peut voir d'après cette description que la partie humide d'une machine à papier met en jeu une très grande quantité d'eau et qu'il y a normalement un degré élevé de recyclage de l'eau dans différentes boucles d'eau. On observe une évaporation d'environ 1 à 1,5 m<sup>3</sup>/t de papier dans la sécherie et due aux pertes au niveau du processus. Le produit papetier "sec" en équilibre avec l'atmosphère normale contient environ 6 à 10 % d'eau.

#### **6.1.4 Circuit des "cassés de fabrication"**

Le terme "cassé" s'applique à tout papier formé, depuis le début de la fabrication jusqu'au produit fini, qui n'a jamais été expédié au client. Les cassés existent sous différentes formes et en quantités variables et il s'en produira toujours au cours de la fabrication du papier.

Le principal objectif d'un circuit des cassés est de renvoyer la fibre dans le processus sans rompre l'uniformité et la qualité de la pâte qui alimente la machine à papier. Chaque machine est différente, il n'y en a pas deux qui soient exactement identiques même si elles produisent les mêmes qualités de papier. Il en découle qu'il n'y a pas non plus deux circuits de cassés semblables (du point de vue chimique).

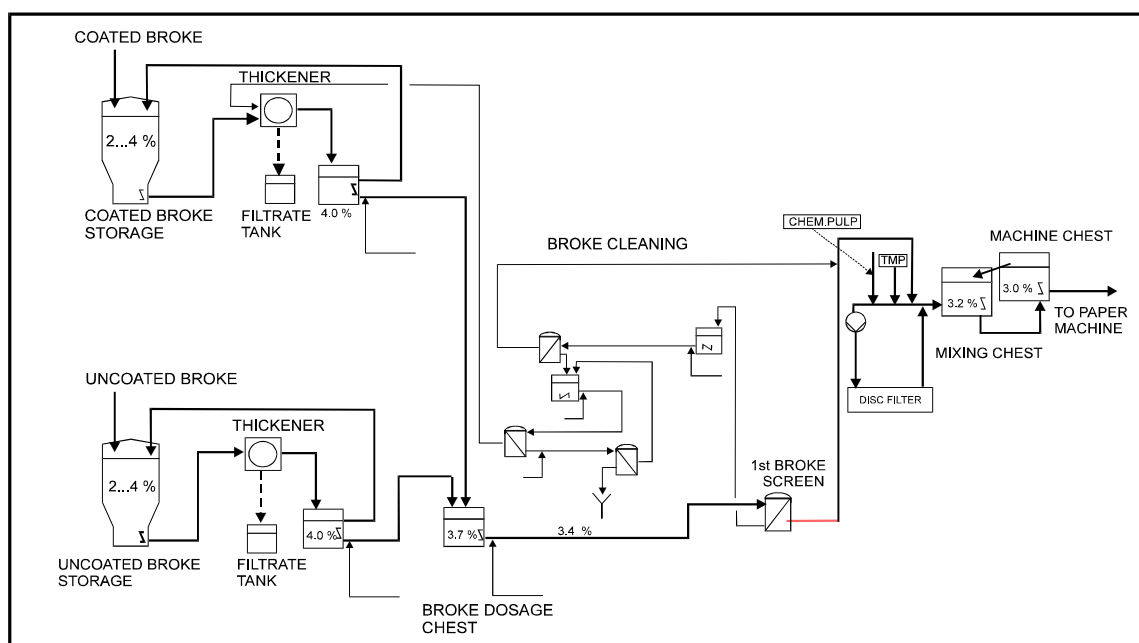
La quantité de cassés de fabrication est normalement de 5 à 20 % de la capacité de la machine. Quelquefois, cette quantité atteint même 50 % de la production normale.

Selon le cas d'espèce, les cassés se produisent en différents endroits. Ils peuvent résulter d'une rupture de la feuille de papier. Ils sont également produits dans le cadre du fonctionnement normal sous la forme de rognures des bords dans la section de la toile, et il y a des cassés secs provenant des opérations de finition. Les pâtes de cassés provenant de la partie humide ou de la partie sèche de la

machine à papier ne présentent pas les mêmes caractéristiques en ce qui concerne la fabrication du papier.

Pour les machines à papier couché, le circuit des cassés nécessite des tours de stockage différentes pour les cassés humides (non couchés) et pour les cassés secs (couchés) (voir figure 6.4). Cette figure illustre la structure possible d'un circuit de cassés dans une papeterie fabriquant du papier couché.

La pâte de cassés est envoyée par pompage depuis les tours de stockage dans les épaisseurs où elle est débarrassée de son excédent d'eau. Les cassés épaissis sont dirigés vers un cuvier, dans lequel les cassés couchés et non couchés sont mélangés. Après cette opération, les cassés subissent plusieurs étapes d'épuration pour minimiser la quantité de cassés résiduaux qui ne peuvent être réutilisés dans la fabrication. Les cassés épurés sont ensuite envoyés vers la cuve de mélange de la chaîne principale, puis vers la machine à papier via un dispositif d'épuration supplémentaire.



**Figure 6.4 - Exemple possible d'un circuit des cassés dans une papeterie fabriquant des papiers couchés.**

**Les cassés couchés et non couchés sont stockés dans des réservoirs séparés**

### 6.1.5 Encollage (en option)

D'habitude, par encollage, on entend un encollage dans la partie humide consistant à ajouter directement de l'amidon ou des agents synthétiques pour réduire la capacité naturelle d'absorption du papier. Dans cette opération, on dépose de l'amidon ou d'autres agents d'encollage sur le matelas de fibres pour renforcer la résistance de la feuille de papier de base et pour modifier les propriétés de sa surface en ce qui concerne l'absorption de liquide lors de l'écriture, de l'impression ou de l'enduction. L'encollage en partie humide est utilisé par exemple pour les papiers fins (papiers pelure) et certains types de papiers spéciaux.

L'impact potentiel sur l'environnement de cette opération d'encollage est constitué par les rejets dans l'eau. Si l'on ajoute des agents d'encollage à la pâte à papier, on peut mesurer des concentrations sensiblement plus élevées de DCO dans les circuits d'eau. La réduction en pâte des cassés de fabrication entraîne aussi une hausse de la DCO dans les circuits d'eau. Par exemple le recyclage dans

la pâte des cassés enduits d'amidon est l'une des principales sources de DBO dans le secteur des papiers d'écriture et papiers fins.

On peut aussi déposer la sauce d'encollage à la surface de la feuille de papier (collage en surface) pour éviter le dépôt de poussières sur le papier lors des opérations d'impression en offset. Le collage en surface améliore aussi la résistance superficielle du papier. Lors de ce collage en surface, la feuille passe dans le bain d'encollage qui est situé au-dessus d'un cylindre presseur qui appuie sur la feuille (presse encolleuse). Sous cette action, la feuille absorbe la colle. La quantité de colle absorbée dépend de la siccité de la feuille, qui peut atteindre 98 % avant la presse d'encollage.

La technique des presses d'encollage a connu un fort développement ces derniers temps, les presses d'encollage à film devenant la norme en remplacement de l'ancienne méthode qui consistait à tremper la feuille de papier dans un espace entre deux rouleaux. Les presses encolleuses à film garantissent l'application uniforme d'une quantité contrôlée d'un mélange aqueux d'encollage sur la feuille de papier en commençant par créer un film d'épaisseur constante sur un rouleau adjacent puis en transférant le film sur la feuille comme pour l'imprimer sur celle-ci. L'eau utilisée dans la presse encolleuse est éliminée par évaporation dans la section à la sortie de la sécherie. Les presses encolleuses sont utilisées avant tout pour les papiers d'impression et d'écriture et les papiers d'emballage fabriqués à partir de fibres recyclées.

Si l'on applique la colle à l'aide d'une presse encolleuse, on n'aura qu'une faible quantité de colle concentrée à rejeter en cas de changement des paramètres de fonctionnement.

Bien que le traitement de la feuille de papier au moyen d'une presse encolleuse soit une forme de couchage pour améliorer les propriétés de sa surface, le terme de "couchage" est généralement réservé à l'application d'une sauce liquide de pigments à la surface du papier de manière à améliorer son imprimabilité ou pour d'autres applications spéciales.

### **6.1.6 Couchage (en option)**

Le papier, qui se compose de fibres individuelles, présente une surface relativement rugueuse. Étant donné que cette rugosité a une incidence négative sur la qualité de l'impression, une quantité importante de papiers et de cartons subit une opération dite de couchage pour obtenir une surface lisse présentant de bonnes propriétés d'imprimabilité. Le terme "couchage" décrit l'opération qui consiste à couvrir un papier, sur une face ou sur les deux, avec un mélange d'eau, de pigments blancs, de liants et de divers adjuvants de façon à conférer à sa surface des caractéristiques spécifiques. Le couchage peut se faire soit sur un matériel qui fait partie intégrante de la machine à papier (couchage sur machine) soit sur un matériel distinct (couchage hors machine). La feuille couchée est séchée dans une section à cylindres de petit diamètre chauffés à la vapeur, par rayons infrarouges, par air chaud ou par une combinaison de ces techniques.

La composition de la sauce de couchage dépend essentiellement des exigences de qualité requises pour la surface du papier compte tenu de la méthode d'impression choisie. Il peut s'agir de mélanges sophistiqués d'ingrédients et la sauce doit habituellement faire l'objet d'une préparation avant d'être mise en œuvre. Cette préparation se fait dans ce que l'on appelle la cuisine de couchage, où l'on procède au mélange et au dosage des produits chimiques d'enduction. La sauce ainsi obtenue est filtrée avant d'être chargée dans la machine de couchage. Certaines matières premières peuvent être reçues à l'état humide, pour faciliter leur manipulation et éviter tout problème de poussière. Toutes les sauces de couchage contiennent des liants, sous quelque forme que ce soit. Il peut s'agir d'amidon que l'on ajoute pour améliorer la rigidité mais qui sera d'habitude cuit au préalable. On utilise des stéarates (Ca et  $\text{NH}_4$ ) pour assurer la lubrification pendant l'application et la texturation de la surface. On aura recours à des pigments, tels que l'argile fine, le talc ou le carbonate de calcium, de même qu'à des colorants, des azurants et de faibles volumes d'autres produits chimiques spéciaux.

Les coucheuses se composent d'un mécanisme dérouleur, d'une ou plusieurs tête(s) de couchage (unité d'application de la sauce), d'une section de séchage (par rayons infrarouges, air chaud ou cylindres chauffés) et d'un mécanisme d'enroulage. Leur fonctionnement est optimisé au moyen de divers dispositifs de mesures de contrôle.

Presque toutes les sauces de couchage se présentent à l'état liquide et sont appliquées à l'aide de systèmes à rouleaux, à lames d'air, à presse d'encollage, à lame ou à barres, ayant tous pour objectif de garantir le dépôt sur la feuille de papier d'une couche d'épaisseur uniforme. Les lames d'air fonctionnent avec une teneur en solides de 30 à 50 %, les autres systèmes environ 50 à 70 %. La sauce liquide de couchage est généralement recyclée dans le système en subissant un filtrage continu destiné à en éliminer les fibres et autres polluants de manière à garantir une qualité constante de la sauce. Ces filtres sont nettoyés à intervalles réguliers, ce qui donne lieu à un courant de déchets concentrés.

Il faut faire une distinction entre les différentes qualités de papiers et de cartons couchés. Mais cette classification des qualités de couchés n'est pas encore normalisée. Certains termes définissant les principaux types de papiers et de cartons couchés sont couramment utilisés dans tous les pays d'Europe. Ils sont rapidement décrits ci-après.

**Papier pour usage graphique** : ce terme s'applique à un papier sans bois ou à faible teneur en bois couché sur les deux faces. Le poids de la couche d'enduction dépasse 20 g/m<sup>2</sup> par face, masquant ainsi complètement la structure fibreuse du papier brut. On applique jusqu'à trois couches par face pour obtenir le haut niveau de qualité requis. Ce papier est utilisé pour des produits imprimés haut de gamme.

**Papiers couchés machine** : cette qualité englobe des papiers tant sans bois qu'avec bois, avec une couche d'enduction d'un poids pouvant atteindre jusqu'à 18 g/m<sup>2</sup>. On obtient souvent des poids supérieurs en appliquant une double couche. La composition des enduits est normalement plus simple que pour les papiers à usage graphique. Les papiers couchés machine servent le plus souvent aux applications dans l'imprimerie.

**Papiers légers couchés (LWC)** : ces papiers sont majoritairement avec bois et le poids de la couche d'enduction est généralement compris entre 5 et 12 g/m<sup>2</sup> par face. Il s'agit de papiers produits en masse, qui sont utilisés pour réaliser des catalogues, des magazines, des dépliants publicitaires etc. La fourchette des poids a été étendue au-delà de ces seuils inférieur (ULWC = Ultra-LWC) mais aussi supérieur (MWC = papier couché poids moyen et HWC = papier couché lourd). De nos jours, les papiers de type lourd reçoivent souvent un double couchage et sont par conséquent classés avec les couchés machine.

**Cartons pour boîtes pliantes et carton couché simple face** : dans ces qualités de carton, la face de dessus blanche est couchée sur la machine à carton. Les autres couches de carton peuvent être en pâte blanchie ou non ou en papier de récupération. Le poids de la couche d'enduction se situe dans une fourchette de 12 à 33 g/m<sup>2</sup> et elle se compose habituellement d'une couche de base (précouche) et d'une couche de finition. Plus récemment, on a également appliqué trois couches d'enduction. Le carton est rarement couché sur l'envers.

Selon la façon de fonctionner de la cuisine de couchage, le procédé de couchage et les mesures mises en œuvre pour récupérer ou traiter séparément les effluents contenant de la sauce de couchage, on peut observer des rejets significatifs dans les milieux aquatiques récepteurs (voir 6.3.5 et 6.3.6). Dans certaines applications, on peut mesurer une légère augmentation des concentrations de composés organiques volatiles (COV) dans les buées d'extraction de la hotte de la sécherie.

Il existe des risques de rejets éventuels dans les cours d'eau, dûs soit à des éléments de couchage concentrés répandus (consistance  $\cong$  50 %) provenant de la cuisine de couchage ou de la coucheuse, soit à des éléments de couchage dilués provenant de l'eau de lavage des bacs et des canalisations. Les rejets concentrés peuvent être recueillis dans des bacs ou des conteneurs mobiles pour le traitement



des déchets solides. Les rejets dilués sont recueillis dans des bacs, d'où ils sont dirigés vers l'installation de traitement des effluents. Habituellement, les effluents du couchage doivent être soumis à un prétraitement dans une installation de floculation (voir 6.3.6). En l'absence d'un tel traitement, les effluents du couchage peuvent perturber le fonctionnement de l'installation de traitement biologique des effluents. Ces dernières années, la technique de la filtration à membrane décrite dans la section 6.3.5 a donné de bons résultats dans le recyclage de la sauce de couchage. Dans des applications en Finlande, en Suède, en France et en Allemagne, la sauce de couchage recyclée est renvoyée dans la cuisine de couchage où elle est réintroduite proportionnellement dans la sauce de couchage fraîche. Les cassés de fabrication couchés sont recyclés, avec pour conséquence le retour de certains produits de couchage dans le circuit d'eau.

### 6.1.7 Coloration du papier (en option)

Les papiers de couleur s'obtiennent en teintant la pâte à papier ou en colorant la surface du papier (presse encolleuse, couchage du papier). On peut de la même façon traiter des papiers avec des agents azurants.

Ajouter un colorant à la pâte est la méthode la plus couramment utilisée pour obtenir des papiers de couleur. On ajoute des colorants, des pigments et des azurants optiques soit dans le pulpeur ou la cuve de mélange, soit en continu dans le flux de pâte. L'addition en continu présente l'avantage que la section à nettoyer est plus courte lorsqu'on change de couleur. Mais, étant donné que le temps de contact est plus court, le rendement de la coloration est plus faible pour les papiers faisant l'objet d'une coloration intense et cette méthode exige un matériel plus sophistiqué.

Lorsque la surface du papier est colorée dans la presse encolleuse, les colorants sont ajoutés à la "sauce" de la presse. La coloration en surface est limitée à certains cas particuliers, car il est difficile d'obtenir une coloration uniforme du papier. Mais cette méthode présente l'avantage d'éliminer la présence de colorants dans les circuits d'eau.

Les papiers peuvent également recevoir une coloration en surface lors du couchage. Lors du couchage normal (voir 6.1.6), la surface du papier ou du carton est enduite d'une couche de pigments. Dans le cas d'opération de couchage avec des couleurs, la matière de base est un mélange d'enduits blancs, et la nuance souhaitée s'obtient en ajoutant une dispersion d'un pigment organique ou inorganique.

Selon la matière fibreuse à colorer et l'utilisation prévue pour le papier, on utilise différents types de pigments et de colorants tels que des colorants basiques (colorants anioniques), des colorants directs, ou des colorants acides. On utilise en plus des agents de fixation et d'autres adjuvants pour améliorer la fixation du colorant et obtenir de meilleurs résultats. Pour la coloration du papier, on utilise des pigments soit inorganiques soit organiques (par exemple azoïques et du type phtalocyanine) et du noir de carbone.

Le principal impact de la coloration pour l'environnement réside dans les rejets dans les milieux aquatiques. En particulier dans le cas des usines procédant à plusieurs changements par jour de teintes ou de nuances, les circuits d'eau doivent être nettoyés après un certain temps. Habituellement, les papeteries fonctionnent par "campagnes" et produisent d'abord les couleurs les plus pâles en passant progressivement aux coloris les plus foncés. Il suffit ainsi d'adapter la coloration de l'eau. Toutefois, lorsque l'on arrive par exemple au vert foncé, il faut laver le circuit d'eau. Les eaux usées colorées sont envoyées dans les cours d'eau en passant par l'installation de traitement. Plusieurs fois par mois, les canalisations sont soumises à un traitement chimique pour en éliminer les dépôts et les résidus de colorants. Certaines usines utilisent du chlore élémentaire et de l'hypochlorite pour ce traitement chimique.

### 6.1.8 Addition de produits chimiques

Outre les matières premières principales, à savoir les matières fibreuses et les charges, la fabrication du papier nécessite également l'adjonction de différents mélanges de produits chimiques et d'agents auxiliaires. Une partie sert à conférer au papier certaines qualités (par exemples agents d'encollage, agents de renforcement de la résistance à l'état humide, colorants, sauces de couchage), l'autre partie améliore le déroulement du processus de production (par exemple agents de rétention, antimousses, agents de nettoyage et antislimes).

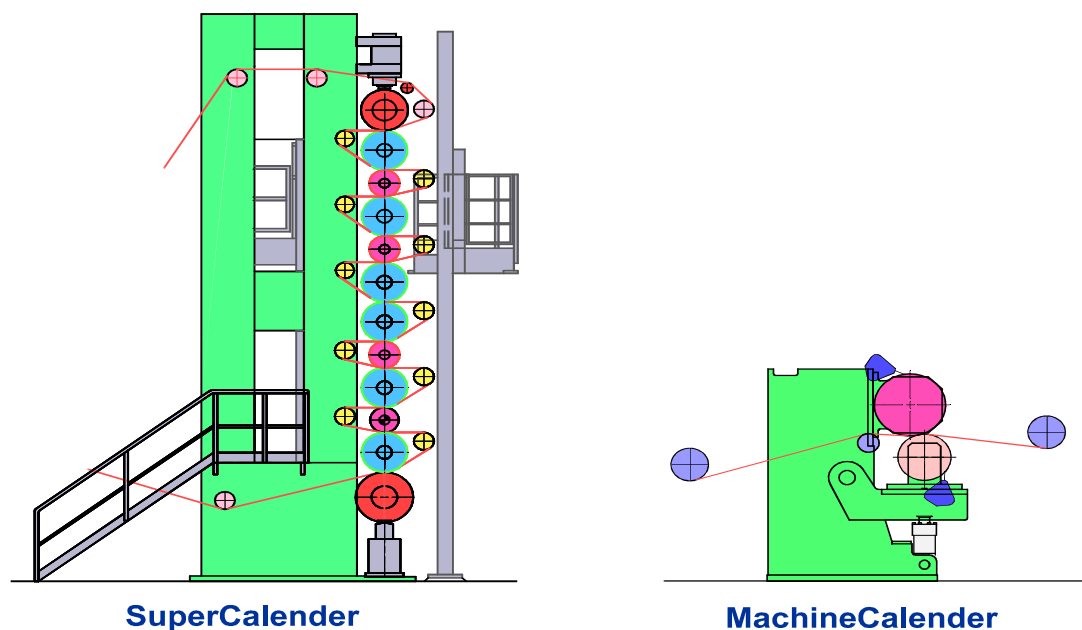
Les adjuvants (additifs) chimiques peuvent être soit livrés sur le site prêts à l'emploi soit préparés sur place - d'habitude, les produits chimiques spéciaux en faibles quantités sont livrés prêts à l'emploi alors que ceux utilisés en plus grande quantité se présentent sous l'une ou l'autre forme. Cela s'applique aux produits pour le couchage ainsi qu'à ceux ajoutés à la pâte à papier. Les additifs chimiques peuvent être ajoutés dans la partie humide avec la pâte diluée ou être pulvérisés sur la toile, auquel cas ils sont incorporés dans la masse du papier, ou bien être ajoutés au niveau de la presse encolleuse ou de la coucheuse de la machine à papier, c'est-à-dire ajoutés en surface. Dans le premier cas, la totalité des produits chimiques non absorbés dans la masse du papier restera dans le circuit pour finir probablement dans l'effluent. Les produits chimiques qui restent dans le circuit d'eau peuvent entraver la mise en circuit fermé du cycle d'eau et également avoir une incidence défavorable sur le fonctionnement de l'installation de traitement des eaux usées. Mais cela dépend du type et de la quantité de produits chimiques utilisés.

L'addition de produits à la surface par pulvérisation ou mouillage permet de mieux contrôler l'opération et limite la consommation d'eau aux opérations de lavage et de nettoyage. Toutefois, cette solution n'est possible que pour un petit nombre d'applications. Dans ces quelques cas, l'eau de lavage éventuelle peut être séparée pour subir un traitement distinct. Par exemple les résidus liquides du couchage peuvent être traités séparément via une étape de précipitation ou le recours à une ultra-filtration (voir sections 6.3.5 et 6.3.6).

Les principaux additifs utilisés dans la fabrication du papier et leurs effets pour l'environnement sont étudiés plus en détail séparément dans la section 6.2.2.3 et dans l'annexe 1.

### 6.1.9 Calandrage (option)

Le but du calandrage est d'obtenir un papier à surface lisse qui réponde aux exigences d'impression et d'écriture requises pour l'usage auquel il est destiné. Dans le calandrage, la feuille de papier passe par un certain nombre de rouleaux presseurs à mouvement contraire et sa surface rugueuse subit l'action de la pression et très souvent aussi de la température. Les calandres comprennent deux ou plusieurs rouleaux en fonte durcie à surface très lisse qui sont superposés comme cela est illustré dans la figure 6.5.



**Figure 6.5 - Deux exemples de calandres différentes : supercalandre et calandre (Illustrations fournies par Valmet).**

La feuille de papier passe entre les rouleaux de la calandre (rouleaux durs). Les calandres se composent d'un rouleau en fonte chauffé associé à un rouleau avec une surface en plastique souple (rouleaux élastiques). Ces rouleaux sont disposés par paires l'un au-dessus de l'autre. Ils sont chauffés à l'intérieur au moyen d'eau chaude, de vapeur ou d'huile.

La feuille de papier qui sort de la machine à papier ou de la coucheuse est souvent soumise à un traitement de finition ultérieur dit supercalandrage (figure 6.5). Cette opération, qui est effectuée en dehors de la machine à papier, habituellement sur une supercalandre, permet d'obtenir un papier à surface très lisse et au satinage poussé. Ce traitement améliore également la brillance. Le supercalandrage permet d'atteindre les caractéristiques d'imprimabilité qui sont nécessaires lorsqu'on veut imprimer des images. Pour certaines qualités, avant ce supercalandrage, la feuille de papier fait l'objet d'un contrôle sur des dérouleurs pour déceler d'éventuels défauts. Les parties défectueuses sont enlevées et les bords de la feuille sont de nouveau recollés. Le système de supercalandrage se compose du support de déroulage, de la supercalandre proprement dite et du support d'enroulage.

Le principal impact du (super)calandrage sur l'environnement est la consommation d'énergie nécessaire pour assurer la marche de la machine et pour chauffer les rouleaux.

#### **6.1.10 Enroulage / découpage / expédition**

Le produit final est confectionné selon les spécifications du client concernant le découpage en bobines ou en formats, le grammage, le coloris et l'apprêt. La plupart des machines à papier produisent des rouleaux de papier de grand diamètre où la largeur de la bande de papier a été déterminée par le rognage des bords de la feuille dans la partie humide. Les produits sont habituellement rognés à la largeur voulue à la sortie de la machine, à l'aide de lames rotatives aiguisées et de guillotines, et découpés en feuilles avant d'être emballés en vue de leur expédition. Il peut également y avoir une étape de conditionnement pour amener le produit papetier à une teneur spécifiée en humidité lui assurant une consistance uniforme, afin de lui conférer une stabilité dimensionnelle et le rendre apte à l'usage prévu, par exemple l'impression ou l'emballage.

L'incidence de ces opérations sur l'environnement est relativement faible, mais il faut mentionner le risque de production de poussières lors du découpage. Les processus mis en œuvre consomment peu d'énergie. Les déchets générés sont les rognures de papier, qui sont généralement recyclées dans le processus de fabrication en tant que cassés.

#### **6.1.11 Exemples de papeteries non intégrées en Europe**

Les papiers et cartons peuvent être fabriqués sur le même site que la pâte (usines intégrées) ou bien sur un site propre à part (usines non intégrées).

En 1993, on dénombrait 830 papeteries non intégrées en service en Europe de l'Ouest, représentant une capacité totale de quelque 30 millions de tonnes/an. Ce qui correspond à une production moyenne arithmétique d'environ 35 000 t/an. Le pourcentage de papeteries non intégrées est élevé dans des pays tels que l'Italie (211), l'Allemagne (161), l'Espagne (114), la France (107) et le Royaume Uni (81) [J. Pöry, 1994b].

Les différentes qualités de papier et de carton sont fabriquées à partir de différentes matières premières sur des machines qui sont conçues pour chacune de ces qualités. Mais jusqu'à présent, il n'y avait pas d'accord en Europe sur la distinction à faire entre les différents types de papiers, sous l'angle de l'environnement, pour décrire les émissions à atteindre pour les papeteries ayant mis en œuvre des MTD. Les systèmes de classification des statistiques commerciales (par exemple statistiques nationales, statistiques CEPI) ne sont pas les mêmes que ceux utilisés par les États membres pour fixer les prescriptions légales imposées à l'industrie papetière. La classification des papeteries varie d'un pays à l'autre. Par conséquent, il n'existe aucune classification qui puisse être adoptée en tant que telle.

En Europe, la majorité des papeteries non intégrées fabriquent des papiers fins, des papiers pour usage sanitaire et domestique ou des papiers spéciaux. Mais il ne faut pas oublier que, dans certains pays, ces types de papiers sont également fabriqués dans des usines intégrées. Par exemple, dans les pays scandinaves, les usines de papiers fins ont été très souvent construites à côté d'une usine de pâte à papier. Les papiers à usage sanitaire et domestique sont eux aussi fabriqués dans des usines soit intégrées (utilisant principalement des fibres recyclées) soit non intégrées.

##### **6.1.11.1 *Papiers d'impression-écriture sans bois non couchés***

Les papiers d'impression-écriture comprennent des produits tels que les papiers d'impression avec bois pour presse magazine (voir chapitre 4) et les papiers d'impression sans bois.

Les papiers d'impression sans bois comprennent presque exclusivement de la pâte chimique blanchie de feuillus et de résineux. On peut utiliser 10 à 20 % de charges. Ces papiers non couchés sont habituellement encollés et soumis à des traitements ultérieurs d'encollage en surface et de calandrage. Ils ne jaunissent pratiquement pas et présentent une résistance élevée.

Pendant l'épuration et le tamisage de la pâte, on n'enlève que de petites quantités de déchets, car les matières premières sont majoritairement pures. Pendant le raffinage, les fibres sont coupées et fibrillées. Pendant cette fibrillation, une petite quantité des matières organiques est dissoute.

Les autres produits papetiers sans bois consistant essentiellement en pâte chimique comprennent entre autres les papiers à usage sanitaire et domestique, la ouate de cellulose, les papiers filtres, les papiers décoratifs, les papiers à laminer ou les papiers sulfurisés. Ils comprennent également les produits avec addition de colle dans la masse pour réduire la capacité naturelle d'absorption de la feuille de fibres, tels que les papiers pour affiches, le papier carbone, les papiers kraft et les papiers à dessin. L'encollage provoque une augmentation des substances organiques dans les circuits d'eau et, lors de la

réduction en pâte des cassés de fabrication, la plupart des adjuvants peuvent être à nouveau dissous (par exemple l'amidon natif converti).

#### **6.1.11.2      *Papiers d'impression-écriture sans bois couchés***

Les papiers d'impression couchés représentent le groupe le plus important des papiers d'impression-écriture et d'impression. La majeure partie de ce groupe - les papiers d'impression couchés avec bois - est décrite dans le chapitre 4.

Le papier brut pour les papiers couchés sans bois est essentiellement à base de pâte chimique. Une couche de sauce de couchage est appliquée sur chaque face de la feuille de papier. Ces papiers peuvent en plus être calandrés pour leur conférer une surface mate ou brillante. À côté des papiers d'impression et des papiers pour usage graphique, ce groupe inclut également la production de carton enduit simple face (la face de dessus blanche du carton).

Pendant l'opération de préparation de la pâte, on n'enlève que de petites quantités de déchets, étant donné que les matières premières sont majoritairement pures. Le papier couché est séché deux fois, dans la section de séchage habituelle puis de nouveau après avoir reçu la sauce de couchage humide. Selon le type de papier produit, d'autres produits chimiques sont ajoutés dans les cuves de mélange, ce qui peut avoir pour résultat une pollution des eaux usées. Le couchage et les opérations de finition incluent l'encollage des deux faces et l'application d'une sauce de couchage (une ou plusieurs couches sur une face ou sur les deux). La préparation de la sauce de couchage et la réduction en pâte des cassés de fabrication sont une source supplémentaire de pollution des eaux usées, sous forme de substances non dissoutes ainsi que de substances dissoutes consommatrices d'oxygène.

#### **6.1.11.3      *Papiers à usage sanitaire et domestique***

D'habitude, le papier à usage sanitaire et domestique est un produit fabriqué dans une unité distincte en aval de la machine à papier, dans laquelle on combine différentes couches sortant de cette machine pour obtenir un produit multi-couches. Cela en raison de son très faible grammage (jusqu'à 12 g/m<sup>2</sup> sur la toile). Ce type de produit se caractérise par sa souplesse et sa douceur, sa pureté, sa grande capacité d'absorption et sa résistance. La transformation en produits finis est souvent intégrée avec la production du papier à usage sanitaire et domestique, c'est-à-dire que les usines de papiers à usage sanitaire et domestique vendent souvent leurs produits au consommateur final (y compris l'emballage).

Le papier à usage sanitaire et domestique est majoritairement fabriqué à partir de pâte chimique blanchie ou de fibres recyclées désencrées (voir chapitre 5). Si l'on utilise du papier de récupération, il faut éliminer les charges et les particules fines (toutes petites fibres inadaptées à la fabrication de ce papier). On a aussi fréquemment recours à un mélange de différents pourcentages de fibres vierges et de fibres recyclées. Si l'on utilise des fibres de récupération, les usines sont respectivement intégrées ou partiellement intégrées. Les usines procédant au traitement des papiers récupérés consomment d'importantes quantités d'eau pour éliminer les charges et particules fines contenues dans la pâte. Ces substances représentent des boues supplémentaires, qui doivent être manipulées et traitées. Concernant le traitement des papiers de récupération, se reporter au chapitre 5.

Pour la fabrication du papier à usage sanitaire et domestique, on emploie différentes techniques de séchage pour différents produits, par exemple la machine Yankee à sécherie traditionnelle ou le procédé de séchage par injection d'air dans la masse TAD (Through-Air-Drying) impliquant le chauffage d'énormes quantités d'air. Les produits séchés avec le procédé TAD ont tendance à être plus volumineux et plus doux, ce qui se traduit par une réduction significative de la consommation de fibres pour un produit donné par rapport au papier crêpé séché par la méthode traditionnelle.

Pendant la préparation de la pâte, les pertes de matières fibreuses sont peu importantes (1 à 2 %). Les émissions dans l'atmosphère sont principalement fonction de l'alimentation en énergie et de la conception du processus de séchage. Les usines de papier à usage sanitaire et domestique ont tendance à consommer des volumes d'eau fraîche pour les rinceurs légèrement supérieurs à ceux des autres papiers car la propreté des toiles et des feutres joue un rôle crucial pour la formation des feuilles ultra légères. Sur de nombreuses machines à papier à usage sanitaire et domestique, on procède fréquemment à des changements de qualité et/ou de couleurs pour différents produits, ce qui réduit quelque peu le rendement des matières premières, de l'eau et de l'énergie consommées. Selon les propriétés que doit présenter le produit, on introduit des adjuvants, qui peuvent provoquer une pollution des eaux usées. Par exemple, l'addition de résines organiques halogénées pour renforcer la résistance à l'état humide entraîne une augmentation des taux d'AOX dans les eaux usées.

#### **6.1.11.4      *Papiers spéciaux***

Les papiers et cartons industriels et spéciaux couvrent une gamme étendue de qualités. Les papiers spéciaux requièrent souvent des matières fibreuses ou des traitements spécifiques des fibres qui, autrement, sont trop onéreux à mettre en œuvre. Par exemple, les papiers pour les documents officiels, les billets de banques et papiers d'identité ne contiennent pas seulement des fibres synthétiques, mais aussi de la pâte de coton et de jute provenant de chiffons.

Ce groupe comprend des papiers finement broyés fabriqués à partir de pâte chimique pure. Un raffinage intensif leur confère des caractéristiques spécifiques telles que transparence et imperméabilité aux graisses. On y trouve entre autres les types de papier suivants : papiers translucides pour comptabilité, papiers isolants pour usages électriques, papier tissue pour condensateurs, papiers transferts non couchés, papier cristal, papier vélin, papier à cigarettes etc. Étant donné que les matières premières sont majoritairement pures, il n'y a que peu de pertes de matières inutilisables lors des phases d'épuration et de tamisage. Pendant le raffinage, les fibres sont coupées et fibrillées. Pendant cette fibrillation, une petite quantité des matières organiques est dissoute. Selon le type de papier à fabriquer, on introduit des adjuvants chimiques, dont une partie peut aboutir dans les eaux usées. Le débit d'eaux usées spécifiques varie considérablement, entre 40 et 300 m<sup>3</sup>/t selon le type de produit et les conditions de production spécifiques. La technique de production pour ce groupe de produits, de même que les exigences qualitatives imposées aux différents types de papier (conductibilité électrique, transparence, caractéristiques sensorielles) limitent considérablement les possibilités de mise en circuits fermés des systèmes d'eau (chaleur élevée due au raffinage intensif).

Les papiers spéciaux destinés à des applications techniques, médicales, pharmaceutiques et autres sont produits par petits lots avec, en moyenne annuelle, plus d'un changement (de type de papier) par jour et par machine. La composition de la pâte peut varier notablement selon les différents produits et comprend des plantes annuelles prétraitées, des pâtes chimiques blanchies ou non, des fibres chimiques et minérales.

La pâte consommée varie beaucoup en type et en qualité. Les types de papiers suivants sont fabriqués, parmi d'autres : papiers pour essais (papiers indicateurs), papiers-supports photographiques, papiers pour filtres destinés aux usages de laboratoire, papiers spéciaux pour usages cliniques, papiers pour filtre à huile, papiers pour filtres à poussière, papiers-supports imprégnés, papiers supports à base de fibres vulcanisées, papiers bakélisés pour usages électriques, papiers d'étanchéité, papiers pour cylindres de calandrage (par exemple pour des cylindres à profiler ou à gaufrer), papiers autocopiants, papiers thermiques, papiers pour étiquettes, papiers couchés à haute brillance etc. Pour la production de papiers spéciaux, l'eau ne peut être recyclée que dans une mesure réduite en raison des exigences de qualité spécifiées avec précision pour ces papiers spéciaux. Il s'ensuit, et à cause aussi des changements fréquents de type, que la consommation d'eau puisse dépasser 100 m<sup>3</sup>/t. La charge en substances organiques des eaux usées est faible. Selon les critères de qualité à satisfaire, il peut arriver qu'un changement de type de papier implique une vidange plus ou moins complète des installations de pâte et d'eau.

## 6.2 Niveaux actuels de consommation / émissions des papeteries

### 6.2.1 Aperçu des intrants (matières consommées) / sortants (matières produites)

La figure 6.6 donne un aperçu des consommations de matières premières et d'énergie, ainsi que des produits, des résidus destinés à être réutilisés et des principaux rejets (émissions, déchets etc.) de la fabrication du papier.

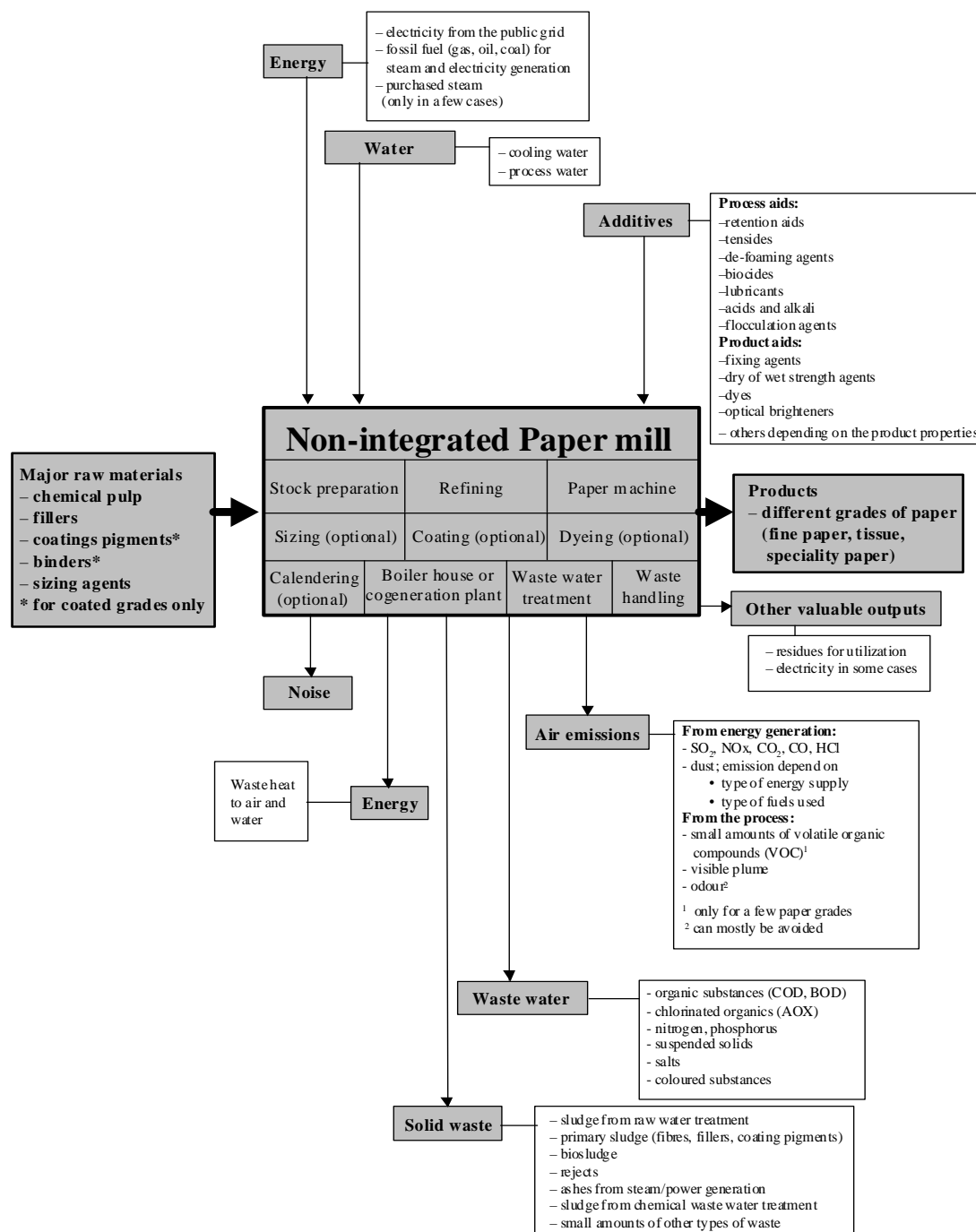


Figure 6.6 - Aperçu du circuit général dans une papeterie

La présence de certaines substances dépend essentiellement de la qualité et des propriétés du papier que l'on souhaite obtenir et du type d'alimentation en énergie.

A l'aide de l'aperçu général du circuit ci-dessus, il est possible de calculer la consommation spécifique de matières premières et les émissions spécifiques par tonne de produit. Le tableau 6.2 récapitule les données concernant les grandes papeteries européennes, en l'absence d'autres données. Cet exemple concerne une usine ayant obtenu les meilleurs résultats. Dans le tableau 6.3 ci-après, on trouvera des données concernant des usines types de papier à usage sanitaire et domestique.

Intrants			Sortants		
Matières premières	Valeur	Unité	Produit	Valeur	Unité
Pâte chimique blanchie (5 % d'humidité)	610.03	kg/t	Papier fin (couché et non couché)	1000	kg
Charges (CaCO <sub>3</sub> ), MS 73 %	209.28	kg/t	<b>Emissions</b>		
Pigments pour le couchage (CaCO <sub>3</sub> et kaolin, MS 73 %)	210.18	kg/t	CO <sub>2</sub> <sup>3)</sup>	298	kg/t
Amidon, sec	40.33	kg/t	CO <sub>2</sub> , regenerative	-	kg/t
Liants, secs	29.34	kg/t	NO <sub>x</sub> <sup>3)</sup>	0.2	kg/t
Agents d'encollage, MS 20 %	6.36	kg/t	CO <sup>3)</sup>	0.02	kg/t
Autres additifs et colorants	15.35	kg/t	SO <sub>2</sub> <sup>3)</sup>	negligeable	kg/t
<b>Énergie</b>			Poussières <sup>3)</sup>	negligeable	kg/t
Gaz naturel pour la génération de vapeur	5217	MJ/t	Bruit : à deux points de mesure <sup>4)</sup>	47.4 (600m) 39.8 (1200m)	dB (A) dB (A)
Gaz pour les chariots élévateurs	0.002	MJ/t	DCO	0.44 (97)	kg/t (mg/l)
Gaz pour séchage	15.4	MJ/t	DBO <sub>5</sub>	0.11 (24)	kg/t (mg/l)
Électricité achetée <sup>2)</sup>	611.8	kWh/t	Solides en suspension	0.14 (30)	kg/t (mg/l)
Total énergie consommée	2065	kWh/t	AOX	0.0007 (0.15)	kg/t (mg/l)
Total énergie primaire <sup>1)</sup>	3136	kWh/t	N <sub>inorganic</sub>	0.041 (9.2)	kg/t (mg/l)
			P <sub>total</sub>	0.003 (0.8)	kg/t (mg/l)
			Vapeur d'eau	1.5	m <sup>3</sup> /t
			Débit d'eaux usées	4.5	m <sup>3</sup> /t
<b>Besoins en eau</b>			<b>Résidus</b>		
Eau brute / eau fraîche	6	m <sup>3</sup> /t	Boue (utilisée dans les cimenteries)	12.7 (à 100% MS)	kg/t
			Autres déchets	5.1	kg/t
Notes :					
1. La part de l'électricité achetée par rapport à la consommation spécifique d'énergie primaire est calculée en postulant un rendement énergétique des compagnies productrices d'électricité de 36,75 %, c'est-à-dire que 1 kWh d'électricité achetée correspond à une énergie primaire de 2,75 kWh. Dans ce cas, 611,8 kWh/t correspondent à 1 682,45 kWh/t d'énergie primaire (par exemple de charbon). Facteur de conversion : 1 MJ = 0,2778 kWh et 1 kWh = 3,6 MJ.					
2. La consommation d'énergie inclut celle des pompes de l'eau d'alimentation.					
3. Les émissions dans l'atmosphère provenant de l'électricité achetée ne sont pas incluses. La vapeur est produite sur le site dans une chaudière à vapeur chauffée au gaz. Les émissions dans l'atmosphère provenant des papeteries non intégrées dépendent essentiellement du type de combustible utilisé.					
4. La distance entre les papeteries et une zone commerciale est d'environ 600 m, et la distance jusqu'à une zone résidentielle est de 1 200 m.					

**Tableau 6.2 - Valeurs annuelles moyennes des intrants/sortants de la plus grande usine européenne non intégrée de papier fin sans bois (qualités de couchés et non couchés) produisant environ 1 018 450 t/an (1997)<sup>12</sup>.**

**Les données relatives aux émissions dans l'eau représentent la situation après un traitement biologique en 2 étapes (lit bactérien, plus boues activées).**

<sup>12</sup> Déclaration sur l'environnement 1998 Nordland Papier AG, UPM Postfach 11 60 D-26888 Dörpen, Allemagne



Le tableau 6.2 concerne une très grande papeterie. Mais il convient de noter que les petites papeteries ont souvent des consommations spécifiques d'énergie plus élevées et également une consommation d'eau plus grande que les usines de plus grande taille. Les raisons des différences, au point de vue résultats environnementaux, entre les grandes et les petites papeteries sont par exemple :

- la quantité d'eau fraîche requise pour le rognage en continu des bords de la feuille de papier est identique quelle que soit la largeur de la machine. Il s'ensuit que les machines à papier plus larges consomment comparativement moins d'eau à cet effet.
- les grandes machines produisent habituellement des types de papier en masse. Cela signifie qu'il y aura moins de changements de type, qui sont une source de consommation élevée d'eau et d'augmentation de la charge polluante lors du lavage du système.
- les économies d'échelle facilitent les investissements dans les technologies propres pour les grandes usines.
- les grandes usines disposent de ressources financières et humaines plus importantes pour la recherche et le développement.

Le tableau 6.3 récapitule les niveaux de consommation et d'émissions pour les usines de papier à usage sanitaire et domestique. La principale différence entre les usines utilisant des fibres vierges ou des fibres secondaires réside dans les déchets. Alors que les premières produisent 10 à 40 kg de déchets/t de papier (100 % de solides secs), le traitement des fibres de récupération donne des quantités de 400 à 1 000 kg de déchets/t de papier (voir section 5.2.2.6)

Intrants			Sortants		
Matières premières	Valeur	Unité	Produit	Valeur	Unité
Pâte chimique blanchie	1010-1020	kg/t	Papier à usage sanitaire et domestique	1000	kg
Résines pour renforcer la résistance à l'état humide	0-80	kg/t	<b>Emissions</b>		
Amidon, sec	0-30	kg/t	CO <sub>2</sub> <sup>4)</sup>	300-1800	kg/t
Colorants	0-2	kg/t	CO <sub>2</sub> , <i>regenerative</i>	-	kg/t
Autres additifs	0-20	kg/t	NO <sub>x</sub> <sup>4)</sup>	0.5-5	kg/t
			SO <sub>2</sub> <sup>4)</sup>	0.07-10	kg/t
			Poussières <sup>4)</sup>	n/a.	kg/t
<b>Énergie</b>				avant	après traitement
Combustible pour la génération de vapeur	5000-25000	MJ/t	COD	n/a.	2 -6 kg/t
Total électricité consommée <sup>1)</sup>	1000-3000 <sup>3)</sup>	kWh/t	BOD <sub>5</sub>	n/a.	1 - 2 kg/t
Total énergie consommée <sup>2)</sup>	2000-10000	kWh/t	Matières en suspension	n/a.	1 - 3 kg/t
			AOX	n/a.	5 - 15 g/t
			N <sub>total</sub>	n/a.	5 - 100 g/t
			P <sub>total</sub>	n/a.	1 - 30 g/t
			Vapeur d'eau	1	m <sup>3</sup> /t
			Débit d'effluents	6 - 100	m <sup>3</sup> /t
<b>Besoins en eau</b>			<b>Résidus</b>		
Eau brute / eau fraîche	7-100	m <sup>3</sup> /t	Déchets solides	10 - 40 (à 100% MS)	kg/t
Notes :					
1) Il n'est pas tenu compte du rendement des compagnies productrices d'électricité.					
2) La consommation spécifique d'énergie primaire peut être calculée à partir de ce chiffre en tenant compte du rendement énergétique des compagnies productrices d'électricité. Facteur de conversion : 1 MJ = 0,2778 kWh et 1 kWh = 3,6 MJ.					
3) Le seuil supérieur de la fourchette concerne les usines de papier à usage sanitaire et domestique utilisant des méthodes de séchage par injection d'air dans la masse (TAD) ou de re-crêpage. La méthode TAD implique d'énormes quantités d'air devant être déplacées par de grands ventilateurs.					
4) Les émissions comprennent tous les types de combustibles utilisés pour générer la vapeur. Elles ne comprennent pas l'électricité achetée.					

**Tableau 6.3 - Niveaux de consommation et d'émissions pour des usines types de papier à usage sanitaire et domestique (données ETS).**

Les émissions dans les cours d'eau sont exprimées en tant que valeurs types avant et après traitement. A part les fourchettes de données concernant les déchets solides, il n'y a pas de différences significatives entre les niveaux de consommation et d'émissions pour les fibres vierges et les fibres recyclées.

## 6.2.2 Niveaux de consommation et d'émissions

Les aspects suivants associés à la fabrication du papier sont un sujet de préoccupation :

- consommation de matières premières
- consommation d'eau
- consommation d'additifs
- demande d'énergie
- émissions d'eaux usées
- génération de déchets solides
- émissions dans l'atmosphère des machines à papier
- émissions dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie

- mauvaises odeurs provenant des vapeurs et de l'installation de traitement des eaux usées (localement)
- bruit provenant des machines à papier (localement)

Des vibrations à basses fréquences et des émissions de panaches visibles peuvent également être une source de préoccupation locale.

Aucune information n'ayant été fournie à ce sujet, ce point n'est donc pas traité plus en détail ici.

A propos des chiffres indiqués pour les émissions et les consommations, nous rappelons que, étant donné que les États membres n'utilisent pas tous les mêmes méthodes de mesure, les données ne sont pas toujours rigoureusement comparables d'un pays à l'autre. (Voir Annexe III pour plus de détails sur cette question, mais le fait d'utiliser des méthodes différentes ne modifie pas les conclusions présentées dans le présent document).

### 6.2.2.1 Consommation des principales matières premières

Le papier est fabriqué à partir de fibres, d'eau et d'additifs chimiques. La consommation de matières premières dans l'industrie papetière est étroitement liée au type de papier fabriqué et aux propriétés et qualités demandées au produit final. Le tableau 6.4 récapitule des exemples de matières premières utilisées, ainsi que certaines caractéristiques du produit.

Type de papier	Principales matières premières utilisées	Quelques caractéristiques du produit et exemples de produits
Papier journal	Pas d'addition de charges supplémentaires; peu de produits chimiques ajoutés; quelquefois addition de pigments; très peu de colorants; utilise des pâtes mécaniques ou FCR	Fourchette de grammages réduite : 40 à 50 g/m <sup>2</sup> a) 100 à 70 % à base de FCR + 0 à 30 % de TMP b) principalement TMP + 0 à 50 % DIP
Emballage kraft	Pas d'addition de charges, coloré; utilise essentiellement de la pâte kraft non blanchie	Produit à résistance élevée; 70 à 100 g/m <sup>2</sup>
Papier couverture kraft ou couverture spéciale	Pas d'addition de charges; utilise de la pâte kraft non blanchie et des FCR, ou seulement des FCR	Grammage plus lourd : 110 à 160 g/m <sup>2</sup> Papier pour couverture spéciale : 90 à 100 % de FCR
Carton	Présente souvent différentes compositions dans les différentes couches; le plus souvent feuilles multi-couches; tous les types de fibres, y compris FCR;	Grammages plus élevés, 175 g/m <sup>2</sup> + (jusqu'à 2 000 g/m <sup>2</sup> )
Impression - écriture	Toutes les qualités de fibres, principalement blanchies, charges, colles, colorants, azurants; peut être couché; vaste éventail de grammages;	Spécification précise pour l'utilisateur; grammage spécifique de 30 g/m <sup>2</sup> à 50 à 60 g/m <sup>2</sup> (LWC) et jusqu'à 90 à 120 g/m <sup>2</sup>
Usage sanitaire et domestique	Pas d'addition de charges; agents auxiliaires pour renforcer la résistance à l'état mouillé; utilise des pâtes chimiques + FCR dans différents mélanges	Produits légers <sup>1)</sup> par exemple mouchoirs : 15 g/m <sup>2</sup> (pour trois épaisseurs) serviettes de tables : 20 g/m <sup>2</sup> (pour deux épaisseurs)
Papiers spéciaux	Traitement spécifique des fibres; le type et la qualité de la pâte utilisée peuvent varier considérablement.	Ce groupe couvre une grande variété de types;
Notes : 1. La feuille fabriquée sur une machine à papier à usage sanitaire et domestique dépasse rarement 40 g/m <sup>2</sup> . Le grammage plus élevé des produits en papier à usage sanitaire et domestique est dû au pliage lors de la transformation.		

**Tableau 6.4 - Exemples des principales matières premières utilisées dans la fabrication de différents types de papiers**

### 6.2.2.2 Consommation d'eau

Dans les papeteries, l'eau fraîche sert essentiellement :

- comme eau de nettoyage pour l'eau dite des rinceurs de la machine à papier. La fonction de ces rinceurs est de lubrifier et de nettoyer les toiles de la table de formation et les feutres de la presse humide pour garantir un résultat satisfaisant de l'égouttage : 5 à 20 m<sup>3</sup>/t.
- comme eau d'étanchéité et de confinement dans les presse-étoupe, les caisses aspirantes, les systèmes à vide et les épurateurs : 1 à 6 m<sup>3</sup>/t.
- comme diluant et agent de dispersion pour les charges et les adjuvants : 1,5 à 3 m<sup>3</sup>/t.
- pour certains types de papiers : eau d'appoint dans la préparation de la pâte
- refroidissement du matériel utilisé pour le processus : 3 à 10 m<sup>3</sup>/t. Ces eaux sont souvent recyclées et utilisées comme eau de process. D'autres usines les rejettent à part. C'est pourquoi, normalement, cette eau n'est pas incluse dans les rapports sur la consommation d'eau des papeteries.
- Unité de production d'énergie : 2 à 3 m<sup>3</sup>/t. Normalement, cette eau n'est pas incluse dans les rapports sur la consommation d'eau des papeteries.

Le schéma simplifié de la figure 6.7 illustre, au moyen d'un exemple, les principaux points correspondant à la consommation d'eau fraîche. On présuppose que l'eau de refroidissement est recyclée dans le processus. Les papeteries qui rejettent de l'eau de refroidissement auront besoin d'une quantité comparativement plus élevée d'eau fraîche. En comparant les chiffres sur la consommation d'eau dans les papeteries, il faut s'assurer que les chiffres comparés portent bien sur les mêmes points de consommation.

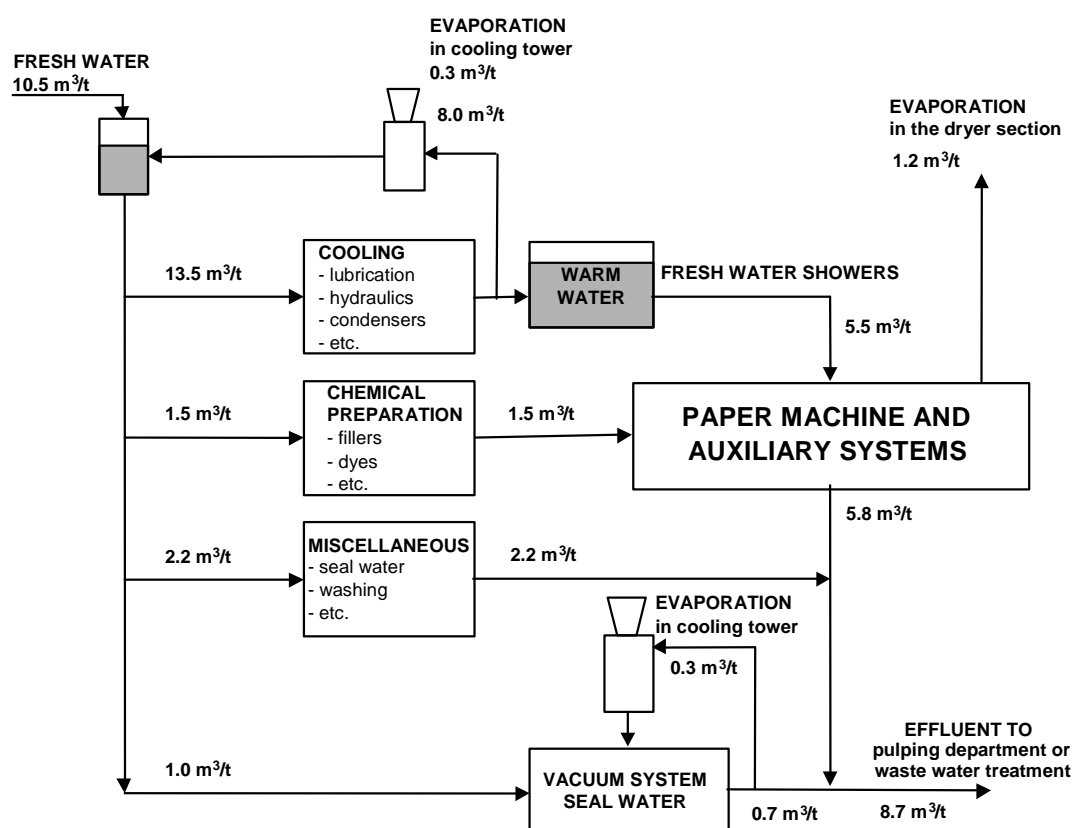


Figure 6.7 - Points de la demande d'eau fraîche dans une papeterie

Exemple d'une papeterie utilisant 10 m<sup>3</sup>/t d'eau fraîche. L'eau de refroidissement est recyclée via des tours de refroidissement. L'eau en circulation des pompes à vide n'est pas représentée (le débit peut être de l'ordre de 6 à 8 m<sup>3</sup>/t). Le chiffre indique seulement les débits nets d'eau (intranant/sortant) en mode de fonctionnement continu. Les déséquilibres des débits d'eau pendant, par exemple, les démarrages, au cours desquels on utilise habituellement une plus grande quantité d'eau, ne sont pas pris en compte. "Divers" correspond approximativement à une "zone d'ombre" mais n'est pas négligeable.

L'eau fraîche arrive normalement dans le processus de fabrication du papier via la section formation de la machine à papier et les rinceurs de la section de pressage, après quoi elle est envoyée en amont vers les diverses opérations de lavage et de dilution.

Dans les unités de préparation de la pâte, la demande d'eau fraîche est pratiquement nulle, c'est-à-dire que l'on n'a pas besoin d'eau fraîche pour diluer la matière première fibreuse qui arrive. Si l'on dispose de différentes qualités d'eau blanche, on peut utiliser celle présentant la teneur la plus élevée en fibres (filtrat trouble) dans les unités de fabrication de la pâte. Cependant, la majeure partie du filtrat trouble sert à ajuster la consistance de la suspension liquide de pâte en arrivée dans le circuit court. Les besoins en eau fraîche se limitent à la dilution des produits chimiques et à l'eau d'étanchéité pour certains équipements. La plupart des produits chimiques doivent être dilués avec de l'eau fraîche avant d'être introduits dans la machine à papier car, sinon, on peut rencontrer des problèmes de qualité et il faut augmenter les doses. Pour la dilution des charges, on peut quelquefois remplacer l'eau fraîche par de l'eau clarifiée s'il n'existe aucun risque d'activité biologique anaérobie.

Chaque changement de consistance dans le procédé génère un effluent en ce point dont la pollution quantitative et qualitative dépend des opérations des différentes unités en amont. La possibilité de recycler cette eau en un autre point du processus peut être limitée par l'utilisation de produits chimiques dans les différentes étapes.

La quantité d'eau fraîche consommée dans la production du papier dépend du type de papier produit, de la nature des matières premières utilisées et du niveau final de qualité dans chaque type de papier. Le tableau 6.5 récapitule les fourchettes types de la consommation d'eau dans la fabrication de divers types de papiers.

Type de papier	Rejet d'eau [m <sup>3</sup> /t]	Commentaires
Pour usage sanitaire et domestique	10 <sup>1</sup> - 50	pour les papiers à usage sanitaire et domestique à base de FCR; inclut le traitement des FCR
Impression/écriture, non couché	5 <sup>1</sup> - 40 <sup>2</sup>	peut inclure l'eau consommée dans la production de pâte
Impression/écriture, couché	5 <sup>1</sup> - 50	peut inclure l'eau consommée dans la production de pâte
Papier-carton	0 <sup>1</sup> - 20	inclut l'eau consommée dans la production de pâte
Papiers spéciaux	10 - 300 <sup>3</sup>	
Notes :		
1	Le seuil inférieur de la fourchette est modifié par le EIPPCB conformément aux données relatives aux données des résultats actuels	
2	Le seuil supérieur de la fourchette est modifié par le EIPPCB parce que le chiffre indiqué de 90 m <sup>3</sup> /t semble excessivement élevé	
3	Le seuil supérieur de la fourchette est modifié par le EIPPCB parce que le chiffre indiqué de 400 m <sup>3</sup> /t semble excessivement élevé	

**Tableau 6.5 - Rejet d'eau dans des papeteries européennes [J. Pöyry, 1994b]. On ne dispose d'aucune donnée pour les papeteries non intégrées.**

Le calcul de la consommation spécifique d'eau fraîche ne tient pas compte de l'eau fraîche qui est utilisée comme eau de refroidissement, sous réserve qu'elle ne soit pas en contact avec des matières fibreuses ou des additifs.

### **Quelques explications complémentaires sur la consommation spécifique d'eau des usines de papier à usage sanitaire et domestique**

Lorsqu'on considère la consommation d'eau fraîche, il faut tenir compte de deux facteurs principaux concernant les usines de papier à usage sanitaire et domestique. L'un est la nécessité de garantir un degré élevé de propreté tant du produit lui-même (usage hygiénique) que des habillages de la machine à papier. L'autre est le très faible taux de production dû au faible grammage des produits fabriqués (jusqu'à 12 g/m<sup>2</sup> sur la toile, contre 40 à 50 pour le papier journal, 50 à 100 pour les papiers d'impression et plusieurs centaines pour les papiers d'emballage).

Même si le volume absolu d'eau consommée par une usine de papier à usage sanitaire et domestique n'est pas sensiblement plus élevé que dans d'autres usines, ces deux facteurs combinés peuvent laisser penser que la consommation d'eau spécifique y est élevée.

Dans une usine de papier à usage sanitaire et domestique, il existe un certain nombre de points qui ont besoin d'eau fraîche : les rinceurs destinés à éliminer les polluants de la surface des feutres, les rinceurs haute pression pour nettoyer la toile, et divers autres points. Ces derniers varient d'une machine à l'autre en fonction de l'activité, des circuits et du volume de stockage de l'eau blanche et du degré d'automatisation et d'information à la disposition de l'exploitant. Parmi les "divers autres points",

il faut inclure les utilisations comme eau d'appoint pour les produits chimiques, pour les rinceurs de lubrification (à l'intérieur des rouleaux de pression, sur les bords de cylindres "Yankee" etc.), pour les pompes à vide etc. Certaines de ces consommations, par exemple pour les produits chimiques, peuvent être proportionnelles aux taux de production.

Dans une usine utilisant les MTD, toutes les autres consommations d'eau devraient pouvoir être satisfaites par de l'eau clarifiée plutôt que par de l'eau fraîche.

Pour d'autres machines, notamment celles utilisées pour des produits de fort grammage et de qualité inférieure, la propreté des habillages et du produit est moins importante et, dans ce cas, la consommation d'eau peut atteindre des chiffres plus faibles jusqu'à 10 m<sup>3</sup>/t voire encore plus bas. Les produits à faible grammage et de qualité supérieure qui doivent satisfaire à un niveau élevé de propreté sont généralement synonymes de consommation spécifique d'eau plus élevée.

Dans le cas de changements de type de papier, de coloris, d'arrêts de machines, de plusieurs machines dans une seule usine etc., les chiffres de la consommation spécifique d'eau augmenteront. Ces facteurs d'influence sont spécifiques au site, mais ils peuvent entraîner des hausses de la consommation d'eau pouvant atteindre 25 % ou plus. Généralement, dans les usines qui fabriquent une moins grande variété de produits, avec moins de coloris et moins d'agents de renforcement de la résistance à l'état sec ou humide, sur de grandes machines, la consommation d'eau sera moins importante, et vice et versa.

En résumé : sur la même machine à papier, un changement de grammage et de vitesse de la machine peut avoir une incidence notable sur la consommation spécifique d'eau. En général, les machines à papier à usage sanitaire et domestique fonctionnent avec des plages de grammage et de vitesse beaucoup plus étendue que la plupart des autres machines à papier. Une même machine peut fabriquer des produits dans une plage de grammage variant d'un facteur 4, par exemple de 12 g/m<sup>2</sup> à 48 g/m<sup>2</sup>, et fonctionner à des vitesses allant de 500 m/mn à 1 200 m/mn. La consommation spécifique d'eau peut varier considérablement à l'intérieur de ces fourchettes.

On peut dire qu'il n'y a pas de différences fondamentales entre les mesures de réduction de la consommation d'eau pour les usines de papier à usage sanitaire et domestique et les autres. Toutefois, compte tenu des écarts importants possibles sur une machine à papier à usage sanitaire et domestique, la principale différence réside dans le niveau de réduction possible pour les usines de papier à usage sanitaire et domestique.

### **6.2.2.3 Consommation d'additifs**

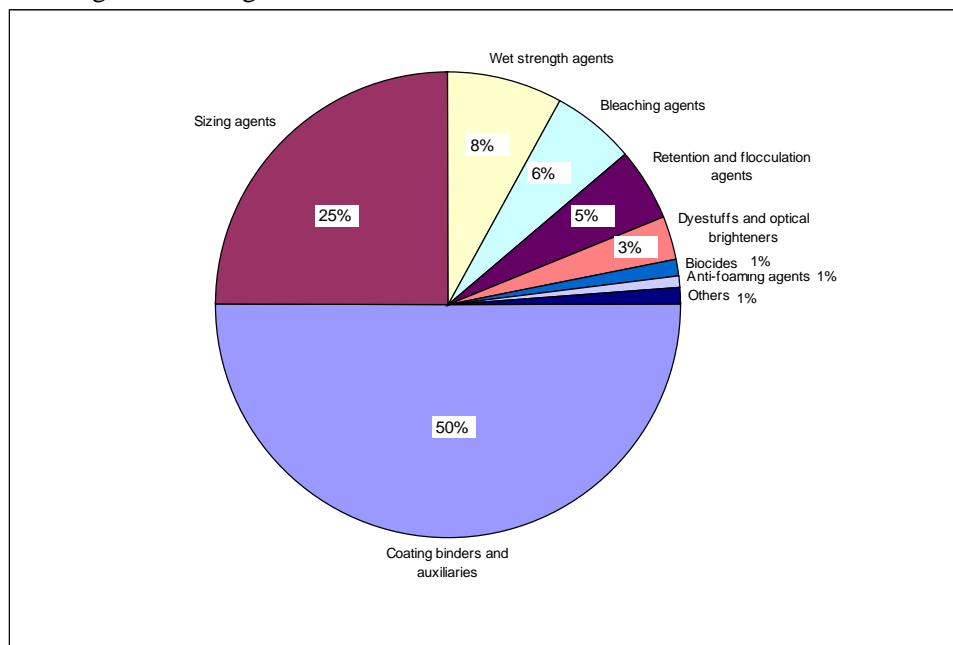
#### **Introduction**

Selon le type de papier produit, la fabrication du papier pourra nécessiter l'utilisation d'un très vaste éventail d'adjuvants chimiques. Cependant pour la fabrication des grands types de papiers, tels que les papiers d'emballage, certains papiers d'impression et d'écriture, le papier journal et les papiers d'hygiène, la consommation de produits chimiques se limite à quelque 10 à 20 groupes d'additifs. En revanche, pour la fabrication de certains papiers fins et notamment des papiers spéciaux, il faudra peut-être utiliser un nombre beaucoup plus important de produits chimiques en raison de la diversité des qualités qui sont demandées au produit. On utilise environ 1 300 produits en tout, représentant quelque 800 substances [EPA suédoise, 1997]. À côté des effets positifs visés au niveau du rendement de la production et de la qualité des produits, certains additifs peuvent avoir des incidences potentielles nocives pour l'environnement.

Les fibres vierges représentent globalement 45,8 % de la consommation totale de matières premières dans l'industrie papetière européenne, la part des fibres recyclées étant de 38,8 %. Viennent ensuite 14,9 % de matières non fibreuses [Statistiques CEPI 97] dont 11 % de charges et de pigments, principalement sous forme de kaolin et de carbonate de calcium. Les 3 % restants incluent les additifs chimiques. Il s'agit en grande partie d'amidon, qui est dérivé de matières premières renouvelables. Le produit chimique traditionnel des fabricants de papier, l'alun, c'est-à-dire du sulfate d'aluminium, représente aussi un pourcentage important du groupe des additifs chimiques. En moyenne, les additifs chimiques synthétiques représentent environ 1 % des matières premières utilisées dans la fabrication du papier [EUCEPA, 1997]. La quantité totale d'additifs chimiques utilisés dans l'industrie papetière mondiale atteint 8,1 millions de tonnes, et 2,8 millions pour les produits chimiques de synthèse (exprimés en substance sèche). L'importance de cette quantité justifie une étude plus détaillée, afin de mieux comprendre les éventuels impacts de ces produits sur l'environnement. L'objectif fondamental est de trouver le bon équilibre entre la consommation d'eau et de produits chimiques, la qualité du papier et la protection de l'environnement.



Face à cette grande variété de produits chimiques, il existe un nombre limité de groupes d'additifs chimiques synthétiques. On ne dispose d'aucune donnée statistique sur les quantités de types spécifiques d'additifs dans l'industrie papetière européenne. Mais on peut partir de l'hypothèse que ces quantités sont similaires à celles obtenues sur la base d'un calcul global. Dans la figure 6.8, on voit qu'environ 50 % des additifs chimiques synthétiques se composent de liants de couchage, 25 % d'agents d'encollage et 8 % d'agents de renforcement de la résistance à l'état humide.



**Figure 6.8 - Part des différents additifs chimiques synthétiques dans la consommation globale [EUCEPA, 1997].**

**On peut supposer que les quantités relatives d'additifs sont similaires à celles consommées en Europe. Les agents d'encollage incluent les agents de renforcement de la résistance à l'état sec (par exemple amidon cationique) utilisés pour l'encollage dans la partie humide.**

Il ressort de cette figure 6.8 que 5 groupes de substances représentent environ 95 % de la quantité totale d'additifs synthétiques utilisés.

### **Problèmes généraux liés aux additifs chimiques**

Les additifs chimiques sont le plus souvent des formulations de différentes substances chimiques plutôt que des composés uniformes - ils ne produisent les effets souhaités que sous forme mélangée. En outre, ils peuvent contenir des sous-produits provenant de leur fabrication (par exemple monomères, restes de sous-produits).

Souvent, les fiches techniques de sécurité et les fiches de renseignements sur les produits relatives aux additifs chimiques ne contiennent pas de renseignements sur les quantités effectives d'agents de dispersion, de solvants et d'agents auxiliaires mais elles se contentent quelquefois de mentionner uniquement la catégorie de la substance active. Qui plus est, il est souvent difficile d'évaluer les risques pour l'environnement car les noms des ingrédients sont indiqués sous forme de désignations non chimiques cryptées, telles que tensioactifs ou émulsifiants. Pour prévenir les risques environnementaux, il importe que tous les utilisateurs de produits chimiques sachent ce que l'on entend par des désignations telles que "émulsifiant" ou "tensioactif". Il arrive souvent aujourd'hui que ni l'exploitant ni d'ailleurs l'inspecteur ne connaissent la composition exacte des additifs utilisés et cela

est tout particulièrement vrai des renseignements sur les impacts potentiels des formulations sur l'environnement. Il serait donc préférable que l'évaluation des risques se fasse de concert avec le fournisseur des additifs chimiques et soit associée à une procédure de gestion du risque convenue d'un commun accord.

Il est nécessaire d'améliorer la disponibilité des données relatives à l'impact sur l'environnement des additifs chimiques ainsi que la connaissance de solutions de remplacement acceptables afin de mieux comprendre leur parcours et leurs effets sur l'environnement lors de leur utilisation et après leur élimination.

Certains États membres (par exemple Pays-Bas, Suède, Allemagne) ont réalisé des études extensives visant à identifier et minimiser les risques potentiels pour la santé et l'environnement liés à l'emploi de divers additifs chimiques. Certains de ces projets sont encore en cours. Il convient de souligner que ces études n'ont pas permis de "résoudre" définitivement les problèmes potentiels associés à l'utilisation de produits chimiques dans l'industrie papetière. Elles ont permis d'acquérir des connaissances étendues sur les risques que présentent différents types de produits chimiques, mais il reste encore beaucoup à faire avant de connaître les effets sur l'environnement de chaque produit chimique.

Après avoir été utilisés, les différents composants des produits chimiques ajoutés se retrouvent, dans des pourcentages variables, dans le produit papetier, les eaux usées, les déchets solides et les émissions gazeuses, en fonction des caractéristiques chimiques et physiques du composant, de la matière première utilisée pour fabriquer le papier et des conditions dans lesquelles le produit chimique a été ajouté. La figure 6.9 illustre, à l'aide d'un exemple (en l'occurrence des biocides) quel peut être le parcours des additifs dans le processus de fabrication du papier.

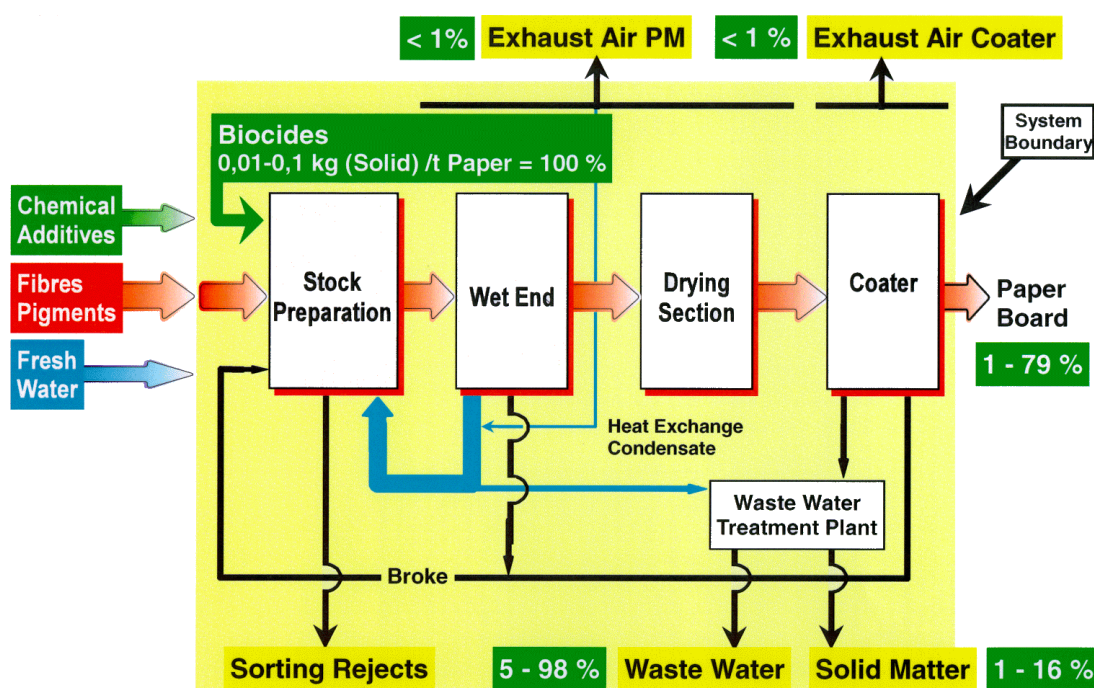


Figure 6.9 - Parcours des additifs chimiques dans la fabrication du papier, exemple des biocides [EUCEPA, 1997]

Il ressort de cet exemple que, en dehors de l'application des biocides dans le processus de fabrication du papier proprement dit (entre 10 et 100 g/t de papier), il faut tenir compte de l'apport de biocides dans le système en même temps que d'autres produits chimiques de la partie humide (par exemple amidon, polyacrylamide), des charges (suspension liquide de carbonate de calcium) ou des fibres utilisées (certains papiers de récupération) pour évaluer les débits massiques de biocides présentés dans la figure 6.9. En raison de la grande variété du groupe des biocides et du fait que de nombreuses hypothèses ont été formulées pour évaluer la dispersion possible des biocides dans diverses zones de l'environnement, les chercheurs ont trouvé des plages relativement étendues.

En général, les rejets potentiels d'additifs chimiques sont des refus d'épuration, des eaux usées (après traitement), des boues du traitement primaire et secondaire des eaux usées et des émissions gazeuses provenant respectivement de la sécherie de la machine à papier et de la coucheuse. Une certaine quantité est habituellement retenue dans la feuille de papier<sup>13</sup>.

La quantité prévue de rejets d'additifs dans les cours d'eau est directement proportionnelle à la rétention des produits chimiques dans le produit papetier (rétention en cours de fabrication) et à la rétention dans l'installation de traitement des eaux usées.

Le facteur de rétention décrit le pourcentage de produits chimiques mis en œuvre qui est retenu dans le produit papetier et qui n'aboutit donc pas dans l'environnement (eau, air, sol). Plus la rétention est élevée, moins il y a de rejets dans les effluents et moins les additifs utilisés risquent d'avoir une incidence sur l'environnement. Dans le cas des agents auxiliaires pour le produit, il est souhaitable, d'un point de vue économique (pertes d'additifs) et écologique, de rechercher un degré maximum de rétention. Étant donné que ces auxiliaires sont conçus pour conférer au papier une caractéristique particulière, pour des raisons de coûts et de rendement, ils possèdent généralement un niveau élevé de rétention par les fibres cellulosiques. Les agents auxiliaires pour le processus présentent généralement un facteur de rétention moins élevé car ils produisent leur effet dans les circuits d'eau de la papeterie. On les retrouve en quantité importante dans les eaux usées. Il importe donc de connaître le facteur de rétention des additifs chimiques et des agents auxiliaires.

La dégradabilité d'une substance est le point crucial pour évaluer la quantité de cette substance qui aboutira dans l'environnement aquatique. En supposant que la plupart des effluents des papeteries subissent un traitement biologique, il est possible, à l'aide du facteur de rétention associé à la biodégradabilité, de procéder à une évaluation sommaire de la quantité de substances rejetée dans le milieu récepteur.

Enfin, si les substances ne sont pas retenues dans la feuille continue de papier ni éliminées dans l'installation de traitement des eaux usées, il est tout particulièrement important de disposer de données sur leur toxicité pour le milieu aquatique et sur leur potentiel de bio-accumulation.

Pour plus de renseignements spécifiques sur les principaux groupes de substances ou de substances isolées, se référer à la section 5.2.2.3 et plus particulièrement au tableau 5.6. Ce tableau donne un aperçu récapitulatif des principaux agents auxiliaires pour les processus et les produits. On trouvera également des renseignements complémentaires dans l'annexe 1 ("Produits chimiques et additifs dans la fabrication du papier"). On y étudie l'un après l'autre les principaux groupes d'additifs mis en œuvre, répartis en produits chimiques fonctionnels (agents auxiliaires pour le produit) et auxiliaires chimiques (agents auxiliaires pour le processus), et subdivisés selon les groupes de substances les plus importants du point de vue de la consommation et de l'impact sur l'environnement. Lorsqu'ils sont disponibles, cette annexe donne également des renseignements sur les facteurs de rétention, la toxicité et la bio-accumulation.

<sup>13</sup> Cette évaluation systématique et intégrée des additifs chimiques, dont la consommation et le parcours des biocides ne constituent qu'un exemple, a été réalisée par le Comité technique allemand ZELLCHEMING "Production des papiers" et, pour certaines des substances les plus courantes, les résultats ont déjà été publiés en 1997 (EUCEPA, 1997). Ce projet est toujours en cours. Toutefois, on manque encore d'informations sur la mesure dans laquelle les différentes substances se retrouvent dans les milieux environnementaux récepteurs.

#### 6.2.2.4 Demande d'énergie

L'industrie papetière est généralement décrite comme une industrie grande consommatrice d'énergie. C'est en effet, par importance, le troisième poste de coûts dans la fabrication du papier, représentant environ 8 % du chiffre (DG XVII, 1992). Il n'est donc pas logique qu'il y ait moins de publications sur les besoins spécifiques en énergie au niveau du processus que sur la gestion de l'eau par exemple. Cela explique pourquoi il est difficile de trouver des informations pertinentes sur la consommation d'énergie pour les différents types de papiers et les différentes qualités de produit, sur des technologies efficaces en matière d'énergie et sur les pratiques et usages dans le domaine de l'énergie dans l'industrie papetière européenne.

Les processus de fabrication du papier se répartissent en quatre grandes sections : préparation de la pâte, partie humide, partie sèche et couchage (en option). Celles-ci peuvent à leur tour être subdivisées en unités principales du processus. Le tableau 6.6 illustre le rôle de l'énergie dans chaque processus et les possibilités d'économies d'énergie à chacune de ces étapes.

Principaux processus	Principales unités du processus	Type et rôle de l'énergie dans chaque processus	Potentiel d'économies d'énergie
Préparation de la pâte	Trituration	Jusqu'à 60 kWh d'énergie/t pour désintégrer la pâte sèche	Moyen
	Épuration / Tamisage	La quantité d'énergie pour le pompage et pour le chauffage de la pâte dépend du nombre d'étapes nécessaires et du type de fibres (les fibres recyclées en requièrent plus que les fibres vierges); la consommation est d'environ 5 kWh/t pour la pâte de fibres vierges	Faible pour les fibres vierges
	Raffinage	Gros consommateur d'énergie. L'énergie électrique sert essentiellement à entraîner le rotor du raffineur. Dépend très étroitement des qualités du papier à produire. 100 à 3 000 kWh/t	Fort
Partie humide	Formation et égouttage	Consomme d'importantes quantités d'électricité pour l'entraînement de la machine et les processus à vide. Une conception avec un bon rapport énergétique de la caisse de tête et de la machine à deux toiles permet d'économiser l'énergie. Les systèmes à vide consomment environ 70 kWh/t (variable en fonction du type et de la porosité)	Moyen
Partie sèche	Pressage	N'est pas grosse consommatrice d'énergie en soi, mais un égouttage efficace peut se traduire par de très importantes économies d'énergie dans la sécherie	Moyen
	Séchage	A côté du raffinage, c'est l'opération qui consomme le plus d'énergie dans la fabrication du papier. Principalement de l'énergie thermique	Très fort
	Presse encolleuse et 2 <sup>ème</sup> section de la sécherie	Énergie thermique pour la section de séchage après la presse encolleuse	Faible
	Calandrage	Énergie électrique pour les entraînements de machine et le pressage	Faible
Couchage	Couchage et sécherie	Énergie électrique et thermique pour le re-séchage	Faible

**Tableau 6.6 - Rôle de l'énergie dans les principales étapes de la fabrication du papier et possibilités d'amélioration**  
[d'après DG XVII, 1992, modifié par le EIPPCB]

La demande totale d'énergie (consommation) sous forme de chaleur (vapeur) et d'énergie électrique a été communiquée pour une fabrique non intégrée de papier fin [Rapport SEPA 4712-4, 1997] :

- chaleur de process : 8 GJ/t ( $\cong$  2 222 kWh/t)
- énergie électrique : 674 kWh/t<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Ce chiffre ne tient pas compte des pertes lors de la conversion de l'énergie des combustibles fossiles en électricité. Lorsqu'on convertit l'électricité achetée en consommation d'énergie primaire, on peut postuler un rendement énergétique des compagnies productrices d'électricité de 36,75 %. Dans ce cas, une consommation d'électricité de 674 kWh/t correspond à 1 852 kWh/t d'énergie primaire (par exemple du charbon).

Cela signifie une consommation d'environ 3 MWh d'électricité et de vapeur/tonne de produit. Si l'on considère la demande d'énergie primaire pour convertir les combustibles fossiles en électricité, on a besoin d'une quantité totale de 4 MWh/t de papier.

Ces chiffres s'appliquent à une usine modernisée, par exemple une usine construite dans les années 1970 puis modernisée par la suite. Ils incluent toutes les étapes, depuis la désintégration des fibres utilisées comme matière première jusqu'au produit papetier final, et englobent aussi les départements d'entretien. La consommation d'énergie pour le couchage est incluse dans le cas de production de papier couché (on considère que l'usine a une capacité de production de 125 000 t/an de papier fin couché, à base de pâte achetée. Le papier a une teneur en pigments de 39 % et une teneur en humidité de 4,5 %).

Le tableau 6.7 illustre de façon un peu plus détaillée la consommation d'énergie sous forme de chaleur et d'électricité de cette fabrique non intégrée de papier fin.

Département	Chaleur de process (MJ/t)	Énergie électrique (kWh/t)
Préparation de la pâte	0	202
Machine à papier	8000	350
Cuisine pour le couchage	0	118
<b>Total papeterie</b>	<b>8000</b>	<b>670</b>
<b>Traitement de l'effluent</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Consommation totale par tonne de papier</b>	<b>8000</b>	<b>674</b>
Générateur à turbine		0
<b>Total achat à l'extérieur</b>	<b>8000</b>	<b>674</b>

**Tableau 6.7 - Consommation d'énergie dans une usine non intégrée de papier couché avec une capacité de production de 125 000 t/an [Rapport SEPA 4712-4, 1997].**

**Le chiffre des achats à l'extérieur indique la quantité de la demande totale qui est achetée auprès de sources externes : fioul, charbon et gaz et électricité.**

La consommation d'électricité dépend dans une certaine mesure du type de papier produit. Les valeurs les plus basses correspondent au papier d'emballage ou au papier support pour ondulé qui consomment environ 500 kWh/t, contre 700 à 800 kWh/t pour les papiers d'impression et d'écriture. La demande la plus élevée d'énergie, jusqu'à 5 600 kWh/ADt, concerne certains types de papiers spéciaux. Cette électricité sert principalement pour le raffinage, plus intensif. Voici quelques renseignements plus détaillés sur la consommation d'énergie.

Dans l'industrie papetière, la chaleur de process est utilisée pour quatre opérations :

- le chauffage des eaux et liquides, bois ou pâte, air et produits chimiques à la température requise par le processus.

Les circuits de pâte à papier et d'eau blanche peuvent souvent être maintenus à une température adéquate sans addition de vapeur. Il est capital, du point de vue de l'énergie, de minimiser la consommation d'eau fraîche et d'augmenter celle d'eau blanche. Dans les papeteries non intégrées, à l'exception de l'addition d'eau fraîche chaude, il est souvent nécessaire de faire passer l'eau blanche dans le système de récupération de la chaleur pour maintenir sa température à un niveau suffisant.

- l'évaporation de l'eau

Dans la fabrication du papier, la plus grande demande d'énergie est celle de l'étape du séchage, pendant laquelle la plus grande quantité de chaleur est utilisée pour faire évaporer l'eau contenue dans la feuille de papier. Il importe de minimiser la quantité d'eau à faire évaporer en recourant à des mesures mécaniques (pressage). Le développement de la section presses (utilisation de la double toile et de la presse à grande surface de contact des rouleaux presseurs) a permis de réduire quelque peu les taux d'humidité du papier qui arrive dans la sécherie (cela ne s'applique pas aux papiers à usage sanitaire et domestique). Si l'on procède à des opérations d'encollage ou de couchage, le papier séché doit être de nouveau séché après l'application de la colle ou des sauces de couchage sur la bande de papier. Une concentration et une température plus élevées de ces produits chimiques se traduisent par une réduction de la consommation de chaleur.

- la compensation de la déperdition de chaleur dans l'environnement

La plus grande partie des pertes de chaleur avec l'air humide qui est rejeté de la sécherie est compensée par un apport d'air qui doit à son tour être réchauffé. Il est possible de réduire les besoins en chaleur en diminuant le débit d'air dans la sécherie. Cela donne aussi un air plus humide en sortie, ce qui accroît la valeur de l'air en tant que source de chaleur secondaire. La récupération de chaleur via un échangeur de chaleur entre l'air humide en sortie et l'air sec en entrée permet aussi de réduire la consommation de chaleur.

- la conversion en énergie électrique

De plus en plus d'usines ont mis en place des installations de cogénération de chaleur et d'électricité.

Dans l'industrie papetière, l'énergie électrique sert principalement à assurer le fonctionnement des différentes commandes motorisées et le raffinage dans la préparation de la pâte.

Les moteurs sont utilisés pour entraîner les ventilateurs, pompes, compresseurs, agitateurs, machines à papier, presses, systèmes à vide, bandes transporteuses etc.

Pour le raffinage, l'énergie électrique sert essentiellement à entraîner le rotor dans le raffineur. L'utilisation de l'énergie varie selon les produits, elle est minimum pour les papiers pour filtres et les papiers buvard et maximum pour les papiers calque. Les consommations types d'énergie sont récapitulées dans le tableau 6.8.

Type de papier	Énergie nette <sup>1)</sup> pour le raffinage (kWh/t)	Énergie brute <sup>2)</sup> (kWh/t)
Tissue	pas de données	jusqu'à 100
Impression et écriture	60 - 100	90 - 300
Papiers autocopiants	150 - 200	250 - 500
Papiers cristal / sulfurisés	450 - 600	600 - 1000
Papiers calques	800 - 1200	1600 - 3000
Notes :		
1) L'énergie nette est calculée à partir de l'énergie brute moins l'énergie à vide <sup>3)</sup>		
2) L'énergie brute est l'énergie électrique totale consommée y compris les pertes		
3) L'énergie de fonctionnement à vide d'un moteur est l'énergie absorbée par la résistance mécanique et les turbulences et qui n'est donc pas disponible pour le traitement des fibres.		

**Tableau 6.8 - Consommation type d'énergie lors du raffinage (par produit)**  
[DG XVII, 1992]

Dans de nombreux cas, le potentiel d'économies d'énergie sera élevé. Par exemple, beaucoup de raffineurs ne sont pas correctement dimensionnés, ou leur maintenance est insuffisante, avec pour conséquence une énergie à vide élevée, qui réduit le rendement du raffineur. Des charges inadéquates dans le raffineur entraîneront une hausse de la consommation d'énergie pour obtenir la qualité

souhaitée. Les nouveaux raffineurs à rendement optimisé peuvent également permettre d'économiser de l'énergie étant donné leur très faible consommation d'énergie à vide.

La consommation d'électricité dans les papeteries est étudiée plus en détails ci-après pour mettre en évidence les conditions techniques pouvant servir de base à des améliorations et à la mise en œuvre de technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique.

Le tableau 6.9 donne un résumé de la consommation totale d'électricité dans les papeteries. Ces chiffres englobent toute l'énergie consommée à l'intérieur de l'usine, à commencer par les silos de stockage de la pâte (dans les usines intégrées) jusqu'aux opérations de finition. Les papeteries non intégrées doivent disposer de pulpeurs, qui augmentent légèrement la consommation d'énergie spécifique (jusqu'à 60 kWh/t). Le traitement des eaux usées n'est pas inclus. Il convient de noter que le rendement de l'usine a une incidence sur les chiffres. Moins son rendement est élevé, plus on s'écarte des chiffres de référence basés sur un rendement de 100 %. La correction à apporter aux chiffres en fonction du taux de rendement joue un rôle plus important dans le cas de machines anciennes ou multisortes avec de nombreux changements de qualité.

Type de papier	Consommation d'énergie (kWh/t)
Papier journal	500 - 650
Papier LWC (léger couché)	550 - 800
Papier SC (supercalandré)	550 - 700
Papier fin (non couché)	500 - 650
Papier fin (couché)	650 - 900
Carton multi-couches	≈ 680
Papier pour sacs	≈ 850
Papier/carton couverture	≈ 550
Tissue	500 - 3000 *
Notes	
* La fourchette des données concerne des exemples concrets dans le monde, c'est-à-dire sans postuler un rendement à 100 %. En général, pour la production de tissue (papier à usage sanitaire et domestique), les matériels neufs consomment plus d'énergie mais, en revanche, leurs besoins en matières premières sont réduits. Les différents systèmes de séchage utilisés dans les usines de tissue à usage sanitaire et domestique, les machines "Yankee" traditionnelles, le séchage à l'air dans la masse (TAD) ou les processus tels que le recrépage ont une incidence beaucoup plus importante sur la consommation d'énergie que les autres facteurs de l'usine (selon ETS).	

**Tableau 6.9 - Consommation type d'énergie électrique dans des papeteries modernes, sur la base de la capacité de référence de la machine à papier [Données communiquées par un fournisseur]. Toute l'énergie électrique à l'intérieur du local de la machine à papier est prise en considération et peut être calculée à partir de la consommation totale d'énergie électrique divisée par la production de référence de la machine.**

Les chiffres totaux de la consommation d'énergie des papeteries se composent d'un certain nombre de sous-systèmes consommateurs d'énergie qui sont expliqués ci-dessous. La somme des sous-systèmes des tableaux 6.10 et 6.15 [toutes données communiquées par un fournisseur de matériel pour papeteries] sont en corrélation avec les chiffres de la consommation totale d'énergie du tableau 6.9 :

Type de machine	Consommation d'énergie	Commentaires
Machines rapides (> 1 300 m/mn)	80 - 120 kWh/t	L'énergie de la pompe d'alimentation de la caisse de tête augmente d'une puissance trois lorsqu'on augmente la vitesse de la machine à papier
Machines lentes	60 - 100 kWh/t	Il se peut que les machines lentes ne possèdent pas de système d'extraction

**Tableau 6.10 - Consommation type d'énergie spécifique des papeteries au niveau du système de distribution de la pâte en amont de la machine à papier.**

Type de machine	Consommation d'énergie	Commentaires
Machines rapides (> 1 300 m/min)	70 - 110 kWh/t	Les machines rapides ont une production supérieure; de ce fait, la consommation spécifique d'énergie diminue
Machines lentes	80 - 120 kWh/t	

**Tableau 6.11 - Consommation type d'énergie spécifique des papeteries au niveau du système à vide de la partie humide de la machine à papier.**

Emplacement	Consommation d'énergie machines neuves	Consommation d'énergie machines anciennes	Commentaires
Fosse de la presse coucheuse	3 - 5 kWh/t	3 - 7 kWh/t	Les machines à papier anciennes (avant 1990) avaient des cuiviers en béton ou bien la forme du réservoir n'était pas optimisée pour la trituration; les développements techniques ont eu pour résultat une diminution de la consommation d'énergie.
Pulpeur de la presse	5 - 8 kWh/t	7 - 12 kWh/t	
Pulpeur de la partie sèche	7 - 12 kWh/t	10 - 20 kWh/t	
Note : Sous les pulpeurs de la machine, il y a des réservoirs sous la machine à papier où la feuille de papier est triturée avec de l'eau. Ce pulpeur ne fonctionne qu'en cas de rupture de la feuille.			

**Tableau 6.12 - Consommation type d'énergie spécifique des pulpeurs sous la machine à papier.**



Type de pâte à papier	Consommation d'énergie	Commentaires
Pâte désencrée	30 -70 kWh/t	La fabrication de la pâte n'est pas comprise dans ces chiffres; le seuil supérieur de la fourchette correspond aux indices CSF les plus bas. L'énergie effective consommée par tonne de produit fini dépend de la quantité de pâte raffinée consommée par tonne de produit fini (c'est-à-dire que si l'on a besoin de 30 % seulement de pâte raffinée, ces valeurs doivent être multipliées par 0,3).
Fibre longue (blanchie)	100 - 200 kWh/t	
Fibre courte (blanchie)	50 - 100 kWh/t	
Fibre longue (non blanchie)	150 - 300 kWh/t	
Fibre courte (non blanchie)	100 - 150 kWh/t	

**Tableau 6.13 - Consommation type d'énergie spécifique pour des machines neuves au niveau des raffineurs, par tonne de pâte raffinée.**

Type de processus	Consommation d'énergie	Commentaires
Circuit de l'eau blanche	20 -30 kWh/t	Réservoirs de stockage de l'eau, ramasse-pâte, cuves, pompes
Circuit des cassés de fabrication	40 -60 kWh/t	Silo à cassés, tamis à cassés, réservoirs et pompes
Mélange	10 -15 kWh/t	Cuve de mélange, cuve de la machine, pompes et agitateurs
Fabrication de la pâte à partir de balles (uniquement pour les usines non intégrées)	25 -40 kWh/t	Pulpeurs et convoyeurs à balles, cuviers et pompes
Chaîne de pâte (us. intégrées)	5 - 10 kWh/t	Chaîne de la fibre, depuis le stockage jusqu'à la cuve de mélange, réservoirs, pompes
Rinceurs de la machine à papier	5 - 10 kWh/t	Circuit de l'eau pour les rinceurs de la machine à papier, y compris pompes, filtres, tamis
Total électricité	<b>70 - 120 kWh/t</b>	<b>par tonne de produit</b>

**Tableau 6.14 - Consommation type d'énergie spécifique au niveau de la préparation de la pâte et des circuits d'eau blanche, par tonne de papier (à l'exclusion du raffinage, des pulpeurs et du système de distribution de la pâte).**

Type de processus	Consommation d'énergie	Commentaires
Machine à papier	80 - 140 kWh/t	Entraînements de la machine à papier, table de formation, presses, sécherie, encolleuse, rouleau
Ventilation, machine à papier	40 - 60 kWh/t	Alimentation en air de la hotte, air d'échappement de la hotte, air vers les éléments assurant l'entraînement, ventilation de la partie humide, ventilation du hall de la machine, ventilateurs et pompes
Ventilation ( finition )	50 - 80 kWh/t	Tout l'équipement après la bobine (à savoir section de couchage, calandrage, enroulage etc.)
Vapeur et condenseur	5 - 10 kWh/t	Pompes à condensat et à vide
Lubrification et pompes hydrauliques	15 - 40 kWh/t	Unités de lubrification et pompes hydrauliques
Coucheuses	15 - 25 kWh/t	
Calandres	100 - 120 kWh/t	
Enroulage	5 - 10 kWh/t	
Finition	10 - 15 kWh/t	
Produits chimiques	5 - 50 kWh/t	Mélangeurs de produits chimiques, pompes d'alimentation, tamis

**Tableau 6.15 - Consommation type d'énergie spécifique des entraînements de la machine à papier**

Presque toute la puissance électrique consommée est transformée en énergie sous forme de travail mécanique et finalement convertie en chaleur. Cette chaleur peut être utile dans de nombreux cas, étant donné qu'elle contribue à maintenir les circuits à la température requise.

Dans de nombreux systèmes, la consommation d'énergie électrique est quasiment constante et indépendante des niveaux de production, en particulier dans les usines ne faisant pas largement appel aux variateurs. On peut atteindre un faible niveau de consommation d'énergie spécifique en maintenant un niveau de production élevé et régulier. Entre autres, en minimisant les marches à vide des machines, il est possible de minimiser la consommation d'énergie électrique.

#### **6.2.2.5 Rejets d'effluents**

Dans les papeteries il existe différentes sources de rejets d'eaux usées (voir figure 6.3) :

##### **Rejets provenant de l'épuration de la pâte**

La pâte est épurée en amont de la machine à papier pour éliminer les impuretés. Les rejets des épurateurs contiennent les impuretés (par exemple bûchettes et sables), mais également quelques fibres, en suspension dans l'eau. Ces déchets sont habituellement rejetés vers le traitement de l'effluent mais ils peuvent aussi être rejetés directement dans le dispositif de déshydratation des boues.

##### **Eau blanche en excès**

L'eau de process, avec les additifs chimiques mis en œuvre, est égouttée dans la section toile de la machine à papier, en majeure partie, puis éliminée du papier dans les sections de pressage puis de séchage. L'eau blanche contient également l'eau résiduaire des rinceurs provenant du nettoyage des toiles et des feutres. La majeure partie de l'eau blanche est recyclée à l'intérieur de la machine à papier sous forme d'eau de dilution et pour les rinceurs. L'excès d'eau blanche - on ajoute en continu une certaine quantité d'eau fraîche dans la machine à papier, qui remplace l'eau blanche - est rejeté vers l'effluent ou est utilisé pour la préparation de la pâte dans les usines intégrées. Cette eau passe habituellement par une unité de récupération des fibres avant d'être rejetée.

La quantité d'eau blanche rejetée dépend du degré de mise en circuit fermé de l'installation d'eau. Elle contient la plus grande partie des matières en suspension et des substances organiques dissoutes normalement exprimées en DCO et DBO.

### Rejets temporaires et accidentels

Ces rejets ne sont pas directement liés au processus et présentent un caractère occasionnel. Il s'agit par exemple de débordements d'eau blanche, et même de pâte à papier, des réservoirs ou autres matériels faisant l'objet d'un contrôle insuffisant, d'eau blanche provenant du matériel d'épuration et d'eau de rinçage des sols etc.

Il est possible de prévenir les émissions dans l'eau ou dans le sol provenant du stockage ou de la manipulation d'additifs chimiques à caractère potentiellement dangereux grâce à une conception et à une exploitation appropriées des installations, empêchant les polluants potentiels de s'échapper (voir section 2.2.2.8).

### Eaux de refroidissement et d'étanchéité

Les eaux de refroidissement et d'étanchéité consommées par le système et les pompes à vide ne contiennent habituellement pas de matières en suspension. Ces eaux sont souvent partiellement recyclées. Les eaux de refroidissement, propres, devraient être séparées des autres effluents de manière à minimiser la charge au niveau des installations de traitement et leur conserver leur rendement.

Les paramètres de qualité les plus couramment utilisés pour les rejets dans l'effluent final des papeteries comprennent les Matières En Suspension (MES); la  $\text{DBO}_{(5 \text{ ou } 7)}$ , la DCO; l'azote (N) total et le phosphore (P) total, les AOX, et quelquefois certains métaux. Plus récemment, on a utilisé des paramètres de toxicité pour des usines particulières (par exemple en Allemagne) ou comme exigence réglementation (par exemple en Autriche) à cause de la complexité des effluents qui contiennent une grande variété de substances différentes.

Les données du tableau 6.16 ci-après représentent des fourchettes types de paramètres clés pour les eaux usées dans les rejets de papeteries françaises produisant différents types de papiers. Ces données devraient être valables avant tout pour des usines dans les pays de l'UE. Cependant, ce tableau ne peut donner qu'une idée indicative des émissions types, parce qu'aucune autre spécification ou hypothèse n'a été présentée et qu'il existe des variations à l'intérieur de chaque catégorie. Les données sur les rejets des papeteries européennes publiées dans d'autres travaux sont moins pertinentes, de sorte qu'il est encore plus difficile de comprendre ce à quoi elles correspondent. Les données pertinentes sur les rejets dans l'eau sont encore rares en Europe, à savoir des données comprenant des spécifications pour les différentes qualités de papiers ainsi que de renseignements indiquant si, et dans quelle mesure, la production de pâte est incluse.

Type de papier	MES (kg/t)		DCO (kg/t)		DBO <sub>(5)</sub> (kg/t)	
	avant traitement	après traitement	avant traitement	après traitement	avant traitement	après traitement
Papier d'impression et d'écriture sans bois	12 - 25	0.3 - 2	7 - 15	1.5 - 4	4 - 8	0.4 - 0.8
Papier carton	2 - 8	0.3 - 1	5 - 15	1.2 - 3	3 - 7	0.3 - 0.6
Papier à usage sanitaire et domestique (Tissue)	2 - 30	0.3 - 3 <sup>2)</sup>	8 - 15	1.2 - 6 <sup>2)</sup>	5 - 7	0.3 - 2 <sup>2)</sup>
Papiers spéciaux <sup>1)</sup>	20 - 100	0.1 - 6 <sup>1)</sup>	Pas de donnée	1.5 - 8 <sup>1)</sup>	Pas de donnée	0.3 - 6 <sup>1)</sup>
Notes :						
1	Les chiffres pour les papiers spéciaux sont calculés à partir de [Rapport SEPA 4713-2, 1997], et doivent représenter les niveaux d'émissions communs dans les cours d'eau de ces usines dans l'UE. Dans ce rapport, après traitement signifie après traitement primaire seulement.					
2	Les valeurs supérieures de la fourchette d'émissions pour les fabriques de papier à usage sanitaire et domestique sont calculées à partir des renseignements fournis par l'Association Papetière Allemande.					

**Tableau 6.16 - Rejets types dans les eaux usées des papeteries avant tout traitement et après traitement biologique des eaux usées (ADEME, 1996).**

**Pour les papiers spéciaux, après traitement signifie après traitement primaire seulement. Les valeurs semblent représenter des moyennes annuelles (mais cela n'est pas précisé).**

Ces fourchettes reflètent les différences dans le degré de mise en circuits fermés, les conditions de l'usine (taille, âge du matériel), les mesures internes mises en œuvre pour optimiser la consommation de l'eau, ainsi que les différences de rendement et de contrôle des processus des installations externes de traitement des eaux usées. Dans les usines intégrées (par exemple des usines traitant des fibres recyclées), l'eau blanche de la machine à papier est incorporée dans l'eau de process de la préparation de la pâte. Par conséquent, dans ces usines traitant des fibres de récupération, il est pratiquement impossible de distinguer les émissions provenant de la préparation de la pâte de celles provenant de la machine à papier (voir chapitres 2 à 5).

Les rejets de matières organiques proviennent principalement :

- des matières organiques transportées avec la pâte ou qui y sont incluses. Cette quantité est généralement plus importante dans le cas d'une usine intégrée.
- des matières organiques dissoutes provenant de la pâte au cours des étapes de raffinage en amont de la machine à papier. Cette quantité de matières organiques rejetées générées dans la papeterie est généralement plus importante pour les pâtes mécaniques que pour les pâtes chimiques. Cette quantité - que l'on qualifie généralement de "générée dans la papeterie" - correspond à environ 2 à 10 kg DCO/t de papier. Ces matières organiques sont pour la plupart le rejet prédominant de DCO (et DBO) en provenance des papeteries non intégrées.
- des produits chimiques organiques mis en œuvre comme additifs ou auxiliaires dans la fabrication du papier et qui ne sont pas retenus dans la feuille de papier. D'habitude, l'amidon et les produits de sa dégradation sont un élément important de la charge organique. Toutefois, ces substances sont facilement biodégradables. L'importance de la part de ces additifs chimiques dans la charge organique de la papeterie dépend de la quantité et du type des produits chimiques utilisés. Pour quelques types de papiers au moins, la part des additifs dans la charge organique totale rejetée dans le milieu récepteur est significative étant donné qu'aujourd'hui les émissions des papeteries dans l'eau ont généralement baissé grâce à l'efficacité du traitement biologique. En général, on ne connaît pas suffisamment bien la part des additifs chimiques dans la charge totale rejetée dans les eaux usées. Dans le cadre d'une étude portant sur quelques usines en Allemagne, on a évalué la part

des additifs dans la charge DCO totale après le traitement biologique. Dans les usines ayant servi d'exemple pour cette étude, elle s'élevait à environ 26 % pour les papiers d'impression-écriture couchés, 20 % pour le papier journal à base de fibres de récupération, 43 % pour les essuie-mains à base de fibres de récupération et 35 % pour le carton couché à base de fibres de récupération (IFP, 1997). Toutefois, ces résultats peuvent présenter de grandes incertitudes (à cause par exemple du nombre réduit d'usines étudiées, et du fait que les facteurs de rétention ont été obtenus dans le cadre d'essais de laboratoire). Ces chiffres n'ont donc qu'une simple valeur indicative concernant la quantité potentielle d'additifs chimiques ayant pu être rejetée via les réseaux d'eaux usées. Ils ne doivent pas être généralisés.

Les émissions d'AOX provenant des papeteries ont diminué ces dernières années, suite à l'abandon quasi complet du blanchiment au chlore, et elles sont d'un ordre de grandeur inférieur à celui des usines de pâtes ECF (blanchies sans chlore élémentaire). Aujourd'hui, par conséquent, les sources de composés halogénés organiques adsorbables sont essentiellement quelques additifs (par exemple les agents de renforcement de la résistance à l'état humide, et des impuretés telles que l'épichlorhydrine) et, dans une moindre mesure, l'eau de process traitée à l'aide de désinfectants contenant du chlore (le cas échéant).

Les composés d'azote et de phosphore proviennent du fait qu'il est indispensable d'ajouter ces matières nutritives pour assurer un fonctionnement efficace de l'installation de traitement biologique. Certains additifs chimiques peuvent également contenir des composés organiques azotés. Par exemple, les azurants peuvent contenir jusqu'à 30 % d'azote à liaisons organiques (urée).

#### **6.2.2.6 Génération de déchets solides**

Les papeteries produisent différents types de déchets, qui proviennent des différentes sources suivantes :

##### **Rejets provenant de la préparation de la pâte**

Ces déchets sont générés par l'épuration de la pâte en amont de la caisse de tête de la machine à papier. Ils contiennent différentes impuretés telles que bûchettes, sable etc. ainsi que quelques fibres. La teneur en solides secs est d'habitude de l'ordre de 1 à 25 %. Normalement, ces déchets sont amenés dans l'installation de traitement de l'effluent, mais ils peuvent aussi être envoyés directement dans le système de déshydratation des boues. La plupart des solides aboutiront dans la boue primaire de la clarification primaire. C'est pourquoi ils sont souvent comptabilisés à part dans les données sur les déchets.

##### **Boues provenant du traitement de l'eau**

Dans de nombreuses papeteries, les boues du traitement de l'eau brute et des eaux usées représentent l'un des principaux déchets potentiels. On distingue différents types de boues :

- les boues provenant du traitement de l'eau de surface pour produire de l'eau de process par précipitation chimique / floculation. On ne les trouve que dans les usines utilisant de l'eau de surface nécessitant ce traitement spécial. Mais, dans ce cas, la quantité de boues peut être considérable.
- les boues de la clarification primaire. Elles sont générées dans la majorité des usines. Elles consistent essentiellement en fibres et particules fines et en matières inorganiques dans les usines employant des charges.
- les excédents de boues du traitement biologique. Ces boues en excès contiennent un important pourcentage de matières organiques. La génération de boues dans le traitement anaérobie est modérée (environ 1/7 par rapport au traitement aérobie).

- les boues de la floculation chimique sont produites dans les usines qui appliquent un traitement tertiaire des effluents. Ce traitement produit une quantité considérable de boues. La quantité de matières organiques/inorganiques contenues dans ces boues varie d'une usine à l'autre selon le dosage et le type de floculants utilisés. De nombreuses usines qui fabriquent des papiers couchés exploitent une installation séparée de traitement pour les eaux usées provenant des opérations de couchage. Pour ces effluents concentrés, on a souvent recours à la floculation qui donne une boue qui doit être déshydratée puis soumise à un traitement ultérieur.

Le tableau 6.17 donne des exemples de quantités et de types de déchets, de boues et autres fractions de déchets générés par tonne de papier produit. Les quantités de déchets solides produits dans les papeteries dépendent du type de papier manufacturé, des matières premières utilisées et des techniques mises en œuvre. Il est difficile de trouver des chiffres représentatifs de la quantité type de déchets solides pour les différents types de papeteries, qui soient suffisamment fiables et qui fassent une distinction entre différentes matières premières et différentes qualités de papier. Les rapports des divers pays ne concernent pas tous les mêmes fractions de déchets. Les principales solutions pour la valorisation ou l'évacuation de ces déchets sont décrites ci-après.

	Papier et carton sans bois	Papier à usage sanitaire et domestique fabriqué à partir de pâte chimique achetée	Papiers spéciaux
Production annuelle (1994)	904509	24540	965962
Nombre d'usines	6	1	20
Déchets solides, total	29761	211	161945
Écorce	0	0	407
Refus/rebut du tamisage/de l'épuration	0	0	639
Boues, total	27972	50	76506
- boues physico-chimiques	8852	0	46259
- boues biologiques	120	0	159
- boues mixtes du traitement des eaux usées	19000	50	30088
Résidus de l'incinération, total	1	0	26842
- cendres/scories	1	0	26671
- résidus provenant des mesures de réduction des émissions dans l'air	0	0	171
Divers, total	1788	161	57551
- déchets de papiers	1709	90	46817
- autres	79	71	10734
<b>Déchets spécifiques [kg de déchets/t de produit]</b>	<b>33</b>	<b>9</b>	<b>168</b>

**Tableau 6.17 - Quantité de déchets solides en t/an pour certaines qualités de papier.**  
**(Les chiffres concernent des déchets humides avec une teneur en solides secs nécessaire en vue d'une réutilisation ou élimination ultérieure), ils indiquent les déchets totaux, indépendamment du fait qu'ils soient utilisés ou non [Manuel des déchets solides, 1996]**

Les boues biologiques et physico-chimiques possèdent de mauvaises propriétés de déshydratation. Elles sont en général épaissies avant d'être déshydratées dans une presse à bande, un filtre-pressé, une presse à vis ou sur un filtre à vide. Normalement, elles sont mélangées avec la boue primaire (ou de l'écorce le cas échéant) avant l'opération de déshydratation.

Les produits chimiques organiques et/ou inorganiques sont utilisés pour améliorer l'aptitude à la déshydratation des boues en formant des agglomérats plus grands. Les boues mélangées peuvent être déshydratées jusqu'à l'obtention d'une siccité de 25 à 35 % à l'aide de presses à bandes, 35 à 40 % avec les filtres-pressés et 40 à 60 % avec une presse à vis utilisant de la vapeur dans la phase de prétraitement. Le degré possible d'élimination de l'eau dépend dans une certaine mesure de la quantité

de boue biologique mélangée avec la boue primaire, de la teneur en cendre et de la teneur en fibres. Dans certaines papeteries, les boues sont également séchées après déshydratation.

Dans de nombreux États membres, les autorités découragent l'enfouissement de déchets à forte teneur en matières organiques, et il sera sans doute interdit dans un proche avenir. La directive UE sur la mise en décharge des déchets ira dans le sens de cette tendance en fixant des objectifs pour réduire la quantité de déchets biodégradables (municipaux) envoyés dans les décharges. Par conséquent, il faut mettre au point des moyens d'évacuation et des solutions de prétraitement alternatifs pour de plus importantes quantités de boues (voir section 6.3.14). De nombreuses substances organiques sont incinérées pour en récupérer de l'énergie. Cette incinération réduit le volume des déchets, et les matières inorganiques se retrouvent sous forme de cendre, qui est habituellement transportée jusqu'à une décharge. La cendre est également utilisée comme matière première dans l'industrie du ciment.

A côté des déchets et des boues liés à la production, les cendres et les poussières provenant des chaudières pour la production d'énergie forment un groupe de déchets que l'on trouve dans certaines usines (en fonction des combustibles utilisés et des techniques de réduction des émissions dans l'atmosphère mises en œuvre).

### **Autres fractions de déchets**

Il existe encore d'autres types de déchets, en plus petites quantités, mais qui sont encore susceptibles de poser des problèmes quant à leur évacuation. On peut mentionner les types suivants, mais il est difficile de les quantifier en tant que quantité spécifique par tonne de produit :

- ferrailles et autres métaux
- plastiques
- produits chimiques y compris les résidus du couchage
- huile répandue
- verre
- emballages (par exemple les récipients pour les produits chimiques, les palettes etc.)
- déchets du bâtiment tels que bois, béton, briques etc.
- déchets provenant des laboratoires
- déchets ménagers
- déchets de papiers inutilisables dans l'usine
- toiles et feutres

La plupart de ces matières peuvent être utilisées si chaque fraction de déchet est recueillie et stockée séparément.

### **6.2.2.7 Émissions dans l'air**

#### **Émissions dans l'air provenant de la génération d'énergie**

Les émissions dans l'atmosphère provenant des papeteries et cartonneries sont généralement liées à la génération d'énergie, c'est-à-dire à divers types d'unités de production d'énergie, et non au processus de fabrication du papier proprement dit. Les niveaux d'émissions dans l'atmosphère étant directement liés à la consommation d'énergie, les économies d'énergie entraîneront une diminution de ces émissions. Par exemple, la cogénération de chaleur et d'électricité consomme moins d'énergie que la génération traditionnelle distincte de chaleur et d'énergie, car le coefficient de conversion du combustible consommé par les installations CHP est considérablement plus élevé. S'agissant de la quantité d'énergie primaire totale utilisée et des émissions associées, il est donc très important de savoir si l'usine achète son électricité auprès du réseau public ou si elle utilise de l'énergie produite sur place dans une installation de cogénération.

Par ailleurs, les niveaux d'émissions dépendent du type de combustible utilisé (charbon, fioul, gaz) et de la mise en œuvre de techniques de contrôle des émissions pour réduire les particules de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> et les substances organiques gazeuses non incinérées. Les techniques de limitation des émissions dans l'air sont généralement applicables aux processus de combustion des combustibles fossiles servant à la production d'énergie et de chaleur. Étant donné que ces techniques ne sont pas spécifiques à l'industrie papetière mais qu'elles concernent l'industrie en général, cette question ne sera pas étudiée en détail dans le présent BREF. On abordera seulement quelques possibilités reconnues pour améliorer les résultats environnementaux de l'alimentation en énergie des papeteries, en tant que techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD (voir sections 6.3.15 et 6.3.16).

### Émissions des papeteries dans l'air

Les rejets dans l'atmosphère qui ne sont pas liés à la génération d'énergie consistent principalement en composés organiques volatils (COV). Ce type d'émission est habituellement peu important et reste dans les limites généralement acceptables (c'est-à-dire en dessous des seuils nationaux fixés pour ces substances).

Les situations dans lesquelles les émissions de composés organiques volatils doivent être contrôlées concernent un nombre limité de papeteries de différents types. Dans les émissions gazeuses des papeteries qui utilisent des additifs organiques volatils lors du processus de production, on mesure de faibles concentrations de ces substances. La plupart des composants volatils des pâtes vierges se sont dispersés dans l'atmosphère avant que la pâte n'arrive jusqu'à la machine à papier. Cependant, dans la sécherie de la machine à papier ou après le couchage, la feuille de papier est chauffée jusqu'à 100 °C pour faire évaporer l'eau résiduelle. Cette opération provoque le rejet non seulement de vapeur d'eau mais également de composants volatils provenant de la matière fibreuse et des additifs chimiques. D'habitude, les papeteries n'appliquent pas de mesures spéciales pour limiter ces émissions étant donné que les charges rejetées sont relativement faibles.

Les résultats d'une étude récente sur les émissions gazeuses de 7 papeteries allemandes sont résumés dans le tableau 6.18.

Installations étudiées	Débit massique total, en tant que Corg, total	Concentration massique en tant que mg Corg/Nm <sup>3</sup>	Commentaires
PM, papier sans bois, sans encollage	0.7 kg/h	2 - 17 mg/Nm <sup>3</sup>	98 % provenant de la sécherie
PM + CM papier sans bois, couché	Pas de données	10 - 30 mg/Nm <sup>3</sup>	Fluctuations, peuvent être dues en partie au méthane résiduel
PM + CM, avec bois, couché	Pas de données	48 mg/Nm <sup>3</sup> au pré-séchage 24 mg/Nm <sup>3</sup> au post-séchage	90 % provenant du pré-séchage, 10 % du post-séchage
CM, papier sans bois, double couchage	4.9 kg/h	30 - 67 mg/Nm <sup>3</sup>	Émissions dues en partie au méthane résiduel
PM, sans bois, presse encolleuse	1.6 kg/h	2 - 77 mg/Nm <sup>3</sup>	Majorité des émissions (56 %) provenant de l'aspiration au niveau de la toile et de la section des presses
PM, papier et carton FCR	0.8 kg/h	6 - 26 mg/Nm <sup>3</sup>	70 % provenant du pré-séchage
PM, papier FCR	2.4 kg/h	3 - 8 mg/Nm <sup>3</sup>	
Notes : PM = machine à papier; CM = coucheuse hors machine PM+CM = machine à papier avec coucheuse intégrée			

**Tableau 6.18 - Substances organiques mesurées dans les émissions gazeuses de papeteries en amont de l'échangeur de chaleur [PTS-FB 09/97].**

On peut en conclure que les concentrations de substances organiques dans les émissions gazeuses des papeteries peuvent être considérées comme faibles, de sorte qu'il n'est pas nécessaire de prévoir de



techniques de réduction pour les émissions dans l'atmosphère. La concentration mesurée de carbone organique total varie considérablement, entre 2 et 135 mg/Nm<sup>3</sup>. On a déterminé une charge spécifique comprise entre 0,05 et 0,5 Corg<sub>total</sub>/t de papier dans les émissions gazeuses des sept usines étudiées [PTS-FB 09/97]. Il est possible d'éviter ou de réduire le rejet de certaines substances isolées pouvant être un sujet d'inquiétude dans l'air d'échappement des coucheuses, par exemple l'acrylonitrile (présent seulement lorsqu'on utilise des systèmes de liants acrylonitrile-butadiène) en choisissant soigneusement la formulation des sauces de couchage pour enduction de couleur. Il convient d'éviter celles qui contiennent des composés cancérogènes. Le formaldéhyde - on a mesuré des concentrations comprises entre 0,1 et 4,8 mg/Nm<sup>3</sup> - est normalement plus difficile à éviter étant donné qu'il provient de différentes sources sous forme d'agents de renforcement de la résistance à l'état humide, d'agents de conservation, de biocides etc.

Quelques exemples d'opérations avec des rejets contenant de plus fortes concentrations de COV :

- couchage du papier avec des sauces qui contiennent des solvants organiques, bien que la base des sauces de couchage soit exclusivement aqueuse (de faibles concentrations de différentes substances volatiles - par exemple formaldéhyde, substances aromatiques substituées aux alkyles, alcools basse concentration - peuvent être mesurées dans les émissions de chaque coucheuse).
- préparation de papiers avec des résines et production de papiers spéciaux avec utilisation d'additifs volatiles.

Voici quelques exemples de composés organiques volatils (COV) qui sont rejetés dans l'atmosphère :

- alcools
- formaldéhyde contenu dans les résines urée-formaldéhyde ou mélamine-formaldéhyde (UF/MF) utilisées comme agents de renforcement de la résistance à l'état humide
- acétone et autres cétones
- phénols (uniquement dans certains cas particuliers)
- solvants utilisés pour nettoyer les habillages des machines (habituellement une application secondaire)
- acides organiques et monomères résiduels de polymères

Dans certains cas, des particules provenant de certaines opérations de finition peuvent être une source de préoccupation.

On peut aussi observer des émissions provenant de l'incinération des boues et des résidus (en option). Mais, l'incinération in-situ des boues et autres résidus est normalement limitée aux usines intégrées (voir chapitre 2 à 5). Dans ces usines, les boues peuvent être brûlées en même temps que l'écorce dans des chaudières à écorce ou, dans les papeteries à base de papiers de récupération, dans des incinérateurs spéciaux en même temps que d'autres déchets.

### **Odeurs provenant des vapeurs et des installations de traitement des eaux usées (localement)**

Les papeteries peuvent être une source de mauvaises odeurs. Celles-ci peuvent être dues à des temps de rétention trop prolongés de l'eau de process dans l'installation d'eau (tuyauterie, cuves etc.) ou à des dépôts de boues provoquant une accumulation d'acides organiques volatils (acides gras volatils ou VFA, essentiellement des acides acétiques et propioniques). Ces composés peuvent résulter d'une action microbienne sur des substances organiques (principalement des amidons) dans des conditions anaérobies, et peuvent être rejetés au niveau de la partie humide, pendant le séchage du papier et pendant le traitement des effluents. Du sulfure d'hydrogène peut également être généré, en faible quantité, dans des conditions anaérobies. Si tel est le cas, on peut les éviter en prenant des mesures techniques adéquates au niveau du processus. L'installation de traitement des eaux usées peut elle aussi émettre d'importantes quantités de mauvaises odeurs. Si cette installation est bien conçue et maîtrisée, on évitera ces nuisances olfactives.

### 6.2.2.8 Nuisances sonores provenant des machines à papier (localement)

Le niveau sonore des papeteries a une incidence locale uniquement, mais, pour l'environnement professionnel et le voisinage, cela peut devenir le plus grave des problèmes environnementaux dus à une papeterie.

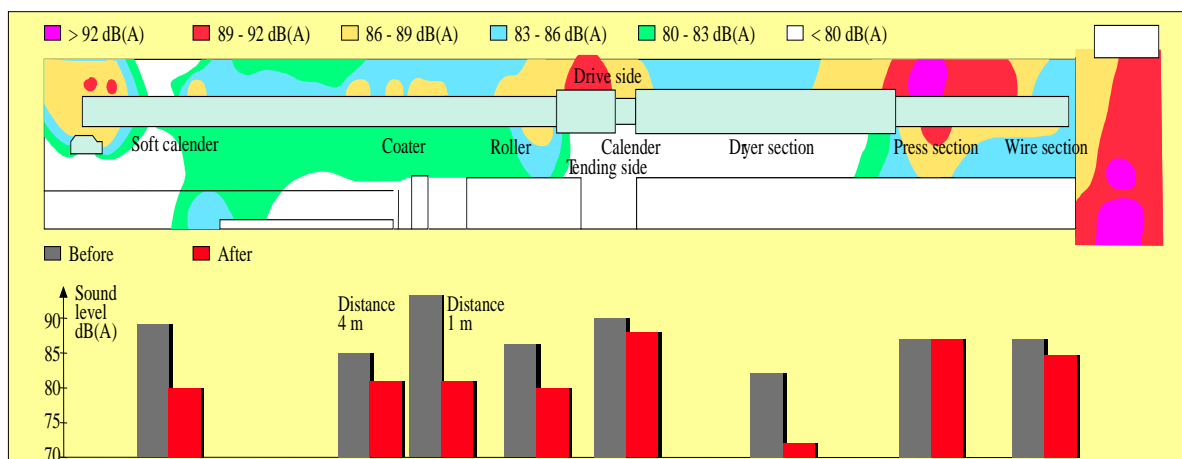
On sait que les machines à papier sont des équipements bruyants. Les principales sources de bruit des machines à papier et à carton, telles que la section toile, la section pressage, la section séchage, la coucheuse, l'enrouleuse et la ventilation sont récapitulées dans le tableau 6.19.

F1

Toile	Pressage	Séchage	Coucheuse	Enrouleuse	Ventilation
Rouleaux aspirants	Engrenages intégrés	Circuit de la vapeur et du condensat	Sécheurs à air	Système d'aspiration de la poussière	Ventilateurs d'aération pour le processus
Système à vide	Rouleaux aspirants	Enceinte des fondations	Sécheurs IR (air de refroidissement)	Entraînements	Ventilateurs d'aération pour le hall de la machine
Rinceurs	Circuits hydrauliques	Ventilation du processus	Bruit de structure provenant du bâti de la machine	Manipulation de la machine à rogner	Sécheurs à air
Système d'entraînement	Rinceurs	Moteurs électriques	Couchage à lame	La feuille de papier	Tuyères
Ventilation	Caisses à vapeurs	Engrenages	Entraînements	Engrenages	Entraînements et moteurs des ventilateurs
Moteurs électriques	Bruit de structure provenant du bâti de la machine (engrenages et cylindres de guidage)	Bande transporteuse des cassés de fabrication	La feuille de papier	Circuit hydraulique	Orifices d'aspiration de l'air
Épurateurs centrifuges	Entraînements	La feuille de papier	Salle des ventilateurs pour les sécheurs à air	Couteaux	
Pompes haute pression	Système à vide	Pulpeur de la partie sèche		Rouleaux presseurs	
Pulpeur de la partie humide	Pulpeur de la presse			Pulpeur de l'enrouleuse	

**Tableau 6.19 - Principales sources de bruit des machines à papier et à carton.**

Outre la machine à papier, d'autres sources de bruit peuvent contribuer au niveau sonore. Par exemple les raffineurs et les pompes à vide. La figure 6.10 illustre, à l'aide d'un exemple, les plages de niveaux sonores pour une cartonnerie. Les valeurs absolues de cet exemple ne sont pas considérées comme étant représentatives pour ce secteur, mais plutôt basses étant donné que la machine à carton tourne à une vitesse peu élevée (600 à 800 m/min) et que de nombreuses mesures ont été mises en œuvre pour réduire le niveau sonore. Dans la partie humide d'une machine à papier tournant à une vitesse élevée, (par exemple 1 700 m/min), le niveau sonore est de 95 à 105 dB(A).



**Figure 6.10 - Niveaux sonores du local de la machine avant et après la modernisation de différentes sections d'une cartonnerie.**

**Zones de bruit au niveau du plancher de la machine. Machine à carton et bâtiments techniques adjacents [Paper News]**

On peut voir, en ce qui concerne les niveaux sonores internes, qu'il y a une différence entre le côté entraînement et le côté commande de la machine.

La figure montre qu'il est possible de réduire le niveau sonore pas à pas grâce à un train de mesures appliquées à la principale source de bruit. Une mesure de contrôle interne du niveau sonore peut par exemple consister à installer de nouvelles enceintes fermées avec une meilleure isolation phonique. Les résultats obtenus pour une machine à carton sont reproduits à titre d'exemple dans la figure 6.10. Dans ce cas, le niveau sonore au niveau du plancher de la partie centrale de la hotte de séchage est de 82 dB(A) et de 85 à 88 dB(A) pour la section des presses.

Comme exemples de mesures de limitation du niveau sonore externe, on peut citer la mise en place d'amortisseurs de bruit à absorption et/ou de résonateurs de tubes pour réduire les niveaux sonores des ventilateurs et des pompes à vide, ou de silencieux et d'enceintes d'isolation phonique pour les ventilateurs sur le toit du bâtiment (etc.) (voir section 6.3.19). Les mesures mises en œuvre dépendront dans une grande mesure du problème de bruit spécifique d'une usine et des objectifs à atteindre. En général, elles seront beaucoup plus rigoureuses lorsque l'usine est implantée à proximité d'une zone résidentielle.

Dans une certaine mesure, les fournisseurs de machines ont cherché à résoudre ce problème de bruit et de vibrations en mettant au point des matériels plus silencieux et des amortisseurs de bruit plus efficaces. Ces mesures visent à prévenir le bruit dès la phase de conception de la machine et à atténuer les nuisances sonores du matériel existant. Le niveau sonore visé dépend du pays et de l'emplacement de l'usine, l'objectif étant de créer un meilleur environnement professionnel pour les fabricants de papier eux-mêmes.

### 6.3 Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD

La présente section décrit toutes les techniques **applicables** actuellement disponibles sur le marché pour prévenir ou réduire les émissions / déchets et réduire la consommation d'énergie et de matières premières, tant pour les nouvelles papeteries que pour celles existant déjà. Dans le présent document, ces principales solutions techniques visant à la protection de l'environnement et aux économies d'énergie sont désignées sous le nom de "techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD", ce qui signifie des solutions techniques alternatives pertinentes ou des possibilités d'amélioration présentant les meilleures performances environnementales et économiques. Cette liste des techniques disponibles n'est pas exhaustive et pourra être complétée à l'occasion d'une révision du présent document.

Chaque technique disponible est présentée selon le même plan, à savoir description, principaux niveaux d'émissions atteints, applicabilité, interactions entre les milieux, aspects économiques, données opérationnelles, installations de référence et bibliographie.

Certaines des mesures décrites dans la présente section ne sont valables que pour certaines qualités spécifiques de papier alors que d'autres sont applicables quel que soit le type de papier produit. Les premières feront l'objet d'une mention particulière, autrement les mesures sont réputées s'appliquer à la fabrication du papier en général.

De nombreuses papeteries sont intégrées avec une usine de pâte à papier, d'autres le sont partiellement, à savoir qu'elles achètent une partie de la pâte consommée et en produisent une partie sur le site. Il existe donc un certain chevauchement entre la production de pâtes chimiques ou mécaniques et le traitement du papier de récupération d'une part, et la fabrication du papier et ses procédés annexes de l'autre. Dans ce cas, une référence croisée renvoie aux chapitres concernés pour éviter les répétitions inutiles et pour montrer les similitudes et les différences entre les processus indiqués.

Étant donné que la plupart des papeteries européennes ne sont pas intégrées, il semble approprié de consacrer un chapitre distinct à la fabrication du papier en tant qu'activité indépendante. Mais il ne faut pas oublier que souvent l'usine peut exploiter - du moins dans une mesure limitée - une unité de pâte à papier. Dans ce cas, il faut se reporter aussi aux chapitres correspondants sur la fabrication de la pâte à papier.

Le tableau 6.20 donne un aperçu général des techniques permettant de réduire les émissions en provenance de la fabrication du papier et des activités annexes. On s'est efforcé, dans ce même tableau, d'indiquer, pour chaque technique, les éventuelles interactions entre les milieux (impacts intermilieux). Il en ressort qu'il n'est pas facile de décrire ces interactions sans susciter de débat. Il existe de nombreuses "zones d'ombre" dans leur évaluation. Elles peuvent en outre dépendre d'autres techniques, liées à une mesure donnée, servant elle-même de référence et pour laquelle on tient également compte des limites du système. Par conséquent, l'évaluation qualitative des interactions entre les milieux ne doit être considérée que comme une aide pour les exploitants ou l'Administration. Elle peut montrer les effets secondaires éventuels d'une mesure, mais elle ne constitue guère plus qu'un point de départ pour étudier les éventuels transferts de pollution d'un milieu vers un autre. Les résultats de cette évaluation ne doivent pas être considérés comme impératifs. D'autre part, des mesures de prévention et de limitation peuvent éviter certaines de ces interactions.

Le tableau indique aussi quel est le milieu (eau, air, déchets et énergie) visé par une mesure. Les paragraphes correspondants figurant sous la description détaillée de chaque technique donnent des renseignements complémentaires.

Le tableau récapitule les différentes techniques disponibles. Dans les colonnes, on indique la tendance des effets des différentes techniques sur la consommation de matières premières et les émissions à

l'aide de flèches vers le haut "↑" ou vers le bas "↓". Les flèches vers le bas "↓" indiquent des économies de matières premières ou d'énergie et une réduction des émissions dans les différents milieux, eau, air et sol. Les flèches vers le haut "↑" indiquent un accroissement des émissions et des niveaux de consommation. Certaines des mesures visant à la prévention et à la réduction de la pollution présentées dans la présente section concernent plus d'un milieu environnemental (eau, air ou sol) à la fois. Certaines techniques peuvent avoir un impact positif et/ou négatif sur d'autres milieux environnementaux ou sur la consommation d'énergie et de matières premières (interactions entre les milieux). Les effets constatés sont indiqués à l'aide des flèches. Une flèche entre parenthèses "(↑)" signifie qu'il s'agit d'un accroissement seulement léger - souvent négligeable - de la consommation d'énergie, de la quantité de matières premières utilisées ou des émissions dans l'environnement.

Les aspects économiques (investissements, dépenses de fonctionnement) ne figurent pas dans le tableau mais sont commentés dans le texte. En principe, les données de caractère économique peuvent seulement fournir une image sommaire et indiquer le niveau des coûts. Ceux-ci varient selon la conception de l'installation dans son ensemble et dépendent entre autres de la taille de l'usine et de la façon dont une mesure s'intègre dans le reste de ses équipements.

Chaque technique a reçu un repère de référence qui facilite l'identification de la section correspondante du texte dans laquelle cette technique est étudiée en détail.

Techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD	Effets sur les niveaux de consommation et d'émissions (interactions entre les milieux)					
	Consomma- -tion de produits chimiques	Consommation d'énergie (E) et d'eau (W)	Émis- -sions dans l'eau	Émis- -sions dan l'air	Déchets solides	Applica- -bilité
6.3.1 Gestion de l'eau et minimisation de la consommation d'eau pour différentes qualités de papiers	(O)	(↓) E, (↓) W	↓	O	O	Toutes produc- -tions
6.3.2 Limitation des inconvénients éventuels de la mise en circuit fermé des systèmes d'eau	↑	O	(↓)	O	O	Toutes product.
6.3.3 Traitement de l'eau blanche par filtration sur membrane	O	(↑) E, (↓) W	(↓)	O	O	Toutes product.
6.3.4 Réduction des pertes en fibres et en charges	↑	↓	↓	O	(↓)	Toutes product.
6.3.5 Récupération et recyclage des effluents contenant des saucés de couchage	(↓)	O	↓	O	↓	Toutes product., couchés
6.3.6 Prétraitement séparé des effluents du couchage	(↑)	O	↓	O	(↑)	Toutes product., couchés
6.3.7 Mesures pour réduire la fréquence et les effets des rejets accidentels	O	O	(↓)	O	O	Toutes product.
6.3.8 Mesurage et automatisation	(↓)	↓	↓	O	O	Toutes product.
6.3.9 Bassin tampon et traitement primaire des eaux usées	O	O	↓	O	O	Toutes product.
6.3.10 Traitement biologique aérobie	(↑)	↑ E	↓	O	↑	La plupart des produc- -tions
6.3.11 Précipitation chimique	↑	(↑) E	↓	O	↑	Toutes product.
6.3.12 Remplacement des substances potentiellement nocives	O	O	↓	O	(↓) nocivité	Toutes product.
6.3.13 Prétraitement des boues	(↑)	(↑) E	O	O	↓ volume	Toutes product.
6.3.14 Traitement des déchets	non applicable	non applicable	non applica- -ble	non applica- -ble	non applica- -ble	Toutes product.
6.3.15 Mise en place d'une technologie à faible teneur en NO <sub>x</sub> dans les chaudières auxiliaires	O	O	O	↓	O	Toutes product.
6.3.16 Co-génération combinée de chaleur et d'électricité	O	↓ E	O	↓	O	Toutes product.
6.3.17 Optimisation de l'égouttage dans la section des presses de la machine à papier	O	↓ E	O	O	O	Toutes product.
6.3.18 Économies d'énergie grâce à des techniques énergétique	O	↓ E	O	O	O	Toutes product.
6.3.19 Mesures contre le bruit	O	O	O	↓	O	Toutes product.
Notes : Les effets secondaires positifs et négatifs sont également indiqués. ↑ = augmentation; ↓ = baisse; O = pas d'impact (ou négligeable); (↑) ou (↓) = impact modéré selon les conditions;						

**Tableau 6.20 - Aperçu des techniques disponibles à prendre en considération pour déterminer les MTD pour les papeteries.**

### 6.3.1 Gestion de l'eau et minimisation de la consommation d'eau pour différentes qualités de papiers

Cette mesure doit être étudiée en liaison avec la section 6.3.2 qui traite de la maîtrise des problèmes potentiels de la mise en circuit fermé des systèmes d'eau.

#### Description de la technique

Les mesures visant à réduire la consommation d'eau dans les machines à papier et à carton représentent un problème complexe et dépendent avant tout du degré de mise en circuit fermé que l'on souhaite réaliser. Bien qu'il existe une multitude d'alternatives techniques qui peuvent différer d'une usine à l'autre, il y a quelques solutions de base pour réduire la consommation d'eau, et notamment :

- Une séparation efficace entre les eaux de refroidissement et l'eau de process en vue de leur réutilisation. Un apport de 10 à 15 % d'eau d'appoint est nécessaire pour le flux réutilisé. Il est recommandé de prévoir un micro-tamis ou un autre filtre pour éliminer les MES. Lorsque les fractions d'eau de refroidissement sont envoyées dans les égouts, elles ne sont pas mélangées avec l'eau de process polluée.
- Dans les usines intégrées, les circuits de la machine à papier sont séparés des circuits de fabrication de la pâte et l'excédent d'eau blanche de la machine est envoyé, à contre-courant, vers l'usine de pâte.
- Le circuit d'eau pour les rinceurs est habituellement le principal consommateur d'eau fraîche dans le circuit de la machine à papier. Cette consommation est habituellement de l'ordre de 4 à 15 m<sup>3</sup>/t, dans l'hypothèse d'une consommation totale d'eau d'environ 20 à 30 m<sup>3</sup>/t de papier. Pour ramener la consommation d'eau fraîche à des niveaux raisonnables, il faut remplacer la plus grande partie de cette eau fraîche par de l'eau blanche clarifiée. On a recours pour cela à une récupération des fibres associée à une production d'eau blanche claire (ou ultra claire) pour remplacer l'eau fraîche des rinceurs de la machine à papier (voir 6.3.3 et 6.3.4). Cependant, il est en général déconseillé d'utiliser les filtrats des ramasse-pâte pour les rinceurs de la section des presses (par exemple rinceur haute pression pour le feutre), car il risque de se produire une précipitation de matières colloïdales provenant de l'eau blanche clarifiée sur le feutre. Les rinceurs haute pression pour les feutres fonctionnent avec de l'eau fraîche. Si un exploitant désire néanmoins utiliser un filtrat, il doit étudier avec soin les méthodes à utiliser pour traiter l'eau de manière que les matières colloïdales au moins soient éliminées (voir section 6.3.3 ou 5.3.8).
- Boucle de recyclage pour une partie de l'eau d'étanchéité des pompes à vide avec refroidissement et élimination des MES.
- Gestion des flux de fibres, de produits chimiques et d'eau avec leurs interférences réciproques. Tous les intrants chimiques, par exemple, sont contrôlés et étudiés pour savoir comment ils influent sur la qualité de l'eau et les propriétés chimiques de la partie humide (contrôle des intrants du système).
- Conception et maintenance des canalisations et des cuiviers de stockage de manière à permettre le stockage de volumes d'eau en excès et ne pas détériorer la qualité de l'eau.
- Des actions de formation et de sensibilisation du personnel sont capitales pour réduire la consommation d'eau.

Selon la situation de départ, les caractéristiques de l'usine et la qualité du papier fabriqué, les dispositions indiquées ci-dessus pourraient permettre de ramener la consommation d'eau fraîche à 5 à 12 m<sup>3</sup>/ADt pour une machine à papier ou carton non couché, et à 7 à 15 m<sup>3</sup>/ADt pour une machine à papier impression couché.

La réduction de la consommation d'eau dans le but de réduire encore les effluents implique aussi la mise en place de moyens physico-chimiques (voir 5.3.8), biologiques (voir 5.3.4) ou mécaniques (voir 6.3.3), ou une combinaison de ces moyens pour traiter l'eau en vue de son recyclage.

Les quantités accumulées de nombreuses substances organiques et inorganiques représentent un obstacle important à la réalisation de cet objectif, parce qu'il importe de maintenir ces impuretés à des niveaux peu élevés pour éviter les dysfonctionnements de la machine et satisfaire aux exigences de qualité du papier ou du carton.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Techniques intégrées dans le processus. Ces mesures d'économies d'eau sont applicables dans les usines aussi bien existantes que nouvelles. Toutefois, la séparation des circuits de la pâte et du papier dans les usines intégrées, ou une fermeture poussée des circuits, reviennent plus cher dans les usines anciennes en raison de l'importance des travaux de modernisation des canalisations et de modification de la partie humide de la machine. Pour les machines existantes, au-delà d'un certain point, ces modifications sont difficiles à réaliser sans augmentation notable de la capacité de production. Sur les machines nouvelles, ces mesures de réduction de la consommation d'eau sont plus faciles à mettre en œuvre. Un autre problème qui se pose dans les usines anciennes est celui de la résistance des matériaux à la corrosion, comme les chlorures, et à la température élevée ou accrue de l'eau. En général, la fermeture des circuits est d'autant plus difficile à mettre en œuvre que l'on a beaucoup de produits différenciés et que l'on change souvent de type de papier produit. Les petites usines avec une seule machine à papier doivent faire face à plus de changements de production pendant l'année (ou la journée) que les grandes usines fabriquant des types de papier en masse. Il faut donc tenir compte de la configuration spécifique de chaque installation.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Les résultats dépendent essentiellement de la situation antérieure de l'usine. Dans les papeteries anciennes, on peut souvent atteindre une réduction de la consommation d'eau fraîche de 10 à 15 m<sup>3</sup>/t d'eaux de refroidissement et de 5 à 8 m<sup>3</sup>/t d'eau de process sans mettre en œuvre aucun traitement spécial en cours de fabrication, mais le degré de mise en circuit fermé dépend beaucoup du papier fabriqué. Avec des cartons présentant un faible degré de blanc, on obtiendra plus facilement une diminution du volume des effluents qu'avec les cartons pour les emballages de liquides ou avec les papiers d'impression-écriture.

Selon la situation initiale de l'usine, les valeurs possibles de consommation totale d'eau fraîche pour différentes sortes de papier sont comprises dans une fourchette de :

- papier journal : 8 à 13 m<sup>3</sup>/t
- papier fin non couché : 5 à 12 m<sup>3</sup>/t
- papier fin couché : 5 à 15 m<sup>3</sup>/t
- papier LWC : 10 à 15 m<sup>3</sup>/t
- papier SC : 10 à 15 papier m<sup>3</sup>/t
- carton multicouches pour boîte pliante : 8 à 15 m<sup>3</sup>/t (fibres vierges)
- papier pour cannelure: 4 à 10 m<sup>3</sup>/t (fibres vierges)
- papier à usage sanitaire et domestique :  
     10 à 15 m<sup>3</sup>/t (fibres vierges; produits lourds ou types de qualité inférieure),  
     15 à 25 m<sup>3</sup>/t (fibres vierges; produits légers ou types de qualité supérieure)

La consommation d'eau fraîche dépend essentiellement du type de papier, du nombre de rinceurs et de la qualité de l'eau utilisée sur les rinceurs de la machine, des conditions de fonctionnement, et de l'utilisation de l'eau. Les produits papetiers à grammages légers requièrent généralement un peu plus d'eau par tonne de produit final.



### **Surveillance des émissions**

Les dispositifs de surveillance incluent des débitmètres pour l'alimentation en eau fraîche de la machine à papier, l'alimentation en eau des rinceurs et les principaux flux d'eau blanche. Les mesures des matières en suspension ou de la turbidité pour l'eau blanche claire font l'objet d'une attention particulière, si elle est utilisée pour les rinceurs de la machine à papier.

### **Interactions entre les milieux**

Dans les papeteries consommant peu d'eau, les polluants sont plus concentrés dans l'effluent, ce qui contribue souvent à de meilleurs rendements de l'élimination. Dans une certaine mesure, les pertes de matières premières et d'énergie peuvent être réduites. Un moindre volume d'eau signifie habituellement aussi une moindre charge calorifique dans le milieu récepteur.

### **Expériences opérationnelles**

Les mesures décrites sont mises en œuvre dans de nombreuses papeteries européennes. On a également de bonnes expériences dans les usines existantes et la conception des machines à papier actuelles est bien adaptée à leur application.

On utilise de plus en plus l'eau blanche claire ou ultra claire des ramasse-pâte dans les rinceurs des machines à papier. Si la teneur en MES de l'eau blanche ou la taille des particules augmente au-delà de la capacité des buses des rinceurs, celles-ci vont être obstruées. Il faudrait donc que le dispositif d'alimentation en eau de ces rinceurs intègre un filtre "en tête" et soit équipé d'un système de purge automatique comme protection contre les effets des dysfonctionnements du ramasse-pâte et, en plus, pour éviter d'avoir à remplacer l'eau blanche par de l'eau fraîche. En outre, un système de nettoyage des rinceurs, avec une brosse interne ou tout autre dispositif de purge, peut contribuer à éviter ces problèmes.

Toutefois, la réduction de la consommation d'eau dans les usines existantes grâce à une combinaison de différentes mesures nécessite en général de nombreuses années de développement et d'améliorations au niveau du processus.

### **Aspects économiques**

On ne dispose d'aucun renseignement général sur la structure des coûts pour la mise en circuit fermé des boucles d'eau, car chaque usine est un cas d'espèce à cet égard. Les frais sont principalement liés aux caractéristiques techniques de l'usine et aux conditions locales. Le coût de ces mesures dépend du nombre et de la nature des réaménagements nécessaires des circuits d'eau et du type d'installations supplémentaires requis.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Il existe un train de mesures possibles pour réduire la consommation d'eau fraîche dans les usines où celle-ci n'est disponible qu'en quantité limitée ou fait l'objet d'un service payant. Ces améliorations ont souvent un effet positif net en raison des économies potentielles réalisées grâce au coût moins élevé de l'eau brute, à la diminution des pertes de fibres et de charges, et quelquefois aux économies d'énergie et à la moindre quantité d'eaux usées à traiter.

Un accroissement de la capacité de production, ainsi qu'une capacité hydraulique limitée de l'installation existante de traitement des eaux usées, sont autant d'autres raisons justifiant la mise en œuvre de ces mesures.

### Installations de référence

De nombreuses usines en Europe.

### Bibliographie

CEPI, 1998b

## 6.3.2. Limitation des inconvénients éventuels de la mise en circuit fermé des systèmes d'eau

### Description de la technique

Le recyclage renforcé de l'eau de process dans les machines à papier et à carton provoque une élévation de la concentration de matières organiques et inorganiques colloïdales. La fermeture des circuits peut avoir un effet négatif sur les caractéristiques de fonctionnement de la machine, sur la qualité du produit final, et sur les coûts de production, en raison de la consommation accrue de produits chimiques. Ces effets négatifs potentiels doivent être maîtrisés. Le tableau 6.21 récapitule les avantages et inconvénients possibles de la réduction de la consommation d'eau. Les mesures de contrôle à prendre pour compenser les éventuels inconvénients des circuits d'eau fermés sont décrites ci-après.

Avantages possibles	Inconvénients possibles
Meilleure rétention des matières solubles dans la feuille de papier	Concentrations plus élevées de matières dissoutes et colloïdales dans les circuits d'eau
Diminution des besoins en énergie pour le chauffage et les pompes	Risque de production de "slimes" entraînant des dépôts et des ruptures de la feuille
Meilleures propriétés d'égouttage sur la toile, qui se traduisent par des économies d'énergie dans la section de séchage	Risque de baisse de qualité du produit, par exemple le degré de blancheur, la résistance, la souplesse, la porosité
Moins d'investissements nécessaires pour le matériel	Consommation accrue d'adjuvants de fabrication
Économie de matières premières grâce à la diminution des pertes	Risque de corrosion (concentration plus élevée en chlorures)
Meilleur rendement du traitement des effluents	Risque plus élevé d'encrassement des tuyaux, buses des rinceurs, toiles et feutres
Réduction des rejets totaux dans les milieux récepteurs aquatiques	Problème de contrôle d'hygiène pour les papiers à usage sanitaire et domestique, les produits pour contact alimentaire et les applications médicales.

**Tableau 6.21 - Quelques avantages et inconvénients possibles du renforcement de la mise en circuit fermé des installations d'eau dans les papeteries.**

La pâte et l'eau qui la transporte contiennent des composés organiques dissous et colloïdaux appelés "détritus anioniques". Présents en concentrations élevées, ces substances organiques affectent les caractéristiques de rétention et la formation de la feuille de papier et augmentent l'encrassement des feutres des presses de la machine. Ces problèmes sont plus prononcés lorsqu'on produit des papiers à partir de pâte mécanique car la plupart des composés du bois sont toujours présents dans la pâte et sont partiellement dissous dans l'eau de process. Les produits destinés à l'emballage alimentaire doivent être exempts de matières solubles nocives. Il faut également contrôler la hausse de température au niveau de la machine à papier ou à carton, de façon à ne pas dépasser des seuils de température de service de 45 à 55 °C dans la partie humide. En revanche, dans la partie humide de la machine à papier, il est préférable d'avoir une suspension de pâte très chaude car la viscosité de l'eau diminue à mesure que la température augmente, ce qui facilite l'égouttage.

Le contrôle des effets des circuits d'eau fermés implique les exigences suivantes :

- Le circuit d'eau blanche de la machine à papier ou à carton ne doit pas recevoir d'eau provenant de la fabrication de pâte ou d'autres machines. La séparation des circuits est généralement réalisée via des épaisseurs. Il est également capital d'optimiser la conception des circuits.
- L'eau de refroidissement ou d'étanchéité et l'eau blanche claire recyclées qui alimentent les rinceurs de la machine doivent être traitées au moyen d'un filtre adéquat comme protection contre les risques d'encrassement ou d'usure des matériels de la machine.
- Les circuits de recyclage de l'eau d'étanchéité doivent être suffisamment refroidis au moyen d'échangeurs de chaleurs ou d'eau d'appoint propre. Les performances de pompes à vide notamment limitent la température admissible de l'eau d'étanchéité.
- La composition (par exemple présence de substances colloïdales), la dureté, le pH et la température des eaux recyclées alimentant un équipement spécifique doivent être compatibles avec l'équipement ou les flux du processus à cet endroit. Il est avantageux de déterminer la qualité de l'eau qui est véritablement requise.
- Les pâtes doivent subir un lavage efficace avant d'arriver dans la papeterie de manière à réduire la teneur en substances colloïdales ou dissoutes. Dans les usines intégrées, il serait également avantageux que la pâte soit introduite dans la papeterie avec plus de 30 % de consistance, au lieu des 2 à 4 % habituels, pour réduire la quantité de matières dissoutes transportées. Cela pourrait contribuer à réduire la consommation de produits chimiques pour le papier, tels que alun, polymères ou amidon, et les auxiliaires pour la machine, tels que les produits chimiques de lavage, les antislimes et les biocides.
- La sélection des produits chimiques et des adjuvants pour le papier et pour la machine doit être revue. En effet, certains produits chimiques se comportent tout à fait autrement dans le nouvel environnement chimique lié à la fermeture des circuits.
- Le mesurage et la surveillance des flux d'eau recyclée, au moyen d'appareils intégrés dans le processus, et des analyses de laboratoires qui évitent de s'écarter des seuils de qualité fixés.

### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Techniques intégrées dans le processus. Ces mesures peuvent être mises en œuvre dans les usines tant nouvelles qu'existantes. Mais, dans les usines anciennes, cette mise en œuvre prend habituellement plusieurs années. Le niveau requis des mesures varie selon le cas d'espèce : type de machine, produit(s) fabriqué(s), et degré de mise en circuits fermés sont les paramètres clés. Les exigences sont les moins élevées pour la production de papiers d'emballages non blanchis et deviennent rigoureuses pour les produits de qualité supérieure tels que les papiers fins (ou surfins).

Avec des concentrations élevées de matières dissoutes et colloïdales dues à un recyclage plus poussé de l'eau de process, on a tendance à retrouver une plus grande quantité de ces substances dans le produit final. Ces quantités ne doivent pas dépasser certains seuils en fonction de la qualité du produit et de la consommation acceptable de produits chimiques pour la fabrication du papier.

Pour les applications concernant les eaux d'étanchéité et de refroidissement, la température de l'eau et les concentrations en MES doivent respecter certaines valeurs limites, ce qui est possible grâce à des matériels d'épuration et/ou à des soutirages suffisants.

Pour l'étanchéité, la technologie actuelle propose également des joints d'étanchéité mécaniques qui n'ont pas besoin d'eau.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Ces techniques sont réputées faire partie intégrante de la mesure présentée dans la section 6.3.1. Elles la renforcent pour permettre d'atteindre et de maintenir une consommation réduite d'eau fraîche sans incidences néfastes notables.

### **Surveillance des émissions**

Il est préconisé de surveiller les points où l'effluent sort de la machine à papier à l'aide de débitmètres. Des mesures des matières en suspension et de la turbidité intégrées dans le processus sont des indicateurs importants en cas de pointes. Quant à la température, elle doit être surveillée au moins dans l'installation de traitement externe des effluents.

### **Interactions entre les milieux**

Le contrôle de l'eau de la machine à papier et de la qualité du recyclage exige aussi une amélioration du contrôle et de la surveillance du processus de fabrication de la pâte. Dans certains cas, on observera une augmentation des besoins en produits chimiques pour le papier et de produits chimiques auxiliaires pour la machine à papier. Il faudra réévaluer les produits chimiques utilisés pour s'assurer qu'ils sont bien les mieux adaptés à un type de papier donné.

### **Données opérationnelles**

Il existe un risque prononcé d'entartrage imputable aux composés de calcium, et aux problèmes de « slimes » et de poix, qu'il faut éliminer grâce à une combinaison adéquate de différentes mesures concernant l'eau, le pH, les adjuvants, et une purge suffisante du calcium du circuit (voir 5.3.4).

Si la machine peut fonctionner à une température de plus de 50 °C, la croissance des micro-organismes et leur activité dans le circuit d'eau sont plus faibles. Mais l'activité anaérobie peut toujours exister au-dessus de 50 °C (bactéries thermophiles), générant de mauvaises odeurs dans un environnement riche en soufre et en hydrates de carbone qu'il faut contrôler.

L'optimisation nécessitée par la mise en œuvre de ces mesures de limitation se fait en général progressivement sur un laps de temps prolongé dans les usines existantes. Le succès de cette technologie dépend des propriétés chimiques de la partie humide dans chaque cas d'espèce. Certaines usines se sont attaquées à ce problème de limitation simplement en utilisant plus de produits chimiques. Le choix des produits chimiques et des additifs ainsi que leur combinaison est une procédure très complexe qui n'est pas toujours bien assimilée, mais qui est indispensable pour atteindre des caractéristiques de marche optimales, ainsi qu'un faible coût et un faible impact sur l'environnement.

On a pu mettre en place avec succès une production économique de papier dans de nombreuses usines fonctionnant avec des circuits fermés, même pour des machines à papier à grande vitesse. Le traitement de l'eau recyclée (voir section 6.3.3 et 5.3.4 et 5.3.8) permet de résoudre certains problèmes et de réduire le recours aux produits chimiques pour contrôler la machine, mais d'autres problèmes sont quelquefois apparus.

### **Aspects économiques**

Les dépenses dépendent surtout de la situation de l'usine. Le coût de ces mesures dépend du nombre et de la nature des réaménagements nécessaires et du type d'installations supplémentaires requis. On ne dispose pas de données sur les différents postes de coût.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Le recyclage amélioré de l'eau de process dans les papeteries peut avoir des répercussions négatives sur les caractéristiques de marche de la machine et la qualité du produit final. Ces effets négatifs potentiels doivent être compensés par des mesures adéquates lorsque les papeteries envisagent de réduire leur consommation d'eau.

### Installations de référence

De nombreuses usines en Europe.

### Bibliographie

CEPI, 1998b, Commentaires italiens

### 6.3.3 Traitement interne de l'eau blanche par filtration sur membrane et recyclage de l'eau de process traitée

Cette technique peut aussi être appliquée dans les usines à base de FCR. A ce jour, il n'existe pas encore d'application industrielle pour des usines traitant des fibres de récupération. Le traitement biologique de l'eau de process est une solution pour les "papiers bruns" fabriqués à partir de fibres recyclées (voir section 5.3.4). Bien que la technique décrite dans la présente section soit la même que celle décrite dans la section 6.3.5, son application est très différente.

#### Description de la technique

La filtration classique ne permet pas d'éliminer de façon satisfaisante les MES et les matières colloïdales d'une taille réelle inférieure à 1  $\mu\text{m}$ . Ainsi, les petites bactéries et les colloïdes échappent au milieu filtrant. Toutefois, cela n'est vrai que pour les solides et les colloïdes non traités par floculation. On peut aussi les transformer, par floculation, en flocs de 100 à 1 000  $\mu\text{m}$ , faciles à séparer par filtration. Mais l'addition de floculants peut présenter l'inconvénient d'introduire des sels indésirables dans le circuit d'eau (les floculants organiques/synthétiques modernes n'apportent pas une charge significative en sels).

Les techniques membranaires, en fonction de la taille des pores de la membrane (correspondant au "poids moléculaire" approximatif des composés organiques éliminés), peuvent en théorie éliminer à 100 % les matières organiques (voir figure 6.11) sans apporter de composés indésirables dans les circuits d'eau.

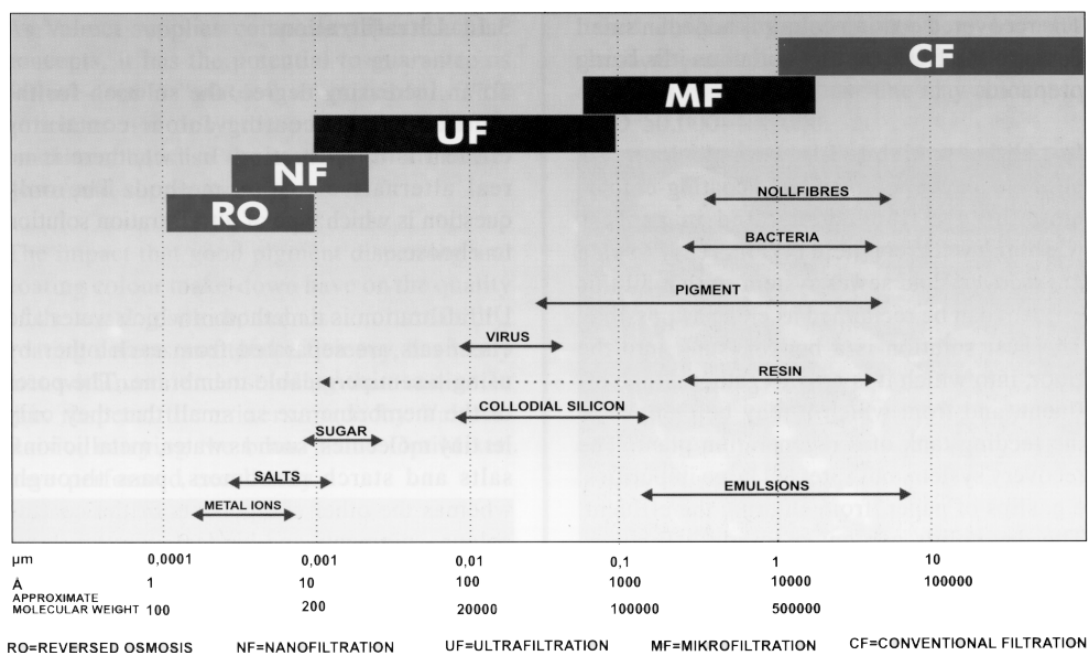


Figure 6.11 - Plages de filtration de différentes techniques séparatives par membranes

En fonction de la taille des pores, on peut distinguer différentes techniques de séparation membranaires :

- la microfiltration, qui fonctionne avec une pression de moins d'1 bar et utilise des membranes dont les pores ont une taille de 0,1 à 0,2  $\mu\text{m}$ , peut être employée lorsqu'on accepte de 1 à 5 mg/l de solides très fins après le traitement. Aujourd'hui, il existe une application industrielle pour les papeteries en Europe.
- l'ultrafiltration fonctionne avec une différence de pression de 1 à 2 bars, et est considérée comme une solution possible pour une élimination à 100 % des MES et colloïdes résiduels et des substances organiques à poids moléculaire élevé présents dans les eaux ou les effluents des papeteries. En Europe, il existe un petit nombre d'applications industrielles pour le traitement de l'eau blanche par le procédé UF.
- la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (RO) utilisent des pressions jusqu'à 15 à 25 bars, mais à ce jour on n'envisage pas sérieusement d'appliquer ces méthodes à l'échelle industrielle dans l'industrie papetière en Europe (il existe une application grandeur nature dans le haut désert du nord-ouest du Nouveau Mexique).

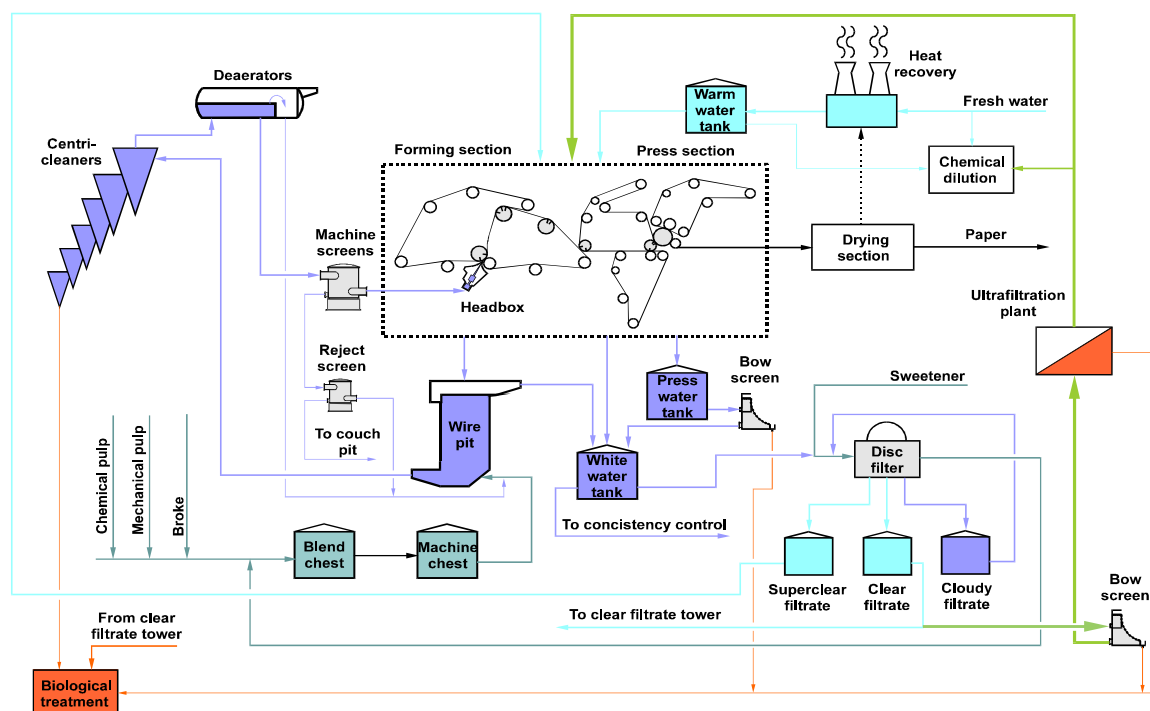
Tous les procédés de filtration à membrane peuvent faire face à des pointes soudaines de matières en suspension.

Les facteurs clés régissant le choix d'un procédé de filtration à membrane, s'il est envisagé pour des papeteries, sont les suivants :

- l'effluent à traiter, sa composition et sa charge hydraulique, y compris les valeurs de pointes.
- les besoins quantitatifs et qualitatifs en eau propre en sortie du traitement pour les applications finales prévues, et l'incidence sur la qualité de la pâte ou du papier.
- les techniques de filtration à plus haute pression donnent une eau plus propre mais consomment plus d'électricité et doivent être dimensionnées plus largement ou être accompagnées d'un prétraitement efficace de protection contre le risque d'encrassement.
- les contraintes de la maintenance (structure symétrique ou asymétrique de la membrane, lavage en milieu acide ou alcalin, capacité de réserve, nettoyage automatisé ou continu). Les membranes symétriques ont plus tendance à s'encrasser. On peut éviter ce phénomène en maintenant des conditions de forte turbulence à proximité de la paroi de la membrane, mais cela entraîne une légère augmentation de la consommation d'énergie.
- le traitement final et l'évacuation du concentrat, qui est le plus souvent un déchet. Les effluents peuvent être suffisamment concentrés pour avoir un effet toxique au niveau du traitement biologique, ou bien ils devront subir un traitement de concentration supplémentaire ou d'absorption par un combustible solide pour être éliminés par incinération. Certains sels inorganiques dans le concentrat sont corrosifs, ce dont il faudra tenir compte lors du choix des matériaux de l'équipement et des tuyauteries.

Si l'on considère ces aspects, le procédé UF peut être utilisé comme un "rein" pour traiter les matières indésirables dans l'eau blanche et renforcer la mise en circuit fermé du système d'eau.

Un traitement interne de l'eau blanche peut comprendre un filtre à disque, une grille courbe, et un système UF. L'eau blanche préfiltrée est envoyée jusqu'au bac d'alimentation du système UF et pompée dans l'unité UF. La pression différentielle est maintenue au plus bas niveau possible, par exemple 0,7 à 0,8 bar. Le filtrat UF présente une qualité suffisante pour pouvoir être utilisé par exemple comme eau pour les rinceurs, comme eau d'étanchéité et pour la dilution des produits chimiques pour la machine à papier. Le concentrat peut être envoyé jusqu'au traitement de l'effluent général. La figure 6.2 schématise un procédé d'ultrafiltration pour traiter des eaux blanches.



**Figure 6.12 - Schéma possible simplifié d'une papeterie utilisant l'ultrafiltration pour le traitement des eaux blanches.**

### Applicabilité et caractérisation de la mesure

Technique intégrée dans le processus. La filtration sur membrane est mise en œuvre dans quelques usines dans le monde pour éliminer les matières en suspension, les bactéries, les colloïdes, les traces anioniques et les composés organiques à poids moléculaire élevé présents dans les effluents des usines de papier ou de carton. Le traitement de l'eau blanche en excès en vue de sa réutilisation par UF n'est appliqué que dans certains cas particuliers.

Pour les eaux de process plus concentrées des papeteries, comme celles résultant de la production de "papiers bruns" à partir de fibres recyclées, le traitement biologique interne suivi par une filtration sur lit de sable est une solution possible qui est décrite dans la section 5.3.4. Il existe également des systèmes combinés, en cours de développement, dits bioréacteurs à membrane (MBR), décrits dans la section 5.5.2. Pour des applications spéciales, par exemple la récupération des produits chimiques de couchage présents dans les effluents de couchage de la machine à papier, l'UF est déjà une technique éprouvée et il en existe plusieurs applications (voir section 6.3.5).

De façon générale, la mise en circuit fermé des circuits de la machine à papier avec élimination intégrée des éléments organiques ou inorganiques dissous est une technique qui fait encore l'objet de quelques travaux de perfectionnement. Elle n'est pas encore aussi bien implantée que, par exemple, le traitement biologique.

### Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement

Le niveau de performance des membranes UF pour éliminer les composés organiques est fonction du cas d'espèce, l'objectif étant d'atteindre les niveaux de polluants autorisés dans le circuit de la machine à papier et les consommations spécifiques d'eau recyclée.

Outre l'élimination partielle des composés organiques, les autres techniques à membranes avec des pores de plus petites dimensions (par exemple NF ou RO), peuvent aussi réduire la quantité de matières inorganiques, mais la taille de l'installation et la pression/énergie nécessaires augmentent selon une courbe exponentielle lorsque le taux d'élimination des composés organiques à faible poids moléculaire ou des sels augmente.

L'ultrafiltration (UF) appliquée concerne le traitement d'un filtrat clair et/ou d'une partie d'un filtrat trouble provenant du filtre à disque. Les membranes UF éliminent en pratique 100 % des MES, 99 % des bactéries, 100 % de la turbidité (élimination de la totalité des matières colloïdales), 45 à 70 % des anions. La DCO dissoute est diminuée d'environ 10 à 20 %. Cela signifie que l'UF permet quand même le passage d'une partie des substances organiques (par exemple toutes les matières organiques de faible poids moléculaire) et des matières inorganiques solubles. Avant tout, l'UF de l'eau blanche donne une eau recyclée de meilleure qualité, qui peut être utilisée comme eau pour les rinceurs haute et basse pression dans la section de la toile, comme eau de dilution pour les produits chimiques, comme eau de lubrification pour la section des presses ou pour des opérations de lavage et de nettoyage. On ne dispose encore d'aucune expérience quant à l'éventuelle possibilité d'utiliser le perméat pour le nettoyage des feutres.

Une réduction possible de la consommation d'eau peut indirectement entraîner une diminution de la charge de matières nutritives rejetées (azote et phosphore), car la teneur totale en N et P dépend de la concentration minimale nécessaire pour assurer la croissance de la biomasse dans les installations de traitement des effluents.

Le concentrat (3 à 5 % de l'alimentation) est acheminé vers le traitement biologique ou incinéré. Cette dernière solution implique une étape de concentration avant la combustion, d'où la nécessité de contrôler les matières organiques volatiles si cette opération se fait avec évaporation. L'incinération du concentrat dans une chaudière auxiliaire, mélangé à des combustibles normaux est possible, selon le type, la capacité et le système d'alimentation en combustible de la chaudière.

Dans une application UF à l'échelle industrielle en Europe (Finlande), le concentrat subit un traitement ultérieur dans l'installation de traitement biologique. Dans ce cas, il n'y a pas de réduction de la charge totale de polluants dans le milieu récepteur. Néanmoins, des études sont encore en cours pour savoir s'il serait possible d'utiliser le perméat pour d'autres utilisations (par exemple les rinceurs haute pression) pour remplacer l'eau fraîche, et s'il faut traiter le concentrat séparément (peut-être en combinant l'UF avec d'autres techniques).

### **Surveillance des émissions**

La surveillance est traitée dans un autre chapitre.

### **Interactions entre les milieux**

L'ultrafiltration nécessite environ 2,6 kWh d'électricité/m<sup>3</sup> d'eau blanche traitée pour les pompes. On ne dispose d'aucune donnée pour comparer les performances environnementales des systèmes à boue activée et celles du système utilisant l'UF + traitement biologique des concentrats selon une méthode intégrée. Pour la filtration à membrane, le traitement ultérieur du concentrat revêt un caractère crucial.

### **Expériences opérationnelles**

Les procédés à membranes utilisés spécifiquement pour traiter l'eau blanche des machines à papier ou à carton n'ont été testés qu'en nombre limité à l'échelle industrielle. En Europe, à ce jour, ces applications sont les suivantes :

- l'usine Metsä-Serla Kirkniemi en Finlande, traitement de l'eau blanche, provenant du ramasse-pâte, le perméat est utilisé comme eau pour les rinceurs basse pression dans la section de la toile (à la place du filtrat clair).
- Stora Uetersen en Allemagne, traitement de l'eau blanche de la machine à papier
- cartonnerie Rottneros en Suède, séparation des matières en suspension avant l'évaporation du concentrat.

Les limitations pratiques des techniques à membrane sont habituellement fixées par le matériau des membranes lui-même, qui est sensible à l'encrassement, à moins que les unités soient équipées d'un



système de prétraitement pour éliminer les MES, ou de systèmes incorporés assurant le nettoyage, ou de fortes turbulences à proximité de la surface de la membrane. Il faut prévoir un nettoyage périodique des membranes avec des acides ou des solutions alcalines (NaOH, détergents et tensioactifs), lequel produit de faibles quantités de déchets liquides. Lorsque le courant du perméat baisse, il faut aussi changer les membranes de temps en temps (la durée de vie d'une membrane est d'environ 15 mois).

### **Aspects économiques**

Pour la filtration sur membrane de l'eau blanche, le coût de l'investissement en matériel est d'environ 0,3 Euro/m<sup>3</sup> (ce qui correspond à 5 000 m<sup>3</sup>/jour d'eau blanche traitée). Les frais de service et de maintenance (remplacement de la membrane et main d'œuvre) s'élèvent à quelque 0,05 Euro/m<sup>3</sup>, le coût de l'énergie à environ 0,07 Euro/m<sup>3</sup>, celui des produits chimiques pour le lavage à 0,02 Euro/m<sup>3</sup>. Au total, les dépenses de fonctionnement sont de l'ordre de 0,14 Euro/m<sup>3</sup>.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Cette technique peut être mise en œuvre avant tout dans les usines qui doivent satisfaire à des exigences rigoureuses en matière de rejets, soit parce qu'elles sont situées sur un milieu récepteur sensible, soit parce qu'elles envisagent d'accroître leur capacité dans des proportions importantes. Dans ce dernier cas, certains pouvoirs publics en Europe demandent que la charge de l'effluent n'augmente pas avec la capacité. D'habitude, les pionniers qui atteignent une grande réduction des émissions grâce à l'utilisation de nouvelles techniques intègrent le "Concept de l'usine verte" dans leur philosophie de marketing. Ces techniques peuvent aussi être appliquées lorsqu'il y a peu d'eau à disposition.

L'UF de l'eau blanche peut aussi réduire les temps d'immobilisation de la machine à papier nécessaires pour éliminer par lavage les substances concentrées dans le filtrat clair recyclé.

### **Installations de référence**

Metsä-Serla, usine de Kirkniemi (production de papier fin et de papier presse magazine) en Finlande, Stora Uetersen en Allemagne, cartonnerie Rottneros en Suède, McKinley Paper Co. (carton couverture) au Nouveau Mexique.

### **Bibliographie**

Teppler, 1996 ; Bentley, 1999

## **6.3.4 Réduction des pertes en fibres et en charges**

Valable pour toutes les qualités de papiers sauf ceux à usage sanitaire et domestique. Pour ces derniers, la récupération des charges ou des particules fines est inutile car elles ne peuvent pas être utilisées dans cette sorte de papier et sont donc éliminées dans la préparation de la pâte.

La section 6.3.5 contribue aussi de façon importante à la réduction des pertes pour les types de papiers couchés.

### **Description de la technique**

La gestion des déchets sous l'angle d'une récupération efficace des fibres dans le cadre de la production de papier ou de carton joue un rôle important parce que, avec des fibres vierges, le rendement en pâte est supérieur à 98 %. Pour les machines à papier ou à carton, la gestion des déchets porte essentiellement sur :

- l'épuration dans la préparation de la pâte
- les ramasse-pâte de la partie humide et
- la manipulation des cassés de fabrication de la partie humide et de la partie sèche.

Font également partie, dans une certaine mesure, de la gestion des fibres, les mesures prises pour réduire la consommation d'eau. En améliorant la mise en circuit fermé, dans la plupart des cas, on obtient aussi une réduction des rejets de substances organiques provenant de l'usine.

Les déchets d'épuration de la préparation de la pâte doivent être renvoyés à la fabrication de la pâte dans les usines intégrées, où ils seront retraités. Une épuration efficace avant la machine comporte des filtres sous pression en cascade et plusieurs étapes de cyclones.

La récupération des fibres et des charges dans les machines à papier et à carton joue un rôle important en matière de réduction des matières en suspension.

Lorsque l'on commence à former la feuille de papier, une certaine quantité de fibres et de charges n'est pas retenue la première fois, mais est rejetée dans les eaux sous toile (voir figure 6.1). L'eau du circuit court est recyclée, sans subir de traitement. Le reste de ces eaux passe dans un ramasse-pâte, en général un filtre à tambour ou à disque ou une unité de flottation par injection d'air dissous, pour séparer les MES. Ces MES sont ensuite recueillis dans un cuvier et recyclés dans le système d'alimentation de la machine à papier. L'eau clarifiée, dite eau blanche, est normalement recueillie sous forme de fractions propre et trouble et recyclée en fonction de l'utilisation prévue dans la machine à papier : dilution de la pâte dans la préparation de la pâte pour la machine, dilution des cassés, rinceurs de la machine à papier. Dans les usines intégrées, l'excédent d'eau blanche est utilisé de préférence dans la fabrication de la pâte ou, si cela est admis, dans les machines à papier ou à carton voisines, mais dans les usines non intégrées, il est envoyé dans les égouts.

Pour récupérer les fibres et les charges de la machine à papier avec un ramasse-pâte, le filtre à disque constitue le plus souvent une solution efficace pour atteindre un niveau de récupération élevé. Les usines modernes font souvent appel en particulier à une unité du type pré-couche, qui utilise une petite quantité de la pâte alimentant la machine à papier sur la surface du filtre pour améliorer le rendement et la récupération des MES. Le filtre fonctionne en batch, mais l'élimination des MES et la régénération via l'application de la couche ne prend que peu de temps.

Le filtre à disque autorise un fractionnement efficace de l'eau blanche en fractions claire et trouble et dans les usines à circuit fermé, on peut même séparer une fraction de filtrat ultra clair pour des applications spécifiques. Ce filtrat ultra clair d'un filtre à disque peut contenir de 10 à 20 mg/l de matières en suspension et le filtrat clair de 20 à 50 mg/l, comparé à nettement plus de 50 mg/l pour les filtres traditionnels. Le filtrat clair peut être utilisé dans de nombreuses applications pour les rinceurs dans la partie humide de la machine, réduisant ainsi la consommation d'eau fraîche. Le filtrat trouble et le reste de la fraction claire peuvent servir à diluer la pâte en amont de la machine à papier, dans le circuit dit court, ou pour la dilution des cassés de fabrication et, dans les usines intégrées, dans le processus de fabrication de la pâte à papier. Ainsi, en fonction de la situation telle qu'elle se présentait avant la mise en œuvre des mesures d'amélioration, on peut obtenir jusqu'à 10 à 20 kg/t de pâte en plus (plus des charges le cas échéant) qui est recyclée vers l'alimentation de la machine au lieu d'être envoyée dans les égouts avec l'eau blanche en excès.

Dans la machine à papier et même en amont de cette dernière, il existe encore d'autres méthodes pour réduire les pertes de fibres et de charges :

- réglage du raffinage et de l'épuration de la pâte juste en amont de l'alimentation de la machine à papier, afin de maintenir un équilibre correct des différents types de fibres dans la pâte. Un raffinage intensif augmente la quantité de fibres courtes qui peuvent, à leur tour, être éliminées sous forme de refus. Dans les usines intégrées, certaines fractions des refus peuvent être recyclées dans l'unité de fabrication de la pâte.
- contrôle efficace de la caisse de tête de la machine à papier, de manière à obtenir une feuille de papier uniforme sur toute la largeur de la toile.

- utilisation d'une quantité suffisante de produits chimiques pour le papier et d'auxiliaires chimiques pour la machine, en liaison avec un système de contrôle moderne pour obtenir une meilleure rétention des fibres sur la toile et une bonne formation de la feuille de papier. Il convient cependant d'éviter les surdosages.

La capacité de stockage des cassés de fabrication et de l'eau blanche a également une incidence pour la gestion des MES et la conservation de l'eau. La taille des cuiviers doit autoriser le stockage d'au moins 2 à 3 heures de débit de la machine dans des cuiviers à cassés de fabrication pour récupérer ces fractions qui ont une teneur élevée en fibres. Cela permet de réduire la fréquence et la durée des "pics" soudains de rejets de fibres ou d'eau dans le réseau d'égouts de l'usine. Dans le cas des machines à papier qui produisent des qualités couchées, les cassés de fabrication recueillis après la coucheuse doivent être mélangés avec la pâte fraîche et des cassés de la partie humide dans des proportions telles que la quantité de matières solides fines dans la partie humide de la machine à papier soit maintenue sous contrôle.

### **Applicabilité et caractérisation**

Techniques intégrées au processus. Les améliorations énumérées peuvent être mises en œuvre dans des usines existantes aussi bien que nouvelles. Cependant, dans les usines anciennes, les zones de la machine à papier offrent moins de possibilités de modernisation en raison de problèmes de place ou de conception.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Les pertes totales en MES provenant de la machine à papier, des rejets de la préparation de la pâte pour la machine à papier, d'un excédent d'eau blanche envoyée aux égouts, des sections des presses de la machine à papier et des débordements de réservoir de pâte à papier se situent dans une fourchette de 10 à 100 kg de MES/t. Les usines les plus performantes atteignent 10 à 20 kg/t (c'est-à-dire une perte de 1 à 2 %) pour de nombreuses qualités de papier. Certaines chaînes existantes de papiers couverture et cannelure ou de papiers spéciaux dépassent 50 kg de MES/t.

Lorsqu'elle est mise en œuvre dans une usine produisant 1 000 t/jour de papiers d'impression, une récupération de 10 à 20 kg /t de MES signifie que cette charge de MES n'aboutit ni dans l'installation de traitement primaire de l'effluent ni dans le dispositif d'évacuation des boues de l'effluent.

La réduction des rejets ne fait que légèrement baisser la charge de matières organiques exprimée en DCO ou DBO<sub>5</sub>. Mais on pourra recueillir des taux plus élevés de DCO ou DBO<sub>5</sub> dans le cas des effluents provenant de la production de types de papier à base de pâtes à haut rendement.

### **Surveillance des émissions**

Il importe de surveiller les niveaux de l'eau blanche et des cuiviers à cassés de fabrication. Les canalisations pour l'évacuation des effluents de papeteries qui sont équipées de débitmètres et de turbidimètres facilitent la détection des pointes de rejets.

### **Interactions entre les milieux**

Grâce à la diminution des rejets de MES, il est possible d'améliorer le traitement de l'effluent. Le traitement primaire produit moins de boues. Les fibres et les charges sont utilisées pour le produit et ne doivent plus être gérées comme déchets. Lorsqu'on récupère des quantités plus importantes de fibres et de charges, il faut aussi tenir compte du fait que l'on économise des matières premières et de l'énergie, qui étaient auparavant nécessaires pour produire ces matériaux.

### **Expériences opérationnelles**

Ces mesures sont mises en œuvre dans de nombreuses papeteries sans aucun problème. En général, il existe deux solutions à prendre en compte : de bons processus unitaires et une plus grande précision dans le contrôle et la surveillance du fonctionnement des unités par l'automatisation.

### **Aspects économiques**

Pas de données disponibles

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Une amélioration de la récupération de la pâte est généralement intéressante sous l'angle économique car elle se traduit par un meilleur rendement de la matière première et une diminution des déchets à évacuer. La réduction de la charge en MES vers le traitement externe et la minimisation des matières en suspension dans le milieu récepteur peuvent également constituer une incitation à mettre en œuvre les mesures décrites pour la récupération des fibres ou la prévention des liquides répandus.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines en Europe.

### **Bibliographie**

CEPI, 1998b

## **6.3.5 Récupération et recyclage des effluents contenant des sauces de couchage**

Cette mesure peut être appliquée en remplacement de la MTD décrite dans la section 6.3.6. Il convient de donner la préférence à la technique par membranes car elle offre la possibilité d'une réutilisation des produits chimiques utilisés pour le couchage.

### **Description de la technique**

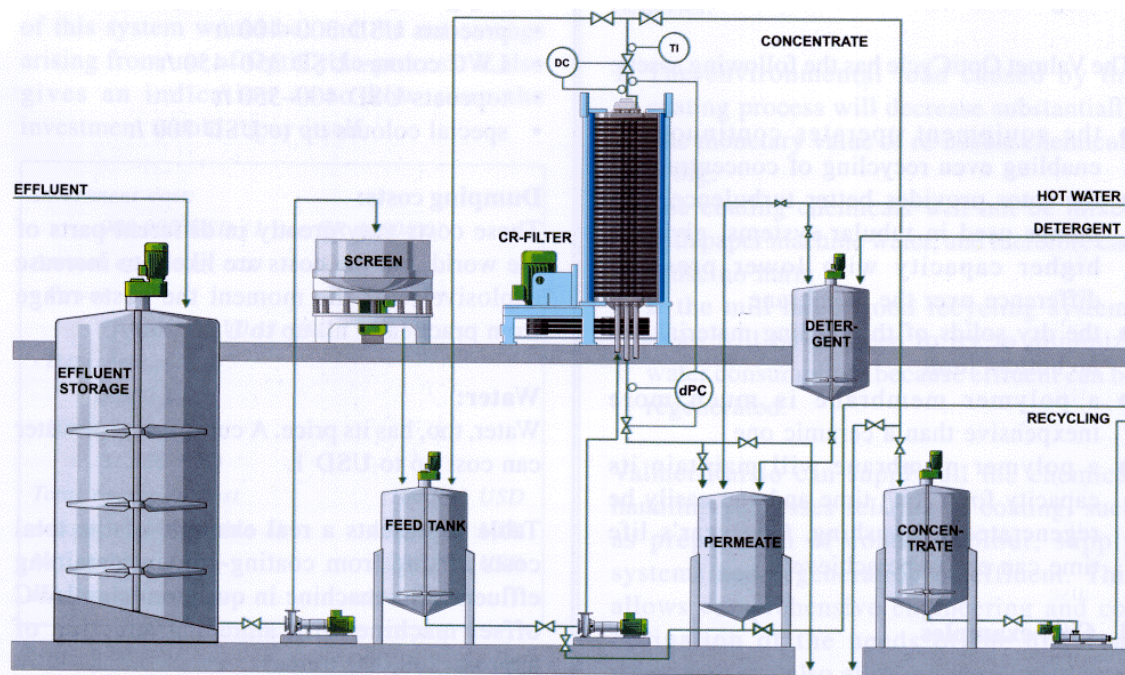
Les papeteries qui fabriquent des types de papiers couchés génèrent un flux d'effluents faible sous l'angle hydraulique (environ 2 à 5 % du flux total) mais qui est riche en pigments et autres matières (voir 6.3.6). La charge importante de ces effluents peut entraîner des problèmes de fonctionnement au niveau du traitement des effluents, si ceux-ci y arrivent sans avoir subi un prétraitement approprié. D'autre part, les pigments sont coûteux, et la récupération d'une partie de la sauce de couchage en vue de sa réutilisation est intéressante.

Une gestion responsable de l'installation de couchage inclut :

- un rejet minimum de sauce de couchage dans le réseau des égouts, grâce à une production efficace et à une gestion optimisée des sauces de couchage préparées, notamment lorsque des changements de qualités de papier impliquent une modification de la composition de la sauce de couchage. Des méthodes de travail efficaces et une bonne "gestion" sont des facteurs importants.
- une conception optimale de la cuisine de couchage et des circuits d'alimentation
- la récupération des produits chimiques de couchage par ultrafiltration des effluents du couchage.

L'ultrafiltration est une méthode qui consiste à séparer l'eau et les produits chimiques en utilisant une membrane semi-perméable. Les pores de cette membranes sont si petits qu'ils ne laissent passer que des molécules minuscules telles que l'eau, les ions métalliques, les sels et les monomères d'amidon alors que les autres composants de la sauce de couchage - pigments et liants - sont trop grands pour passer à travers (voir figure 6.11). En général, l'effluent introduit dans le processus

représente en MES 2 à 4 %, et le concentrat 30 à 35 %. Ajouté à la sauce de couchage fraîche, la dilution ne sera pas trop importante. Comme il ressort de la figure 6.13, un système complet d'ultrafiltration comprend le filtre, les bacs nécessaires, les canalisations, les instruments et le système de contrôle.



**Figure 6.13 - Exemple d'une installation de récupération par ultrafiltration pour les sauces de couchage. [Roitto, 1997]**

### Applicabilité et caractérisation

Les mesures visant à minimiser les rejets de sauce de couchage et à recueillir séparément les effluents du couchage en vue de leur traitement à part par ultrafiltration peuvent être mises en œuvre dans les usines tant existantes que nouvelles. L'ultrafiltration est une technique qui convient à la plupart des usines procédant au couchage des papiers de presse magazine, papiers fins ou cartons. Elle peut ne pas convenir pour certains types de papiers spéciaux. Si les effluents sont peu importants et produits en différents endroits, il sera peut-être difficile de mettre en place un système efficace de récupération pour l'effluent. Ce problème n'existe pas dans les usines neuves. Si les types de produits chimiques de couchage ne se prêtent absolument pas au mélange (c'est à dire à un grand nombre de types différents sur un seul site), la réutilisation sera peut-être limitée. La concentration possible de MES est plafonnée à environ 35 à 45 %. S'il n'y a pas d'eau en excès dans la composition de la sauce de couchage, il sera peut-être difficile de réutiliser tout le concentrat. On peut aussi se heurter à des limites lorsque la quantité d'effluents est trop élevée.

### Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement

Les émissions dans l'eau et la quantité de déchets sont considérablement réduites. Les produits chimiques du couchage peuvent non seulement être récupérés mais également recyclés dans la production. On observe aussi une légère diminution de la consommation d'eau grâce à la réutilisation du perméat.

### **Surveillance des émissions**

Il est avantageux de prévoir des mesures directes du débit des eaux usées du couchage en des points critiques. Par ailleurs, il est demandé un suivi qualitatif des produits chimiques du couchage via des analyses de laboratoire des teneurs en solides, DCO et DBO<sub>5</sub>.

### **Interactions entre les milieux**

La réduction des rejets d'eaux usées du couchage associée à un traitement séparé de ces eaux usées permet d'améliorer les résultats de l'installation externe de traitement des effluents. Selon le rapport couchage/papier produit, il est possible de réduire la quantité de déchets solides d'environ 70 %. Il en résulte des économies importantes, qui sont fonction du coût de la mise en décharge.

### **Données opérationnelles**

Le recours à l'ultrafiltration s'est avéré avantageux dans de nombreuses usines. Aucun effet négatif n'a été signalé pour les types de papiers fins et à usage graphique lorsqu'on utilise une sous-couche concentrée. Dans les usines fabriquant du papier magazine, on peut utiliser de petites quantités de concentré d'UF sans inconvénients pour la qualité. Une cartonnerie réutilise la sauce de couchage récupérée pour le couchage de la face d'envers. La quantité de concentrat doit être constante. Les bactéries et l'hygiène sont également des aspects importants à prendre en compte. La durée de vie de la membrane peut dépasser un an. La fréquence type des lavages est de une fois par semaine, ce qui donne 2 à 5 m<sup>3</sup> de déchets liquides. On a obtenu de bons résultats avec, par exemple, des membranes à base de polymères.

### **Aspects économiques**

Une petite unité UF peut traiter 2 000 l/h d'effluent à 2 % de MS. Ce type de système est viable pour une usine utilisant de 10 à 50 tonnes de pâte de couchage par jour. Les investissements s'élèvent à environ 0,2 à 0,3 MEuros pour cette taille. Le recyclage des produits chimiques du couchage permet de réaliser des économies considérables (coût de la décharge, économie de sauce de couchage onéreuse). Dans certains cas, la valeur des produits chimiques récupérés et les économies réalisées au niveau des mises en décharge peuvent aboutir à une période d'amortissement de l'ordre de 1 à 2 années. Un autre exemple cité est le suivant : le montant de l'investissement pour un processus capable de traiter 200 à 400 m<sup>3</sup>/jour d'effluent du couchage est de l'ordre de 0,5 à 1,5 MEuros. Les dépenses de fonctionnement types sont de 0,1 MEuros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Ces techniques servent à réduire les rejets de matières en suspension de l'usine et à améliorer le traitement externe de l'effluent. On considère qu'elles sont préférables à la solution présentée dans la section 6.3.6. Le facteur clé motivant la mise en place de l'ultrafiltration est de réduire le coût des mises en décharge et d'économiser des matières premières utilisées dans la coûteuse sauce de couchage. Il est donc capital, pour que cette technique soit applicable, que l'on puisse réutiliser les sauces de couchage récupérées.

### **Installations de référence**

Cartonnerie Blendecques, France; Cartonnerie Assi Frövifors, Suède; Cartonnerie Cascades Djupafors, Suède; Cartonnerie Hansol Taejon, Corée du Sud; Usine de papier fin Yuen Foong Yu, Taïwan; Usine de papier fin/LWC/MWC Metsä-Serla Kirkniemi, Finlande; Usine de papiers pour usage graphique, Metsä-Serla Äänekoski, Finlande ; Enso Fine Papers, Oulu, Finlande; APP Pindo Deli, usine de papier fin, Indonésie ; Usine de papier LWC MD Papier Plattling, Allemagne; Usine de papier fin SCA Fine Paper Stockstadt, Allemagne; Cartonnerie Zhuhai S.E.Z. Hongta Renheng, Chine.

## Bibliographie

Roitto, 1997 ; Nygard, 1997

### 6.3.6 Prétraitement séparé des effluents du couchage

Cette mesure est une solution alternative à la MTD décrite dans la section 6.3.5. La technique de la membrane est préférable car elle offre la possibilité de réutiliser les produits chimiques du couchage.

#### Description de la technique

Les produits chimiques du couchage comprennent plusieurs groupes et types, dont les pigments et les liants sont les deux principaux éléments.

Les rejets de sauce de couchage se répartissent en deux grands groupes :

- l'excédent de sauce de couchage non diluée (environ 50 à 70 % de solides secs) provenant de la cuisine de couchage et de l'unité de couchage. En cas de changements de produits et pendant les arrêts, le circuit doit être nettoyé (disperseur, cuiviers, pompes, canalisations et unité de couchage). Par ailleurs, quelquefois, la sauce de couchage ne peut pas être utilisée totalement et cet excédent est également lavé. Le rejet concentré peut être recueilli dans des réservoirs ou des conteneurs mobiles en vue de l'évacuation des déchets solides.
- les composants dilués du couchage provenant de l'eau de lavage des réservoirs etc... La teneur type en solides secs de l'effluent dilué est de 2 à 4 %. S'ils sont rejetés dans l'installation de traitement, celle-ci devra gérer des charges présentant des pointes soudaines de substances organiques (valeurs de DCO > 10 000 mg/l et jusqu'à 100 000 mg/l). Les liquides répandus sont recueillis dans des réservoirs et soumis à un prétraitement avant d'être envoyés vers l'installation externe de traitement des eaux usées.

Si les eaux usées ne sont pas prétraitées avant le traitement biologique, elles peuvent avoir un impact défavorable sur l'installation de traitement des effluents, avec des difficultés au niveau des traitements primaire et secondaire.

Une installation de prétraitement type se présente comme suit :

Les eaux usées sont recueillies dans un bassin tampon. Elles sont filtrées et pompées vers un dispositif de précipitation chimique. Les produits chimiques sont ajoutés dans une unité de mélange rapide. Pour la précipitation chimique, on utilise du sulfate d'aluminium et des polychlorures d'aluminium. Comme agent chimique d'aide à la floculation, on utilise un polyélectrolyte. L'eau traverse ensuite un décanteur à lamelles, au fond duquel les matières en suspension se déposent, le liquide clair surnageant étant alors acheminé dans le circuit des effluents en vue de son traitement ultérieur. Les boues du fond du décanteur sont recueillies dans un cuvier à boues, d'où elles sont pompées dans une centrifugeuse pour être déshydratées. Les boues concentrées à environ 30 à 40 % sont ensuite évacuées dans une décharge.

Il existe toutefois une usine qui procède à la déshydratation par centrifugation des sauces de couchage précipitées et les réutilise comme sauce de couchage pour la précouche. Cette solution doit encore faire l'objet de nombreux travaux de mise au point.

#### Applicabilité et caractérisation

Le prétraitement des effluents du couchage peut être mis en place aussi bien dans les usines existantes que nouvelles. Cependant, dans les usines existantes, la mise en place de dispositifs pour recueillir et dévier les eaux usées peut se révéler plus complexe et plus onéreux. Pour les installations nouvelles,

on penchera probablement plutôt en faveur de l'ultrafiltration des effluents du couchage, car c'est une solution qui est amortie dans un laps de temps relativement court.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Les principaux résultats sont une amélioration des conditions de fonctionnement de l'installation de traitement des effluents. On observe une diminution des charges totales de matières en suspension (MES) dans l'installation WTP et l'on peut aussi minimiser les déversements accidentels de liquides dans cette installation. Les dérèglements du décanteur primaire peuvent être réduits car il y a moins de perturbations et le risque de surcharge du décanteur est également réduit. Les dérèglements biologiques diminuent parce que les matières inertes (par exemple les particules de pigments) dans l'effluent du couchage ne sont pas entraînées en s'accumulant dans le traitement biologique. Ainsi, la charge pour l'environnement diminue. Le filtrat clair du traitement de l'effluent de la sauce de couchage peut être réutilisé ailleurs dans la papeterie, par exemple pour diluer les cassés de fabrication, couchés ou non. Toutefois, les déchets subsistent. C'est pourquoi on considère qu'il est préférable de choisir la technique décrite dans la section 6.3.5.

### **Surveillance des émissions**

La surveillance est traitée dans un chapitre séparé.

### **Interactions entre les milieux**

Le fait de séparer les produits chimiques de couchage du traitement biologique des effluents peut avoir un effet bénéfique sur le traitement ultérieur des boues biologiques. La combustion des boues de l'installation principale de traitement des effluents de l'usine est facilitée par le fait que le prétraitement des effluents du couchage réduit la teneur en cendres des boues. Mais, contrairement à l'ultrafiltration des sauces de couchage (voir 6.3.5), il y a toujours une production de déchets car l'on ne dispose encore que d'une expérience très limitée en matière de recyclage des sauces de couchage précipitées. La floculation entraîne une certaine augmentation des sels dans l'effluent.

### **Expériences opérationnelles**

Cette technique est utilisée depuis de nombreuses années dans les papeteries sur tout le continent européen. Toutefois, on a décelé quelques difficultés au niveau de la déshydratation des boues produites. Si le dispositif de déshydratation n'est pas choisi avec soin, on pourrait rencontrer des problèmes d'usure.

### **Aspects économiques**

Le montant des investissements pour un traitement séparé des effluents du couchage est de l'ordre de 1,2 à 1,4 MEuros pour une production d'environ 1000 t/j. Les dépenses de fonctionnement annuelles s'élèvent à 75 000 à 150 000 MEuros/an, hors frais de décharge. La valeur des produits chimiques étant perdue lorsqu'ils sont envoyés à la décharge, il n'y a pas de possibilité d'amortissement.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Cette mesure a été adoptée principalement pour résoudre les problèmes qui se posent dans l'installation externe de traitement des effluents en l'absence de ce prétraitement. La teneur élevée en MES des effluents du couchage peut dérégler le fonctionnement du décanteur primaire et du processus biologique et avoir pour résultat des problèmes d'incinération des boues.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe de l'Ouest (Allemagne, Autriche, France, Suède et Finlande).



## Bibliographie

CEPI, 1998b

### 6.3.7 Mesures pour réduire la fréquence et les effets des rejets accidentels

#### Description de la technique

Dans une machine à papier ou à carton, l'objectif est de garantir de longues périodes ininterrompues de déroulement de la feuille de papier dans la machine pour obtenir le produit final. Il faut s'attendre à des variations de performance de la machine ou de qualité de la pâte pendant la fabrication. Ces variations sont maîtrisées jusqu'à un certain point mais, au pire, elles peuvent aboutir à des ruptures de la feuille de papier et à des pertes de production. En outre, les machines nécessitent une maintenance, qui ne peut pas être faite lorsque la machine est en service, avec pour conséquence un plus grand nombre d'arrêts brefs et de redémarrages. Si la machine produit plusieurs qualités de papiers, cela se complique encore du fait des arrêts requis pour passer d'un type à l'autre.

Les rejets accidentels types sont dus à :

- des dérèglements fonctionnels de la machine à papier
- des arrêts et démarrages programmés pour la maintenance
- une mauvaise gestion des cuiviers d'eau blanche ou des cuiviers à cassés de fabrication dans la partie humide ou la partie sèche ou au couchage hors machine.

En améliorant l'automatisation de la machine à papier, la surveillance de la feuille de papier et des paramètres de la machine en cours de fabrication devient plus rapide et plus précise. On peut mieux équilibrer et optimiser, en fonction des besoins, la distribution de la pâte par la caisse de tête, la vitesse des cylindres de la machine, grâce à des entraînements à vitesse variable, et la quantité de vapeur utilisée pour le séchage. Il s'ensuit que la qualité du papier s'améliore et que, si les capteurs de contrôle sont correctement installés et connectés pour autoriser des rétroactions, le nombre de ruptures au niveau de la machine baisse également. En revanche, pour les papiers "haut de gamme", les opérations de raffinage et de tamisage doivent satisfaire à des critères plus élevés, car les tolérances qualitatives pour la feuille de papier sont plus rigoureuses.

Le point le plus important pour maintenir les rejets accidentels à un niveau minimum est un dimensionnement correct des cuiviers à eau blanche et à cassés de fabrication. Comme indication empirique, le volume des cuiviers à cassés devrait être suffisant pour stocker l'équivalent d'au moins trois heures de pâte d'après la production nominale. Autrement, le risque de rejets importants d'eau et de solides dans les égouts augmente. La capacité de stockage de l'eau blanche doit être dimensionnée en fonction de ce stockage des cassés, de manière à ne pas avoir besoin d'eau fraîche pendant les ruptures de la feuille ou lorsque les cassés sont renvoyés dans la machine. Dans les machines à papier produisant des types de papier couchés, le recyclage des cassés provenant des coucheuses sur la machine ou hors machine doit faire l'objet d'un contrôle minutieux. En effet, la proportion de cassés couchés doit être inférieure à une limite déterminée pour chaque cas, de façon à obtenir un mélange adéquat de pâte et de différents cassés, et éviter ainsi les problèmes dans la partie humide de la machine. Le volume de stockage des cassés couchés doit répondre à cette exigence.

Il convient de mettre en place un contrôle du niveau du réservoir d'eau blanche en conformité avec le stock de cassés de fabrication, le stock de pâte et le programme de production pour éviter les liquides répandus.

Dans les usines qui changent fréquemment de qualités de papier, ce contrôle se révèle plus difficile, car les stocks sont souvent maintenus à des niveaux bas pour minimiser les pertes résultant des nettoyages lors des changements de qualités de papier. C'est pourquoi il importe de contrôler plus

soigneusement les caractéristiques de l'alimentation de la machine, de manière que la quantité de cassés de fabrication reste faible. Dans les usines exploitant plusieurs machines à papier, on peut réduire ces pertes si une autre machine peut utiliser ce matériau.

Pour protéger l'installation de traitement des eaux usées (WWTP), et en même temps l'environnement, on pourrait envisager la mise en place d'un bassin régulateur (bassin de rétention). En cas de déversements accidentels, le liquide répandu peut être acheminé dans ce bassin, à partir duquel il peut ensuite être envoyé dans la WWTP dans des conditions contrôlées.

Les mesures propres à éviter les rejets accidentels résultant de la manipulation et du stockage des produits chimiques sont les suivantes :

- installations conçues et fonctionnant de façon à éviter les fuites de substances nocives
- détection rapide et fiable des fuites de n'importe quelle partie de l'installation qui est en contact avec des substances nocives. Prévention de la propagation des fuites et élimination appropriée. Lorsqu'elles ne sont pas équipées d'une double paroi et munies d'un indicateur de fuite, les installations doivent être dotées d'un système/dispositif de captage conçu de façon étanche et durable. Les chambres réceptrices ne doivent présenter aucun orifice de rejet.
- des instructions de service, concernant notamment la surveillance, la maintenance et les plans d'alarme, doivent être rédigées et suivies
- le traitement des effluents est le point le plus crucial. Une condition préalable est une installation de traitement performante et une bonne communication entre le personnel des unités de production et celui de l'unité de traitement des effluents. En cas de liquide répandu accidentellement, ce dernier peut prendre les mesures qui s'imposent pour protéger l'installation de traitement.

### **Applicabilité et caractérisation**

Le contrôle des rejets accidentels revêt une importance capitale pour la machine à papier et peut être appliqué dans les usines existantes ou nouvelles. Mais les usines anciennes peuvent se heurter à des problèmes si elles ne disposent pas d'un espace suffisant pour étendre le stockage de l'eau ou de la pâte.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Ces mesures réduisent la fréquence des pointes de rejets de liquide ou de solides.

### **Surveillance des émissions**

Il est conseillé de prévoir une surveillance sur le terrain du débit des effluents vers les égouts et la surveillance en laboratoire des matières en suspension ou dissoutes, du pH, de la température et de la teneur en matières organiques sous forme de DCO ou DBO<sub>5</sub> des flux envoyés dans les égouts et, occasionnellement de quelques flux recyclés. On peut également utiliser des appareils pour mesurer les MES et la turbidité sur le terrain.

### **Interactions entre les milieux**

La mise en place d'une gestion efficace des cuiviers pour l'eau blanche et la pâte permet d'améliorer la rentabilité de la production et de réduire le nombre des rejets accidentels. Pas d'autres effets significatifs signalés.

### **Données opérationnelles**

Le renforcement du degré d'automatisation a prouvé son efficacité pour améliorer le contrôle des rejets accidentels, bien que la principale raison de sa mise en œuvre soit généralement l'amélioration des caractéristiques de fonctionnement de la machine et, dans la majorité des cas, un accroissement de la

capacité. Des modèles statiques et, désormais, dynamiques ont permis à de nombreuses usines de mieux appréhender les modalités d'un contrôle avancé du fonctionnement des machines.

### Aspects économiques

Le coût de l'investissement pour un cuvier d'eau blanche supplémentaire de 3 000 m<sup>3</sup> et un cuvier à cassés de fabrication non couchés de 2 000 m<sup>3</sup> serait d'environ 1,0 à 1,2 MEuros. Si un second cuvier pour les cassés couchés devait s'avérer nécessaire, il reviendrait, y compris le matériel auxiliaire, les canalisations et les travaux d'électrification requis, à environ 0,4 à 0,5 MEuros. Ces investissements correspondent à une production de papier de 1 000 t/jour.

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

Premièrement, ces mesures ont pour objet d'empêcher les rejets perturbateurs provenant de la machine à papier d'arriver jusqu'au réseau d'égouts de l'usine et de maintenir la charge du traitement des effluents à un niveau plus stable. Deuxièmement, l'automatisation du processus associée à une gestion sophistiquée des stocks d'eau blanche, de pâte et de cassés de fabrication améliorent les caractéristiques de fonctionnement de la machine.

### Installations de référence

De nombreuses usines en Europe.

## 6.3.8 Mesurages et automatisation

### Description de la technique

Pour que la fabrication du papier atteigne une efficacité élevée, il importe que le processus soit stable et la qualité uniforme. Ces caractéristiques sont essentielles pour que la production soit sans danger pour l'environnement. Des conditions instables au niveau de la préparation de la pâte et dans la partie humide provoquent des ruptures de la feuille de papier et, par conséquent, des perturbations dans les circuits d'eau. Des mesures sur le terrain et un contrôle minutieux du processus s'avèrent donc essentiels pour garantir l'efficacité de la production. Les principales zones dans lesquelles les mesures et l'automation améliorent à la fois la qualité, la productivité et les résultats concernant l'environnement sont décrites ci-dessous.

- *Fonctionnement du ramasse-pâte* : les mesures des MES ou de la turbidité sont des indicateurs importants de valeurs de pointes lorsqu'il s'agit d'utiliser le maximum de filtrat pour l'eau des rinceurs. On évite ainsi les pertes de fibres inutiles et l'on diminue la charge pour l'installation de traitement des effluents. La mesure et le contrôle de la consistance de l'alimentation facilitent l'optimisation du fonctionnement des filtres.
- *Mélange* : dans le dosage et le mélange des pâtes, les variations de consistance et de qualité de la pâte (par exemple indice d'égouttage, longueur des fibres, teneur en cendre) sont stabilisées pour éviter les variations de qualité au niveau de la machine à papier.
- *Raffinage* : la stratégie de contrôle du raffinage exige au moins des mesures minutieuses du débit et de la consistance. Pour optimiser le résultat du contrôle du raffinage, on a besoin de mesures telles que l'indice d'égouttage/l'aptitude à l'égouttage et la longueur des fibres.
- *Gestion de la partie humide* : les informations sur la caisse de tête et les niveaux de teneur en solides totaux et en charges de l'eau blanche renseignent à l'avance sur les problèmes potentiels liés aux produits chimiques dans la partie humide. Lorsque l'objectif est de retenir une quantité uniforme de particules fines et de charges dans la feuille de papier, un contrôle automatique des agents de rétention repose sur des mesures directes de la teneur en fibres et en charges dans le

circuit court. Le recours au contrôle de la consistance de l'eau blanche a eu pour résultat une amélioration spectaculaire de la stabilité des opérations dans la partie humide et une réduction des ruptures à ce niveau. En plus des variations de la consistance dans le circuit court, les variations des teneurs en matières dissoutes et colloïdales en arrivée sont l'une des principales sources de problèmes concernant les caractéristiques de fonctionnement et l'optimisation de la machine à papier. La demande cationique est mesurée à partir de l'eau blanche et elle sert à contrôler les substances indésirables. Alors que le contrôle de la rétention agit via le contrôle de la floculation, le contrôle de la charge permet une stabilisation grâce au contrôle de la coagulation.

### **Applicabilité**

Les techniques de mesurage et de contrôle susmentionnées sont applicables dans toutes les usines, grandes ou petites. Elles apportent les avantages les plus importants pour les produits finis "haut de gamme".

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Il est difficile de quantifier les avantages obtenus en matière d'environnement car ils dépendent des caractéristiques de l'installation, du degré de productivité avant les améliorations, de(s) (du) type(s) de papier fabriqué etc. La gestion de l'eau est plus facile, la charge de polluants dans le traitement des eaux usées ainsi que les pertes de matières (déchets) sont réduites.

### **Interactions entre les milieux**

Aucune interaction négative connue. L'accroissement de la productivité et la réduction des arrêts ou des pertes grâce à l'amélioration de l'automatisation et du contrôle des processus n'ont que des effets positifs sur l'environnement. Ces mesures se traduisent par une plus grande stabilité des circuits d'eau et une réduction de la consommation d'énergie et des déchets.

### **Expérience opérationnelle**

Les mesurages et l'automatisation sont appliqués sans problèmes dans de nombreuses usines existantes pour améliorer le rendement et ils font naturellement partie des usines nouvelles, avec des améliorations permanentes.

### **Aspects économiques**

Du point de vue économique, il s'agit de rentabiliser davantage la fabrication du papier. En supprimant un arrêt de 7 minutes par semaine, on bénéficie de 0,5 % en plus de temps de bon fonctionnement, soit 1,5 tonne de plus par jour pour une usine produisant 300 tonnes par jour. Si le coût net des pertes de production est de 500 \$US par tonne, l'économie qui résulte de l'amélioration de la stabilité dépasserait 260 000 \$US par an. Par ailleurs, on économise l'énergie qui est gaspillée pendant l'immobilisation, par exemple pour chauffer les cylindres et pour le pompage.

Un niveau élevé et stable de rétention signifie également des économies au niveau de l'installation de traitement des effluents : il est inutile de la surdimensionner en prévision des pointes lorsque la charge est plus uniforme grâce à un contrôle plus uniforme de la rétention.

Mais, en regard de ces économies, il faut tenir compte des investissements et des dépenses de fonctionnement liés aux équipements. En règle générale, les dispositifs de mesurage et de contrôle mis en place sont amortis en moins d'une année. Après avoir reçu une formation appropriée, le personnel opérationnel de l'usine est à même d'assurer le fonctionnement de l'unité. Les spécialistes en électricité et en instrumentation peuvent effectuer les travaux de maintenance nécessaires lorsque cela s'impose.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Le principe du mesurage et de l'automatisation répond avant tout à des motifs économiques et au souci d'améliorer la qualité du papier. Il aboutit à des économies de temps dans la production du papier (en autorisant par exemple des changements de qualité, des démarrages et une récupération après rupture de la feuille plus rapides), à un abaissement des coûts de production (grâce par exemple à l'optimisation de la composition en pâte, à un usage efficace des additifs, à une réduction de la consommation d'énergie) et à une qualité optimisée (grâce par exemple à une diminution des variations entre sens "travers" et sens "machine", un égouttage, une formation etc. optimisés). Pour optimiser l'égouttage pour une machine donnée, il faut adapter correctement la préparation de la pâte et la gestion de la partie humide (par exemple contrôle du raffineur et contrôle des produits chimiques). Il est en outre plus facile de fabriquer un éventail plus large de types de papiers.

### **Installations de référence**

De nombreuses usines en Europe.

### **Bibliographie**

Nokelainen, 1995 ; Nokelainen, 1997

## **6.3.9 Mise en place d'un bassin tampon et d'un traitement primaire des effluents**

### **Description de la technique**

La plupart des papeteries considèrent cette mesure non pas comme une technique isolée mais comme un prétraitement, habituellement réalisé en amont du traitement biologique pour faciliter et améliorer cette opération. Dans certains cas particuliers, lorsque la charge organique est trop faible pour un traitement biologique efficace, ce prétraitement peut constituer le seul traitement des effluents.

Les méthodes suivantes sont les plus importantes :

- tamisage grossier pour éliminer les objets les plus gros et le sable, qui risquent d'endommager l'équipement en aval.
- il faudra peut-être prévoir une régulation et un captage des liquides répandus pour les effluents subissant d'importantes variations au niveau du débit ou de la teneur en polluants. Ces variations risquent de perturber le bon fonctionnement des processus ultérieurs de traitement, en particulier les processus biologiques. Pour dimensionner correctement le bassin tampon, on peut prendre comme valeur indicative une durée de rétention de 4 heures. Cela étant, le temps de rétention correct du bassin tampon dépend des variations de qualité de l'eau.
- traitement primaire ou mécanique par gravitation pour éliminer les MES, tels que fibres, particules d'écorce et particules inorganiques (charges, particules de chaux etc.). Les particules doivent avoir une certaine taille minimum. Les particules les plus fines se déposent trop lentement, voire pas du tout, pour une application pratique. La sédimentation est le premier type de traitement à mettre en œuvre dans une papeterie, et/ou comme prétraitement en amont d'un processus biologique par exemple. La flottation peut également être utilisée pour la clarification primaire. Certaines usines de petite taille ont recours au traitement primaire par filtration comme seul et unique traitement des effluents.

Les MES qui se déposent au fond du décanteur primaire forment une boue qui doit être éliminée, par pompage, dans des décanteurs circulaires en combinaison avec un raclage du fond. Cette boue est habituellement pauvre en solides secs (SS), environ 1 à 2 %, et doit subir une déshydratation avant sa mise en décharge. Dans certaines usines, la boue du décanteur primaire est réutilisée dans le processus de fabrication, ce qui implique qu'elle doit posséder des propriétés adéquates.

### **Applicabilité et caractérisation de la technique**

Il s'agit d'un traitement final avant rejet. Cette technique convient pour les papeteries aussi bien nouvelles qu'existantes. Il serait souhaitable de prévoir certaines mesures de réduction de la consommation d'eau de façon à réduire la charge hydraulique et, partant, les investissements liés aux décanteurs.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Le résultat du traitement primaire dépend des propriétés de l'effluent mais aussi du taux de récupération interne des fibres dans la papeterie. Pour les matières en suspension (MES), le taux d'élimination peut être compris dans une fourchette de 60 à 90 %. Pour les solides sédimentables, le taux d'élimination sera d'habitude plus élevé, de l'ordre de 90 à 95 %.

Les valeurs de MES après la sédimentation primaire peuvent être comprises entre 30 et 200 mg/m<sup>3</sup>.

### **Surveillance des émissions**

La surveillance est traitée dans un chapitre séparé.

### **Interactions entre les milieux**

L'installation de traitement des effluents produit une boue qui doit encore être traitée après avoir été déshydratée. Il existe de nombreuses solutions possibles de traitement ultérieur de cette boue, qui sont dans une certaine mesure spécifiques au site (voir la section 6.3.14). L'une de ces solutions est l'incinération, qui se traduit dans certains cas par une valeur calorifique positive nette.

### **Expériences opérationnelles**

Les décanteurs primaires du type à gravité sont utilisés depuis de nombreuses années dans tous les types de papeteries et cartonneries avec de bons résultats.

### **Aspects économiques**

Le montant de l'investissement pour le traitement primaire dans une nouvelle usine de papier intégrée d'une capacité de 1 000 t/jour avec dispositif de pompage, décanteur primaire, systèmes de déshydratation de la boue et de dosage des produits chimiques, s'élève entre 3,5 et 4,5 MEuros. Les dépenses de fonctionnement dépendent beaucoup de la consommation de produits chimiques nécessaires et sont de l'ordre de 0,4 à 0,6 MEuros/an.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Le traitement primaire est utilisé pour réduire la charge de MES dans le milieu récepteur ou le traitement biologique.

### **Installations de référence**

De nombreuses papeteries en Europe pour tous les types d'effluents.

## **6.3.10 Traitement biologique ou secondaire - Traitements aérobies**

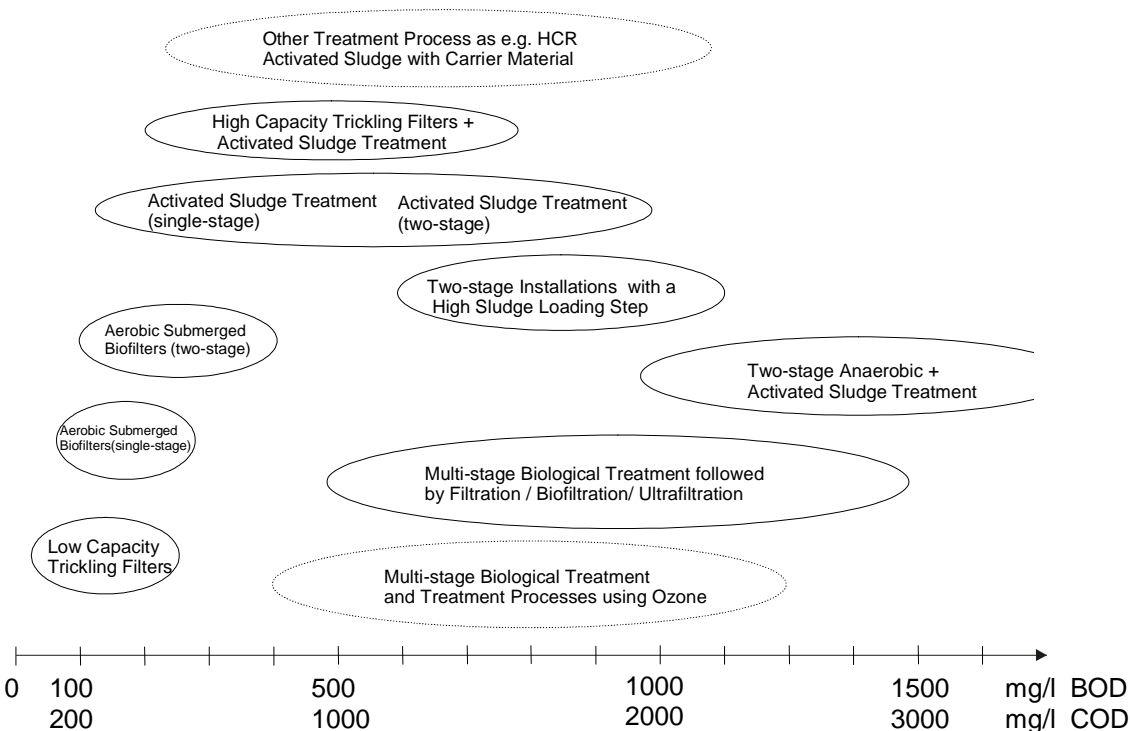
### **Description de la technique**

Pour le traitement secondaire, l'alternative de base consiste à choisir entre les systèmes biologiques aérobies ou anaérobies/aérobies. Cependant, le traitement anaérobie est limité aux effluents qui contiennent des charges importantes de substances organiques biodégradables (indication empirique :

DCO  $\geq 2\,000$  mg/l) pour permettre la méthanisation. On y a donc principalement recours dans les usines traitant des fibres recyclées (voir section 5.3.5) et plus particulièrement dans les papeteries fabriquant du carton ou du carton ondulé standard.

Il existe toute une gamme de traitements aérobies conçus pour les effluents de papeteries. On utilise notamment les systèmes à boues activées, les biofiltres aérobies immergés, les lits bactériens mis en œuvre en une ou en plusieurs étape(s) ou en combinaison avec d'autres traitements, les filtres biologiques rotatifs.

La figure 6.14 illustre les principales techniques de traitement biologique externe des effluents des papeteries et les fourchettes de concentrations des applications possibles.



**Figure 6.14 - Principaux procédés de traitement biologique des effluents des papeteries, et plages d'application possibles.**

Les valeurs de concentration s'appliquent aux concentrations en entrée. [Selon Demel *in* PTS, 1998]; les zones en pointillés concernent les techniques de traitement les plus récentes moins répandues en Europe. Le traitement à l'ozone est toujours considéré comme une technique émergente (voir 5.5.1). Un système à boues activées en deux étages comprend deux bassins d'aération distincts avec deux circuits séparés de recyclage des boues en excès.

C'est un bon principe général que de prévoir des bassins tampons pour protéger l'installation de traitement contre des variations importantes (pointes) du débit ou des charges organiques qui pourraient, dans le cas contraire, faire baisser les performances de l'installation. Ces réservoirs tampons permettent également d'optimiser la taille de l'installation compte tenu du débit moyen.

Le tableau 6.22 donne un aperçu général des systèmes de traitement biologique les plus importants, de leurs plages d'application possibles, de certains de leurs avantages et inconvénients, ainsi que quelques observations supplémentaires.

Processus	Application (concentration DBO en entrée)	Avantages	Inconvénients	Observations
Biofiltres aérobies immergés (1 étape)	20 - 100 mg/l	Procédé sûr ; biomasse immobilisée ; faible concentration de SS dans l'effluent	Sensible à une concentration élevée de SS	
Biofiltres aérobies immergés (2 étapes)	100 à 300 mg/l (ou plus)			
Lit bactérien faible charge	< 100 mg/l	Construction simple; faible consommation d'énergie; refroidissement de l'eau traitée	Dans certains cas, risques d'encrassement ; mauvaise odeur	
Lit bactérien forte charge + boues activées	200 - 800 mg/l			
Boues activées (un seul étage)	100 - 1000 mg/l	Processus traditionnel avec un certain nombre de variantes, parfaitement éprouvé	Consommation d'énergie, boue excédentaire, problèmes liés aux boues filamenteuses ou flottantes	
Boues activées (deux étages)				Importance de la séparation des circuits de boues
Boues activées (2 étages, avec un étage à boues à charge élevée)	600 - 1200 mg/l	Boues activées présentant de meilleures propriétés	Consommation d'énergie, boue excédentaire	
Réacteurs à biofilm à lit mobile (biomasse fixe sur un matériau support mobile)	300 -1500 mg/l	Biomasse fixe; volume réduit des réacteurs; pas de boues en retour; moins sensible aux pointes de charge	Boue en excès	Par exemple méthode Kaldness; autorise grand volume de charge
Systèmes de mise en contact biologique rotatifs (RBC); système de biofilm fixe/biodisques	S'utilise comme étape d'élimination ou pour un traitement avancé	Efficace par rapport à son coût pour les petites usines; faible demande d'énergie (< 0,3 kWh/kg DBO éliminée)	De nombreux pays européens ont moins d'expérience avec les RBC	Appliqué avec succès aux USA et en Italie dans l'industrie papetière.
Boues activées en réacteur discontinu séquentiel (SBR)	100 - 1000 mg/l	Plus de souplesse dans l'exploitation du système	Plus d'efforts pour contrôler le processus; processus discontinu	

**Tableau 6.22 - Traitement biologique des effluents des papeteries; étude  
[Selon PTS, 1998, modifié par EIPPCB]**

Le traitement biologique peut également être combiné avec un traitement avancé tel que le traitement à l'ozone ou la filtration sur membrane s'il faut satisfaire à des exigences plus rigoureuses. Deux systèmes combinant traitement biologique avec ozonation et ultrafiltration seront mis en service en Allemagne, en 1999, pour réduire encore plus la charge DCO dans le milieu récepteur (voir section 5.5.1).

Pour plus de détails sur le traitement des effluents, se reporter aux deux exemples donnés ci-après et aux manuels correspondants sur l'ingénierie des effluents (Par exemple Metcalf&Eddy, 1991).

### **Applicabilité et caractérisation**

Traitement final avant rejet. Cette méthode s'applique aux usines aussi bien existantes que nouvelles. Dans certains cas particuliers, lorsque la charge organique est trop faible pour un traitement biologique efficace, les usines à base de fibres vierges peuvent se contenter d'appliquer le seul traitement primaire pour satisfaire aux exigences requises (se reporter à la section 6.3.9).



### Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement

Avec le traitement biologique des effluents des papeteries, on peut d'habitude atteindre facilement les niveaux de réduction suivants de charges polluantes :

- boues activées : 85 à 96 % pour la DBO<sub>5</sub>, 75 à 90 % pour la DCO.
- On atteint ces niveaux d'élimination grâce à des systèmes à boues activées à faible charge avec une charge massique comprise entre 0,1 et 0,2 kg DBO/kg MVS x jour (MVS= Matières Volatiles en Suspension). Dans un petit nombre d'applications pour des installations à charges élevées, il est fait état d'une bonne efficacité de l'élimination.
- Lit bactérien : 60 à 70 % pour la DBO<sub>5</sub>, 50 à 60 % pour la DCO
  - réacteurs à biofilm à lit mobile / réacteurs à milieu support en suspension : 85 à 95+ % pour la DBO<sub>5</sub>, 80 à 90 % pour la DCO
  - biofiltre immergé : 60 à 80 % pour la DBO<sub>5</sub>, 50 à 60 % pour la DCO.

Il convient de noter que l'efficacité de l'élimination dépend en partie de la concentration en polluants à traiter. En revanche, les concentrations de substances organiques dans les effluents sont fonction des matières premières utilisées, des types de papiers produits, de la consommation spécifique d'eau et des mesures internes mises en œuvre dans le processus.

Après le traitement, les effluents peuvent atteindre des valeurs de DCO comprises entre 50 et 150 mg/l. Des niveaux de DBO<sub>5</sub> inférieurs à 25 mg/l sont habituellement possibles et peuvent descendre jusqu'à 5 mg/l. Le rapport DCO/DBO après traitement biologique est généralement compris entre 4 et 7 ou 8 (jusqu'à 10). La charge rejetée dans le milieu récepteur dépend principalement du type de papier fabriqué, des propriétés requises du produit, du débit d'eau par tonne de papier, des additifs chimiques mis en œuvre et de la conception et du fonctionnement de l'installation de traitement. Une condition sine qua non pour un bon fonctionnement des systèmes biologiques est une conception et une maintenance adaptées de l'installation de traitement.

### Surveillance des émissions

Habituellement, on contrôle les concentrations en DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, azote (N) et phosphore (P) et AOX. Il est habituellement recommandé de procéder à des mesures supplémentaires pour contrôler le système biologique, telles que la teneur en O<sub>2</sub>, l'indice de Mohlmann (SVI), le débit et, de temps à autre, à un examen microscopique des boues activées. Ce dernier prend de plus en plus d'importance.

### Interactions entre les milieux

Le traitement aérobie des effluents produit de la boue en excès, qui doit être déshydratée avant de subir un traitement ultérieur. La valeur type pour les installations à boues activées est de l'ordre de 0,3 à 0,4 kg de boue excédentaire/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée (exprimé en MS) qui est générée pendant le traitement. On observe aussi quelquefois des valeurs légèrement supérieures. Le traitement dans des biofiltres immergés génère moins de boues en excès : environ 0,2 kg de boue excédentaire/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée (exprimé en MS). Les installations à charges élevées génèrent une plus grande quantité de boues excédentaires. On a besoin d'énergie pour l'aération de la biomasse (boues activées), et pour les pompes. La consommation spécifique d'énergie nécessaire pour la dégradation/élimination de 1 kg de DBO<sub>5</sub> est de 0,3 à 3 kWh. Elle dépend avant tout de la quantité spécifique d'oxygène requise pour obtenir la dégradation des substances organiques, et de la charge du système à boues activées. Des systèmes à boues activées à charges élevées ont besoin d'environ 0,3 à 0,5 kg de O<sub>2</sub>/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée. Des systèmes à boues activées à charges faibles ont besoin de 1,5 à 2 kg de O<sub>2</sub>/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée. Il s'ensuit que le traitement par boues activées à charges élevées consomme environ 0,5 kWh/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée et les boues activées à faibles charges environ 1,5 à 2 kWh/kg de DBO<sub>5</sub> éliminée. Si le système à faibles charges est bien conçu, on peut atteindre une valeur < 1 kWh/kg DBO<sub>5</sub> éliminée [Möbius, 1997]. Cette valeur peut aussi servir à comparer les dépenses de fonctionnement prévues pour divers systèmes de traitement des effluents.

En général, on ajoute des matières nutritives dans l'installation pour maintenir l'équilibre C : P : N qui est d'une importance capitale pour la croissance de la biomasse active. Le phosphore est généralement ajouté sous forme d'acide phosphorique et l'azote sous forme d'urée. Une partie des substances nutritives ajoutées est normalement rejetée avec l'effluent traité. Si le système est correctement optimisé, on pourra atteindre un rejet de substances nutritives de 1 mg P total/l et de moins de 10 mg d'azote (N) inorganique/l (en tant que valeurs journalières moyennes).

Pendant la période d'été notamment, les installations de traitement des effluents peuvent être la source de mauvaises odeurs. Mais si ce traitement est bien conçu et bien contrôlé, on peut éviter ces nuisances olfactives.

### **Expériences opérationnelles**

Le traitement biologique aérobie des effluents provenant des papeteries est utilisé avec succès depuis plus de 20 ans.

Il convient de contrôler la tendance à la prolifération des boues dans le traitement aux boues activées, grâce à des mesures appropriées. Cette prolifération apparaît généralement en cas de perturbation dans le système, due par exemple à des variations dans la charge de polluants, à des variations de l'oxygène dissous dans le bassin de boues activées, au manque ou à l'excès d'azote ou de phosphore, ou à une variation dans la quantité de boue recyclée renvoyée dans le bassin d'aération. Une approche progressive permettra peut-être de déceler son origine. Cette approche peut consister par exemple à contrôler la conception de l'installation de traitement, à étudier au microscope la boue activée, à surveiller les effluents en entrée. En général, cette surveillance est nécessaire pour pouvoir se faire une idée des causes possibles des problèmes. Dans certains cas, il est apparu que des acides comme l'acide acétique étaient la principale cause de la croissance observée de bactéries filamenteuses qui sont responsables de cette prolifération des boues. Ces bactéries filamenteuses peuvent également apparaître lorsque du soufre est présent dans les effluents.

Pour des types de papiers ou de cartons moins critiques (tels les papiers couverture et les cartons), on peut également choisir de réutiliser (partiellement) les effluents traités provenant de l'installation de traitement biologique des effluents, après un traitement ultérieur par flottation ou filtration sur sable.

### **Aspects économiques**

Les chiffres suivants relatifs aux investissements pour un traitement biologique ne peuvent donner qu'un aperçu sommaire de l'ampleur des coûts à prévoir. Lorsqu'on compare des montants d'investissements basés sur la charge polluante traitée (par exemple kg DCO), il ne faut pas oublier que les installations de traitement sont souvent surdimensionnées, pour tenir compte d'une éventuelle augmentation future de la production.

On a néanmoins récapitulé quelques exemples de systèmes de traitement dans des papeteries françaises :

- boue activée pour une usine de papier d'impression (production : 200 t/j de papier) : 2 MEuros
- boue activée pour une usine de papier d'impression (production : 300 t/j de papier) : 3 MEuros
- biofiltration pour une usine de papiers spéciaux ((production : 130 t/j de papier) : 1,5 MEuros
- boue activée pour une usine de papier d'impression (production : 260 t/j de papier, correspondant à 2,5 t DCO/jour) : 2 MEuros
- boue activée pour une usine de papier pour ondulé (production : 100 t/j de papier : 1,5 MEuros [toutes ces données proviennent de CTP Grenoble].

On peut résumer ces investissements comme suit :

Traitement par des boues activées : 300 à 600 Euros/kg DCO x jour ; biofiltration : 500 Euros/kg DCO x jour. La fourchette des investissements dépend avant tout de la quantité de charge polluante à traiter quotidiennement.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

De nombreux États membres ont fixé des exigences concernant les effluents des papeteries, qui considèrent généralement le traitement biologique comme MTD sur le plan sectoriel. Par conséquent, de nombreuses papeteries en Europe ont dû mettre en place des installations de traitement biologique des effluents ou d'autres systèmes de traitement ayant une efficacité comparable.

### **Installations de référence**

De nombreuses installations de traitement aérobie des effluents sont en service dans les papeteries européennes.

### **Bibliographie**

Möbius, 1997b, [Données sur les coûts fournies par CTP, Grenoble], PTS, 1998

## **6.3.11 Précipitation chimique des effluents de papeteries**

Cette technique est considérée comme une technique alternative ou complémentaire à la section 6.3.10 "Traitement biologique aérobie" des effluents de papeteries. La précipitation chimique pourrait être utilisée en complément du traitement biologique, soit avant soit après celui-ci.

### **Description de la technique**

Dans certains cas, la précipitation chimique en tant que traitement secondaire complet des effluents non traités des papeteries peut être une solution pour réduire les émissions dans l'eau. Elle comporte l'addition de produits chimiques pour modifier l'état physique des solides dissous ou en suspension et faciliter leur élimination par sédimentation ou flottation. On a utilisé différentes substances comme précipitants. Les plus courantes sont les sels d'aluminium [ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  et  $\text{Al}_n(\text{OH}_m\text{Cl}_{3n-m})$ ], le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ), le sulfate ferrique ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), le sulfate ferreux ( $\text{FeSO}_4$ ) et la chaux ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Pour optimiser la floculation, on utilise des polyélectrolytes pendant la phase de mélange.

Les matières en suspension ou colloïdales sont séparées par précipitation, suivie d'une filtration ou d'une clarification comprenant l'élimination de l'azote et du phosphore. La précipitation chimique permet d'obtenir un effluent clair, pratiquement exempt de matières en suspension ou à l'état colloïdal. Ce traitement s'applique seul ou en combinaison avec le traitement biologique. On a recours à ce dernier lorsqu'on est censé obtenir de faibles émissions de substances organiques (mesurées en tant que DCO ou DBO). La précipitation chimique a un rôle à jouer en particulier lorsque l'azote, le phosphore et les MES sont une source d'inquiétude pour le traitement biologique quand c'est l'appauvrissement en oxygène et non l'eutrophisation qui pose un problème.

### **Applicabilité et caractérisation**

S'applique aux usines tant nouvelles qu'existantes. Traitement final avant rejet. Plus spécialement destinée aux petites usines.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

La précipitation chimique en tant que traitement secondaire complet des effluents des papeteries sert principalement à réduire les matières nutritives, en particulier le phosphore, les MES et une partie des matières organiques (substances particulières et composés colloïdaux). Le tableau 6.23 donne les résultats d'installations suédoises utilisant la précipitation chimique comme seul traitement des effluents de papeteries non intégrées. Quelquefois, la précipitation chimique est également mise en œuvre en association avec un traitement biologique.

Usines	DCO avant tout traitement (kg/t)	DCO après traitement kg/t mg/l	MES	Phosphore (P) total	Azote (N) total
Usine de Klippans, papier fin	non disponible	6.4 120	0.7 13	2 0.04	200 3.7
Hafreström, papier fin	non disponible	4.3 270	0.75 47	5 0.31	70 4.4
Silverdalen, papier fin couché <sup>2)</sup>	non disponible	0.7 100	0.11 16	1 0.14	50 7.1
Grycksbo, papier fin couché <sup>1)</sup>	non disponible	1.0 100	0.27 27	1 0.10	40 4.0
Skapafors, papier à usage sanitaire et domestique	non disponible	3.7 110	0.48 15	1 0.30	430 1.3
Nättraby, papier à usage sanitaire et domestique <sup>4)</sup>	8 <sup>3)</sup>	2.5 170	0.16 11	2 0.13	30 2.0
Langasjönas, papier à usage sanitaire et domestique	12 <sup>3)</sup>	3.7 190	0.18 9	2 0.10	120 6.0
Paulström, papier à usage sanitaire et domestique	5 <sup>3)</sup>	1.4 140	0.07 7	1 0.10	10 1.0
Notes :					
1 Grycksbo applique la précipitation chimique + le traitement biologique dans un système à lit mobile					
2 L'usine de Silverdalen possède un bassin de décantation avec aération avant la précipitation chimique					
3 La DCO avant tout traitement inclut également la DCO des matières en suspension.					
4 L'usine de Nättraby ne possède qu'un système de floculation et non une véritable précipitation chimique					

**Tableau 6.23 - Résultats de la précipitation chimique en tant que traitement secondaire des effluents des papeteries. Toutes les usines appliquent la précipitation chimique, certaines ont un traitement supplémentaire [Rapport SEPA 4924 et contacts personnels]; valeurs annuelles moyennes.**

On obtient des réductions de l'ordre de 97 à 99 % pour les MES et 70 % pour la DCO par rapport à l'effluent brut (avant tout traitement c'est-à-dire avant le décanteur primaire). La réduction de la DCO résulte principalement de la réduction des MES. La partie soluble de la DCO (et de la DBO) n'est que peu réduite (environ 10 %). La réduction des composés solubles de la DCO et de la DBO peut être obtenue via le traitement biologique (voir section 6.3.10).

Le rapport DCO/DBO, de l'ordre de 3 après la précipitation chimique, montre qu'une partie substantielle de la DCO éliminée est constituée de matières moins dégradables, et partant potentiellement plus nocives. Il indique aussi que ces effluents sont adaptés pour subir un traitement biologique ultérieur.

### Interactions entre les milieux

La précipitation des MES, des substances nutritives et, dans une moindre mesure, des matières organiques à l'aide de produits chimiques inorganiques produit une importante quantité de boues, qui se prêtent difficilement à la déshydratation et sont souvent enfouies dans des décharges. Cette production de boues est de l'ordre de 3 à 6 kg/m<sup>3</sup>, y compris 60 à 80 % d'eau (après pressage ou centrifugation, la teneur en substance sèche est d'environ 20 à 40 %).

Le coût des produits chimiques est considérable et la purification est sélective, les substances neutres ne peuvent pas être captées aussi efficacement que les ions dissociés ou les matières colloïdales ou particulaires. Le recours à des précipitants a pour résultat un accroissement des sels (chlorures ou sulfates) dans l'effluent. La consommation de sels métalliques utilisés comme précipitants est généralement comprise entre 200 à 400 g/m<sup>3</sup>.\*\*

Le traitement consomme un peu d'énergie pour les pompes et les entraînements.

### Expériences opérationnelles

On n'a pas connaissance de problèmes spécifiques liés à la mise en œuvre de cette technique.

### **Aspects économiques**

Le montant de l'investissement pour une installation de traitement physico-chimique s'élève à 1 MEuros pour une usine de papier d'impression d'une capacité de 100 t/jour. L'investissement pour la précipitation chimique comprend le bassin d'homogénéisation, les matériels de dissolution et de dosage des produits chimiques, l'unité de précipitation et de floculation et le décanteur. On ne dispose d'aucune donnée sur les dépenses de fonctionnement.

### **Facteurs motivant la mise en œuvre de cette technique**

D'habitude, on a recours à la précipitation chimique des effluents provenant de papeteries non intégrées lorsqu'il faut éliminer les matières nutritives, les MES et les fractions non solubles des matières organiques présentes dans l'effluent.

### **Installations de référence**

Quelques usines de petite dimension au Portugal et quelques papeteries non intégrées en Suède.

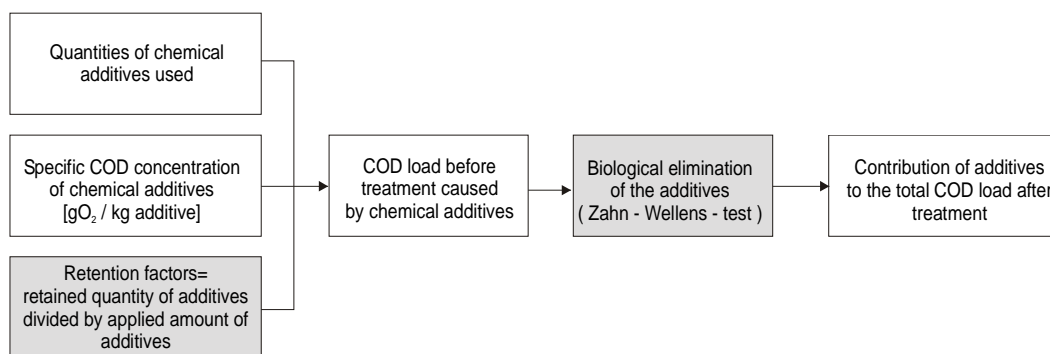
## **6.3.12 Remplacement de substances potentiellement nocives par des substances moins dangereuses**

### **Description de la technique**

Dans l'industrie papetière, l'eau est le milieu où peut se déverser la majeure partie des substances rejetées car, habituellement, les additifs sont ajoutés dans la suspension aqueuse fibres-charges et sont ensuite retenus dans le papier ou transportés dans l'eau blanche. L'atmosphère joue un rôle moins important et le sol peut être contaminé via l'évacuation des déchets (compostage, utilisation de boues de papeteries dans l'agriculture, enfouissement).

Le rejet d'additifs dans les cours d'eau est directement lié à la rétention des produits chimiques dans le produit papetier, à la dégradabilité des substances et à la rétention dans l'installation de traitement des effluents. Plus la rétention est élevée, moins il y a de rejets d'additifs dans l'effluent et moins ils sont susceptibles d'avoir un impact potentiel sur l'environnement. Dans le cas des auxiliaires pour les produits, il est souhaitable de rechercher le degré maximum de rétention d'un point de vue économique (pertes d'additifs) et écologique. Étant donné que ces auxiliaires sont conçus pour conférer au papier des caractéristiques particulières, pour des raisons de coûts et d'efficacité, ils possèdent habituellement un niveau élevé de rétention dans les fibres cellulosiques. Les produits auxiliaires sont généralement moins retenus car ils produisent leur effet dans les circuits d'eau des papeteries. Un pourcentage élevé est rejeté avec les effluents. En outre, il convient de noter que les cassés de fabrication sont normalement recyclés dans la pâte, si bien que l'on retrouve une partie des additifs dans le circuit d'eau. Il importe donc de connaître le niveau de rétention des additifs. D'autre part, la dégradabilité d'une substance est un facteur capital pour éviter le risque d'accumulation d'une substance donnée dans l'environnement et les organismes.

Certaines autorités chargées de la gestion des ressources aquatiques utilisent les deux, les facteurs de rétention et la biodégradabilité des substances, pour évaluer et minimiser le rôle des additifs dans la charge DCO après traitement. En Allemagne par exemple, la mise en œuvre de la méthode illustrée dans la figure 6.15 a eu comme résultat une réduction de la consommation et/ou le remplacement de certains additifs qui représentaient une part importante de la charge DCO après traitement (principe de la substitution). Qui plus est, l'usine devait présenter un rapport indiquant pour quelles raisons et de quelle façon elle avait utilisé différents additifs.

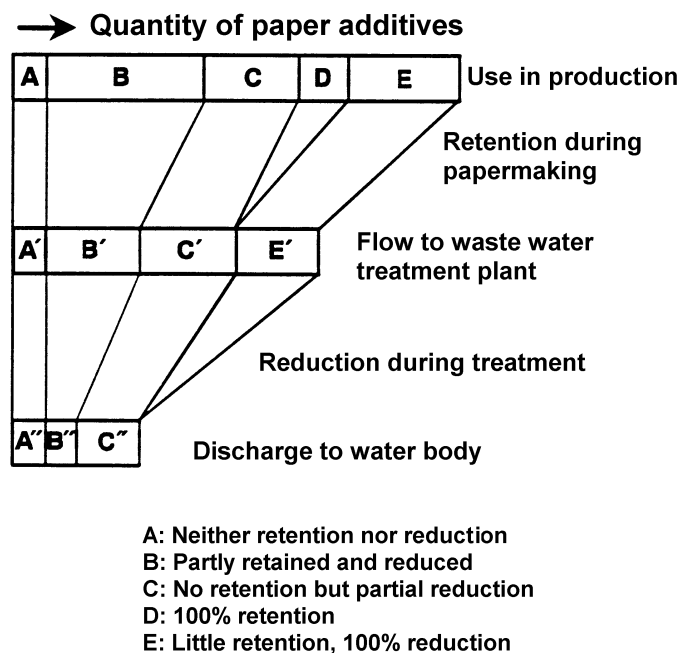


**Figure 6.15 - Approche pragmatique pour évaluer la quantité d'additifs difficilement biodégradables présents dans les effluents de papeteries après traitement. (IFP, 1997)**

A côté d'une approche générale visant à réduire les rejets d'additifs chimiques dans les cours d'eau, il pourrait y avoir quelques candidats à la méthode substitution/remplacement du point de vue environnemental. Cela pourrait être plus particulièrement le cas lorsque les produits chimiques sont considérés comme nocifs et qu'il existe des produits de substitution moins dangereux remplissant le même rôle. Chaque fois que cela est possible, il faudra donner la préférence aux produits chimiques biodégradables, non toxiques et sans risque d'accumulation. Il convient d'éviter les produits chimiques suspectés de présenter un risque pour l'homme ou l'environnement, à savoir ceux qui ont des effets de déplétion sur l'ozone, les substances suspectées de provoquer des troubles endocriniens, les substances CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques). Les composés organiques tels que le benzène (cancérogène), le toluène (toxique) et le xylène (toxique) provenant de solvants et de détergents éventuellement utilisés pour le nettoyage des toiles, feutres et machines, devraient être remplacés par des solvants moins toxiques. Il existe des solutions de remplacement (par exemple des esters) qui sont aussi partiellement biodégradables.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Un résultat possible d'une telle approche pour surveiller les additifs pourrait être similaire à celui présenté dans la figure 6.16. Certaines substances ne sont ni retenues ni dégradées biologiquement (substance A). Dans ce cas, les additifs utilisés se retrouvent en totalité dans le milieu récepteur. D'autres sont partiellement retenues et partiellement éliminées dans l'installation de traitement des effluents (substance B), d'autres encore sont retenues à près de 100 pour cent et n'arrivent pas jusqu'à l'installation de traitement. On peut postuler que la plupart des additifs sont à la fois partiellement retenus et dans une certaine mesure éliminés au niveau de l'installation de traitement des effluents. Les auxiliaires pour le process sont peu retenus dans les fibres cellulosiques et l'on peut donc s'attendre à les retrouver dans effluents.



**Figure 6.16 - Représentation schématique du parcours des additifs chimiques dans la fabrication du papier, y compris le traitement externe [IFP, 1997]**

### Surveillance des émissions

Les renseignements nécessaires devraient normalement être fournis par le fournisseur de ces substances.

### Interactions entre les milieux

La réduction des additifs nocifs dans la fabrication du papier se traduira par une diminution de l'impact environnemental. Elle peut aussi se révéler avantageuse sous l'angle de la gestion du cycle de vie. En utilisant des produits sans danger pour l'environnement, on peut empêcher que des substances nocives ne parviennent jusque dans le produit, qui à son tour peut être utilisé comme matière première (fibres de récupération).

### Données opérationnelles

Pour les additifs chimiques et agents auxiliaires, on déplore encore l'absence d'un système d'information "transparent" dans lequel fabricants, importateurs et utilisateurs de produits chimiques procéderaient à des "auto-évaluations" des produits chimiques pour la période de leur cycle de vie dont ils sont responsables. Les données pertinentes seraient alors communiquées de manière à éviter de refaire le travail. Certains pays apportent une aide et contrôlent les évaluations des sociétés sur les produits chimiques, d'autres demandent aussi aux sociétés de faire plus pour améliorer "l'éco-rentabilité" de la fabrication des produits chimiques - en utilisant moins de ressources et en réduisant les émissions par unité de produit. On trouvera dans [EurEco, 1997] un aperçu de l'évolution et de l'état actuel des programmes choisis d'évaluation des risques que présentent certaines substances pour l'environnement, en particulier l'environnement aquatique.

### Aspects économiques

Pas de données disponibles.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Certains pouvoirs publics chargés de la gestion des ressources hydrauliques fixent des exigences minimisant la contribution des additifs à la charge DCO après traitement. On trouve également des exigences concernant la réduction des rejets de biocides, Il convient de favoriser, dans la mesure du possible, les produits chimiques biodégradables, non toxiques et sans accumulation biologique. On évitera autant que possible les produits chimiques susceptibles de présenter un risque pour l'homme ou l'environnement, notamment ceux qui ont des effets destructeurs sur la couche d'ozone, les substances suspectées de provoquer des troubles endocriniens, les substances CMR (carcinogènes, mutagènes, reprotoxiques).

### **Installations de référence**

Un nombre restreint d'installations en Europe.

### **Bibliographie**

IFP, 1997, Braunsprenger, 1996, EurEco, 1997

## **6.3.13 Prétraitement des boues (déshydratation) avant évacuation finale ou incinération**

### **Description de la technique**

Dans les installations de traitement des effluents, d'importantes quantités de boues sont produites lors du traitement primaire, dans les installations de traitement biologique à boues activées et les installations de floculation chimique, y compris le traitement des saucés de couchage. Les lagunes aérées ainsi que les installations anaérobies produisent moins de boues.

Le traitement des boues inclut les principales étapes suivantes :

- réutilisation des boues (avec des fibres) du traitement primaire. Cela est très souvent le cas.
- épaissement et déshydratation des boues.
- élimination finale des boues.

La réutilisation des boues primaires est pratiquée lorsque cela est acceptable du point de vue des exigences imposées au produit etc. Toutefois, la récupération interne des fibres est souvent synonyme de faibles rejets de fibres et de propriétés médiocres de la boue, ce qui empêche alors sa réutilisation.

Les boues biologiques et chimiques présentent de très mauvaises qualités de déshydratation et, normalement, elles doivent être mélangées avec des boues primaires pour obtenir des conditions de déshydratation acceptables. Une récupération poussée des boues entraînera des difficultés au niveau de la déshydratation des boues biologiques/chimiques.

L'objet de la déshydratation est d'éliminer autant d'eau que possible des boues, de manière à faciliter l'élimination finale. Il existe pour cette opération différents types de matériels.

En règle générale, les boues biologiques et chimiques doivent être épaissies avant d'être égouttées. Cela signifie une augmentation de la teneur en solides secs (SS) d'environ 1 - 2 % à 3 - 4 %, voire plus. Cet épaissement se fait habituellement dans un épaisseur, qui est un bassin de sédimentation.

Avant déshydratation, la boue doit normalement être conditionnée à l'aide de produits chimiques. En général, il suffit d'un polyélectrolyte. Cela s'applique plus particulièrement aux mélanges de boues avec des boues biologiques et/ou chimiques.



Le matériel de déshydratation comprend les types suivants :

- presses à bande (presses à double toile)
- presses à vis
- centrifugeuses
- filtres-presses

La plupart des nouvelles installations de ces 10 - 15 dernières années sont des presses à bandes, caractérisées par leur fonctionnement fiable et par des valeurs relativement élevées de solides secs, 45 à 50 % pour les boues primaires, et 25 à 40 % pour les boues mixtes primaires/ biologiques (chimiques). Cependant, la tendance récente est à l'utilisation des presses à vis.

Ces presses à vis peuvent s'utiliser de deux façons :

- pour augmenter la teneur en solides secs après la presse à bande; cette augmentation peut atteindre jusqu'à 10 % de solides secs.
- Directement, on peut obtenir une teneur en solides secs supérieure à celle avec la presse à bande.

Depuis quelques années, on observe une tendance en faveur des presses à vis, due à l'intérêt croissant porté à l'incinération des boues, qui demande des valeurs élevées de solides secs.

De nos jours, les centrifugeuses sont presque exclusivement utilisées pour des boues présentant de mauvaises propriétés, telles que les boues chimiques pures ou les boues biologiques. Elles donnent des teneurs en solides secs inférieures à celles des presses à bande ou à vis. Pour cette opération on peut également utiliser des filtres rotatifs à pré-couches, en obtenant des teneurs plus élevées en solides secs. Le filtrat obtenu présente une très faible teneur en matières en suspension, normalement inférieure à 10 mg/l (filtrat ultra clair).

En résumé, il existe des méthodes de déshydratation pour toutes les boues. Elles sont en mesure d'assurer la teneur en solides secs requise pour l'évacuation finale.

### **Applicabilité et caractérisation**

Cette mesure peut être adoptée dans les usines existantes ou nouvelles. Aujourd'hui, il est impossible d'exploiter une usine sans étape de déshydratation des boues, car l'évacuation d'importantes quantités de boues se heurte à des problèmes.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

La déshydratation des boues peut réduire le volume de ces dernières d'un facteur 20.

Les résultats pour l'environnement sont visibles sur le site de la décharge. L'un des effets est la réduction de la pollution de la nappe phréatique.

### **Surveillance des émissions**

La surveillance est traitée dans un chapitre distinct.

### **Interactions entre les milieux**

La boue produite dans l'installation de traitement des effluents après déshydratation peut être incinérée en fournissant, dans certains cas, une valeur calorifique positive nette.

### Expériences opérationnelles

De nombreux types de matériels, depuis les filtres à tambour jusqu'aux presses à vis, ont été utilisés dans toutes sortes d'usines de papier et de carton. Les types actuels de filtres à bande et de presses à vis utilisés pour obtenir une siccité élevée de la boue se sont avérés efficaces dans la plupart des cas. Les filtres rotatifs à pré-couches sont également utilisés dans l'industrie papetière, avec un résultat de 40 à 50 % de solides secs, ainsi qu'un filtrat de qualité supérieure (10 mg MES/l). Pour y parvenir, on accroît la vitesse de rotation pour obtenir un gâteau plus fin.

Cependant, plus la proportion de boues biologiques et plus le taux de siccité recherché sont élevés, plus l'ensemble du système devient sensible aux variations qualitatives et quantitatives ou à d'autres paramètres de réglage du fonctionnement.

### Aspects économiques

Le montant des investissements pour un système de déshydratation des boues dans une usine de papier journal d'une capacité de 1 500 ADt/j est le suivant :

presse à bandes	1,5 à 1,8 MEuros
presse à vis	1,7 à 2,0 MEuros
centrifugeuse	0,7 à 0,9 MEuros

Les dépenses de fonctionnement, dans l'hypothèse d'une déshydratation des boues primaires et biologiques, sont de 0,3 à 0,6 MEuros/an. Les frais dépendent dans une très large mesure de la composition de la boue et de la demande de produits chimiques pour la floculation.

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

Une teneur en solides secs mieux adaptée au transport et l'élimination finale sont les raisons motivant la mise en œuvre de cette technique.

### Installations de référence

De nombreuses installations dans le monde entier pour toutes sortes d'effluents.

### Bibliographie

J. Pöyry, 1997b, [Rapport finlandais sur les MTD, 1997], [Rapport SEPA 4713-2, 1997]

## 6.3.14 Traitement des déchets

### Introduction

La production de papier et de carton est synonyme de génération de résidus et de déchets. Le Catalogue Européen des Déchets (94/3/CEE) a pour objet d'établir une terminologie commune aux États membres de l'Union. Cependant, en Europe, il existe encore des terminologies différentes pour les différentes fractions de déchets générées dans les papeteries. Ce catalogue mentionne les fractions de déchets suivantes pour l'industrie papetière :

- boues de fibres et de papier
- pour les usines utilisant des fibres de récupération : les rejets du recyclage des papiers et des cartons et les boues de désencrage provenant du recyclage du papier; voir chapitre 5. Il y a un certain chevauchement avec la présente section.
- pour les usines de pâte : écorces et boues de la liqueur verte (provenant du traitement de la liqueur noire); voir chapitres 2, 3 et 4. N'est pas traité ici.
- déchets de la préparation de l'eau pour des usages industriels

- boues des installations de traitement des effluents
- déchets non spécifiés ailleurs

Les fractions de déchets sont séparées et mélangées de différentes façons, selon que l'on opte pour leur réutilisation/recyclage, un traitement ultérieur ou leur élimination. Il existe très peu de chiffres sur les différentes fractions de déchets. Souvent, seules sont communiquées des données sur les boues et les déchets ou quelquefois seulement sur les boues. C'est pourquoi, ci-après, les résidus des machines sont traités comme un seul et unique flux de matières.

Les résidus spécifiques les plus importants sont les déchets provenant de la préparation de la pâte, les boues de fibres et de papier et les boues du traitement de l'eau. Ils sont générés aussi bien dans les usines utilisant des fibres vierges que dans celles utilisant des fibres recyclées. Mais, les premières produisent des quantités moins importantes de déchets, généralement moins de 50 kg/t, alors que dans le cas des usines utilisant des fibres recyclées (par exemple pour du papier à usage sanitaire et domestique) les quantités sont beaucoup plus importantes et peuvent atteindre jusqu'à 1 000 kg de solides secs/tonne de papier à usage sanitaire et domestique. La composition et la quantité de déchets solides dépend du type de papier produit, des matières premières utilisées, des techniques mises en œuvre et des propriétés requises du papier à fabriquer.

La gestion des déchets englobe les mesures suivantes : prévention des déchets, réutilisation, recyclage des matières, compostage, récupération d'énergie et élimination finale. L'arbre de décision ci-après donne un aperçu sommaire des principales solutions pour la gestion des déchets et en souligne certains aspects importants. Il n'existe pas de solution standard en matière de traitement des déchets dans les papeteries.

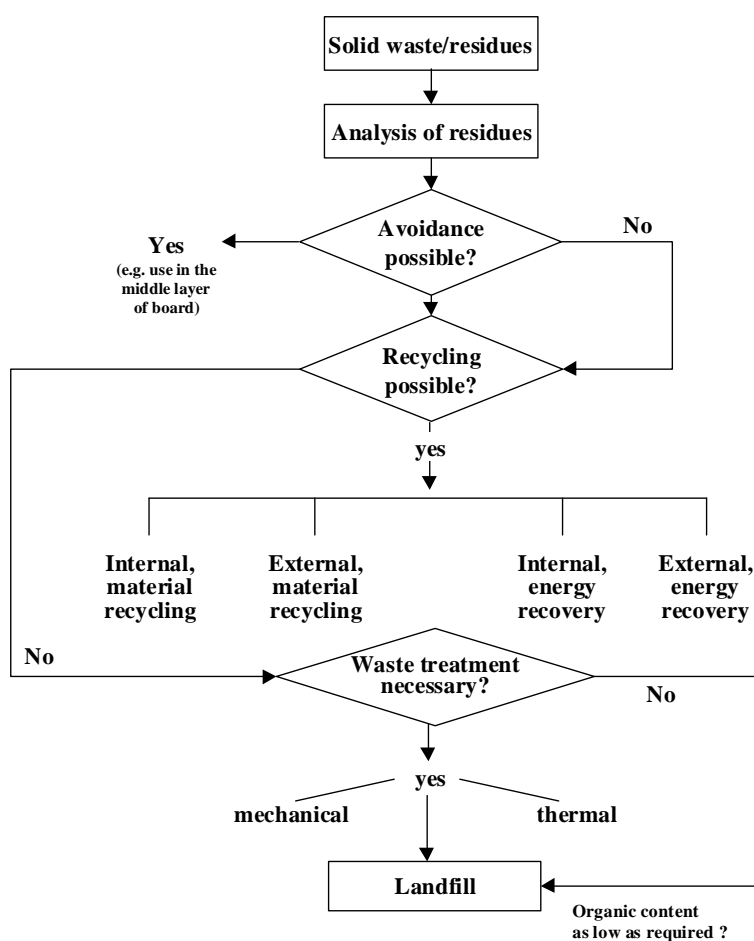
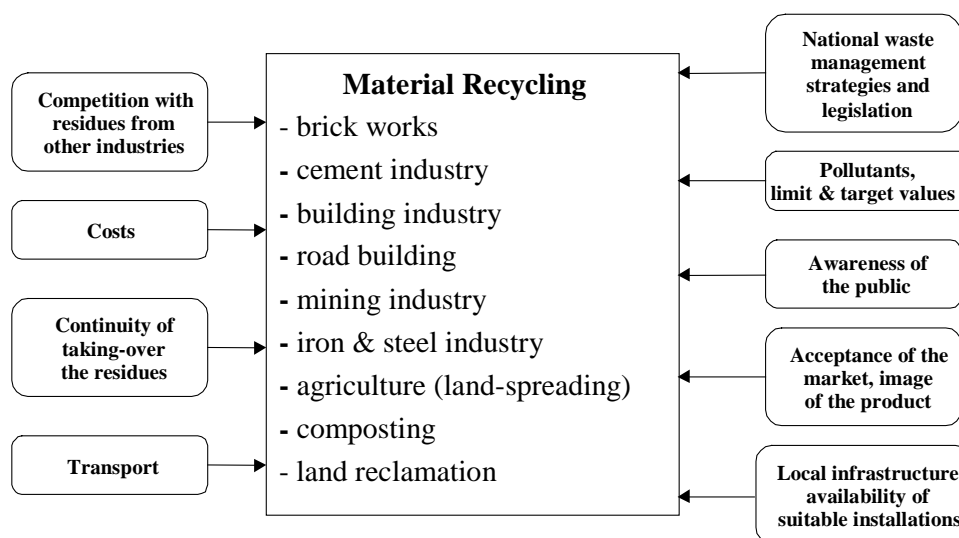


Figure 6.17 - Arbre de décision possible pour la gestion des déchets des papeteries. [Selon Hamm, 1996]

Les résidus des papeteries - à l'exception des cendres des chaudières et des incinérateurs in situ - sont caractérisés par une teneur relativement élevée en matières organiques. La mise en décharge est encore une solution très répandue d'élimination des déchets dans de nombreux pays européens (par exemple Royaume-Uni, Espagne). Simultanément, les autorités de nombreux États membres découragent l'enfouissement des déchets à teneur élevée en matières organiques, et cette solution sera probablement interdite sous peu. La Directive de l'UE sur la mise en décharge des déchets ira dans ce sens, en fixant des objectifs pour réduire la quantité de déchets (municipaux) biodégradables envoyés dans les décharges. Par conséquent, des solutions alternatives de récupération, telles que le recyclage des matières ou l'incinération avec récupération d'énergie auront un rôle important à jouer à l'avenir. Ce sont ces méthodes de traitement qui sont étudiées ci-après en tant que techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD. Les opérations de récupération - lorsque les résidus sont destinés à un nouvel usage, ce qui implique une réutilisation ou récupération de la totalité ou d'une partie des composants (y compris l'énergie) - sont considérées comme des méthodes préférentielles de traitement des déchets, lorsque cela est faisable. La MTD consiste à identifier ces possibilités et à s'assurer qu'elles sont concrétisées. Certains aspects techniques importants sont mis en relief et l'on étudie les avantages, les risques ou les limitations des différentes méthodes de traitement.

### Recyclage des matières

La figure 6.18 donne un aperçu des principales méthodes de traitement pour le recyclage des matières, et des facteurs guidant le choix de ces méthodes.



**Figure 6.18 - Possibilités de recyclage des déchets de papeteries, et facteurs guidant le choix. [Hamm, 1996; modifié par EIPPCB]**

La figure 6.18 montre qu'il existe une série de facteurs qui guident une usine donnée dans le choix du recyclage. Les principaux sont peut-être l'infrastructure locale, les coûts et la concurrence de résidus d'autres industries. Ce dernier facteur est particulièrement important lorsqu'il s'agit d'utiliser les boues papetières dans l'industrie du ciment et des briques. Concernant le transport, le principe de la proximité réduit l'impact sur l'environnement et les coûts. L'utilisation des déchets de la fabrication du papier en tant que matières premières dans différentes solutions indiquées dans la figure 6.18 dépend, entre autres, de la disponibilité de processus appropriés sur le plan local.

Certains pays recourent au compostage des boues papetières ou à leur épandage sur les terrains agricoles. Dans ce cas, la limitation des polluants potentiels revêt une importance capitale. Mais les

boues des papeteries ne contiennent en général pas plus de polluants que celles des stations d'épuration municipales, et une application limitée peut avoir quelques effets positifs sur le sol ( $\text{CaCO}_3$  en tant qu'agent neutralisant pour les sols acides, rétention de l'humidité par les fibres et les particules fines sur les sols secs, faible teneur en azote). Les avantages potentiels varient selon le type de sol. Les périodes d'épandage agricole sont limitées à quelques mois par an. Il faut donc prévoir une capacité suffisante de stockage des boues.

La méthode de l'épandage agricole est très largement subordonnée à l'acceptation par les États membres d'appliquer des boues sur les terrains agricoles. Certains pays encouragent cette pratique en tant que moyen d'évacuation avantageux sur le plan économique, alors que d'autres hésitent à épandre les boues papetières sur les champs. Ils craignent notamment une pollution des sols par de faibles concentrations de métaux lourds et de micro-polluants organiques, une opposition locale à cause des problèmes de nuisance ou des problèmes d'image des produits agricoles provenant de zones d'épandage.

Pour le compostage, les exigences de qualité du compost sont primordiales pour pouvoir commercialiser le produit. Les composts à base de déchets organiques mélangés à différentes quantités de papiers de récupération et de résidus de l'industrie papetière remplissent ces exigences, par exemple le degré de maturité ou l'aptitude à garantir la croissance des plantes. Par ailleurs, on observe une incidence positive sur des paramètres tels que la teneur en sels et substances organiques et l'émission de lixiviat spécifique au processus. La concentration de substances nocives, notamment celles des métaux lourds, doit être considérée comme un facteur restrictif.

Une autre solution de traitement des boues des papeteries est leur utilisation dans l'industrie du ciment et des briques (pour améliorer la porosité) ou d'autres matériaux de construction. Dans les cimenteries, on peut récupérer à la fois la teneur en matières et en énergie des résidus papetiers. Quant aux boues des décanteurs primaires (ou mélangées avec les boues en excès du traitement biologique) qui contiennent des fibres et des particules fines et des composés inorganiques (par exemple charges, pigments de couchage), elles conviennent tout particulièrement pour l'industrie du ciment. La boue (avec une teneur en humidité de 50 %) est séchée à l'aide de la chaleur dissipée du préséchage du four à ciment, de sorte que l'on n'a pas besoin d'énergie thermique supplémentaire pour ramener l'humidité de la boue à 10 à 15 %. Ainsi, lors de la combustion de la boue séchée dans le four rotatif à ciment, on utilise la valeur calorifique des substances organiques et les cendres de l'incinération de la boue restent (en grande partie) dans le produit (ciment). Les substances inorganiques des cendres résultant de l'incinération des boues sont aussi un composé du clinker de ciment. Si les cimenteries (ou briqueteries) sont proches de l'usine (courte distance de transport) et aptes à utiliser la boue, c'est une solution viable.

### **Récupération d'énergie**

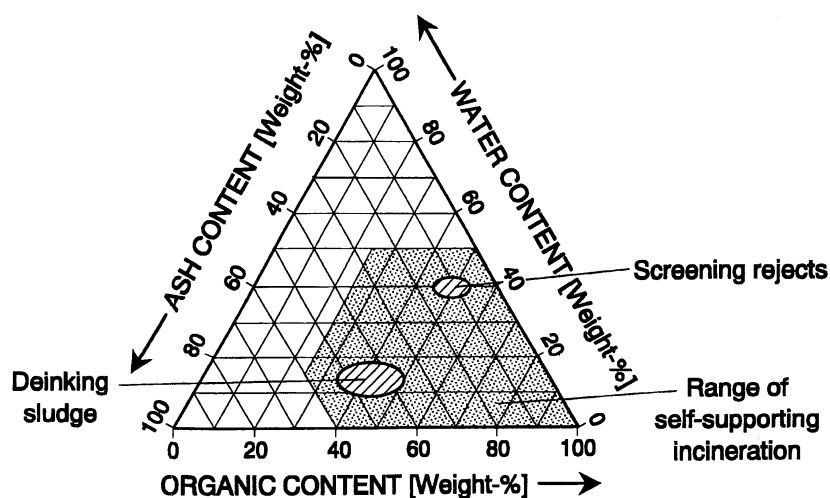
Les déchets et les boues contiennent des substances organiques qui peuvent être incinérées in situ ou en dehors du site dans des incinérateurs spéciaux avec récupération d'énergie (dans le cas d'usines non intégrées, la quantité de boues à brûler est généralement insuffisante pour une incinération in situ). Les incinérateurs avec récupération d'énergie peuvent être répartis en mono-incinération et co-incinération.

Dans les mono-incinérateurs - habituellement des lits fluidisés, des fours à soles multiples à des températures de 850 à 950 °C - on ne brûle que des déchets de l'industrie papetière. Ces installations remplissent les obligations légales en matière d'incinération des déchets lorsqu'elles sont soumises aux mesures de réduction des émissions dans l'atmosphère et elles sont considérées comme des MTD. Pour de plus amples renseignements, se reporter à la section 5.3.11 du présent document. Les cendres peuvent être envoyées à la décharge ou réutilisées dans l'industrie du bâtiment.

La co-incinération des résidus de l'industrie papetière est réalisée dans les fours à ciment, les centrales à charbon (voir section 5.3.11, exemple 2), les usines d'incinération municipales, les hauts fourneaux (sidérurgie) et les cubilots (fonderies). Les résidus à pouvoir calorifique élevé sont particulièrement aptes à remplacer les combustibles fossiles (par exemple charbon, fioul). Les déchets de papeteries

sont habituellement mélangés avec d'autres combustibles brûlés dans ces installations. Avant d'être incinérés, ils doivent subir une déshydratation et quelquefois aussi un séchage (par exemple pour les industries du ciment et la sidérurgie). On peut dire, de façon empirique, que plus les caractéristiques des résidus à brûler se rapprochent de celles du combustible normal, plus l'incinération sera facile. Il importe aussi que le combustible secondaire soit homogène et que la composition des résidus soit uniforme et constante. Le contrôle de ces paramètres rend les déchets de l'industrie papetière plus intéressants pour les installations de combustion.

Les caractéristiques de combustion des résidus des papeteries tels que boues du désencrage, refus d'épuration ou boues du traitement des effluents, sont illustrées dans la figure 6.19. Celle-ci illustre le rapport entre combustible / teneur en matières organiques, teneur en cendre et teneur en eau. La zone de combustion, qui ne nécessite pas d'apport de combustibles supplémentaires, est marquée en grisé.



**Figure 6.19 – Diagramme pour l'incinération des résidus de l'industrie papetière (communiqué par IFP).**

Les zones correspondant aux boues du désencrage et aux refus d'épuration sont indiquées en hachuré. On peut voir que l'on atteint une incinération auto-entretenue aussi bien pour les rejets ayant des pouvoirs calorifiques relativement élevés que pour les boues de désencrage présentant une teneur en cendre relativement élevée. L'incinération des boues donne une production nette d'énergie égale à zéro, voire négative si la teneur en solides secs de la boue est inférieure à 40 % et si la boue contient une quantité très importante de matières inorganiques. Dans de tels cas, il faudra recourir à des combustibles auxiliaires pour garantir de bonnes conditions de combustion, à moins que la boue ne soit mélangée à de l'écorce et autres déchets de bois. La combustion réduit le volume des déchets et les matières inorganiques se retrouvent sous forme de cendres (jusqu'à la moitié du poids peut se retrouver sous forme de cendres inorganiques), qui sont habituellement acheminées vers une décharge ou bien utilisées comme matière première pour des matériaux de construction.

L'impact de la co-incinération des résidus et des boues des papeteries sur les émissions dans l'atmosphère dépend de la composition du matériau incinéré. La co-incinération de boues dans des chaudières à charbon ou à lignite soit n'a pas d'effet du tout sur les émissions dans l'atmosphère, soit entraîne une légère baisse des polluants. Les émissions de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$  et  $\text{HF}$  diminuent lorsqu'on co-incinère des boues (boues de désencrage, boues de fibres contenant des pigments de couchage et des charges). La teneur en métaux lourds des boues est également faible par rapport au charbon et à la lignite. Les déchets des usines fabriquant du carton ondulé à base de papiers de récupération ont une teneur en chlore plus élevée (1 à 3 % massique). Toutefois, les premières expériences dans une

installation grandeur nature en Allemagne ont montré que la co-incinération des déchets dans des chaudières à lignite est possible. On n'a pas mesuré d'accroissement des valeurs de dioxines.

Les données relatives aux exemples d'incinération varient considérablement entre les États membres et même à l'intérieur d'un même État. Les incinérateurs se heurtent quelquefois à l'obstacle considérable d'une opposition locale.

Dans les usines intégrées de pâte et de papier, une fraction importante des boues est en général incinérée en même temps que l'écorce dans des chaudières à écorce (voir chapitre 2, 3 et 4).

Les usines intégrées à base de papiers de récupération disposent quelquefois d'un incinérateur sur le site (voir chapitre 5). Dans ce cas, elles doivent traiter les cendres et les résidus résultant des mesures de limitation des émissions dans l'atmosphère, par exemple les poussières des dépoussiéreurs électrostatique (ESP) ou le gypse résultant de l'élimination du  $\text{SO}_2$  (le cas échéant), comme une fraction de déchets.

### **Bibliographie**

Hamm, 1996, Wünschmann et coll., 1995a, Wünschmann et coll. 1995b, Wünschmann et coll. 1995c, IPTS, 1997, Guillet, 1997.

### **6.3.15 Mise en place d'une technologie à faible teneur en $\text{NO}_x$ dans les chaudières auxiliaires (fioul, gaz, charbon)**

#### **Description de la technique**

Dans les papeteries et cartonneries, on peut utiliser une multitude de combustibles renouvelables ou fossiles - écorce, charbon, fioul ou gaz naturel - pour compléter la production de vapeur. La combustion de ces combustibles requiert des techniques d'incinération sans danger pour l'environnement de manière à minimiser les émissions de matières particulaires, de  $\text{SO}_2$  et aussi de  $\text{NO}_x$ .

La technique à faible émission de  $\text{NO}_x$  appliquée aux combustibles solides et aux déchets des usines de pâte et de papier est étudiée dans le paragraphe 2.3.20. Le charbon et le lignite conviennent bien en tant que combustible principal ou d'appoint dans les systèmes à lit fluidisé ce qui, avec un contrôle minutieux de l'opération, favorise une faible formation de  $\text{NO}_x$ .

Dans les chaudières traditionnelles au fioul ou au gaz naturel, les brûleurs consommant le mélange air-combustible doivent être conçus de manière à maintenir des conditions de combustion avec une faible teneur en  $\text{NO}_x$ . On brûle aussi souvent du charbon ou de la tourbe sous forme de poussière finement broyée dans les chaudières classiques, alimentées par des brûleurs qui, s'ils sont correctement conçus, fonctionnent avec une faible production de  $\text{NO}_x$ .

L'air primaire comburant est amené par le brûleur dans le mélange air-combustible. L'air secondaire et tertiaire sont amenés séparément pour maintenir un rapport air primaire : secondaire : tertiaire adéquat dans la zone de la flamme afin de conserver une combustion à faible émission de  $\text{NO}_x$ . Il peut encore y avoir un certain apport d'air, si nécessaire, au-dessus de la zone de la flamme principale pour achever la combustion du combustible.

Le but de cette alimentation multiphasées en air est de faire en sorte que le combustible soit brûlé sans air en excès, voire même dans des conditions de réduction, ce qui signifie que :

- il n'y a pas suffisamment d'oxygène pour favoriser la formation de  $\text{NO}_x$  en quantités importantes. La température de la flamme est plus basse que dans les brûleurs classiques, ce qui freine encore la

formation de NO<sub>x</sub>.

- une partie du NO<sub>x</sub> formé peut se réduire en azote élémentaire par exemple si une quantité résiduelle de combustible est brûlée dans la zone extérieure ou à l'extérieur de la flamme.

### Applicabilité et caractérisation

Les brûleurs produisant peu de NO<sub>x</sub> et l'alimentation en air étagée peuvent être utilisés dans les chaudières neuves ou existantes.

Si l'on utilise des combustibles solides pulvérulents, tels que le charbon ou la tourbe, il importe de les présécher s'ils présentent un degré élevé d'humidité, de manière à favoriser une combustion rapide et efficace. En outre, ils impliquent un préchauffage de l'air comburant, pour garantir un allumage rapide et une combustion complète.

### Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement

Comparés aux brûleurs traditionnels avec des émissions de 250 à 500 mg de NO<sub>x</sub>/MJ, les brûleurs bas NO<sub>x</sub> permettent d'atteindre des niveaux beaucoup plus bas d'émissions dans les cheminées. Les niveaux d'émissions atteints mentionnés dans le tableau 6.24 diffèrent selon les types de combustibles utilisés et selon qu'il s'agit d'installations existantes ou nouvelles. Par meilleurs résultats on entend des valeurs atteintes par plusieurs installations nouvelles. Niveau généralement possible signifie que ce résultat peut être atteint par la majorité des installations. Les valeurs sont basées sur une teneur en oxygène de 3 % et de 7 % pour le charbon.

Paramètre	Type d'installa- -tion	Combustible	Niveau généralement possible		Meilleurs résultats	
NO <sub>x</sub>	Nouvelle	Gaz naturel / biogaz fioul léger / gazole <sup>2)</sup> mazout charbon	70 - 100 120 - 200 300 - 450 300 <sup>1)</sup> - 500	20 - 30 35 - 60 90 - 135 115 <sup>1)</sup> - 190	30 -100 150 300 250 <sup>1)</sup> - 280	9 - 30 45 90 90 <sup>1)</sup> - 100
NO <sub>x</sub>	Existante	Gaz naturel / biogaz fioul léger / gazole <sup>2)</sup> mazout charbon	70 - 200 150 - 250 400 - 450 300 <sup>1)</sup> - 500	20 - 60 45 - 75 115 - 135 115 <sup>1)</sup> - 190		
SO <sub>2</sub>	Nouvelle	Gaz naturel / biogaz fioul léger / gazole <sup>2)</sup> mazout charbon	0 - 35 <sup>3)</sup> 350 <sup>3)</sup> 850 - 1700 <sup>4)</sup> 400 - 2000 <sup>4)</sup>	0 - 10 <sup>3)</sup> 100 <sup>3)</sup> 250 - 500 <sup>4)</sup> 150 - 750 <sup>4)</sup>	35 <sup>3)</sup> 250 <sup>3)</sup> 850 <sup>4)</sup> 400 -2000 <sup>4)</sup>	10 <sup>3)</sup> 75 <sup>3)</sup> 250 <sup>4)</sup> 150 - 750 <sup>4)</sup>
SO <sub>2</sub>	Existante	Gaz naturel / biogaz fioul léger / gazole <sup>2)</sup> mazout charbon	0 - 35 <sup>3)</sup> 350 <sup>3)</sup> 1700 <sup>4)</sup> 400 - 2000 <sup>4)</sup>	0 - 10 <sup>3)</sup> 100 <sup>3)</sup> 500 <sup>4)</sup> 150 - 750 <sup>4)</sup>		
Poussière (résultant d'une installation ESP)	Nouvelle	Gaz naturel / biogaz fioul léger / gazole <sup>2)</sup> mazout charbon	0 - 5 pas de données 50 - 80 <sup>5)</sup> < 50	0 - 1.5 pas de données 15 - 25 <sup>5)</sup> < 20	0 - 5 pas de données 10 - 50 <sup>5)</sup> 10 - 50	0 - 1.5 pas de données 3 - 15 <sup>5)</sup> 4 - 20
Poussière (résultant d'une installation ESP)	Existante	Gaz naturel / biogaz fioul léger / gazole <sup>2)</sup> mazout charbon	0 - 5 pas de données 50 - 80 <sup>6)</sup> 50 - 150 <sup>6)</sup>	0 - 1.5 pas de données 15 - 25 <sup>6)</sup> 20 - 60 <sup>6)</sup>		
Notes :						
1            méthode du lit fluidisé						
2            dépend de la teneur en azote (N) du combustible						
3            dépend de la teneur en soufre (S) du combustible						
4            dépend de la teneur en soufre (S), de la taille et du type d'installation; les émissions de soufre provenant des chaudières à brûleurs à charbon et à fioul dépendent de la disponibilité de fioul et de charbon pauvres en S. On pourrait réduire dans une certaine mesure les effets du soufre par injection de chaux.						
5            dépend de la teneur en S et du type d'installation						
6            dépend de la taille de l'installation						

**Tableau 6.24 - Niveaux d'émissions possibles (moyenne quotidienne) pour des chaudières utilisant des techniques à faible formation de NO<sub>x</sub> (uniquement par des techniques de**



**combustion) et à élimination de la poussière par recours au dépoussiérage électrostatique [données basées sur un nombre important d'usines en Allemagne].**

#### **Surveillance des émissions**

On peut surveiller les émissions avec des appareils de mesure des NO<sub>x</sub> sur le terrain. La mesure de l'oxygène peut aussi contribuer à s'assurer que les conditions de combustion à faible formation de NO<sub>x</sub> sont respectées.

Des mesures plus précises nécessitent un échantillonnage in situ et des analyses de laboratoire.

#### **Interactions entre les milieux**

Pas d'effets majeurs mentionnés.

#### **Expériences opérationnelles**

Les brûleurs à faible formation de NO<sub>x</sub> sont utilisés à l'occasion de la modernisation de chaudières existantes et lors de la construction de nouvelles chaudières.

#### **Aspects économiques**

Le montant type des investissements est de 0,6 à 0,9 MEuros pour une production de 1 000 t de papier/j. Les dépenses de fonctionnement augmentent de 0,1 à 0,2 MEuros/an.

#### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Les émissions dans l'atmosphère des papeteries non intégrées proviennent principalement des chaudières à vapeur et des centrales électriques. Il s'agit généralement de chaudières standard qui ne diffèrent pas des autres centrales électriques. On postule qu'elles sont régulées comme les autres centrales de même capacité. Les brûleurs à faible formation de NO<sub>x</sub> sont utilisés principalement pour réduire les émissions de NO<sub>x</sub> des chaudières auxiliaires.

#### **Installations de référence**

De nombreuses usines en Europe du Nord et de l'Ouest.

#### **Bibliographie**

[J. Pöyry, 1997,b], [Rapport finlandais sur les MTD, 1997], [Ministère de l'éducation, 1994], [données communiquées par l'EPA allemande, 1999]

### **6.3.16 Cogénération de chaleur et d'électricité**

Se référer à la section 5.3.9

### 6.3.17 Optimisation de l'égouttage dans la section des presses de la machine à papier

#### Description de la technique

Une machine à papier constitue un énorme système d'égouttage. Elle se compose de trois parties principales :

- la section de la toile pour la formation de la feuille continue de papier et le premier égouttage par gravité et vide/aspiration.
- la section des presses pour poursuivre l'égouttage de la feuille humide par l'action de forces mécaniques
- la section de séchage pour sécher la feuille jusqu'à son degré de siccité final par évaporation sur des cylindres chauffés à la vapeur.

Après la section des presses (voir aussi figure 6.1), la siccité de la feuille de papier est normalement de 45 à 50 %, c'est-à-dire qu'il reste environ 1kg d'eau/kg de papier. Pour faire évaporer cette eau résiduelle, on a besoin de beaucoup d'énergie et d'une sécherie multicylindres. Dans une machine à papier, la majorité de l'énergie sert au séchage du papier (vapeur 572 kWh/t). L'énergie électrique sert à entraîner les rouleaux et cylindres (électricité 100 kWh/t) et pour faire le vide (électricité 67 kWh/t). Plus la siccité de la feuille de papier est élevée après la section des presses, moins on aura besoin d'énergie thermique pour le séchage final du papier. Une augmentation de 1 % de la siccité de la feuille de papier arrivant dans la sécherie correspond à une économie de chaleur d'environ 4 % (exprimée en vapeur basse pression à environ 2 bars). Par conséquent, il faut prendre des mesures au niveau de la machine à papier pour maximiser la siccité dans la section des presses humides.

Dans un rouleau presseur traditionnel, la pression de contact a atteint son seuil maximum et ne peut plus être augmentée pour améliorer l'égouttage dans la section des presses. En remplaçant les presses à rouleaux presseurs courts traditionnelles par une (des) presse(s) à rouleaux à large surface de contact, dite(s) presse(s) à patin, on obtient une impulsion de pression plus élevée qu'avec les presses à rouleau traditionnelles, ce qui a pour résultat un égouttage plus intense de la feuille humide et une siccité plus élevée de la feuille de papier à la sortie de la section presses. Le patin est poussé contre un rouleau antagoniste par un système hydraulique. Ce concept de presse permet d'étendre considérablement la zone de pressage et la durée du contact avec le rouleau presseur par rapport aux presses à rouleaux classiques. Une siccité élevée à la sortie du pressage est synonyme d'économies d'énergie de séchage et de bonnes caractéristiques de fonctionnement dans la sécherie en raison de la bonne résistance de la feuille à l'état humide.

#### Applicabilité et caractérisation

Technique intégrée dans le processus. Elle peut être adoptée dans les machines tant existantes que nouvelles avec la majorité des types de papiers (à l'exception des papiers à usage sanitaire et domestique) à condition de disposer d'un espace suffisant dans la section des presses et que la structure du bâtiment autorise le surpoids d'une presse à patin. Les fondations doivent pouvoir supporter le poids plus élevé des dispositifs associés au concept de la presse à patin. Dans certains cas, il faudra augmenter la charge maximale du pont roulant pour tenir compte du poids plus élevé des cylindres de la presse à patin. En raison des lourds investissements supplémentaires requis, il n'est pas certain que cette technique soit économiquement avantageuse dans le cas des petites machines à papier, disons d'une largeur de papier fini inférieure à 2,5 m.

Avec les papiers sans bois, on a intérêt à utiliser un patin long (250 mm) avec une faible charge (600 kN/m). Pour les types de papiers avec bois, on peut utiliser des patins plus courts (180 mm) et une charge plus élevée (800 kN/m).

La presse à patin a été conçue même pour des machines à grande vitesse (aujourd'hui, jusqu'à 2 000 m/mn).

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Les effets sur l'environnement sont liés aux économies d'énergie thermique pour le séchage du papier. Il est fait état d'augmentations de siccité comprises entre 5 et 15 points en pourcentage après l'installation d'une presse à patin dans des machines existantes produisant du papier d'emballage et du carton [IFP, 1998]. Bien sûr, cet accroissement dépend avant tout des résultats antérieurs de la section des presses qui a été modernisée et du concept de presse à patin choisi.

Dans un cas, la modernisation de la section des presses s'est traduite par un accroissement de la siccité de 6 % après la mise en place d'une presse à patin. La demande spécifique de vapeur pour la sécherie est tombée de 2,13 à 1,76 tonnes de vapeur par tonne de papier, soit l'équivalent d'une économie d'énergie thermique de 18 %. La réduction des émissions dans l'atmosphère dues à la production d'énergie dépend dans une forte mesure du type de combustible fossile utilisé. Dans la papeterie en question, on a économisé annuellement 46 000 tonnes de vapeur (l'équivalent de 5,1 M m<sup>3</sup> de gaz naturel et de 8 900 tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub> évitées).

Dans une presse avec des rouleaux presseurs à patin, la longueur de la section des presses, le nombre d'éléments et de feutres ainsi que la durée de vie des feutres resteront constants même si la production augmente. Le rouleau presseur à patin est un rouleau souple. Il nécessite moins de service, consomme moins de feutre et produit moins de déchets, moins de vibrations et moins de nuisances sonores. Cela signifie que les émissions par tonne de papier diminuent.

La presse à patin est un outil qui permet d'accroître la vitesse de la machine tout en conservant de bonnes caractéristiques de marche. Un rendement élevé est synonyme d'économies de matières premières et d'énergie et garantit un temps de bon fonctionnement plus élevé avec moins de déchets. Une siccité élevée à la sortie de la section presses signifie une réduction des besoins en énergie et, partant, moins d'émissions liées à la production de l'énergie.

Sur les machines à papier avec des capacités de séchage limitées, une réduction de 1 % de l'humidité de la feuille de papier peut se traduire par une hausse de 4 à 5 % de la productivité. Si la capacité de séchage de la machine à papier n'est pas limitée, on peut obtenir une diminution équivalente de la consommation de vapeur dans la sécherie. Les économies de vapeur dans la section de séchage peuvent atteindre 170 kWh/t.

Toutefois, pour une densité de papier donnée, l'amélioration de la siccité dépend des pâtes utilisées. Avec des types de papiers sans bois, la siccité en sortie du pressage est supérieure d'environ 3 à 5 points en pourcentage lorsqu'on utilise la presse à patin. Avec des types de papiers avec bois, le chiffre correspondant est de l'ordre de 4 à 7 points en pourcentage. La différence est encore plus importante, jusqu'à 12 points, pour des vitesses élevées de la machine, parce qu'avec un temps de maintien prolongé de la pression du cylindre à patin sur le rouleau presseur du fait de la largeur de la surface de contact, la siccité restera à un niveau élevé lorsqu'on augmente la vitesse de la machine. Dans le cas de papiers avec bois, on peut utiliser toute la capacité de pression de la presse à patin, car on peut atteindre les meilleures propriétés du papier avec un niveau élevé de pression dans le rouleau presseur.

Lorsqu'on remplace une presse à rouleau par une presse à patin dans une machine à papier, l'économie totale type d'énergie dans la sécherie est de 20 à 30 %.

### **Interactions entre les milieux**

Le fait de remplacer les rouleaux presseurs traditionnels par des rouleaux à patin ne va pas faire augmenter sensiblement les besoins en électricité. La presse à patin a une consommation spécifique plus élevée d'électricité, mais qui est compensée par un nombre moins important de rouleaux donnant une feuille plus sèche. La diminution de la consommation d'énergie thermique peut être convertie en émissions évitées dans l'atmosphère grâce à un calcul basé sur les chiffres spécifiques d'émissions de

la génération de vapeur. Toutefois, il faut tenir compte du fait que la réduction des émissions dans l'air est fonction du type de combustible fossile utilisé dans l'unité de production d'énergie.

L'accroissement de la siccité à la sortie de la presse à patin a pour résultat un accroissement de la densité apparente et de la résistance des liaisons internes de la feuille séchée. Ce rapport est quasi linéaire. Une meilleure résistance de la feuille continue de papier améliore les caractéristiques de marche de la machine à papier grâce à la diminution des ruptures de la feuille. Le résultat est un meilleur rendement de la machine. Par exemple, après avoir installé une presse à patin, si le nombre de ruptures imprévues de la feuille est réduit par deux chaque jour (impliquant chacune un arrêt de 20 minutes), la capacité de production quotidienne de la machine augmente de près de 3 %.

Si la capacité de production de la machine est limitée à cause de la capacité de séchage, la réduction de la demande d'énergie pour le séchage grâce à la mise en place d'une presse à patin permet d'accroître la vitesse de la machine. Dans de tels cas, la production peut augmenter jusqu'à 20 % en consommant la même quantité de vapeur qu'avant le changement de presse.

Toutefois, si la vapeur est produite dans une unité à co-génération, la diminution de la demande de vapeur pour le séchage a pour résultat une réduction de la production d'électricité. Par conséquent, il faut acheter plus d'électricité du réseau. Si la vitesse de la machine est limitée par ses entraînements, l'installation d'une presse à patin permet de réaliser des économies d'énergie thermique et d'augmenter la capacité de production de la machine à papier grâce à la réduction des ruptures de feuille et à un meilleur rendement dans le temps de la machine à papier.

### **Expériences opérationnelles**

Un exemple de modernisation des presses est celui de Nordland Papier en Allemagne. Dans la section de pressage compacte à trois rouleaux presseurs de cette machine à papiers pour reprographie, on a remplacé le dernier rouleau presseur par un rouleau presseur à patin. Après cette modernisation, la siccité à la sortie de la section presses avait augmenté d'environ 3 à 4 points en pourcentage. Simultanément, la vitesse de production était passée de 850 m/mn à 1 200 m/mn, soit un accroissement de 30 % de la production. Pour atteindre cette amélioration de la siccité, on a appliqué une charge linéaire de 500 à 600 kN/m sur la presse à patin. Par la suite, la production a battu tous les records et cette machine modernisée est devenue la ligne de production de papier fin la plus performante au monde. Les économies au niveau de la demande spécifique de vapeur pour le séchage du papier ont atteint 30 %.

Ces dernières années, plusieurs mesures de modernisation équivalentes dans le monde ont permis d'atteindre des résultats similaires. Il existe désormais de nombreuses installations dans le monde entier.

### **Aspects économiques**

Le montant de l'investissement pour une presse à patin dans une machine à papier d'une largeur de 5 m de papier non rogné (brut) s'élève à environ 10 MEuros (pour toute l'installation). Les dépenses de fonctionnement y compris les feutres, revêtements de cylindres, rectification des rouleaux, énergie pour l'entraînement d'une presse à patin, sont quasiment identiques à celles d'une presse traditionnelle. Les économies de vapeur pour le séchage du papier sont comprises entre 10 et 15 Euros/tonne de vapeur, soit une consommation spécifique de 2 tonnes de vapeur par tonne de papier, et des économies de l'ordre de 20 à 30 Euros/tonne de papier.

Lorsqu'on modernise des presses, l'investissement est généralement rentabilisé après une période d'environ 2,5 ans, s'il n'y a pas d'autres limites à l'augmentation de la vitesse.

### **Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique**

Les facteurs motivant la mise en place d'une presse à patin sont multiples. Outre de meilleures caractéristiques de résistance, il est possible de réduire les coûts grâce à la diminution de la demande de vapeur pour le séchage du papier pour une même capacité de production de papier, ou encore en augmentant la capacité de production pour les mêmes dépenses de fonctionnement. Un taux de siccité supérieur permet des économies d'énergie. Le concept de la section des presses peut être simplifié. La presse à patin a été un élément clé pour accroître encore plus la vitesse des machines. Dans une machine à papier moderne à grande vitesse, la longueur de la sécherie est réduite de 35 % grâce à une seule presse à patin dans la section de pressage. Un meilleur résultat de l'égouttage améliore la qualité du produit (uniformité et régularité du papier).

### **Installations de référence**

Compte tenu de sa meilleure capacité d'égouttage, la presse à patin a commencé à être introduite au début des années 80 pour les papiers couverture puis sur les machines à papier une dizaine d'années après. Il existe plusieurs machines modernisées et des machines neuves à haute vitesse dans le monde qui utilisent cette presse à patin. Depuis 1997, toutes les nouvelles machines à papier tournant à grande vitesse comprennent des presses à patin. Par exemple, au début de 1998, une nouvelle machine à papier LWC en Finlande et une machine à papier SC au Canada ont été mises en service avec une presse à patin comme troisième presse. Six mois après leur démarrage, ces deux machines étaient les machines à papier LWC et SC les plus rapides au monde avec une vitesse de production dépassant les 1 600 m/mn. Une machine à papier fin avec deux cylindres presseurs à patin a démarré aux États-Unis en été 1998.

Dans le domaine des papiers de couverture et pour ondulé, on a répertorié les installations suivantes en Allemagne (par ordre alphabétique) : Papierfabrik Adolf Jass/Fulda, Papierfabrik Klingele/Weener, Papierfabrik Schoellershammer/Düren, Papier- und Kartonfabrik Varel/Varel, SCA Packaging Industrierpapier/Aschaffenburg, Stone Europa Carton Aktiengesellschaft Papier- und Kartonfabrik Hoya/Hoya, Zülpich Papier/Zülpich.

### **Bibliographie**

[IFP, 1998] Cette référence mentionne d'autres ouvrages sur cette technique (en allemand seulement).

## **6.3.18 Économies d'énergie grâce à des technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique**

### **Remarques préalables**

Il existe des possibilités d'économies d'énergie à différents stades du processus de fabrication. Normalement ces mesures impliquent des investissements pour remplacer, moderniser ou améliorer du matériel de fabrication. Cependant, le plus souvent, ces mesures ne se limitent pas au seul objectif d'économiser l'énergie. Elles revêtent un intérêt particulier parce qu'elles permettent simultanément d'augmenter le rendement de la production, d'améliorer la qualité du produit et de réduire les coûts globaux. Il est donc capital d'intégrer ces techniques d'économie d'énergie dans tous les aspects et à tous les niveaux de la fabrication du papier. Il ne faut pas omettre le lien entre les questions d'énergie et le processus (effets synergiques) lors des discussions sur les techniques avec un bon rapport d'efficacité énergétique. La plupart d'entre elles peuvent se révéler avantageuses pour le processus et améliorer la productivité.

En général, pour ce type de technologies, on n'a pas pu recueillir suffisamment de renseignements pour décrire les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD. Qui plus est, une description complète prendrait beaucoup trop de place. C'est pourquoi nous nous limitons à mentionner simplement quelques technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique dans le tableau 6.25, mais sans décrire en détails les avantages et les inconvénients, sans présenter les

économies d'énergie effectivement réalisées, les aspects relatifs aux interactions entre les milieux ni les aspects économiques pour chacune des techniques. Ce tableau 6.25 peut au mieux donner des indications sommaires sur les techniques disponibles et le potentiel d'amélioration de la consommation de chaleur et d'électricité.

La mesure dans laquelle ces techniques sont déjà implantées dans les différents États membres dépend d'un ensemble de facteurs combinant l'état d'avancement de l'industrie, la taille des usines, la compréhension par les sociétés des questions relatives à l'énergie et la politique énergétique du pays en question.

L'applicabilité des techniques visant à des économies d'énergie n'est pas abordée et il faudra peut-être étudier les détails de façon plus approfondie.

Technologie avec un bon rapport d'efficacité énergétique	Type de la demande d'énergie, et quantité	Pourcentage d'économie d'énergie et quantité	Commentaires
Trituration en pâte épaisse (consistance élevée)	Électricité pour les pompes et les rotors, 60 kWh/t	33%; 20 kWh/t	grâce à l'optimisation de la conception des rotors
Raffinage selon la meilleure pratique	Électricité pour entraîner les moteurs, 100 à 500 kWh/t	20%; 80 kWh/t	dépend des propriétés du produit; varie selon les types et le chargement
Formation haute consistance	Installations électriques, 200 kWh/t	20%; 40 kWh/t	déjà en place pour les papiers de récupération
Formation à double toile	Entraînement	Pas de données	n'est pas appliquée uniquement pour des économies d'énergie
Systèmes de vide optimisés	Électricité	25%	
Système d'entraînement à vitesse variable	Électricité	Pas de données	
Moteurs électriques haut rendement	Électricité	Pas de données	
Dimensionnement correct des moteurs électriques	Électricité	Pas de données	
Presses à chaud ou	Chaleur dans la sécherie	15 - 20%	en majorité fibres de récupération
Presses (à patin) à grande largeur de contact des rouleaux presseurs	Chaleur dans la sécherie	15 - 20%	
Correction du profil d'humidité dans le sens "travers" par chauffage IR	Chaleur dans la sécherie	1 - 2%	Réduit l'ampleur du surséchage
Contrôle de l'humidité des hottes de sécherie	Chaleur	10%	Permet de régler et de réduire le débit d'air
Récupération de la chaleur des hottes de sécherie	Chaleur	10%	voir description ci-dessous
Condenseurs hottes de sécherie	Chaleur	10%	L'eau peut être recyclée et réutilisée
Air de ventilation à chauffage direct au gaz	Chaleur	40%	Sert principalement au niveau des hottes des machines à papier à usage sanitaire et domestique
Augmentation des MS en size-press	Chaleur pour la sécherie à la sortie de la size-press	La charge de séchage peut être réduite de 48 %	Contribue à réduire le taux de cassés de fabrication

**Tableau 6.25 - Points possibles du processus se prêtant à des économies d'énergie, et leurs effets [DG XVII, 1992].**

**Le potentiel d'économie d'énergie dépend du niveau actuel de la consommation d'énergie dans une usine donnée.**

Pour résumer les possibilités d'économies d'énergie : les secteurs qui offrent le plus de possibilité directe pour économiser de l'énergie sont le raffinage, le pressage et le séchage. Toutefois, après avoir apporté les changements nécessaires correspondant à une "bonne gestion", c'est la sécherie qui demande aussi le plus d'investissements pour modifier le processus. Les secteurs offrant des possibilités d'économies moins importantes mais également des avantages synergiques sont la trituration en pâte épaisse, la formation et la size-press.

À côté du choix des technologies, le mode d'exploitation (pratique avec un bon rapport d'efficacité énergétique) et la gestion de l'énergie dans l'usine sont des questions importantes. Souvent, le matériel n'est pas utilisé avec un rendement énergétique optimisé et, en améliorant la gestion, on pourrait réaliser des économies supplémentaires. L'analyse des économies possibles pour optimiser l'intégration thermique des papeteries peut se révéler un instrument avantageux pour s'orienter vers des processus optimisés de gestion de l'énergie.

### Niveaux de consommation d'énergie atteints

Dans de nombreux pays européens, les renseignements concernant l'équilibre énergétique dans les papeteries sont difficilement accessibles pour le public. Les rapports sur la consommation, s'ils existent, ne suivent pas les mêmes plans. La demande d'énergie dépend aussi de la qualité du produit (en particulier pour les usines de papier à usage sanitaire et domestique) et en partie des conditions locales. C'est pourquoi il est difficile de présenter des valeurs de la consommation d'énergie associés à

la mise en œuvre de techniques avec un bon rapport d'efficacité énergétique. Les fourchettes communiquées par les papeteries concernant leur consommation d'énergie sont reproduites dans le tableau 6.26. Elles ne doivent être considérées que comme une indication des besoins approximatifs en chaleur de process et en énergie pour des papeteries avec un bon rapport d'efficacité énergétique. On pourra peut-être ajouter d'autres exemples de telles papeteries, y compris les conditions spécifiques, dans une version révisée du présent BREF.

Type d'usine	Consommation de chaleur de process (nette) en GJ/t	Consommation d'électricité (nette) en MWh/t	Commentaires
Non intégrée, papier fin couché/non couché	5.3 [3]	0.62 [3]	Très grande usine allemande; les chiffres incluent tous les consommateurs d'énergie de l'usine.
Non intégrée, papier fin non couché	7.0 - 9.0 [1]; 7.0 - 7.5 [2] * 6.5 - 8.0 [3];	0.7 - 0.8 [1]; 0.6 - 0.7 [2] *; 0.55 - 0.6 [3]; 0.5 - 0.65 [4]	[3] = Usine autrichienne
Non intégrée, papier fin couché	10.0 - 11.0 [1] 7.0 - 7.5 [2] *	1.1 - 1.3 [1]; 0.6 - 0.7 [2] *; 0.65 - 0.9 [4]	
Usine de papier à usage sanitaire et domestique non intégrée	6.5 - 7.5 [1] 5.5 - 6.0 [2]	0.9 - 1.1 [1]; 1.0 - 1.1 [2]; 0.5 - 2 [4]	[4] = Pour la production de papier à usage sanitaire et domestique, certains équipements nouveaux, tels que les TAD, consomment plus d'énergie
Notes			
* [2] ne communique qu'un seul chiffre pour le papier fin en général			

**Tableau 6.26 - Indication de la consommation d'énergie associée à la mise en œuvre de MTD pour différents types de production papetière, par tonne de produit.**

**Données provenant de [1] Jaakko Pöyry, 1998; [2] rapport SEPA 4712; [3] études de cas de papeteries et [4] données communiquées par un fournisseur.**

Les techniques décrites ci-après ne doivent être interprétées que comme un exemple d'économies d'énergie possibles grâce à la mise en œuvre de technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique. Les échangeurs de chaleur récupèrent de la chaleur dans l'air de la sécherie de la machine à papier, c'est-à-dire que - avec le raffinage - c'est le point le plus important sur la consommation d'énergie. D'autres exemples pourront être ajoutés et discutés plus en détails dans la future révision du BREF.

### **Exemple : économies d'énergie grâce à des systèmes de récupération de la chaleur**

#### **Description de la technique**

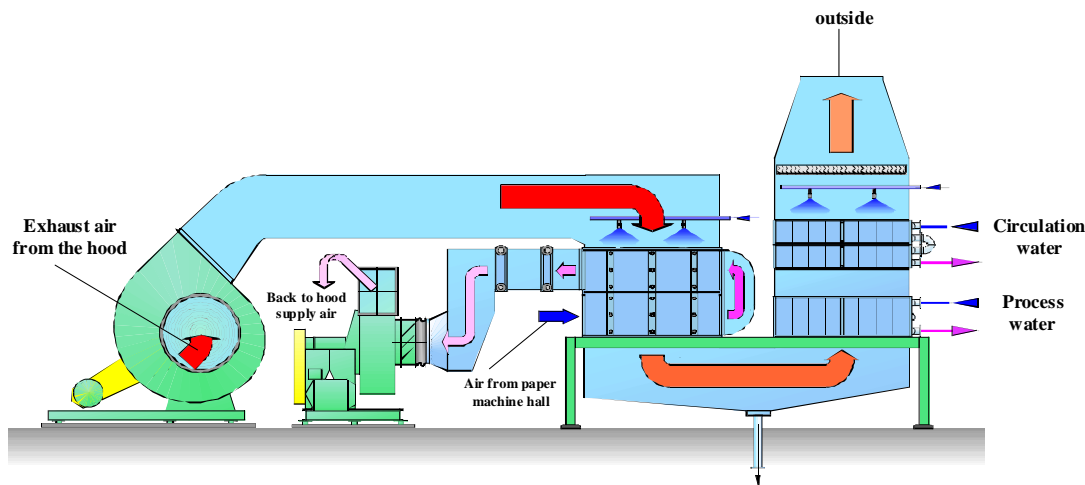
L'objet d'un système de récupération de la chaleur est d'abaisser la consommation d'énergie primaire de l'usine en utilisant l'énergie résiduaire provenant du processus dans des conditions économiquement rentables. La quasi totalité de l'énergie calorifique consommée dans une papeterie sert au séchage du papier, faisant ainsi de la sécherie le plus grand consommateur d'énergie dans la machine à papier. 80 % environ de l'énergie requise dans la sécherie est acheminée sous forme d'énergie primaire dans les cylindres sécheurs, le reste arrivant sous forme d'air de séchage et de fuite et avec la feuille continue de papier.

Presque toute l'énergie sortant de la sécherie s'échappe avec l'air. Or, un système efficace permet de récupérer 50 % de cette énergie, à savoir environ 620 kWh par tonne de papier (dans des conditions hivernales).

Des applications types consistent à employer des échangeurs de chaleur air-air ou air-eau, tous les deux du type à plaques (certaines applications utilisent aussi des scrubbers). Les premiers sont utilisés principalement pour chauffer l'air d'alimentation de la hotte et l'air de ventilation du hall de la



machine. L'application la plus courante des seconds est le chauffage respectivement de l'eau de circulation pour aérothermes et de l'eau de process. Ces échangeurs de chaleur font partie intégrante des tours de récupération de la chaleur. La figure 6.20 donne un exemple de récupération mixte de la chaleur servant à chauffer premièrement l'air de la hotte, et deuxièmement l'eau de circulation pour aérothermes de chauffage du hall de la machine.



**Figure 6.20 - Exemple de tour de récupération de la chaleur**

Normalement, une partie seulement de la chaleur récupérée est renvoyée vers la sécherie avec l'air d'alimentation de la hotte. La majeure partie est utilisée à l'extérieur de la sécherie pour chauffer l'eau de process, l'eau de la fosse sous la toile et l'air de ventilation du hall de la machine.

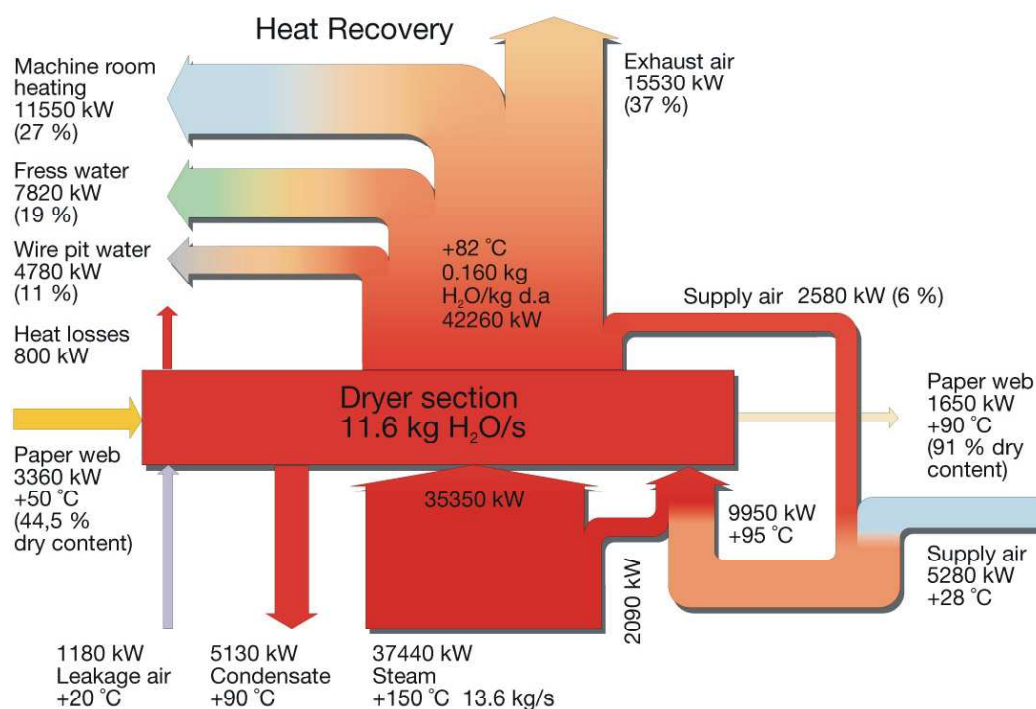
### **Applicabilité et caractérisation de la mesure**

Cette mesure peut être adoptée dans les usines tant existantes que nouvelles si les processus donnent des flux à haute teneur en énergie et si l'on a besoin d'énergie de chauffage pour différentes applications. Les échangeurs de chaleur pour chauffer l'air d'alimentation de la hotte peuvent toujours être mis en œuvre. On peut choisir d'utiliser la récupération de chaleur pour chauffer soit l'eau de circulation (pour chauffer le hall de la machine) soit l'eau de process selon les caractéristiques spécifiques de la production et les conditions climatiques. Compte tenu de l'interaction entre les unités du système, on ne peut aboutir à un système optimisé de récupération de la chaleur qu'en analysant l'intégralité du système en question.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

On économise des quantités considérables de vapeur primaire, ce qui entraîne une diminution de l'impact de la production de vapeur sur l'environnement. Les résultats dépendent en outre des conditions climatiques.

L'énergie est principalement utilisée dans la sécherie d'une machine à papier journal type équipée d'unités de récupération de chaleur air-air et air-eau selon le schéma représenté dans la figure 6.21. La plus grande partie de la chaleur est récupérée dans l'eau de circulation qui, à son tour, sert principalement à chauffer l'air de ventilation des bâtiments. Un autre consommateur important de la chaleur récupérée est le chauffage de l'eau de process (par exemple pour les rinceurs) et de l'eau de la fosse sous la toile. Ce chauffage de l'eau de la fosse sous la toile ne concerne pas les usines de pâte TMP mais il est nécessaire pour les usines traitant des fibres recyclées. L'air alimentant la sécherie est toujours chauffé à l'aide du système de récupération de la chaleur.



**Figure 6.21 - Diagramme de Sankey d'une machine à papier journal (980 t/j)**

### Surveillance des émissions

Une maintenance préventive contribue à éviter les immobilisations inutiles et coûteuses.

### Interactions entre les milieux

Aucun effet intermilieux majeur n'est connu. Les mesures d'économie d'énergie reposent de préférence sur des bilans énergétiques de l'ensemble de l'usine, y compris les diagrammes des flux d'énergie et des solutions alternatives pour le processus. Il existe une corrélation très étroite entre les circuits de l'eau et de l'énergie.

### Expériences opérationnelles

Il existe différents types de systèmes de récupération de la chaleur dépendant du fournisseur du matériel. Le système optimal pour les exigences spécifiques de chaque papeterie doit être conçu individuellement pour chaque application. En général, les échangeurs de chaleur doivent être équipés de dispositifs de lavage pour conserver une surface lisse et éviter l'encrassement.

### Aspects économiques

Les systèmes de récupération de la chaleur sont habituellement vite amortis. Il n'est pas toujours rentable économiquement de chercher à récupérer le plus de chaleur possible. Il faut toujours analyser la situation spécifique. La solution dépendra du prix relatif de l'énergie par kWh pour le combustible, la vapeur et l'électricité.

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

Economies d'énergie, réduction de la condensation et de la formation de brouillard.

## **Installations de référence**

De nombreuses installations en Europe

## **Bibliographie**

Brochures des fournisseurs de matériel [DG XVII, 1992], [Energy Efficiency Office, diverses publications entre 1991 et 1997]

### **6.3.19 Mesures de lutte contre le bruit**

#### **Description de la technique**

On peut approximativement répartir les sources de bruit industrielles en sources internes et externes. Une ligne de fabrication de papier présente de nombreuses sources de bruit internes (voir section 6.2.2.8). Une mesure possible de limitation des sources de bruit interne consiste par exemple à installer de nouveaux capots fermés mieux insonorisés. Mais cela ne sera pas abordé plus en détail car on estime que ces mesures n'entrent pas dans le cadre du présent document (environnement professionnel). Pour la lutte contre les bruits extérieurs, on peut citer comme exemple de mesures la mise en place de silencieux et ou de résonateurs de tuyau pour réduire les niveaux sonores des ventilateurs aspirant les émissions gazeuses et ceux des pompes à vide, de silencieux et de capots insonorisants pour les ventilateurs sur le toit du bâtiment. Deux exemples seront étudiés en détail ci-après.

Les mesures de réduction des bruits doivent de préférence viser les sources principales, en particulier tous les orifices des toits et des murs. Les principales sources de bruit extérieur d'une papeterie sont la ventilation du processus (bruit continu), la ventilation du hall des machines (bruit continu), l'aspiration des pompes à vide (bruit continu) et la mise à l'air libre de vapeur (bruit seulement occasionnel). Il existe également une quantité d'autres sources de bruit, notamment dans les usines anciennes, dans lesquelles l'isolation acoustique des équipements n'a pas été réalisée correctement.

En ce qui concerne la conception et l'exploitation des installations, les mesures de prévention des nuisances sonores doivent déjà être prises en considération dès la phase de l'étude. D'habitude, une mesure particulièrement efficace consiste à faire appel aux conseils d'experts en acoustique. Lors de la mise en œuvre de mesures de réduction des bruits, il convient de considérer les aspects techniques suivants :

- recueillir le plus tôt possible des renseignements sur les niveaux sonores des équipements, des installations et de leurs pièces;
- utiliser des machines et des procédés peu bruyants;
- réduire la génération et la transmission des bruits;
- réduire les émissions sonores, par exemple en utilisant des silencieux;
- assurer la maintenance des équipements et du matériel d'insonorisation.

Point de départ des mesures antibruit : les prescriptions des autorités liées à l'emplacement de l'usine (éloignement par rapport au voisinage, zones de loisirs ou industrielles etc.) et les prescriptions en vigueur dans le pays concerné. Les points d'immission (de référence) peuvent se trouver à la limite de l'usine ou en différents lieux de la zone résidentielle. Les valeurs visées dans les zones résidentielles doivent généralement être respectées en cas de livraison d'un nouveau matériel. Mais, de plus en plus, les sources de bruit existantes doivent être atténuées car les prescriptions deviennent de plus en plus rigoureuses.

Dans la plupart des cas, la suppression des bruits est relativement onéreuse. C'est pourquoi il est très important d'étudier les plans et les mesures de lutte contre le bruit dès le début du projet. Lorsqu'il faut réduire les sources de bruit existantes, le coût des amortisseurs de bruit et des barrières insonorisantes peut atteindre des sommes élevées. L'important est de réduire le bruit à sa source. Mais cela n'est pas toujours possible. Dans ce cas, il faudra peut-être prévoir des barrières d'isolation phonique pour les

équipements bruyants ou des silencieux. Pour dimensionner les silencieux, il faut connaître la nature de la source du bruit.

Dans le paragraphe ci-dessous sur les résultats en ce qui concerne l'environnement, on étudie deux exemples de réduction des bruits extérieurs grâce à l'installation de silencieux. Les impératifs de réduction des bruits se situaient à différents niveaux de fréquences.

### **Applicabilité de la mesure**

Les mesures de réduction des bruits extérieurs peuvent être adoptées dans les usines existantes aussi bien que nouvelles. La différence réside essentiellement au niveau de la procédure utilisée pour déterminer les niveaux sonores actuels et visés.

Dans le cas des machines existantes, la procédure d'atténuation commence par des mesures du niveau sonore aux points d'immission (de référence) dans la zone résidentielle. Les mesures se poursuivent dans l'usine afin de déceler les sources de bruit les plus critiques. Le dimensionnement des silencieux est une interaction entre mesures et calculs.

Dans les nouvelles installations, les niveaux de puissance sonore sont basés sur les données fournies par le fabricant. Les calculs des niveaux sonores prévus aux points d'immission sont réalisés à l'aide de programmes informatiques sur la propagation des bruits, par exemple selon la norme VDI 2714, y compris l'apport de toutes les sources de bruit pertinentes. Dans les usines existantes, les contraintes d'espace peuvent entraîner des solutions légèrement modifiées quant aux aménagements.

### **Principaux résultats en ce qui concerne l'environnement**

Les avantages en matière d'environnement des mesures de lutte contre des bruits extérieurs sont illustrés par deux exemples :

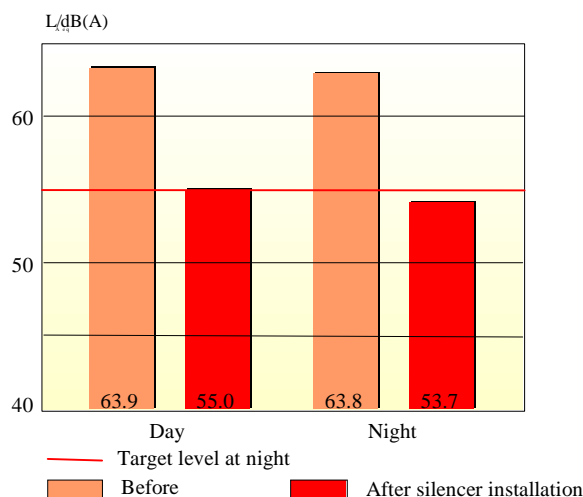
---

#### **Exemple 1 : Installation de silencieux par absorption (dans une papeterie française)**

---

Dans ce cas d'espèce, les objectifs du niveau de la puissance sonore, pondéré équivalent A, dans les zones du village jouxtant la papeterie sont 65 dB(A) le jour et 55 dB(A) la nuit. Les mesures des sources de bruits ont démontré que la part des ventilateurs à capot fermé aspirant les émissions gazeuses était parmi les plus importantes. Les calculs ont montré qu'une baisse de 15 dB(A) à leur niveau serait suffisante pour atteindre l'objectif de 55 dB(A) la nuit aux points de référence.

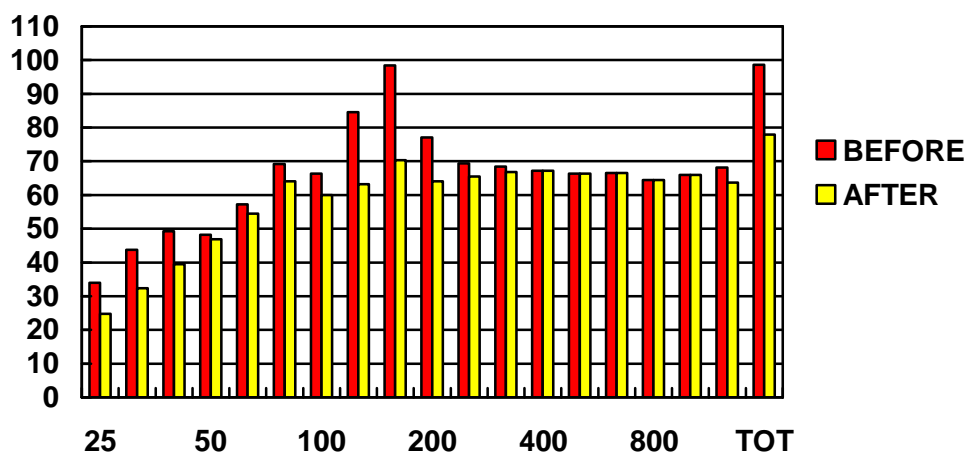
Le bruit des ventilateurs peut être caractérisé comme un bruit à large bande, qui justifie le recours aux silencieux par absorption. Ceux-ci sont efficaces aux fréquences moyennes et hautes. Les ventilateurs sont montés à l'extérieur et doivent donc aussi être insonorisés. La figure 6.22 illustre les niveaux sonores mesurés en un point de référence avant et après l'installation (isolation phonique comprise).



**Figure 6.22 - Niveaux sonores  $L_{Aeq}$  en un point de référence**

### **Exemple 2 : Installation de silencieux réactifs (dans une papeterie allemande)**

Dans ce cas, les émissions sonores des pompes à vide d'une machine à papier provoquaient une nuisance sonore excessive au point de référence à l'extérieur de l'usine. Des mesures des niveaux de puissance sonore à une distance de 1 mètre de la sortie de la pompe à vide ont mis en évidence une pointe de bruit à une fréquence de 160 Hz, comme cela est indiqué dans la figure 6.23. Cette pointe dépassait de plus de 10 dB(A) toutes les autres fréquences. Les silencieux réactifs (par exemple des résonateurs de tuyaux) sont efficaces pour les basses fréquences (moins de 500 Hz), et ils furent donc choisis dans ce cas d'espèce. Des mesures effectuées après la mise place des silencieux ont démontré que le niveau sonore de pointe avait effectivement baissé d'environ 28 dB(A) et respectait le seuil de 26,9 dB(A) fixé pour le point d'immission.



**Figure 6.23 - Atténuation par résonateurs de tuyaux. Niveaux sonores avant et après l'installation des silencieux.**

Lorsque le seuil de bruit à 1 m de la sortie des ventilateurs ou des pompes à vide est inférieur, il faut envisager une combinaison de silencieux par absorption et réactifs. On aura également besoin d'enceintes antibruit spéciales pour les ventilateurs situés à l'extérieur.

### Surveillance des émissions

Il serait souhaitable de mesurer le niveau sonore de temps à autre (par exemple une fois par an) pour voir si les silencieux ont besoin d'être nettoyés. Mais, normalement, cela n'est pas nécessaire dans les papeteries.

### Interactions entre les milieux

Les silencieux peuvent provoquer des pertes de pression au niveau de l'air rejeté, qui entraînent une légère augmentation de la consommation d'énergie (kWh/ADt) des ventilateurs. Mais cette consommation supplémentaire n'est pas significative.

### Expériences opérationnelles

Des silencieux sont en service avec succès dans de nombreuses usines européennes. Une maintenance consistant en un nettoyage régulier et en un remplacement du matériau absorbant (le cas échéant) est nécessaire lorsque l'air rejeté contient de l'humidité et des matières particulaires.

### Aspects économiques

Il est très difficile de donner des chiffres précis sur le coût de la réduction du niveau sonore car ce coût dépend de la taille de l'usine, du type de papier produit, de la vitesse de la machine à papier etc. On estime que le coût total de la diminution du niveau sonore (interne et externe) d'une ligne de fabrication du papier est de l'ordre de 0,5 % du montant de l'investissement en machines, voire supérieur selon les seuils de niveaux sonores visés ([Valmet]). Le coût de l'atténuation des bruits externes d'une machine à papier s'élève à environ 0,2 à 0,4 MEuros en fonction du niveau visé et de l'ampleur à la sortie.

La figure 6.24 illustre le coût relatif de l'abaissement du niveau sonore externe. Lorsque l'objectif de puissance sonore est abaissé de 85 à 75 dB(A), les coûts sont multipliés par deux.

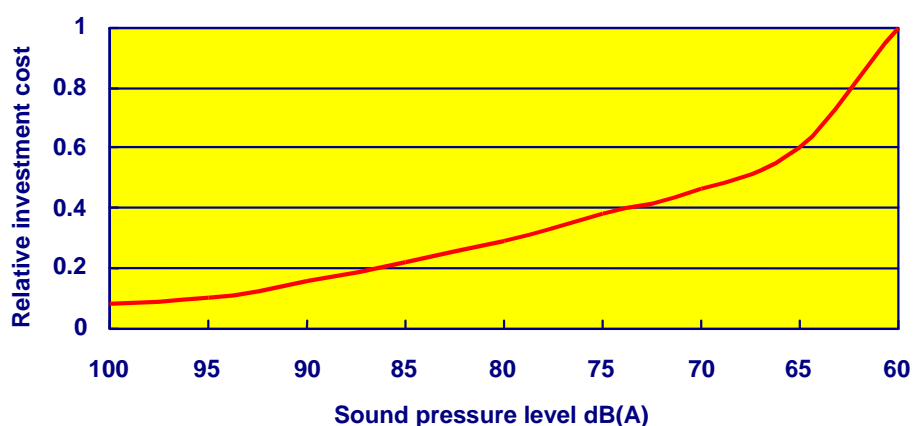


Figure 6.24 - Coûts relatifs de l'abaissement du niveau sonore (selon Valmet)

### Facteurs ayant motivé la mise en œuvre de cette technique

Du point de vue de la santé, le bruit peut représenter l'un des problèmes environnementaux les plus graves. Sur le territoire de l'Union Européenne, un grand nombre de personnes sont exposées à des nuisances sonores. Les dispositions officielles dans les différents pays, associées aux directives de l'UE, sont synonymes d'exigences accrues en matière de prévention du bruit au stade de la conception des machines. Mais elles ont également fixé des normes de bruit pour le matériel existant et la limitation des bruits externes. Selon le type de zone affectée par les nuisances sonores des papeteries, il faut, par exemple en Allemagne, atteindre les niveaux sonores suivants pour éviter que ces nuisances n'aient une incidence néfaste sur le voisinage :

Jour	Nuit	Type de zone à proximité de la papeterie
70 dB(A)	70 dB(A)	zone industrielle
65 dB(A)	50 dB(A)	zone commerciale et d'affaires
50 dB(A)	35 dB(A)	zone résidentielle
45 dB(A)	35 dB(A)	zones affectées à des institutions (publiques) spéciales (par exemple des hôpitaux)

**Tableau 6.27 - Exemple de niveaux sonores à atteindre à proximité des papeteries (prescriptions en vigueur en Allemagne).**

Cependant, les seuils de bruit externe fixés comme objectif dans les différents pays membres de l'UE varient dans des proportions considérables. Cela s'explique par l'éloignement des usines par rapport à la zone résidentielle, les différences de densité de population, la densité du trafic, les objectifs en matière d'environnement etc.

### Installations de référence

Différents types, modèles et quantités de silencieux sont utilisés dans la plupart des usines européennes. Des mesures générales de lutte contre les nuisances sonores sont mises en œuvre dans de nombreuses installations en Europe.

## Chapitre 6

---

### 6.4 Meilleures Techniques Disponibles

#### 6.4.1 Introduction

Pour comprendre le présent chapitre et son contenu, il est demandé au lecteur de se reporter à la préface du présent document et en particulier à sa cinquième section : "Comment comprendre et utiliser le présent document". Les techniques et les niveaux d'émissions et/ou de consommations associés, ou fourchettes de niveaux, présentés dans le présent chapitre ont été évalués selon une méthode itérative comprenant les étapes suivantes :

- identification des problèmes environnementaux-clés pour le secteur; pour les papeteries non intégrées, les principales préoccupations sont la consommation d'eau, le rejet des eaux usées (DCO, DBO, MES, azote (N) et phosphore (P), AOX), la demande d'énergie (vapeur et électricité), les déchets solides tels que les refus/rejets, les boues et les cendres, les émissions dans l'atmosphère provenant de la génération d'énergie (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, poussières), le bruit et la pollution thermique dans le milieu aquatique; ces trois derniers points ayant un impact local;
- étude des techniques les mieux appropriées pour résoudre ces problèmes-clés;
- identification des meilleurs niveaux de performance au niveau de l'environnement, sur la base des données disponibles dans les pays de l'Union européenne et dans le monde entier;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance ont été atteints, telles que coûts, interactions entre les milieux (impacts intermilieux), principaux éléments incitant à la mise en œuvre de ces techniques;
- sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux d'émissions et/ou de consommations associés pour le secteur concerné au sens large, le tout en conformité avec l'article 2 (11) et l'annexe IV de la Directive.

L'avis autorisé formulé par le Bureau PRIP (IPPC) européen et le Groupe de Travail Technique compétent (TWG) a joué un rôle-clé dans chacune de ces étapes et dans la façon dont ces informations sont présentées ici.

Sur la base de cette évaluation, le présent chapitre présente les techniques, et dans la mesure du possible également les niveaux d'émissions et de consommation associés à la mise en œuvre des MTD, que l'on juge pertinents pour le secteur dans son ensemble et qui, dans de nombreux cas, reflètent les résultats effectivement atteints par certaines installations dans le secteur concerné. Lorsqu'on présente des niveaux d'émissions ou de consommations "associés aux meilleures techniques disponibles", il faut comprendre qu'il s'agit de niveaux représentant le résultat environnemental qu'il est possible d'envisager lorsqu'on applique, dans ce secteur, les techniques décrites, en tenant compte de l'équilibre entre les coûts et les avantages inhérents à la définition de la MTD. Cependant, ils ne constituent en aucun cas des valeurs limites d'émissions ou de consommations et ne doivent pas être considérés comme tel. Dans certains cas, il se peut que l'on puisse techniquement atteindre de meilleurs niveaux d'émissions ou de consommations, mais que, compte tenu des investissements qu'ils impliquent ou de considérations liées aux interactions entre les milieux, ils ne soient pas considérés appropriés comme MTD pour le secteur dans son ensemble. Toutefois, de tels niveaux peuvent être considérés comme justifiés dans des cas plus spécifiques avec des motivations particulières.

Les niveaux d'émissions et de consommations associés à la mise en œuvre des MTD doivent être considérés dans le contexte des éventuelles conditions de référence précisées (par exemple périodes servant de base à l'établissement d'une moyenne).

Il faut faire une distinction entre la notion de "niveaux associés aux MTD" décrite ci-dessus et le terme de "résultat possible" utilisé dans le présent document. Lorsqu'on parle de niveau de résultat "possible" en utilisant une technique donnée ou une combinaison de techniques, il s'agit du niveau que l'on peut



envisager d'atteindre pendant un laps de temps suffisamment long dans une installation avec une bonne maintenance et une bonne maîtrise opérationnelle.

Lorsqu'elles sont disponibles, les données relatives aux coûts sont communiquées avec la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. On peut ainsi se faire une idée approximative de l'ordre de grandeur des investissements requis. Toutefois, le coût effectif de la mise en application d'une technique dépend en grande mesure de la situation du cas d'espèce concernant par exemple les taxes, les droits et les caractéristiques techniques de l'installation concernée. Or, il n'est pas possible, dans le présent document, de procéder à une évaluation exhaustive de tels facteurs spécifiques au site. En l'absence de données concernant les coûts, les conclusions relatives à la viabilité économique des techniques sont fondées sur des observations portant sur des installations existantes.

L'objectif recherché est que les MTD générales présentées dans le présent chapitre servent de référence sur laquelle s'appuyer pour apprécier les résultats réels d'une installation existante ou pour évaluer une proposition relative à une nouvelle installation. De cette façon, elles contribueront à faciliter la détermination de conditions adéquates "basées sur les MTD" pour l'installation ou l'élaboration des prescriptions réglementaires en conformité avec l'article 9 (8). Il est possible que des installations nouvelles puissent être conçues pour fonctionner en atteignant, voire en dépassant, les niveaux généraux des MTD présentées ici. On peut également envisager que des installations existantes tendent vers les niveaux généraux des MTD, voire aillent au-delà, sous réserve de l'applicabilité technique et économique des techniques dans chaque cas spécifique.

Si les BREF n'ont pas de caractère juridique et réglementaire, ils entendent fournir des éléments d'orientation à l'industrie, aux États membres et au public sur les niveaux d'émissions et de consommations qu'il est possible d'atteindre en utilisant certaines techniques spécifiques. Les valeurs limites d'émissions pour un cas particulier devront être déterminées pour chaque cas en tenant compte des objectifs de la directive IPPC et des considérations locales.

La fabrication du papier n'est pas un processus unique mais une série de processus unitaires, souvent liés entre eux et interdépendants. Par conséquent, une MTD pour une usine de papier est toujours constituée par une combinaison appropriée de techniques. L'ordre de priorité et la sélection des techniques ou combinaisons de techniques dépend des conditions locales.

Sauf indication contraire, les meilleures techniques disponibles indiquées ci-dessous sont applicables à des installations nouvelles ou existantes. Dans les papeteries, l'applicabilité d'une technique n'est pas subordonnée au fait qu'il s'agit d'une installation nouvelle ou ancienne. Les usines de papier sont caractérisées par le fait qu'elles sont modernisées par étapes plutôt qu'intégralement. Cette adaptation et cet aménagement modulaires des installations signifient que chaque site est un produit unique influencé par sa situation et son histoire. En revanche, la fabrication du papier comporte une série de processus unitaires que l'on retrouve dans tous les pays.

Parmi les critères à prendre en considération pour déterminer les MTD dans les cas d'espèces il y a surtout le fait que les coûts spécifiques sont plus élevés pour les usines de petite taille (économies d'échelle). D'autres facteurs entrant en ligne de compte sont les limitations au niveau de l'espace, telles que peuvent en rencontrer certaines usines anciennes, ou un équipement dont le matériau ou la conception ne convient pas, et qui ne permet pas de développer davantage la circulation en circuit fermé de l'eau. En effet, ce développement de la mise en circuit fermé de l'eau implique en général un système plus complexe, qui doit être surveillé, contrôlé et maîtrisé. Or les petites entreprises ne possèdent peut-être pas toujours les connaissances requises pour exploiter et maîtriser de la façon la plus efficace ce type de solutions industrielles plus complexes.

## 6.4.2 MTD pour les papeteries

Pour les papeteries, les techniques suivantes sont considérées comme des MTD. Cette liste des MTD n'est pas considérée comme exhaustive et n'importe quelle autre technique ou combinaison de techniques permettant d'atteindre le même résultat (voire un résultat meilleur) peut également être envisagée; il peut s'agir de techniques en cours de développement ou d'une technique émergente ou déjà disponible mais qui n'est pas décrite dans le présent document. Sauf indication contraire, les données sont des valeurs annuelles moyennes.

### Mesures générales

1. Formation, éducation et motivation du personnel et des opérateurs. La formation du personnel peut s'avérer une mesure très efficace, par rapport à son coût, pour réduire la consommation d'eau et les rejets de substances dangereuses, par exemple les rejets accidentels de produits chimiques.
2. Optimisation de la gestion du processus. Pour pouvoir réduire différents polluants simultanément et maintenir les émissions à un niveau faible, il est nécessaire d'améliorer la maîtrise opérationnelle et de procéder à des mesurages.
3. Pour conserver le rendement des unités techniques des papeteries et maintenir les techniques associées de limitation à un niveau élevé, il convient d'assurer une maintenance adéquate.
4. Un système de gestion de l'environnement qui définisse clairement, au sein de l'usine, les responsabilités pour les aspects touchant à l'environnement. Il suscite la prise de conscience et englobe des objectifs et des mesures, des procédures et instructions de travail, des enregistrements, et autre documentation pertinente.

### Mesures pour réduire les émissions dans le milieu aquatique

1. *Minimisation de la consommation d'eau pour différentes sortes de papier en développant le recyclage des eaux de process et la gestion de l'eau.*

Une bonne gestion de l'eau implique une connaissance exacte de la consommation et de la qualité de l'eau destinée à différents usages. Dans les papeteries qui ont mis en œuvre des MTD, l'eau fraîche arrive dans le processus sous forme d'eau pour les rinceurs et la mise en œuvre des produits chimiques. Grâce à la technique plus efficace de récupération des fibres et des charges, il est désormais possible d'utiliser l'eau claire ainsi obtenue dans les rinceurs les moins exigeants de la machine à papier, ce qui a permis d'accroître le recyclage de l'eau. Les matières organiques et inorganiques dissoutes ou colloïdales (DisCo) ont toutefois limité l'utilisation de ces eaux à la section de la toile. La quantité d'eau fraîche requise est déterminée en partie par la concentration de polluants dans l'eau de process.

Le taux de recyclage des filtrats clairs peut encore être amélioré grâce au recours à l'ultrafiltration (UF) en tant que technique de traitement interne de l'eau blanche. Vu que cette technique en est encore au stade du développement et qu'elle n'est appliquée à l'échelle industrielle que dans un petit nombre seulement d'usines en Europe, elle n'est pas encore considérée comme une MTD, bien que les expériences industrielles soient prometteuses. Toutefois, étant donné que l'ultrafiltration ne permet qu'une élimination partielle des matières dissoutes, on ne considère pas encore qu'une nouvelle augmentation du recyclage (par exemple pour les rinceurs de la section des presses) soit envisageable. L'accumulation des matières dissoutes risque d'altérer les caractéristiques de fonctionnement, la qualité du papier et l'action des produits chimiques utilisés dans la fabrication du papier. La circulation en circuit fermé des eaux de la machine à papier exigerait des techniques de séparation beaucoup plus efficaces, telles que la nanofiltration ou l'osmose inverse ou d'autres techniques complémentaires. En raison des coûts élevés, des effets négatifs sur les autres milieux (principalement l'énergie) et du manque d'expérience à l'échelle industrielle, ces techniques ne sont pas considérées comme disponibles.

2. *Limitation des inconvénients potentiels de la mise en circuit fermé des systèmes d'eau.*

La mise en circuit fermé des systèmes d'eau exige des connaissances et des mesures adéquates pour contrôler le système d'eau. La lutte contre la prolifération bactérienne, une conception adaptée des tuyauteries et des systèmes de stockage et une bonne sélection des matières contribuent à assurer la propreté des surfaces et, partant, à réduire les lavages. La surveillance et le mesurage et les analyses de laboratoire peuvent servir pour déterminer la performance effective des procédés de séparation et la qualité des eaux des rinceurs et autres eaux de process.

Les données recueillies sur les circuits d'eau et leurs équilibres chimiques permettent d'étudier et de maîtriser le comportement hydraulique de l'usine dans son ensemble et de déterminer les meilleures conditions de fonctionnement compte tenu des changements de type de produit, des démarrages et des arrêts momentanés. Par exemple, il convient d'éviter les procédures de fonctionnement impliquant des gradients importants du pH ou de la température car elles entraîneraient des formations de dépôts. L'automatisation aussi présente des avantages. Les mesures en ligne et une bonne maîtrise opérationnelle sont essentielles pour garantir une fabrication stable.

3. *Mise en place d'un système équilibré de stockage de l'eau blanche, du filtrat (clair) et des cassés de fabrication et recours, lorsque cela est possible, à des unités, des aménagements et des machines à faible consommation d'eau.* Cela se fait en général lors du remplacement ou de la modernisation du matériel ou des éléments de fabrication.

4. *Mesures visant à réduire la fréquence et les effets des rejets accidentels.*

Cela inclut la formation du personnel dans le cas de rejets accidentels de produits chimiques dans l'installation de traitement des effluents et la mise en place de mesures préventives pour éviter les accidents.

5. *Collecte et réutilisation des eaux propres de refroidissement et d'étanchéité.*

Le recyclage des eaux de refroidissement et d'étanchéité peut être amélioré grâce à l'utilisation d'échangeurs de chaleur ou d'une tour de refroidissement. Mais cela implique des méthodes de surveillance et de contrôle de l'activité microbienne et de la qualité de l'eau pour garantir un fonctionnement sans perturbation du système.

6. *Prétraitement séparé des effluents du couchage.*

Lorsque la récupération et la réutilisation des saucées de couchage provenant des eaux usées du couchage par les techniques membranaires s'avère impossible, on considère comme MTD la floculation de ce flux partiel concentré. La technique de la séparation par UF est mentionnée comme mesure permettant de réduire les déchets solides (voir ci-après).

7. *Remplacement des substances potentiellement dangereuses par des substances moins dangereuses.*

Il est possible d'améliorer le taux d'élimination après le traitement des effluents et l'impact sur l'environnement dans son ensemble en utilisant des auxiliaires pour les produits et des produits chimiques pour le processus qui soient non toxiques et mieux biodégradables.

8. *Traitement des effluents avec bassin tampon et traitement primaire.*

Ces mesures sont mises en œuvre dans la quasi totalité des papeteries et sont plutôt considérées comme une bonne pratique. Elles sont une condition préalable pour assurer de bons résultats stables des installations de traitement biologique des effluents. Elles ne sont pas considérées comme des MTD en tant que technique isolée, sauf pour quelques types de papier avec des charges spécifiques très faibles.

9. *Traitement secondaire ou biologique des effluents et/ou dans certains cas floculation ou précipitation chimique.*

Dans le cas du seul traitement chimique, les rejets de DCO seront légèrement plus élevés mais constitués principalement de matières facilement dégradables.

Il existe de très nombreuses méthodes de traitement qui donnent de bons résultats pour réduire la charge de matières organiques. Le choix de la méthode de traitement sera dicté principalement par la concentration initiale, les caractéristiques des effluents et le taux d'élimination à atteindre. Une conception et une maintenance adéquates de l'installation de traitement sont une condition indispensable pour que les systèmes biologiques donnent de bons résultats. En fonction de la concentration initiale et de la méthode de traitement choisie, on estime que l'on peut atteindre les niveaux suivants d'élimination de la charge polluante en association avec des MTD pour les polluants mentionnés ci-dessous :

Fourchette initiale de concentration	Traitement	Élimination de la DCO	Élimination de la DBO	Élimination des AOX	TSS après traitement	Matières nutritives
DBO > 500 mg /l	Lit bactérien + boues activées	80 - 90 %	95+ %	30 - 50%	Concentration inférieure à 30 mg/l	ajoutées à l'installation de traitement des effluents
DBO > 500 mg /l	Lit bactérien (prétraitement)	50 - 60 %	60 - 70%	30 - 50%	Concentration élevée environ 100 mg/l	ajoutées à l'installation de traitement des effluents
DBO > 100 mg /l	Boues activées <sup>1)2)</sup>	75 - 90 %	90 - 95+ %	30 - 50%	Concentration inférieure à 30 mg/l	ajoutées à l'installation de traitement des effluents
DBO < 150 mg /l	Biofiltration	40 - 60%	60 - 80 %	30- 50%	Concentration : 10 à 30 mg/l	ajoutées à l'installation de traitement des effluents
Notes :						
1. Ces taux d'élimination sont atteints avec le traitement à boues activées à faible charge avec une charge massique comprise entre 0,1 et 0,2 kg DBO/kg MES*j (soit un temps de séjour d'environ 1 jour)						
2. Dans un petit nombre d'applications, il est fait état de bons résultats d'élimination même pour des installations avec des charges élevées.						

**Tableau 6.28 - Exemples de taux d'élimination possibles avec des méthodes de traitement biologique pour les effluents des papeteries.**

Un traitement en commun des effluents d'une papeterie ou d'un groupe de papeteries dans l'installation municipale de traitement biologique est également considéré comme MTD lorsque ce traitement commun permet d'atteindre des résultats d'élimination comparables.

Il est difficile de présenter des chiffres sur l'efficacité des techniques mentionnées aux points 1 à 8 qui excluent le traitement biologique car les papeteries performantes utilisent habituellement aussi un traitement biologique et ne communiquent pas séparément les valeurs des émissions avant traitement. Il n'est pas toujours évident de savoir à quelles techniques sont associés les niveaux d'émission avec traitement primaire seulement. Il est donc impossible de préciser sur quelles techniques sont basés les exemples suivants. On ne considère pas que ces usines représentent des MTD, mais des exemples concrets susceptibles de donner des indications concernant les rejets dans les milieux aquatiques lorsqu'on n'a pas recours à un traitement biologique. Par conséquent, les valeurs mentionnées dans le tableau 6.29 concernent toutes des rejets dans l'eau après le seul traitement primaire (traitement physico-chimique).

Usines <sup>1)</sup>	DCO [kg/t]	DBO <sub>5</sub> [kg/t]	MES [kg/t]	Débit [m <sup>3</sup> /t]	Production 97 [t/d]	Commentaires
Usine 1, papier fin non couché	8.7	2.2.	1.0	32.6	pas de données disponibles	pas de traitement biologique
Usine 2, papier fin non couché	6.1	1.3	0.7	37.4	pas de données disponibles	pas de traitement biologique
Usine 3, papier fin non couché	5.7	1.3	0.9	42	pas de données disponibles	pas de traitement biologique
Usine 4, papier fin couché	3.4	1.1	0.5	13.5	pas de données disponibles	floculation + décanteur
Usine 5, papier fin couché	5.1	1.5	1.0	48	pas de données disponibles	floculation + décanteur
Usine 6, papier fin couché	3.6	1.4	1.4	24	pas de données disponibles	floculation + décanteur
Usine 7, papier à usage sanitaire et domestique (fibres vierges)	2.2	0.6	0.3	36	pas de données disponibles	floculation + décanteur
Usine 8, papier à usage sanitaire et domestique (fibres vierges, DE)	1.1	0.15	0.002	5	29000	filtre à disque
Note :						
1) Il a été demandé au EIPPCB de traiter les données communiquées de façon confidentielle.						

**Tableau 6.29 - Exemples de niveaux d'émissions annuels moyens après traitement primaire seul, pour quelques papeteries non intégrées dans un État membre (année de référence : 1997). La liste des usines est une sélection de papeteries pour lesquelles des données étaient disponibles, et elle ne prétend donc pas être exhaustive.**

Compte tenu du manque de transparence pour savoir si (et le cas échéant dans quelle mesure) les usines sans traitement biologique ont appliqué des MTD, aucun niveau d'émissions associé à l'utilisation de MTD avec le seul traitement primaire n'est proposé.

Le tableau 6.30 indique les niveaux d'émissions atteints en Europe par quelques papeteries non intégrées considérées comme obtenant de bons résultats. On peut postuler qu'elles ont mis en œuvre une combinaison appropriée de MTD, mais pas nécessairement toutes, ainsi qu'un traitement biologique des effluents.

Exemples de papeteries	Niveaux d'émissions communiqués atteints après traitement biologique						Type de traitement
	DCO [kg/t]	DBO <sub>5</sub> [kg/t]	AOX [kg/t]	MES [kg/t]	Débit <sup>3)</sup> [m <sup>3</sup> /t]	Production '97 [t/a]	par exemple charge normale / faible
Usine 1, papier fin non couché, SE	0.63	0.3	n/a.	0.2	2.6	150000 ('98)	Lit bactérien + réacteur à lit mobile
Usine 2, papier fin non couché, Pays-Bas	1.5	0.4	n/a.	0.3	14	n/a.	non disponible
Usine 3, papier fin couché/non couché, Allemagne	0.44	0.1	0.0007	n/a.	4.5	1000020	Lit bactérien + boues activées
Usine 4, papier fin couché, Pays-Bas	0.93	0.17	< 0.01	0.23	13.8	n/a.	non disponible
Usine 5, papier fin couché, Suède	0.95	0.17	0.0025	0.26	9.53	180000	Réacteur à lit mobile + précipitation chimique
Usine 6, papier fin couché, France	0.4	0.1	n/a.	0.2	14	125000	Boues activées
Usine 7, papier fin couché, France	0.8	0.3	n/a.	0.2	14	125000	Lit bactérien + boues activées
Usine 8, papier fin couché, France	0.4	0.2	n/a.	0.4	11.5	160000	Boues activées
Usine 9, papier à usage sanitaire et domestique (fibres vierges), France	1.5	0.4	n/a.	0.2	20	n/a.	Boues activées
Usine 10, papier à usage sanitaire et domestique (fibres vierges), DE	0.67	0.11	0.005	n/a.	11.5	97000	Boues activées

**Tableau 6.30 - Exemples de niveaux annuels moyens d'émissions dans les milieux aquatiques atteints après le traitement biologique par quelques usines européennes obtenant de bons résultats (année de référence : 1997).**

La liste des usines est une sélection de papeteries pour lesquelles des données étaient disponibles ou communiquées, et elle ne prétend donc pas être exhaustive. Ces données proviennent de communications personnelles. La méthode d'analyse est celle utilisée dans les pays respectifs. En Suède, les valeurs pour la DBO sont exprimées en DBO<sub>7</sub>.

En supposant que l'installation de traitement des effluents a été correctement conçue et dimensionnée, et qu'elle est conduite et contrôlée par des opérateurs qualifiés, on considère que les niveaux d'émissions associés à une combinaison de MTD sont ceux qui sont indiqués dans le tableau 6.31. Les charges relatives aux effluents excluent la part de la fabrication de la pâte.

En dépit de la grande variété de types de papiers différents fabriqués, on peut dire que les papeteries qui ont mis en œuvre des MTD atteignent pratiquement les mêmes niveaux d'émissions dans l'eau. Par conséquent, en ce qui concerne les rejets après un traitement approprié des effluents provenant des différentes catégories de production de papier, on n'a pas identifié de différences significatives entre les types de papiers (à l'exception de ceux provenant de usines de papiers spéciaux, voir section 6.4.3).

Paramètres	Unités	Papier fin non couché <sup>1)</sup>	Papier fin couché <sup>2)</sup>	Papier à usage sanitaire et domestique <sup>3)</sup>
DBO <sub>5</sub>	kg/t	0.15-0.25	0.15-0.25	0.15-0.4
DCO	kg/t	0.5-2	0.5-1.5	0.4-1.5
MES	kg/t	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.4
AOX	kg/t	< 0.005	< 0.005	< 0.01 <sup>4)</sup>
Total P	kg/t	0.003-0.01	0.003-0.01	0.003-0.015
Total N	kg/t	0.05-0.2 <sup>5)</sup>	0.05-0.2	0.05-0.25
Effluent	m <sup>3</sup> /t	10-15 <sup>6)</sup>	10-15	10-25 <sup>7)</sup>
Notes:				
1) La composition en fibres peut être par exemple de 100 % de pâte kraft blanchie et les charges peuvent représenter 15 à 30 %. Pour les papiers collés dans la masse, il faut considérer les seuils supérieurs de DCO et DBO.				
2) La composition en fibres peut être par exemple de 100 % de pâte kraft blanchie et les charges et produits de couchage peuvent représenter de 20 à 40 %. Les opérations consistent en un encollage sur les deux faces et application des sauces de couchage.				
3) La composition en fibres est de 100 % de pâte chimique achetée. Pour les papiers à usage sanitaire et domestique fabriqués à partir d'un mélange de fibres recyclées et de fibres vierges, voir également le chapitre 5.4.2.				
4) La valeur plus élevée d'AOX peut être due à des agents de résistance à l'état humide contenant des substances organiques chlorées.				
5) Pour les qualités colorées, les rejets d'azote peuvent être plus élevés lorsqu'on utilise des colorants azoïques.				
6) Pour les usines qui produisent des qualités colorées ou fortement colorées, la consommation d'eau fraîche ne peut normalement pas être ramenée à moins de 17 m <sup>3</sup> /t.				
7) Une modification du grammage et de la vitesse de la machine à papier jouent un rôle important sur la consommation spécifique d'eau (SWC). Des grammages peu élevés (jusqu'à 12 g/m <sup>2</sup> ) et des vitesses basses correspondent à des SWC plus élevés.				

**Tableau 6.31 - Niveaux annuels moyens d'émissions et de consommation associés à l'utilisation des MTD pour des usines non intégrées de papier non couché, papier fin couché et papier à usage sanitaire et domestique.**

Les données relatives aux émissions concernent des papeteries non intégrées. Mais il y a en Europe de plus en plus d'usines partiellement intégrées, c'est-à-dire dont une partie consiste en pâte produite sur le site, l'autre en pâte chimique achetée. Dans ce cas, il convient d'ajouter les émissions de la fabrication de la pâte in situ à celles de la production du papier, au prorata des activités de fabrication de la pâte.

Le tableau 6.31 doit être interprété à la lumière des explications supplémentaires suivantes :

**DBO** (Demande Biologique d'Oxygène) : dans les installations de traitement bien conçues, la DBO est presque entièrement éliminée (suppression de 95 % +) des effluents liquides des papeteries quand le rapport carbone-phosphore-azote et l'apport en oxygène sont maintenus à un niveau suffisant et bien maîtrisé. En cas de perturbations ou si les paramètres de marche s'éloignent du niveau visé, la concentration de DBO dans les effluents commencera à augmenter. Cela nécessite un ajustement des paramètres de fonctionnement et/ou une analyse de la biomasse. Les niveaux de la DBO<sub>5</sub> sont généralement inférieurs à 25 mg DBO<sub>5</sub>/l et ils peuvent descendre jusqu'à 5 mg/l, à savoir une élimination presque complète. Cependant, des niveaux proches de 5 mg/l sont difficiles à mesurer avec précision et difficilement reproductibles. Selon le débit de l'eau, cela correspond respectivement à 0,15 kg DBO<sub>5</sub> /t (pour 10 mg/l et un débit de 15 m<sup>3</sup>/t) et 0,25 kg DBO<sub>5</sub> /t (pour 25 mg/l et un débit de 10 m<sup>3</sup>/t).

**DCO** (Demande Chimique d'Oxygène) : selon le type de papier fabriqué, les techniques appliquées pour prévenir et contrôler les émissions et le débit d'eau par tonne de produit, les effluents de papeteries contiennent, après traitement, entre 50 et 150 mg DCO/l.

**MES** (Matières en Suspension) : dans des conditions de fonctionnement normales, l'eau provenant du décanteur secondaire est relativement claire. La teneur en matières en suspension se situe dans une fourchette de 20 à 30 mg/l. Cela correspond à des rejets de 0,2 à 0,4 kg MES/t. Les valeurs dépendent de la charge surfacique du décanteur secondaire et des caractéristiques de la biomasse. Normalement, avec la biofiltration, il est également possible d'atteindre des concentrations plus basses.

**AOX** : aujourd'hui, les rejets de matières organiques chlorées sont très faibles étant donné que la pâte achetée utilisée dans les papeteries non intégrées est généralement de la pâte blanchie ECF ou TCF. Le traitement à boues activées se traduit par une réduction supplémentaire des AOX, de l'ordre de 30 à 50 %. Toutefois, cette réduction est obtenue en partie grâce à la séparation de ces composés lors du traitement des effluents. Selon la pâte achetée et les additifs chimiques utilisés, les papeteries rejettent moins de 0,005 kg/t de composés organiques chlorés.

**N et P** (azote et phosphore) : on ajoute habituellement des substances nutritives minérales dans l'installation de traitement biologique pour maintenir l'équilibre C : P : N qui est d'une importance capitale pour assurer la croissance de la biomasse active. Afin de trouver et maintenir un équilibre entre le carbone biodégradable et les composés d'azote et de phosphore, le dosage des substances nutritives ajoutées doit être réglé avec une certaine finesse de précision. Habituellement, le phosphore est ajouté sous forme d'acide phosphorique et l'azote sous forme d'urée. Lorsque le circuit est optimisé, on peut atteindre un rejet de substances nutritives nettement inférieur à 1 mg P total/l et à 5 mg N total/l. Les charges correspondantes sont respectivement de 0,003 à 0,001 kg P/t et 0,05 à 0,2 kg N/t.

### Mesures pour réduire les émissions dans l'atmosphère

Les émissions dans l'atmosphère des papeteries non intégrées sont principalement liées aux chaudières de puissance. Ces installations sont en général des chaudières standard et elles ne diffèrent pas des autres centrales électriques. On présuppose qu'elles sont régulées comme n'importe quelle autre centrale de même capacité. C'est pourquoi, dans la présente section, on ne mentionne que brièvement les MTD généralement reconnues.

1. Mise en place d'une technologie à faible teneur en NO<sub>x</sub> dans les chaudières.
2. Réduction des émissions de SO<sub>2</sub> provenant des chaudières à vapeur grâce à l'utilisation de fioul et de charbon à faible teneur en soufre ou en limitant les émissions de S.
3. Recours à la génération combinée de chaleur et d'énergie
4. Utilisation de sources renouvelables telles que le bois ou les déchets de bois de manière à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> fossile (cette technique ne peut s'appliquer que dans les papeteries intégrées qui exploitent une ligne de production de pâte vierge).

Les niveaux d'émissions, associés aux MTD, en provenance des chaudières auxiliaires procédant à l'incinération de leurs propres biocombustibles et/ou de différents combustibles fossiles sont récapitulés dans le tableau ci-après. Il convient de noter que, dans l'industrie de la pâte à papier et du papier, les chaudières auxiliaires sont de tailles extrêmement variables (de 10 à plus de 200 MW). Pour les plus petites, seul le recours à du combustible pauvre en S et une action au niveau des techniques de combustion sont possibles à des coûts acceptables, alors que pour les plus grandes, on peut aussi envisager des mesures de limitation. Cette différence est illustrée dans le tableau suivant. Les chiffres les plus élevés sont considérés comme des MTD pour les petites installations et ils sont atteints lorsqu'on agit uniquement sur la qualité du combustible et en appliquant des mesures internes. Les niveaux les plus bas (entre parenthèses) sont associés à des mesures de limitation supplémentaires telles que la SNCR et les scrubbers et sont considérés comme des MTD pour les installations les plus grandes.



Emissions	Charbon	Huile lourde (mazout)	Gazole	Gaz	Biocombustible (par ex. écorce)
mg S/MJ de combustible consommé	100 - 200 <sup>1</sup> (50 - 100) <sup>5</sup>	100 - 200 <sup>1</sup> (50-100) <sup>5</sup>	25-50	<5	< 15
mg NO <sub>x</sub> /MJ de combustible consommé	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	80 - 110 <sup>2</sup> (50-80 SNCR) <sup>3</sup>	45-60 <sup>2</sup>	30 -60 <sup>2</sup>	60 -100 <sup>2</sup> (40-70 SNCR) <sup>3</sup>
mg de poussière/Nm <sup>3</sup>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>	10 - 40 <sup>4</sup> à 3 % O <sub>2</sub>	10-30 3% O <sub>2</sub>	< 5 3% O <sub>2</sub>	10 - 30 <sup>4</sup> à 6% O <sub>2</sub>
Notes					
1) Les émissions de soufre des chaudières à mazout ou à charbon dépendent de la possibilité de se procurer du mazout ou du charbon pauvre en soufre (S). On pourrait obtenir une certaine réduction du soufre en injectant du carbonate de calcium.					
2) On n'agit qu'au niveau de la technologie de la combustion.					
3) On applique également des mesures secondaires telles que la SNCR; uniquement pour des installations de grandes dimensions.					
4) Valeurs obtenues lorsqu'on a recours au dépoussiérage électrostatique.					
5) Lorsqu'on utilise un scrubber; ne s'applique qu'aux installations de grandes dimensions.					

**Tableau 6.32 - Niveaux d'émissions associés à l'utilisation de MTD pour différents combustibles.**

Les charges spécifiques, par tonne de papier, des émissions dans l'atmosphère sont spécifiques au site. Les différences d'émissions dans l'atmosphère par tonne de papier sont dues à deux facteurs principaux, à savoir: le type d'alimentation en énergie, y compris le combustible utilisé et les mesures de lutte contre la pollution atmosphérique, et la quantité de vapeur et d'électricité consommée par tonne de produit. Le type de papier, les besoins spécifiques en énergie pour produire une certaine qualité de papier et le recours à des technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique ont une incidence sur la demande spécifique de vapeur et d'électricité.

Le premier facteur, le choix entre gaz, fioul ou charbon, bois ou électricité est fortement tributaire des conditions économiques rencontrées, et l'on estime qu'il n'entre pas dans le cadre du présent document de préciser lequel de ces combustibles est une MTD. Cela dit, lorsqu'il existe une source d'approvisionnement en gaz naturel et que les conditions économiques le permettent, on considère que l'utilisation du gaz naturel est une MTD. Lorsqu'on utilise du fioul, on estime qu'une teneur en soufre de 1 % ou moins est une MTD.

La demande d'énergie des usines performantes est discutée ci-après.

Les émissions spécifiques du produit peuvent être calculées à partir de la combinaison du système d'approvisionnement en vapeur et en électricité, du combustible choisi, des mesures de lutte contre la pollution atmosphérique et de la consommation d'énergie.

Pour les papiers couchés, une sélection attentive des formules des sauces de couchage est considéré comme MTD. Grâce à cette mesure, il est possible d'éviter ou de réduire l'émission de carbones organiques volatiles et de certaines substances isolées susceptibles de poser des problèmes telles que l'acrylonitrile ou le formaldéhyde. Il convient d'éviter en particulier les formules de sauces de couchage comprenant des composés cancérogènes.

### Mesures pour réduire les déchets solides

1. *Minimisation de la génération de déchets solides et récupération, réutilisation et recyclage de ces matériaux dans toute la mesure du possible.*

2. *Collecte séparée des fractions de déchets à la source et, si nécessaire, stockage intermédiaire des matières résiduelles/déchets pour permettre à une plus grande quantité d'être réutilisée ou recyclée plutôt qu'envoyée à la décharge.*

3. *Réduction des pertes de fibres et de charges.*

Par le passé et dans les papeteries anciennes, les bassins de sédimentation étaient la technique la plus courante. Il est possible d'améliorer considérablement l'efficacité de la séparation en utilisant un filtre à disque ou une unité de microflottation.

4. *Récupération et recyclage des effluents du couchage.*

Le recours à l'ultrafiltration pour la récupération des effluents du couchage s'est avéré avantageux dans de nombreuses usines, avec peu ou pas d'incidences négatives sur la qualité des papiers fins et à usage graphique lorsqu'on utilise un concentrat pour la sous-couche. Dans les usines de papier magazine, on peut utiliser de faibles quantités de concentrat de l'UF sans inconvénients pour la qualité. Mais il faut tenir compte d'une multitude d'aspects techniques et logistiques lorsqu'on applique cette technique qui, de ce fait, est difficilement à la portée des petites usines.

5. *Prétraitement des boues avant réutilisation ou élimination finale.*

Il existe plusieurs techniques de déshydratation des résidus et des boues. La teneur en solides secs qui en résulte dépend des caractéristiques de la boue et des techniques mises en œuvre. Une teneur élevée en solides secs signifie habituellement moins de problèmes de transport et un pouvoir calorifique plus élevé de la boue, ce qui est particulièrement intéressant lorsque les résidus sont brûlés.

6. *Réduction des quantités de déchets à envoyer à la décharge. Identification des possibilités de mise en place d'opérations de récupération et, le cas échéant, utilisation des déchets en vue du recyclage des matériaux ou incinération avec récupération d'énergie.*

Dans certains cas, on a besoin de combustibles d'appoint ou de résidus supplémentaires à valeur calorifique plus élevée (par exemple écorce, déchets de bois) lorsque la quantité mise en décharge est réduite grâce au recours aux techniques de combustion.

La quantité de déchets solides à mettre en décharge varie essentiellement en fonction de l'utilisation et des méthodes de traitement choisies. Ce choix est déterminé par des facteurs tels que l'infrastructure locale, les coûts et la concurrence de résidus d'autres industries. Il convient de noter que l'on ne dispose que de peu de renseignements fiables sur les quantités de déchets solides qu'il est possible d'atteindre. On manque de données statistiques comparables et, en Europe, on emploie différents termes pour différentes variétés de déchets. C'est pourquoi nous ne présentons pas de valeurs pour les quantités spécifiques de déchets solides destinés à la décharge.

## **Mesures pour économiser l'énergie**

En général, dans ce secteur, on considère comme MTD le recours à des techniques avec un bon rapport d'efficacité énergétique. Il existe de nombreuses solutions pour économiser l'énergie à de nombreux stades du processus de fabrication. Habituellement, ces mesures sont liées à des investissements en vue de remplacer, reconstruire ou moderniser des matériels. Compte tenu des économies d'échelle, les petites usines sont moins en mesure d'investir dans de nouvelles technologies avec un bon rapport d'efficacité énergétique. Il convient de noter que la plupart des mesures visant à des économies d'énergie ne s'appliquent pas seulement dans ce seul but. Une production rentable, une amélioration de la qualité des produits et une réduction des coûts globaux figurent parmi les incitations les plus importantes à investir. Les techniques permettant d'économiser l'énergie peuvent donc être considérées comme des techniques qui sont intégrées dans de nombreux autres aspects de la fabrication du papier.

Pour réduire la consommation de vapeur et d'énergie, on peut choisir parmi les mesures disponibles suivantes :

1. *Mise en œuvre d'un système pour surveiller l'utilisation et l'efficacité de l'énergie.* A partir de renseignements fiables sur les performances en matière d'énergie, il est possible de prendre des mesures adéquates. La gestion de l'énergie inclut l'élaboration, le suivi, le réexamen et la révision des objectifs en matière de rendement énergétique.
2. *Un égouttage plus efficace de la feuille continue de papier dans la section des presses de la machine à papier* grâce au recours aux techniques de pressage à rouleaux presseurs à large surface de contact (presse à patin). (Cela ne s'applique pas aux usines de papier à usage sanitaire et domestique).
3. *Mise en place de technologies efficaces*, telles que trituration haute consistance, meilleure pratique de raffinage, formation à double toile, systèmes à vide optimisés, entraînements à vitesse réglable pour les ventilateurs et les pompes, moteurs électriques haute performance, dimensionnement correct des moteurs électriques, récupération de chaleur des condensats ou des émissions gazeuses, augmentation de la concentration en size-press.  
Il se peut que certaines de ces techniques ne puissent être mises en œuvre que si l'on envisage de toutes façons une modernisation ou un remplacement du matériel.
4. *Réduction de la consommation directe de vapeur* grâce à une intégration méticuleuse du processus en recourant à l'analyse des possibilités d'économie.

Dans de nombreux pays européens, il est difficile d'accéder aux informations sur l'équilibre énergétique des papeteries. En effet, ils utilisent différents schémas pour leurs rapports, s'ils en font, et la demande d'énergie dépend aussi de la qualité du produit (notamment dans les usines de papiers à usage sanitaire et domestique) et dans une certaine mesure des conditions locales. Il est donc difficile de quantifier les consommations d'énergie associées à l'utilisation de MTD. C'est pourquoi les fourchettes de consommation d'énergie des papeteries, qui sont indiquées dans le tableau 6.33, doivent être considérées uniquement comme une indication du besoin approximatif en chaleur de process et en énergie pour des papeteries avec un bon rapport d'efficacité énergétique. On pourra peut-être y ajouter d'autres exemples d'usines avec un bon rapport d'efficacité énergétique, conditions spécifiques incluses, dans une version révisée du BREF.

Type d'usine	Consommation de chaleur de process (nette) en GJ/t	Consommation d'énergie (nette) en MWh/t
Non intégrée, papier fin non couché	7.0 - 7.5	0.6 - 0.7
Non intégrée, papier fin couché	7.0 - 8	0.7 - 0.9
Usine non intégrée, papier à usage sanitaire et domestique	5.5 – 7.5 <sup>1)</sup>	0.6 - 1.1
Notes :		
1) Dans les usines de papier à usage sanitaire et domestique, la consommation d'énergie dépend avant tout du système de séchage utilisé. Le séchage à l'air dans la masse et le crêpage consomment d'importantes quantités supplémentaires de chaleur de process, jusqu'à 25 GJ/t (selon ETF).		

**Tableau 6.33 - Indication de la consommation d'énergie associée à l'utilisation de MTD pour différents types de production de papier, par tonne de produit.**

Il convient de noter que les consommations de vapeur et d'électricité peuvent être supérieures, respectivement, de 10 à 25 % et de 5 à 20 % selon la taille de l'usine. Le degré de raffinage aussi joue un rôle important dans la demande d'électricité.

## Atténuation du bruit

La MTD est la réduction des niveaux sonores audibles dans le voisinage des papeteries. Les mesures prises dépendront dans une très grande mesure des problèmes sonores spécifiques de l'usine et des objectifs fixés. Elles seront généralement beaucoup plus rigoureuses lorsque l'usine est implantée à proximité d'une zone résidentielle.

## Utilisation des produits chimiques

On considère en général comme MTD pour l'utilisation de produits chimiques :

1. la mise en place d'une base de données pour tous les produits et additifs chimiques consommés, comprenant des renseignements sur leur composition chimique, leur dégradabilité, leur toxicité pour les personnes et l'environnement et le risque potentiel de bio-accumulation.
2. la mise en œuvre du principe de substitution, à savoir l'utilisation de produits moins dangereux lorsqu'ils existent.
3. des mesures pour éviter les rejets accidentels dans le sol ou dans les cours d'eau provenant de la manipulation et du stockage de produits chimiques.  
Conception et conduite des installations de manière à éviter toute fuite de ces substances dangereuses.

### 6.4.3 MTD pour les usines de papiers spéciaux

Les usines de papiers spéciaux constituent un groupe extrêmement varié couvrant une multitude de produits différents. Il s'agit souvent de petites usines, mais nombreuses sont celles qui dépassent le seuil IPPC (20 t/j). La composition de la pâte pour les différents produits peut varier considérablement et inclure de la pâte chimique blanchie ou non, des fibres chimiques et minérales ou d'autres fibres (telles que coton, lin, chanvre, jute, paille, chiffons ou algues).

D'un côté, la plupart des techniques généralement considérées comme des MTD pour les papeteries sont également valables pour ces usines, mais souvent dans une autre mesure. Concernant les émissions dans les milieux aquatiques, certaines explications sont données ci-après.

De l'autre côté, certains des produits des usines de papiers spéciaux présentent des "problèmes environnementaux" spécifiques (par exemple utilisation de solvants, additifs spéciaux, colorants, demande très importante d'eau fraîche etc.). Les meilleures techniques disponibles pour répondre à ces préoccupations spécifiques ne sont pas décrites dans le présent document.

Le traitement biologique des effluents est considéré comme MTD pour les usines de papiers spéciaux présentant des charges élevées de matières organiques résultant par exemple d'un raffinage intensif (au cours duquel une partie des matières organiques est dissoute) ou des additifs chimiques utilisés qui aboutissent dans les effluents. Pour les autres usines, la charge de matières organiques risque d'être trop faible pour justifier un traitement biologique. On peut atteindre les mêmes concentrations de DBO (25 mg/l) et de MES (20 à 40 mg/l) dans ces usines de papiers spéciaux que dans les autres papeteries. La charge qui en résulte dans le milieu récepteur - qui comprend les charges organiques exprimées en DCO - sera souvent plus élevée que dans les autres papeteries en raison des débits d'eau supérieurs.

La consommation spécifique d'eau peut varier dans des proportions considérables en fonction des propriétés des produits et des processus mis en œuvre. Mais les usines de papiers spéciaux ont aussi la possibilité de minimiser la consommation d'eau. Cependant, l'eau ne peut être recyclée que dans certaines limites en raison de la technique de production de ces papiers (par exemple températures plus élevées à cause du raffinage intensif), des exigences de qualité requises pour les différents types de

papiers (par exemple, conductivité électrique, transparence etc.) ou incompatibilité de quelques produits chimiques pour le papier dissous dans différents circuits d'eau. En plus, les papiers spéciaux sont souvent produits en moins grandes quantités et avec plusieurs changements de sorte (par exemple grammage, composition, couleur, largeur) par jour et par machine à papier. A titre d'exemple, une usine de papiers spéciaux pourrait procéder à plus de 5 changements par jour. Or, selon les exigences de qualité, il faudra peut-être entièrement vider et nettoyer les circuits d'eau après un changement.

Certaines usines de papiers spéciaux utilisent un vaste éventail de produits chimiques pour conférer des propriétés données au produit. Ces produits chimiques peuvent inclure des substances contenant des composés organiques chlorés ou de l'azote liés à des substances organiques qui entraînent des rejets plus importants de substances nutritives et d'AOX.

Les fourchettes d'émissions présentées dans le tableau 6.34 ci-dessous ne reposent pas sur les mêmes informations de base que les niveaux d'émissions correspondants pour les autres types de papiers étudiés dans le présent document. Il convient de les interpréter plutôt comme des valeurs indicatives des niveaux d'émissions auxquels on peut s'attendre de la part de certains types d'usines non intégrées de papiers spéciaux.

Paramètres	Unités	Fourchette
DBO <sub>5</sub>	kg/t	0.15-1.3
DCO	kg/t	0.4-7.0
MES	kg/t	0.3-1.0
AOX	kg/t	< 0.005-0.01
Total P	kg/t	0.01-0.04
Total N	kg/t	0.15-0.4
Quantité d'effluents	m <sup>3</sup> /t	15-50 <sup>1)</sup>
Note :		
1) La consommation spécifique d'eau dépasse quelquefois 100 m <sup>3</sup> /t.		

**Tableau 6.34 - Indications de niveaux d'émissions auxquels on peut s'attendre de la part de quelques types d'usines non intégrées de papiers spéciaux, sur la base de la quantité de pâte chimique achetée.**

## 6.5 Techniques émergentes

Dans la présente section, nous présentons quelques "techniques prometteuses" qui, en raison de leur état de développement, ne peuvent pas (encore) être considérées comme des MTD. Mais, étant donné qu'avec le temps elles pourraient répondre aux critères des MTD, elles sont décrites succinctement ici. On notera que cette description des techniques prometteuses dans le présent chapitre ne prétend pas donner un aperçu complet de tous les développements pertinents.

### Introduction

Les derniers développements et les techniques que l'on peut anticiper indiquent que la papeterie de l'avenir présentera probablement les caractéristiques suivantes :

- diminution de la consommation d'eau et des émissions spécifiques de la papeterie grâce à une réutilisation accrue de l'eau, à des boucles d'eau en circuit fermé et à un traitement interne de l'eau
- augmentation de la consommation d'électricité (spécifique de la production)
- baisse du niveau sonore de la papeterie.

Une simulation dynamique et des outils d'intégration totale du site constitueront de nouveaux moyens d'aide pour optimiser la tâche complexe de gestion du processus de la papeterie dans son ensemble. L'automatisation et "l'intelligence" des machines à papier augmenteront rapidement et en feront partie intégrante. Par exemple, des capteurs pourront prédire les propriétés des papiers à l'aide de quelques

mesures appropriées et autoriseront un contrôle rapide et efficace du processus, par exemple en cas de changement de sorte de papier. On a besoin de nouvelles méthodes de mesurage pour gérer des procédés rapides. Outre les mesures de la consistance et des débits, des systèmes de surveillance des produits chimiques en cours de fabrication offriront de nouveaux outils pour optimiser les processus.

Le montant des investissements dans de nouvelles technologies plus complexes est un facteur important de la rentabilité des papeteries et favorise les grandes unités. La tendance actuelle aux grandes usines devrait perdurer. L'accroissement de la rentabilité et la diminution des émissions vont de pair. La complexité des techniques de traitement de l'eau tend à augmenter. Veiller à la bonne marche de ces techniques et assurer leur maintenance correctement constitue de nouveau une gageure pour les petites entités.

Les sections suivantes présentent de nouvelles techniques prometteuses visant à réduire la consommation des matières premières et les émissions. Ces techniques en sont encore au stade du développement avec des perspectives encourageantes d'applications futures, d'autres sont déjà concrétisées à l'échelle industrielle dans un petit nombre d'applications.

Les renseignements comprennent une description succincte de la technique, une évaluation de l'état de développement, les avantages pour l'environnement et les interactions entre les milieux, des considérations économiques, si des données sont déjà disponibles, et des références.

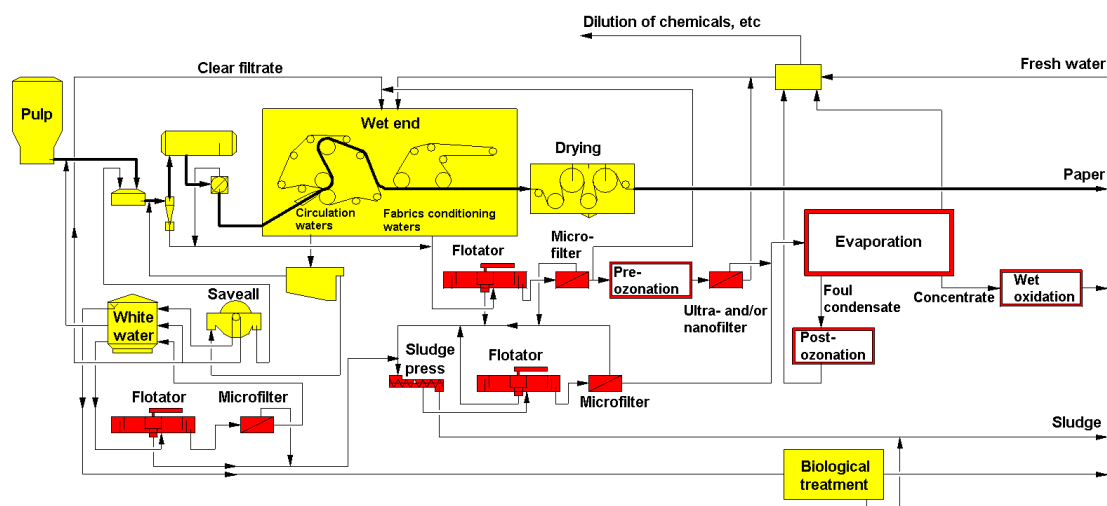
### **6.5.1 Papeteries à "effluents minimum" - conception optimisée des boucles d'eau et techniques avancées de traitement des effluents**

#### **Description**

Les techniques avancées de traitement des effluents dans l'industrie papetière concernent principalement les réacteurs à membrane biologique supplémentaire, les techniques de filtration à membranes telles que la microfiltration, l'ultrafiltration ou la nanofiltration, le traitement à l'ozone et l'évaporation. Jusqu'à présent, en raison du peu d'expérience sur les applications "grandeur nature", de leurs coûts quelquefois relativement élevés et de la complexité croissante du traitement de l'eau, il n'existe que peu d'applications à l'échelle industrielle du traitement tertiaire des effluents liquides des papeteries.

Mais on pourrait envisager d'appliquer ces techniques notamment pour un traitement en cours de fabrication sous forme de "reins" pour éliminer de façon parfaitement ciblée ces substances qui perturbent le rendement de la production de papier ou la qualité du produit papetier.

La figure 6.25 illustre un exemple de modalité de mise en œuvre d'une combinaison des méthodes de filtration à membrane, d'ozonation et d'évaporation pour le traitement des eaux de process d'une papeterie. Cela dit, le choix et la disposition de ces "reins" dans le processus de fabrication doivent être déterminés au cas par cas.



**Figure 6.25 - Panoplie des possibilités de traitement interne et de réutilisation des eaux de la machine à papier [Edelmann, 1997].**

### État d'avancement du développement

Certaines de ces techniques ne sont appliquées qu'à l'échelle d'essais pilotes. Les expériences "grandeur nature" dans des papeteries sont limitées à quelques cas seulement dans le monde. Selon la technique appliquée, on rencontre encore des problèmes de fonctionnement et des coûts relativement élevés. Ces derniers dépendent de l'application et des conditions locales.

Lorsqu'on construit de nouvelles usines ou que l'on modernise ou accroît la capacité d'usines existantes, ce sont des techniques que l'on peut envisager très sérieusement. Ces techniques de régénération de l'eau peuvent aussi servir à réduire la consommation d'eau fraîche dans les usines existantes sans envisager une mise en circuit fermé de toute l'installation d'eau. On s'attend à de nouvelles applications de ces techniques dans l'industrie papetière dans un avenir proche. On observe une tendance à passer du traitement final avant rejet à un traitement interne de flux partiels de l'eau de process. On peut penser que les précurseurs utilisant ces techniques sont implantés dans des sites où les milieux récepteurs font l'objet de contraintes particulièrement rigoureuses, ou encore où les autorités responsables des ressources hydrauliques n'autorisent pas d'accroissement des charges polluantes. Si ces usines souhaitent augmenter leur capacité, elles devront appliquer l'une ou l'autre des techniques susmentionnées.

Le statut des techniques pour le traitement de l'eau dans l'industrie papetière peut être résumé comme suit :

- filtres ramasse-pâte (technique courante). La production du filtrat ultra clair réutilisable peut être augmentée
- flottation (a fait ses preuves à l'échelle industrielle)
- presses de lavage (ont fait leurs preuves à l'échelle industrielle)
- technique d'égouttage des rejets et des boues (a fait ses preuves à l'échelle industrielle)
- traitement biologique classique dans ses différentes versions, par exemple boues activées (en une ou deux phases), avec ou sans matériau support, lit bactérien (combiné avec les boues activées), biofiltres immergés en tant que solution isolée (une ou deux phases) ou combinés avec des boues activées. Toutes ces techniques peuvent être considérées comme ayant fait leurs preuves à l'échelle industrielle.
- traitement biologique interne aux circuits (premières applications industrielles réalisées)
- préfiltration + filtration à membrane (UF, NF) (premières applications industrielles réalisées)

- préfiltration + évaporation (premières applications industrielles réalisées). Si l'on remplace l'eau fraîche par de l'eau d'évaporation, il n'y a probablement pas d'incidences sur les propriétés chimiques ni sur la fabrication du papier.
- ozonation (les premières applications industrielles devraient être réalisées sous peu). Si l'on remplace l'eau fraîche par de l'eau partiellement purifiée, il existe un risque d'accumulation de substances indésirables. Par exemple les sels inorganiques ne sont pas touchés et peuvent réagir avec les produits chimiques du processus et le matériel. L'ozonation est encore considérée comme relativement onéreuse et il convient de mettre au point des techniques moins coûteuses. Ces effets potentiels doivent être contrôlés et il faut approfondir les connaissances en matière de qualité requise de l'eau.
- traitement enzymatique de l'eau de process (au stade de la recherche).

### **Incidences pour l'environnement**

L'objectif de ces techniques avancées de traitement des eaux usées/de process est généralement d'arriver à une élimination plus poussée des polluants qu'avec le traitement biologique courant par exemple via les installations à boues activées. Ces polluants sont la DCO, les colorants, les substances nutritives ou les solides en suspension résiduels. Ces techniques avancées donnent une eau de haute qualité. Il s'ensuit qu'elles offrent une plus grande possibilité de réutiliser "l'effluent" dans le processus sous forme d'eau fraîche. De cette façon, le traitement avancé des eaux usées peut contribuer à une mise en circuit plus complète. Il peut aussi être mis en œuvre pour réduire les charges des rejets dans les milieux récepteurs.

Très souvent, c'est une augmentation significative de la capacité des usines qui incite à rechercher de nouvelles solutions techniques moins polluantes. Certaines autorités européennes demandent que la quantité d'effluents et de déchets des usines qui souhaitent augmenter leur capacité ne dépasse pas le niveau existant avant les investissements. Cela signifie qu'il faut trouver de nouvelles solutions pour réduire la consommation d'eau fraîche et minimiser la quantité de déchets solides.

### **Considérations économiques**

Pas de données disponibles

### **Bibliographie**

Edelman, 1997 ; Borschke, 1997

## **6.5.2 Technique à impulsion pour le séchage du papier**

### **Description**

Le principal objectif à la base du développement de nouvelles techniques d'égouttage dans l'industrie papetière, telle que la technique des impulsions, est l'amélioration des propriétés du papier. Cette technique présente en plus un potentiel d'économie d'énergie.

La technique à impulsion peut offrir des possibilités de teneur élevée en solides secs à la sortie de l'unité, synonyme d'économie d'énergie calorifique pour l'unité de séchage en aval. Dans une section à presses ordinaire, la feuille de papier atteint une siccité d'environ 40 %. Dans les presses à rouleaux presseurs à grande surface de contact, la feuille de papier peut atteindre des niveaux de siccité d'environ 50 %. Avec le séchage à impulsion, certains rapports ont fait état de niveaux de siccité de 55 à 65 % avant la section de séchage, ce qui offre une possibilité de réduire la consommation de chaleur. Des niveaux de siccité élevés signifient qu'il y aura moins d'eau à faire évaporer dans la sécherie sous l'action de la vapeur et que cette section de séchage pourra être plus petite (plus courte). On attend aussi de cette technique une surface du papier plus lisse et avec une meilleure incorporation mécanique, et une feuille conservant une résistance élevée à la flexion. Cette combinaison de



propriétés est extrêmement intéressante pour les matériaux d'emballages comme pour les papiers d'impression.

La technologie dite à impulsion s'efforce de combiner le pressage et le séchage en un seul procédé compact. La feuille de papier humide est exposée à une impulsion d'énergie calorifique intense sous pression entre un élément de pressage et un élément chauffant dans une machine à papier. Cette impulsion provoque une hausse brusque de la température superficielle du papier, à des niveaux très nettement supérieurs à ceux employés dans la technique classique.

Lorsque la feuille de papier entre en contact avec la surface chaude, la vapeur produite commence à déplacer l'eau dans la feuille. La face chaude de la feuille est comprimée sous l'effet du ramollissement thermique et peut être soumise à une modification chimique. La feuille entre dans une deuxième phase d'impulsion juste après la première unité. Dans cette seconde phase, qui agit depuis l'autre face, l'eau est déplacée dans l'autre direction. Les deux phases d'impulsion doivent être correctement équilibrées pour donner une feuille symétrique.

### **État d'avancement du développement**

On a procédé à l'étude de différents concepts qui sont testés sous des noms divers tels que pressage à chaud ou séchage sous pression. Les travaux de développement en sont encore aux premiers stades.

On a rencontré de nombreux obstacles au cours de ces travaux et la technique n'a pas encore reçu d'applications grandeur nature. Il faut rappeler que cette technique fait l'objet de travaux de recherche et de développement depuis le début des années 70 sans avoir fait de véritables percées.

### **Incidences pour l'environnement**

En augmentant la siccité de la feuille de papier de 50 à 51 %, on aura environ 35 kg d'eau/tonne de papier en moins à faire évaporer. Ainsi, la technique du séchage à impulsion pourrait se traduire par une diminution potentielle de 175 à 350 kg/t de papier de la quantité d'eau à faire évaporer. Cela donnerait lieu tout simplement à une économie de la consommation de vapeur de 175 à 350 kg/t soit quelque 0,44 à 0,9 GJ/t de papier (en postulant 2,5 MJ/kg de vapeur) soit environ 10 à 25 % de la consommation actuelle de vapeur de l'industrie papetière.

Cependant, lorsqu'on calcule l'économie d'énergie, il faut tenir compte de l'énergie requise pour le séchage à impulsion proprement dit. Alors que le séchage à impulsion nécessite des températures élevées, on ne peut pas utiliser de vapeur. En revanche, les papeteries disposent normalement d'une quantité excédentaire de vapeur, qui représente aussi une énergie moins coûteuse. De ce fait, la nécessité de recourir à une énergie à haute valeur, telle que l'électricité, réduit les avantages possibles pour l'environnement et le potentiel de rentabilité.

### **Considérations économiques**

On ne dispose d'aucune donnée.

### **Bibliographie**

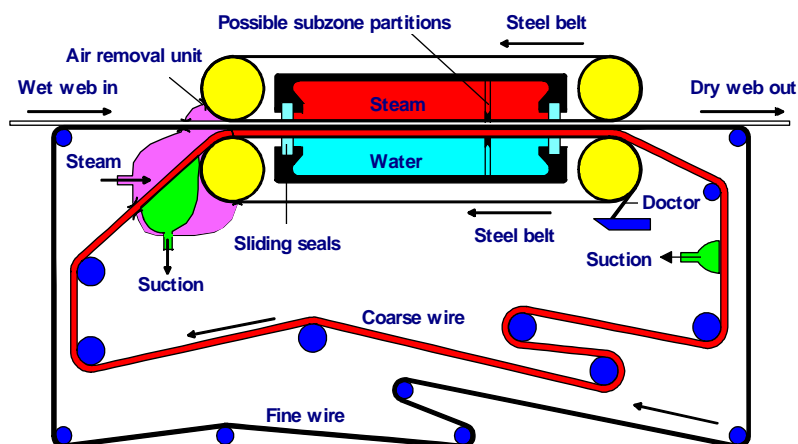
Talja, 1998 ; Rapport SEPA 4712-4, 1997

## **6.5.3 Procédé Condebelt®**

### **Description**

Le procédé de séchage Condebelt® est une nouvelle méthode de séchage du papier et du carton. A l'origine, il s'agissait simplement d'améliorer le séchage du papier et du carton, et c'est seulement plus tard que l'on a pris conscience des importantes améliorations possibles des propriétés de résistance.

Dans ce procédé de séchage Condebelt®, la feuille continue de papier arrivant de la section des presses est séchée entre deux courroies métalliques au lieu des cylindres traditionnels chauffés à la vapeur, selon le schéma de la figure 6.26.



**Figure 6.26 - Représentation schématique du procédé de séchage Condebelt® (type haute pression en Z).**

La feuille continue de papier se déplace entre une courroie métallique supérieure en acier chauffée à la vapeur et une courroie métallique inférieure refroidie à l'eau. La courroie supérieure chaude entraîne l'évaporation de l'humidité de la feuille, qui se recondense sur la courroie inférieure froide. L'eau est emmenée par la courroie en acier et la toile rugueuse. La toile fine entre la feuille et la toile rugueuse réduit les traces de toile sur la face postérieure. La surface de la feuille contre la courroie chaude devient très lisse. La pression et la température élevées à l'intérieur de la feuille assouplissent l'hémicellulose et la lignine contenues dans la matière fibreuse, qui "soude" les fibres ensemble. D'où une résistance accrue et une meilleure protection contre les effets nuisibles de l'humidité. Il devient ainsi souvent possible de se passer de l'encollage en surface, bien qu'il soit normalement utilisé.

Le séchage Condebelt® améliore considérablement la résistance (20 à 60 %), le lissé de la surface, la stabilité dimensionnelle et la résistance à l'humidité. Dans le cas du séchage Condebelt®, avec des fibres recyclées, on peut atteindre les mêmes valeurs de résistance qu'avec des fibres vierges et le séchage traditionnel.

### État d'avancement du développement

Actuellement (1999), il existe deux installations de séchage Condebelt® qui sont exploitées commercialement. La première est en service depuis mai 1996 dans l'usine Pankakowski de Stora Enso en Finlande, qui fabrique des lamellés collés, des papiers couverture et des cartons spéciaux. La seconde a démarré en janvier 1999 sur le site d'Ansan de Dong Il Paper Mfg. Co. Ltd en Corée du Sud, qui produit des papiers couverture et du papier cannelure.

Si l'on considère qu'il existe deux usines commerciales fonctionnant à l'échelle industrielle, on peut admettre que Condebelt® est une technique disponible qui a atteint le stade commercial et n'est plus une technique "émergente". Toutefois, la principale incitation à investir dans le procédé Condebelt® n'est pas tant la protection de l'environnement qu'une amélioration très sensible des propriétés du produit.

### Incidences pour l'environnement

Cette nouvelle technique de séchage n'est pas directement synonyme d'économies d'énergie. Cependant, l'amélioration des caractéristiques de résistance représente un potentiel d'économie grâce à la réduction du grammage. Cela signifie que l'on peut fabriquer plus de mètres carrés à partir d'une même quantité de fibres, sans perte de qualité. En outre, compte tenu des meilleures propriétés que le séchage Condebelt® confère à la feuille de papier, on devrait pouvoir utiliser des matières fibreuses de qualité inférieure ou de la pâte à haut rendement (par exemple 10 % de moins de bois par tonne de papier couverture). La résistance plus élevée et la meilleure protection contre les effets nuisibles de l'humidité pourraient avoir pour effet de rendre souvent l'encollage en surface superflu, bien qu'il soit normalement utilisé.

Bien que la consommation spécifique d'énergie électrique et de vapeur primaire soit pratiquement identique à celle du séchage traditionnel, il existe un plus grand potentiel d'économies d'énergie calorifique. En effet, la quasi totalité de l'eau évaporée et sa chaleur latente peuvent être récupérées de l'eau de refroidissement à des températures relativement élevées (normalement environ 80 °C). Cette énergie peut être utilisée également dans d'autres parties du processus grâce aux pompes à chaleur.

En résumé : les avantages sur le plan de l'environnement sont des économies potentielles de matières premières (fibres, agents d'encollage) et un potentiel légèrement supérieur de récupération de l'énergie.

### Considérations économiques

Pas de données disponibles.

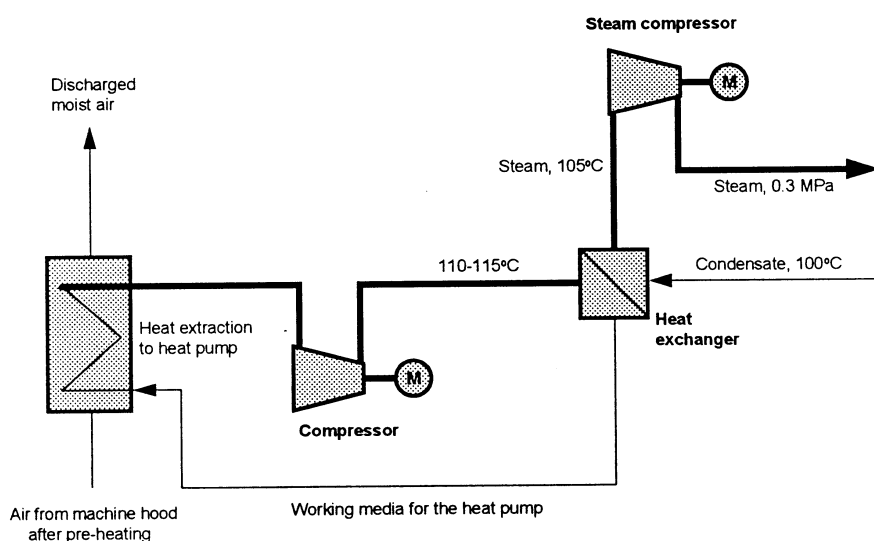
### Bibliographie/Références

Retulainen, 1998 ; Ojala, 1999

## 6.5.4 Pompes à chaleur

### Description

Les pompes à chaleur servent à pomper la chaleur d'un milieu (par exemple l'air) vers un autre (par exemple l'eau). La figure 6.27 illustre un exemple d'application pour une machine à papier.



**Figure 6.27 - Circuit avec pompe à chaleur pour générer la vapeur de process. La source de chaleur est de l'air humide provenant d'une machine à papier.**

### **État d'avancement du développement**

Il existe de nombreuses applications pour les pompes à chaleur dans l'industrie papetière, mais les investissements relativement élevés ont freiné l'utilisation de ce type d'équipement. Par ailleurs, les problèmes d'environnement qui sont associés aux fluides moteurs traditionnels ont rendu l'utilisation des pompes à chaleur encore plus difficile, même si leurs caractéristiques thermodynamiques sont très avantageuses.

### **Incidences pour l'environnement**

A titre d'exemple, l'air humide rejeté peut avoir une température de 105 °C avec un point de rosée de 61 °C. Dans ce cas, la pompe à chaleur peut produire une quantité de chaleur correspondant à 750 kWh/t ou 2,7 GJ/t en consommant 1/3 seulement soit 250 kWh/t de l'énergie pour les moteurs des compresseurs. Cet exemple est basé sur un coefficient de rendement de 3, qui est tout à fait normal.

### **Considérations économiques**

Le potentiel de cette technologie est important, mais le nombre actuel des installations dans l'industrie papetière est faible à cause du montant de l'investissement ainsi que des difficultés mentionnées concernant les fluides moteurs appropriés. Étant donné qu'il s'agit d'une technologie classique, toute innovation implique la découverte ou la mise au point d'un nouveau fluide approprié ainsi qu'un matériel plus efficace par rapport à son coût, notamment du côté des compresseurs.

### **Bibliographie**

Rapport SEPA 4713-2, 1997

## **6.5.5 Outils d'intégration totale du site**

### **Description**

En raison de la complexité de la fabrication du papier, les développements technologiques dans ce secteur se sont effectués pas à pas. Un exemple relatif à la consommation d'eau permet d'illustrer la complexité de ce processus de fabrication. Des mesures visant à accroître le recyclage de l'eau entraînent une modification des propriétés chimiques du processus, une baisse de consommation de la chaleur secondaire, des méthodes différentes de gestion de l'eau, de nouveaux flux de rejets, des modifications dans le fonctionnement du traitement des effluents, une augmentation de la consommation d'électricité et une baisse de celle de chaleur. D'autre part, la consommation d'énergie varie aussi en fonction de la vitesse de production de la machine et du développement de l'exploitation unitaire de la machine. Les choix technologiques auront des incidences sur l'équilibre énergétique de l'usine. On peut en conclure que des solutions intelligentes de processus pour l'avenir s'efforceront de combiner l'ensemble du système : énergie - eau - fibres - produits chimiques pour aboutir à une bonne intégration de l'usine.

### **État d'avancement du développement**

Plusieurs outils informatiques capables d'analyser ce système complexe, y compris les interactions entre les milieux décrits ci-dessous (points 1 à 9) sont en cours de développement et l'on a procédé aux premières études analytiques portant sur des papeteries intégrées.

Cependant, il faut souligner que les outils d'intégration globale du site n'éliminent pas entièrement la nécessité d'études d'installation pilotes.

### **Incidences pour l'environnement**

La question cruciale est de savoir comment élaborer des concepts de processus et d'usines capables d'abaisser les émissions dans l'atmosphère et dans les milieux aquatiques et, en même temps, de réduire la production de déchets solides et d'énergie. Les exigences imposées sont une amélioration de la qualité et de la vitesse, et une meilleure gestion du processus. Cela exige des connaissances plus approfondies sur le comportement des processus. Pour pouvoir développer une technologie industrielle compatible, il faudra également identifier les modifications apportées au processus suite à l'adoption de nouvelles techniques.

Par conséquent, il devient évident que de nouveaux instruments d'optimisation peuvent favoriser le développement de nouveaux procédés de fabrication du papier. Certains outils informatiques incluent les points ou fonctions suivants :

1. Informations sur les concentrations en contaminants dans les différentes parties du processus
2. Modèles de comportement pour les contaminants
3. Paramètres du processus concernant les méthodes de séparation et de traitement
4. Méthodes pour optimiser les concepts de traitement de l'eau en ce qui concerne les concentrations de contaminants et leur comportement
5. Identification des puits et des sources de chaleur
6. Méthodes pour optimiser la consommation de chaleur grâce à une intégration méticuleuse du processus
7. Informations sur les émissions dans l'atmosphère et le milieu récepteur et sur la production de déchets solides à partir du nouveau concept d'usine
8. Plan détaillé du processus sur la base des options choisies
9. Méthodes pour analyser et améliorer les caractéristiques opérationnelles d'exploitation du processus.

### **Considérations économiques**

Pas de données disponibles. L'outil logiciel pour une intégration totale du site n'est pas un investissement important. Mais on a besoin de personnes qualifiées qui devront consacrer un grand nombre d'équivalents hommes/heures pour adapter le logiciel aux caractéristiques spécifiques d'une usine.

### **Bibliographie**

Edelmann, 1999

## 7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le présent chapitre Conclusions et Recommandations concerne le calendrier des travaux, les sources, la disponibilité et la qualité des informations; les remarques générales sur les meilleures techniques disponibles; le degré d'unité de vues parmi les experts du TWG, et des recommandations concernant les activités futures.

### Calendrier des travaux

La rédaction du présent BREF a duré presque 3 années. Les principales étapes ont été les suivantes :

- La première réunion du Groupe de Travail Technique (Technical Working Group - TWG) s'est tenue pendant 2 jours, du 5 au 6 mai 1997.
- Le premier projet du chapitre introduisant ce document a été envoyé aux experts du TWG en novembre 1997. Il contenait des renseignements généraux sur le secteur, sur quelques techniques mises en œuvre et sur les niveaux courants de consommations et d'émissions de quelques parties de ce secteur. Les membres du TWG ont formulé leurs commentaires.
- Changement de l'expert du bureau chargé de l'industrie de la pâte à papier et du papier en janvier 1998.
- Un second projet de document est présenté en août 1998 (pâte chimique, pâte mécanique, traitement des papiers de récupération) et en septembre 1998 (fabrication du papier et procédés connexes). Les commentaires formulés dans le cadre de cette consultation ont apporté de nouvelles données et de nouveaux rapports.
- La deuxième réunion du TWG s'est tenue du 25 au 27 novembre 1998. Les discussions ont été très houleuses et le TWG s'est mis d'accord sur la méthode et le style de présentation des conclusions sur les MTD. Certaines questions telles que les niveaux d'émissions associés à l'utilisation de MTD pour les usines de pâte kraft ont fait l'objet de débats très vifs. Il est apparu évident que l'on avait besoin de données supplémentaires provenant d'usines implantées sur le terrain pour étayer les niveaux d'émissions proposés pour les MTD. De nouvelles données furent communiquées.
- Une partie du projet de BREF sur la pâte à papier et le papier, qui avait été considérablement modifiée à la lumière des discussions de la seconde réunion du TWG et des commentaires reçus suite à cette réunion, a été diffusée en janvier 1999. Elle démontrait, sur la base d'exemples tirés de la fabrication de la pâte kraft, que les conclusions sur les MTD étaient basées sur des renseignements valables. Les membres du TWG ont formulé leurs commentaires.
- Les conclusions sur les MTD et les principes de la PRIP (IPPC) ont été présentés et discutés lors de la Cinquième Réunion du Forum d'échange d'informations PRIP (IPPC) MTD, les 18 et 19 février 1999. Le IEF a adopté la méthode et est convenu que les conclusions reposaient sur une base saine.
- Un troisième projet de l'ensemble du document a été présenté au mois d'août 1999. Les commentaires reçus dans le cadre de cette consultation ont de nouveau apporté de précieux renseignements complémentaires. Ceux-ci ont été inclus dans le rapport final.
- Le projet final du BREF a été terminé en février 2000.
- Le document définitif et les points de désaccord entre les experts du TWG ont été présentés et discutés lors de la Septième Réunion du Forum d'échange d'informations PRIP (IPPC) MTD, les 28 et 29 février 2000.

### Sources d'informations

Il existe de très nombreuses informations et études sur les différents aspects liés à l'environnement de l'industrie papetière. Des pays et des organisations internationales ont publié un certain nombre de documents sur les MTD, de documents d'orientation et d'ouvrages techniques de base sur les divers

problèmes environnementaux. En Europe, de nombreux pays appliquent des réglementations spéciales pour les papeteries, alors que d'autres utilisent des documents d'orientation pour accorder des autorisations au cas par cas (cependant, quelques pays ne disposent ni d'une réglementation spéciale ni de documents d'orientation). Des recommandations et des décisions ont été adoptées dans le cadre de différentes conventions sur la protection de l'environnement marin. Ces recommandations concernent les MTD visant à réduire les émissions de l'industrie papetière dans les milieux aquatiques et dans l'atmosphère. Plusieurs études sur les MTD pour cette industrie ont été réalisées au cours de la dernière décennie, également au nom de la Commission Européenne. Tous ces renseignements se sont révélés utiles pour décrire les différents aspects des MTD décrites dans le BREF. Toutefois, il fallait mettre à jour, compléter et fusionner les mesures visant à réduire les émissions, qui sont souvent présentées isolément, en vue d'aboutir à une approche intégrée couvrant tous les aspects principaux à prendre en considération pour déterminer les MTD conformément à l'Annexe IV de la Directive.

Pour épauler les travaux du Bureau PRIP Européen (European IPPC Bureau - EIPPCB), certains États membres et l'industrie ont exécuté ou commandé des études visant à une description plus intégrée des MTD dans le secteur papetier. La Confédération des Industries Papetières Européennes (CEPI) a réalisé trois études sur les MTD à l'appui de ces travaux, le Groupement Ondulé (Association Européenne des Fabricants de Papier support pour Ondulé) a commandé un rapport sur les MTD pour la production de matériaux pour boîtes fabriqués à partir de fibres recyclées. La Finlande a fourni deux études sur les MTD, comprenant les niveaux d'émissions des MTD, la Suède a soumis deux études sur les économies d'énergie possibles et leur incidence sur les coûts, et les Pays-Bas ont présenté un rapport sur les MTD pour la fabrication de pâte à papier et de papier à partir de fibres recyclées. Les commentaires et les contributions des membres du Groupe de travail technique (TWG) ont été très utiles pour le résultat des échanges d'informations sur les MTD.

On dispose de bons renseignements sur les mesures de réduction des émissions dans les milieux aquatiques et dans l'atmosphère, qui reflètent la tendance mondiale à déployer des efforts pour réduire ces émissions, qui a dominé les activités des papeteries en matière d'environnement. Les informations sont moins nombreuses sur l'évaluation des technologies présentant un bon rapport d'efficacité énergétique et des différentes solutions en matière de minimisation des déchets solides dans l'industrie papetière.

Au cours de ces travaux, il est apparu que l'on manquait d'informations concernant des données suffisamment valables sur les émissions spécifiques des usines. Fréquemment, dans les ouvrages techniques de base, la description des résultats, au niveau de l'environnement, des mesures internes et externes reste relativement vague. Il a été difficile, voire quelquefois impossible, de recueillir des informations spécifiques sur les usines et des chiffres fiables sur les meilleures performances. Il a souvent été nécessaire de compléter les données sur les résultats au niveau de l'environnement, d'ajouter des renseignements sur les interactions entre les milieux et aussi sur les coûts. Cela dit, une quantité de renseignements utiles ont été recueillis par les membres du TWG et communiqués au EIPPCB, ce qui a permis de combler la majeure partie des lacunes.

La transparence des résultats de l'industrie papetière européenne au niveau de l'environnement est toujours limitée à un petit nombre de pays. La Suède et la Finlande par exemple publient régulièrement des statistiques sur l'environnement accessibles au public, qui précisent les résultats de différentes usines dans ce domaine. Aux Pays-Bas, à partir de 2 000, les papeteries devront publier un rapport annuel sur l'environnement dans lequel elles communiqueront, à l'intention du public, des données sur leurs performances en matière d'environnement. En Irlande aussi, le public pourra consulter la totalité des données de surveillance et des rapports communiqués par les entreprises, ainsi que les données de surveillance de l'Agence pour la Protection de l'Environnement. Le but de l'industrie et des sociétés est de créer les conditions d'une connaissance objective et transparente des résultats atteints en vue de réduire les impacts sur l'environnement des papeteries. Une stratégie tendant à une plus grande ouverture et à une meilleure information du public pourrait aider à atteindre ce but (en attirant un plus grand soutien public).

Il convient de noter que les renseignements relatifs aux données fournies sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse étaient souvent insuffisants. La périodicité des références (par exemple valeurs moyennes quotidiennes ou annuelles), les méthodes de calcul et les conditions des références étaient souvent inexistantes ou incomplètes. Par conséquent, la comparabilité de ces données sur les performances environnementales varie et devra être améliorée à l'avenir. Pour cela, il est préconisé de procéder à une étude à l'échelle européenne sur la façon dont les papeteries compilent leurs données sur leurs performances au niveau de l'environnement, et pour savoir si les différentes méthodes sont pertinentes et, dans l'affirmative, dans quelle mesure et dans quel contexte. Par exemple, pour déterminer les émissions diffuses dans l'atmosphère (soufre réduit total émis par de nombreuses petites sources en faibles concentrations et en grands volumes) il semble que les usines de pâte kraft européennes utilisent différentes méthodes d'acquisition des données et de mesurage. Les calculs et les rapports sur la consommation d'énergie pourraient également bénéficier d'une telle étude. En Europe, les termes techniques ou s'appliquant aux fractions de déchets, ou les fractions de déchets identifiées varient aussi selon les usines. Par conséquent, on ne sait pas toujours de façon claire quels types de déchets sont inclus ou non dans les chiffres communiqués concernant les quantités de déchets solides. D'autres paramètres tels que DCO, DBO, MES, SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> semblent présenter moins de variations, étant donné qu'il existe des normes internationales qui les déterminent.

On manque encore de données suffisamment qualifiées sur les coûts qui soient fiables, transparentes, et permettent d'établir un lien entre les techniques et les coûts et les économies. De ce fait, il est difficile de comparer le coût des techniques. On dispose bien de quelques données sur les coûts mais, en général, on ne sait pas exactement ce qui est inclus dans les chiffres ou comment ils ont été calculés. Qui plus est, ces coûts varient considérablement d'une usine à l'autre pour une même mesure, par exemple parce que les points de départ techniques ou le calendrier des investissements dans le processus sont différents. Par conséquent, les coûts indiqués dans le présent document ne peuvent être que des ordres de grandeur, et non des chiffres exacts. Le coût relatif à une usine donnée ne peut être calculé qu'à partir de la situation décrite dans l'autorisation.

### **Meilleures techniques disponibles**

Des concepts, qui sont plus ou moins semblables aux MTD dans la Directive PRIP, sont appliqués dans l'industrie papetière depuis déjà un certain temps. Des technologies et des stratégies ont été mises au point pour minimiser la consommation de matières premières, de produits chimiques, d'énergie et d'eau fraîche et pour réduire les émissions dans les cours d'eau, l'atmosphère et le sol. Au cours des deux dernières décennies en particulier, de nombreuses papeteries européennes ont investi des sommes considérables et modifié leurs installations. L'incidence de ces usines sur l'environnement dans son ensemble a pu être réduite notablement grâce à des mesures internes aussi bien qu'externes. Il faut néanmoins encore apporter des améliorations et faire des efforts pour parvenir à l'objectif de durabilité à long terme.

Jusqu'à présent, la législation et le contrôle des autorités chargées de la protection de l'environnement étaient principalement axés sur les émissions dans l'atmosphère et les milieux aquatiques. Les réglementations et leur mise en œuvre ont été des moteurs importants des améliorations substantielles observées à ce jour. Toutefois, il n'y a pas que les pouvoirs publics mais également les investisseurs, les clients, le public en général et notamment les groupes politiques, les groupes de pression écologistes et les médias qui jouent un rôle actif en exigeant que les usines réduisent leur impact sur l'environnement. L'attention accordée aux différentes questions varie dans une certaine mesure dans le temps. Ces dernières années, des sujets tels que consommation efficace des matières premières et de l'énergie, minimisation des déchets solides, utilisation de produits chimiques moins dangereux pour l'environnement et transport vers et depuis les usines ont pris de plus en plus d'importance. La gestion durable des ressources sylvicoles et les questions de transport ne sont généralement pas prises en compte lors de l'octroi des autorisations et sortent du cadre du présent document.



De nombreuses sociétés ont adopté une approche plus holistique de l'environnement. De nouvelles méthodes ont été mises au point et appliquées pour analyser l'interaction entre les produits et les processus de production et l'environnement dans une perspective du cycle de vie ("chaîne du papier").

Les échanges d'informations ont permis d'aboutir à des conclusions sur les MTD à l'échelle du secteur. Certains niveaux d'émissions et de consommations sont associés à la mise en œuvre d'une combinaison des meilleures techniques disponibles, et ces niveaux sont précisés dans le BREF. Le résumé principal récapitule les résultats-clés concernant toutes ces conclusions sur les MTD. Les éléments des MTD sont décrits plus en détail dans les chapitres "MTD", qui contiennent également des explications supplémentaires.

### Degré d'unité de vues

Le présent BREF a reçu l'adhésion de la plupart des membres du TWG et des participants à la 7<sup>e</sup> réunion du Forum d'échange d'informations. Mais CEPI – qui représente l'industrie papetière – ainsi que quelques États membres ont déclaré ne pas entériner entièrement ce projet final en contestant certaines des conclusions présentées dans le présent document. Les raisons invoquées sont mentionnées ci-dessous.

Un petit nombre d'États membres et la CEPI ont fait savoir qu'ils estimaient que les niveaux d'émissions associés aux MTD devraient être présentés séparément pour les nouvelles usines et celles existant déjà. Ce qui semble logique au premier abord est plus problématique d'un point de vue pratique. On rencontre des difficultés parce que, dans les papeteries, l'applicabilité d'une technique ne dépend pas seulement du fait qu'une usine est nouvelle ou pas. Dans les usines de pâte et de papier, on observe une tendance à moderniser le matériel au fil des années plutôt qu'à le remplacer intégralement (modernisation et développement modulaires des installations). De ce fait, compte tenu de leur modernisation et modification progressives et de la mise en place également progressive de systèmes de contrôle du processus et de gestion de l'environnement, de nombreuses usines existantes présentent des performances en matière d'environnement comparables si ce n'est supérieures (du moins pour certains paramètres) à celles d'usines de construction récente. En outre, les déclarations relatives aux MTD pour les usines nouvelles sont dans une certaine mesure des spéculations. Par conséquent, toutes les descriptions et données du présent document se basent sur des usines existantes.

Un autre point de désaccord est que quelques États membres et la CEPI souhaitent que l'on différencie les MTD et les niveaux d'émissions associés aux MTD selon qu'il s'agit d'usines de grande ou de petite taille. Ici, la difficulté réside dans le fait que les experts du TWG n'ont pas communiqué de renseignements sur les techniques qui ne s'appliquent pas aux petites usines d'un point de vue technique et économique. On ne dispose pas non plus de renseignements fiables sur les niveaux appropriés des MTD pour les petites usines et l'on ne sait donc pas sur quel critère il faut se baser dans ce cas. D'autre part, certaines petites usines aussi ont atteint de bons résultats en ce qui concerne l'environnement. L'impact, le cas échéant, lié à la taille de l'usine sera pris en considération par l'autorité responsable de l'octroi de l'autorisation dans le pays concerné. Par conséquent, dans le BREF, il n'a pas été fait et il n'y a pas à faire de distinction pour les MTD entre petites et grandes usines. On peut tenir compte de la taille de l'usine lorsqu'on détermine les MTD de façon spécifique. De façon générale, on peut dire que les coûts spécifiques pour les petites usines sont relativement plus élevés (économies d'échelle), celles-ci disposant de ressources financières plus limitées pour les modifications techniques et il peut arriver que le matériel ou l'agencement de l'ancien équipement ne convienne pas pour augmenter le degré de mise en circuit fermé de l'eau. Quelquefois aussi, les petites usines ne possèdent pas les connaissances nécessaires qui leur permettraient d'exploiter et de maîtriser avec succès des solutions industrielles plus complexes.

Nonobstant les arguments évoqués ci-dessus, la CEPI et un État membre ont avancé l'opinion que l'on n'avait pas suffisamment tenu compte de la différence économique entre usines nouvelles/anciennes et grandes/petites et qu'il convenait d'établir des différences claires dans le BREF. En outre, l'État

membre a estimé que l'on n'avait pas accordé suffisamment d'attention aux problèmes des usines qui utilisent le même équipement pour produire différentes qualités de papier.

Il y a également eu une discussion sur la question de savoir si une usine type pouvait ou non atteindre simultanément tous les niveaux d'émissions et de consommations présentés en utilisant une combinaison appropriée des diverses techniques considérées comme MTD. La CEPI et trois États membres estiment que cela n'est pas possible. A leur avis, il n'y a pas eu d'évaluation suffisamment intégrée de tous les paramètres. L'une des raisons citées est le manque de données de référence basées sur une évaluation intégrée. Cela dit, la majorité des membres du TWG ne partagent pas cet avis et l'on a identifié des usines qui atteignent en même temps tous les niveaux associés aux MTD. Ce débat met en évidence les différences d'interprétation des MTD telles qu'elles sont définies dans la Directive et souligne la nécessité d'interpréter le BREF à la lumière des explications données dans sa préface.

En dehors de ces aspects généraux, il existe aussi certains points de détail des conclusions finales qui n'ont pas fait l'unanimité. La CEPI et deux États membres estiment que, pour les MES concernant les pâtes kraft blanchies, la limite supérieure de l'échelle lorsqu'on a recours aux MTD devrait être 2,0 kg/ADt au lieu de 1,5 kg/ADt. La CEPI et un État membre estiment également que quelques-unes des échelles de valeurs associées aux MTD pour les papiers fins non couchés, les papiers fins couchés et les papiers à usage sanitaire et domestique sont trop contraignantes. Un autre État membre a estimé que, pour les chaudières auxiliaires, les données disponibles concernant les mesures n'étaient pas comparables, réfutant ainsi la validité des conclusions sur les niveaux des émissions des chaudières associés aux MTD. En revanche, certains membres du TWG estiment que certains niveaux d'émissions associés aux MTD ne sont pas assez rigoureux (par exemple en ce qui concerne les niveaux de DCO pour les usines de pâte kraft).

Le Bureau Européen de l'Environnement - représentant les organisations chargées des problèmes environnementaux - a fait part d'autres points de désaccord, et notamment que le blanchiment ECF dans les usines de pâte kraft ne satisfait pas aux critères des MTD concernant les principes de précaution et de prévention et que, de façon générale, le traitement tertiaire des effluents devrait comprendre un traitement à l'ozone, au peroxyde ou aux rayons UV suivi d'une étape de biofiltration.

### **Recommandations concernant les prochains travaux**

Dans chaque chapitre, la section "Techniques émergentes" donne des exemples de techniques prometteuses, ayant atteint différents stades de développement. Certaines de ces nouvelles technologies sont récentes dans ce secteur. Cela est vrai, par exemple des nouvelles techniques d'évaporation, des applications des techniques séparatives par membranes, de l'ozonation, des systèmes de traitement de l'eau in situ, des projets traitant des modalités de mise en œuvre des circuits d'eau fermés, et des nouvelles solutions pour le traitement des déchets. Un certain nombre d'installations à échelle industrielle vont être mises en service. On s'attend, dans quelques années, à disposer des résultats des essais réalisés dans différentes usines. Ces expériences pourraient être intégrées dans la prochaine version révisée du présent BREF, en y ajoutant d'autres techniques émergentes pertinentes.

Les circuits d'eau fermés avec traitement biologique interne de l'eau de process existent dans quelques applications industrielles en Europe pour des types de papiers sans désencrage. Le TWG a étudié la question de savoir s'il fallait déjà en faire une MTD générale. Les experts se sont abstenus de le faire pour ce secteur car certains problèmes techniques ne sont pas encore résolus. Cependant, pour les "papiers bruns", l'usine "zéro effluent" peut déjà être considérée comme un objectif réaliste. Dans quelques années, on peut s'attendre à disposer d'autres expériences sur la base d'exemples concrets sur le terrain, dès lors que les usines qui vont investir dans ces techniques seront en mesure de présenter leurs expériences pratiques. Ces expériences pourront être intégrées avantageusement dans la prochaine version révisée du BREF.

Actuellement, l'échange d'informations au sein du Groupe de travail technique TWG n'a donné que des renseignements limités, ou bien insuffisamment fiables, sur les coûts et/ou les économies liés aux MTD. Toutefois, il est recommandé de recueillir plus de renseignements détaillés et opérationnels dans le cadre d'un nouvel échange d'informations. Ces renseignements devraient porter notamment sur les coûts et économies spécifiques tels que la durée d'amortissement des mesures et les coûts unitaires (par exemple par rapport à une tonne de produit fabriqué, une tonne de polluant éliminée, ou 1 mètre cube d'eau traité).

L'objectif global est de réduire les quantités de déchets solides en général et de diminuer les fractions de déchets à envoyer à la décharge. On peut y arriver en mettant en place une série de techniques sans danger pour l'environnement, dont certaines sont décrites dans le BREF. Mais les meilleures techniques disponibles pour la récupération des déchets, leur recyclage et leur réutilisation varient sur le territoire européen et l'on a besoin de plus d'informations sur la meilleure gestion des déchets et les méthodes de traitement préférentielles appliquées dans les États membres. Une version révisée du BREF pourrait étudier plus à fond les solutions disponibles, leurs avantages et inconvénients, et les résultats obtenus. Il serait alors possible de proposer des plages de valeurs associées aux MTD pour les déchets solides qu'il faut encore mettre en décharge.

On ne dispose que de peu d'informations sur l'évaluation des techniques présentant une bonne efficacité énergétique et sur l'expérience acquise concernant leurs résultats dans l'industrie papetière. Lorsque des données sur l'énergie et des bilans énergétiques sont communiquées, souvent les hypothèses et les conditions ne sont pas suffisamment précisées. Il faudra encore travailler sur ce point important et calculer les chiffres de la consommation spécifique d'énergie pour la production avant la prochaine révision.

Peu de renseignements ont été communiqués sur les problèmes locaux, tels que bruit/vibrations/mauvaises odeurs et sur les mesures correspondantes pour les minimiser. Cela vaut également pour la contamination potentielle des sols (mise hors service définitive d'installations, mesures propres à empêcher les fuites de substances dangereuses pendant leur stockage, leur transport et leur utilisation) et les aspects liés à la santé et à la sécurité. Si ces informations deviennent disponibles, elles pourraient être intégrées dans la révision du BREF.

Il semblerait qu'il existe différentes méthodes de collecte, d'échantillonnage, de mesurage et de calcul des émissions dans l'atmosphère provenant des usines de pâte kraft et de faible concentration (exprimées en tant que soufre total réduit). Il convient de poursuivre les travaux pour savoir si ces différentes méthodes se traduisent par des différences importantes.

Il y avait quelques opinions très arrêtées au sein du TWG au sujet de la comparabilité générale des données pour l'ensemble de l'Europe concernant les mesures des matières en suspension dans l'eau et la détermination des émissions de poussières dans l'atmosphère. L'annexe donne plus de détails mais ne soutient pas l'opinion selon laquelle les données sur les matières en suspension ne sont pas comparables. À l'exception de ces exemples, on estime que la comparabilité des données n'est pas une question aussi importante que certains veulent le faire croire, en indiquant qu'il existe des normes européennes pour plusieurs paramètres. Cela dit, il est naturellement souhaitable d'harmoniser les données futures grâce à de nouvelles méthodes standard à l'échelle européenne et en recherchant les différences concrètes et les facteurs importants qui influent sur les résultats communiqués. Cela devrait inclure des mesures de débits, les échantillonnages, le prétraitement et le stockage des échantillons ainsi que les différences dans les calculs et les rapports sur les résultats au niveau de l'environnement (durée moyenne, conditions de référence).

Les prochains rapports sur les émissions devront inclure les volumes et concentrations spécifiques (par exemple par tonne de produit) des gaz et des effluents, de façon que les émissions spécifiques puissent être mieux appréhendées par les lecteurs sceptiques. Des données suffisamment précises et détaillées sur les émissions spécifiques sont la forme de renseignements préférée pour comparer les performances environnementales de diverses installations dans l'ensemble de l'Europe.

Les renseignements sur les techniques à prendre en considération pour déterminer les MTD sont généralement fournis de façon plus limitée pour les usines de pâte au bisulfite que pour les usines de pâte kraft. Il s'ensuit que les renseignements limités communiqués par les membres du TWG au cours de l'échange d'informations sur les MTD n'ont permis de décrire qu'un petit nombre de techniques de façon aussi détaillée que pour les pâtes kraft. Si les États membres estiment nécessaire de poursuivre plus avant l'étude des différences entre les procédés des pâtes kraft et au bisulfite, il faudra fournir plus de renseignements pour pouvoir réviser cette section.

Une future révision du BREF pourrait accorder plus d'attention aux conditions spécifiques des petites usines et au groupe des papiers spéciaux. Il pourrait être avantageux de mettre en place un réseau entre les petites usines pour leur permettre d'organiser des échanges d'informations, et de rechercher une aide pour trouver des solutions qui soient particulièrement adaptées à leurs conditions.

Lorsqu'on aura acquis de l'expérience concernant la PRIP (IPPC) et l'utilisation du BREF, il faudra s'en servir pour évaluer l'éventuelle nécessité d'une description plus détaillée des autres facteurs liés au produit. Ces facteurs pourraient inclure des matières premières spéciales, des qualités spécifiques du produit final, et des facteurs opérationnels associés.

Le TWG préconise de commencer à réactualiser le présent document de référence sur les MTD vers 2005, pour évaluer les points susmentionnés et les développements communiqués en ce qui concerne en particulier les émissions obtenues par tonne de produit. Avant de procéder à une telle mise à jour du présent BREF, les États membres et l'industrie devraient rendre leurs informations sur les émissions et sur la consommation d'énergie, ainsi que sur les techniques associées et leurs coûts, plus accessibles et plus transparentes. Un pas important dans ce sens consisterait pour les États membres et l'industrie à publier des données sur la production, les émissions et la consommation d'énergie pour chaque usine. A cet égard, il pourrait être utile de commencer par une étude sur les différentes méthodes utilisées pour déterminer la performance au niveau de l'environnement et de communiquer les résultats des papeteries européennes.

## REFERENCES

[ADEME, 1996]

Centre Technique Du Papier, Énergie et Environnement Dans L'Industrie Papetière (in French only), authors: Pichon, M., Muratore, E., Guillet, F., on behalf of ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 1996, ISBN 2 906579 05 X

[Alfthan, 1996]

C.J. Alfthan, L. Ahlenius, G. Svensson, Closed Loop Bleaching - Mill experiences (in German), Das Papier, 1996, p. V 8 - V 12

[Annergren, 1996]

Annergren, G., Sandström, A bleach plant designed for closure (in German), Das Papier 1996, p. V 12

[Axegård, 1997]

Axegård, P. Carey, J., Folke, J., Gleadow, P. Gullichsen, J., Pryke, D., Reeve, D., Swan, B., Uloth, V., Minimum-Impact Mills: Issues and challenges, Paper presented at 3<sup>rd</sup> International Conference on Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents, Rotorua, New Zealand, 9-13 November 1997

[Bentley, 1999]

Bentley, D.J., Mill report: McKinley Paper goes from zero to success in less than four years. Vol. 82 TAPPI Journal No. 1, 1999-03-25

[BMU Austria, 1995]

Bundesministerium für Umwelt (BMU), Sector Waste Management Concept for Paper and Pulp Industry. Prevention-Utilisation-Disposal (in German only), Ministry of Environment, Vienna, Austria, 1995

[BMU Germany, 1993]

Minimum Requirements for the Disposal of Wastewater in Water Courses - §7a, Water Resources Law. Production of Paper and Board. Comments and explanations on appendix 19 B, Published by the Minister for the Environment, Nature Conservation and Reactor Safety, Federal Gazette, 1993

[Borschke, 1997]

Borschke, D., Gehr, V. Mönnigmann, R., Papermaking in view of an optimized waste and water management (in German only: Papierherstellung aus der Sicht eines optimierten Reststoff- und Wassermanagement), Das Papier, 21. Jahrg., No. 6A, 1997, p. V 146- 153

[Bowen, 1990]

Overview of Emerging Technologies in Pulping and Bleaching, Bowen, J., Hsu, J.C.L., Tappi Journal, September 1990

[Braeuer, 1998]

Braeuer, R., Puhar, E.M., Mulligan, D.B., A new technology for recovered paper processing. The Continuous Batch Fiber Recovery System (CBFRS) "The Tunnelwasher", PTS-CTP Deinking Symposium, Munich, Germany, 1998

[Braunsperger, 1996]

Braunsperger, F., Oberkofler, J., Moser, T., Slime Control without Chemicals (in German only: Chemiefreie Schleimbekämpfung), Wochenbl.f.Papierfabrikat.124 (1996), No. 5, p. 192-194

[COWIconsult, 1989]

COWIconsult, The Technical and Economic Aspects of Measures to Reduce Water Pollution Caused by the Discharges from the Pulp and Paper Industry, European Commission, 1989

[CEPI, 1997a]

CEPI, CEPI Annual Statistics 1996, 1997

[CEPI, 1997b]

CEPI (ed.), BAT in the Manufacturing of Pulp, Report carried out by J. Poeyry Soil and Water Ltd, 1997

[CEPI, 1998a]

CEPI (ed.), BAT for Paper Manufacturing, Report carried out by J. Poeyry Soil and Water Ltd, 1998

[CEPI, 1998b]

CEPI (ed.), BAT in the Manufacturing of Pulp. Complementary Information on BAT Candidates, Report carried out by J. Pöyry Soil and Water Ltd, Helsinki, July 1998

[CEPI, 1998c]

CEPI, Annual Statistics 1997, 1998

[de Beer, 1993]

de Beer, J.; Worrell, E.; Blok, K., Energy Conservation in the Paper and Board Industry in the Long Term, Utrecht University, 1993

[DG XVII, 1992]

Energy Technology in the Paper Industry, Final Report for the Directorate General XVII, Volume 1, Contract No. XV11/4, 1000IE 91-92, Centre Technique du Papier (CTP) and Pira International, 1992

[DG XVII, 1992]

Energy Technology in the Paper Industry, Final Report for the Directorate General XVII, Volume 2, Contract No. XV11/4, 1000IE 91-92, Centre Technique du Papier (CTP) and Pira International, 1992

[Diedrich, 1997]

Diedrich, K., Hamm, U., Knelissen, J.H., In-line biological process water treatment in a zero effluent discharge paper mill (in German only), Das Papier 51, No. 6A, p. V153-V159, 1997

[Driessen]

Driessen, W., Habets, L., Paasschens, C., Anaerobic treatment of effluent from recycled paper, p. 81-83

[Dutch Notes on BAT, 1996]

Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General for Public Works and Water Management and RIZA (Institute for Inland Water Management and Wastewater Treatment), Dutch Notes on BAT for Paper and Board from Recycled Fibres, 1996 Contact: W.J.Luttmer, RIZA, P.O. Box 17, 8200 AA Lelystad, The Netherlands

[ECF, 1997]

Elemental Chlorine Free (ECF), Pollution Prevention for Pulp and Paper Industry. Submission to the Joint Standing Committee on Natural Resources, 118<sup>th</sup> Maine Legislature, April 1997

[Ecocyclic pulp mill, 1999]

KAM program "Ecocyclic pulp mill", July 1, 1996 - December 31, 1999, STFI, Box 5604, S-114 86 Stockholm, Sweden.

[Edelmann, 1997]

Edelmann, K., Kaijaluoto, S. Karlsson, M., Towards effluent free paper mill, Das Papier, 21. Jahrg., No. 6A, 1997, p. V 138- 145

[Edelmann, 1999]

Edelmann, K., Closed water cycles and environmental issues in paper production, International Conference on process integration, 7 - 10 March 1999, Copenhagen

[EN 643, 1994]

EN 643, 1994, List of European standard qualities of waste paper, CEN

[Energy Efficiency Office, 1991]

Energy Efficiency Office, UK, Anaerobic Digestion of Paper Mill Effluent, Energy Efficiency Office, 1991

[Energy Efficiency Office, 1991]

Energy Efficiency Office, UK, Cross Direction (CD) Profile Correction of Moisture and Caliper on a Paper Machine (A demonstration at Tait Paper), Energy Efficiency Office, 1991

[Energy Efficiency Office, 1992]

Energy Efficiency Office, UK, An Improved Infra-Red Camera for Troubleshooting on a Paper Machine, Energy Efficiency Office, 1992

[Energy Efficiency Office, 1992]

Energy Efficiency Office, UK, Hot Stock Dispersion in a Paper Mill Using Wastepaper in its Furnish, Energy Efficiency Office, 1992

[Energy Efficiency Office, 1993]

Energy Efficiency Office, UK, Hot press drying of board grade paper products, Energy Efficiency Office, 1993

[Energy Efficiency Office, 1993]

Energy Efficiency Office, UK, Jet Foil air flotation drying on a paper machine, Energy Efficiency Office, 1993

[Energy Efficiency Office, 1994]

Energy Efficiency Office, UK, Optimisation of a Yankee Drying Cylinder Hood, Energy Efficiency Office, 1994

[Energy Efficiency Office, 1996]

Energy Efficiency Office, UK, Energy savings from a film metering size press, Energy Efficiency Office, 1996

[Energy Efficiency Office, 1997]

Energy Efficiency Office, UK, Multi-Disk refining at a paper mill, Energy Efficiency Office, 1997

[EPA, 1996]

Irish EPA, Integrated Pollution Control Licensing, BATNEEC Guidance Note for Board Manufacture, EPA No. LC 11 (2/96), 1996, ISBN 1 899965 173

[EPA, 1997]

Irish EPA, BATNEEC Guidance Note Pulp and Paper Manufacture (draft), 1997

[EU, 1996]

Autio, E.; Dietrichs, E.; Führer, K.; Smith, K., Innovation Activities in Pulp, Paper and Paper Production in Europe, European Commission, DG XIII, 1996

[EUCEPA, 1997]

26<sup>th</sup> EUCEPA Conference together with ZELLCHEMING Annual Meeting and Expo '97. The Sustainable Paper Cycle - A Challenge, Baden-Baden 23-26 June 1997, Conference issue, Das Papier 6 A/1997

[EurEco, 1997]

EurEco, Interdisciplinary Environmental Studies, Review of selected schemes developed for environmental risk assessment of substances hazardous for the aquatic environment, submitted to: RIZA, contract: RI-1908, Luxembourg, 1997

[Evans, 1991]

Evans, T., An overview of the water recovery process at Millar Western's, CPPA Spring Conference, Whistler, B.C. 1991

[Evans, 1992]

Evans, T., Startup of Millar Western's zero discharge BCTMP mill in Meadow Lake, Tappi Pupling Conference, Boston, MA, Nov. 1992

[Evans, 1993]

Evans, T. Sweet, F.W. Manolescu, D.R., Meadow Lake's success opens the door for kraft bleach plant closure, Pacific Paper Expo, Vancouver, B.C. Nov. 1993

[Färnstrand, 1997]

Färnstrand, P. - A., Obtaining better quality, efficiency and pollution control with new pulp processes, 5<sup>th</sup> Global Conference on Paper and the Environment, Gothenburg, Sweden, 10-12 June 1997

[FEI, 1996]

Finnish Environment Institute (ed.), 1996. J. Tana and K.H. Lehtinen, The aquatic environmental impact of pulping and bleaching operations - an overview, The Finnish Environment 17, ISBN 952-11-0028-1, Oy Edita Ab, Helsinki, 1996

[FEFCO, 1997]

FEFCO, European Database for Corrugated Board. Life Cycle Studies, 1997

[FFIF, 1998]

Environmental Report. Statistics for 1997, Finnish Forest Industries Federation, 1998

[Finnish BAT Report, 1997]

The Finnish Background Report for the EC Documentation of Best Available Techniques for Pulp and Paper Industry. The Finnish Environment 96, Ministry of Environment in Finland, Edita Ltd, Helsinki 1997, ISBN 952-11-0123-7

[Fischoeder, 1995]

Fischoeder, R., Thermische Nutzung von Fangstoff aus der Papier- und Kartonherstellung (in German only) (Thermal utilization of residual materials from paper and paperboard production), UBA-Report II 1.1-30441-6/4, 1995

[Folke, 1994]

Folke, J.; Mogensen, U., Produktion og miljøforhold i papirindustrien, Miljøministeriet Miljøstyrelsen, 1994

[Fromson, 1993]

Fromson, D.A., Wootton, P., Good project execution: a science not an art, 47<sup>th</sup> Annual General Conference, Roorua, Australia, April 1993

[Fuhrmann, 1998]

Fuhrmann, A., Rasimus, R., Rautonen, R., Ozone bleaching - New encouraging perspective, Paper and Timber 4/1998

[Gartz, 1996]

Gartz, R., Waste heat evaporation of paper mill process waters. An R&D project at Enso-Gutzeit Oy Kotka mills, TAPPI International Environmental Conference, Orlando, 1996

[Gatz, 1996]

Gatz, C.; Meyer, G.; Cordes-Tolle, M.; Möbius, C.H., Reinigung von Produktionsabwässern aus der Papiererzeugung durch eine zweistufige Biofor-Filteranlage (Cleaning paper mill production wastewater using a two-stage Biofor filter plant, in German only), UBA-Report 7028, 1996

[Gartz, 1998]

Gartz, R., Evaporation of mill effluent is in sight. An R&D project at Enso-Gutzeit Kotka Mills has opened the possibility of effluent-free paper manufacture, PPE, No. 1, 1998, p. 20- 23

[Guillet, 1997]

Guillet, F., Sludges utilization (in French only), Congress 22.10.1997 in Bourdeaux-Lac: 50 years of technical progress. Springboard for future innovations, session 5: Environment and valorization of sludges: assessment, concrete actions and perspectives

[Hamm, 1991]

Hamm, U., Bobek, b., Götsching, L., Anaerober Abbau von Abwässern altpapierverarbeitender Papierfabriken (in German only), Das Papier 45, No. 10A, p. V55-V63, 1991



[Hamm, 1996]

Hamm, U., Utilization and final disposal of paper mill waste - what is the answer (only in German), Wochenbl. F. Papierfabr. (1996), Nr. 9, 409 - 413

[Haskoning, 1992]

Haskoning, BAT Pulp Industry - Selection of Parameters, EU, 1992

[Haskoning, 1994]

Implementation of Best Available Techniques BAT in the Pulp Industry, Haskoning, on behalf of the European Commission, Final Report Contract No: B4-3040/012185/92, 1994

[Helble, 1999]

Helble, A., Schlayer, W., Liechti, P.-A., Jenny, R. and Möbius, C.H. (1999). Advanced effluent treatment in the pulp and paper industry with a combined process of ozonation and fixed bed biofilm reactors. Proc. 6<sup>th</sup> IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, Tampere

[HMIP, 1993]

Her majesty's Inspectorate of Pollution Department of the Environment (HMIP), Pollution Control for Paper and Pulp Processes, DoE Report No: DoE/HMIP/RR/93/036/Sector No: 1.1, 1993

[HMIP, 1995]

HMIP, Chief Inspector's Guidance to Inspectors. Process Guidance Note IPR 6/8 the Making of Paper Pulp by Chemical Methods, 1995, ISBN 0 11 753 1057

[HMIP, 1995]

HMIP, Chief Inspector's Guidance to Inspectors. Process Guidance Note IPR 6/9 The Papermaking and Related Processes, Including Recycled Fiber and Deinking, 1995, ISBN 0 11 753 1065

[Höök, 1997]

J. Höök, P. Tomani, Towards the closed cycle mill for bleached pulp - milestones and stumbling blocks, Das Papier 6 A, 1997, p. V 54 - 59

[IFP, 1997]

Bobek, B., Hamm, U., Götsching, L., Biodegradability of chemical additives for papermaking and paper converting (in German only: Biologische Abbaubarkeit von chemischen Hilfsstoffen zur Papierherstellung und Papierverarbeitung), Final Report AiF-No: 10213, Institute of Paper Science and Technology, Darmstadt, Germany, 1997

[IFP, 1998]

Götsching, L.; Hamm, U.; Putz, H.-J., Report on BAT for the Production of Case making Materials (Testliner and Wellenstoff), Institute of Paper Science and Technology, Darmstadt, Germany, 1998 on behalf of Groupement Ondulé

[IPTS, 1997]

IPTS, The legal definition of waste and its impact on waste management in Europe, EUR-17716-EN, Nov. 1997

[J. Pöyry, 1992]

Pöyry, J., Tech/Econ Evaluation of Water Pollution Control in Pulp Mills, 1992

[J. Pöyry, 1993]

Pöyry, J., Environmental Issues in Nordic Pulp and Paper Industry, Nordic CoM, 1993

[J. Pöyry, 1994a]

Pöyry, J., Air Pollution Control measures in Pulp Mills, 1994

[J. Pöyry, 1994b]

Pöyry, J., Techno-Economic Study on the Reduction Measures, Based on BAT of Emissions (water, waste, air) from the Paper and Board Manufacturing Industry, European Commission - DG XI, 1994

[J. Pöyry, 1997b]

Pöyry, J., A compilation of BAT techniques in Pulp and Paper Industry. Jaakko Pöyry Oyj, 1997

[J. Pöyry, 1998]

Jaakko Pöyry Consulting, Consortium. BAT emissions of the pulp and paper industry in the European Union. Strategic background paper, Helsinki, 1998

[Justin, 1994]

Justin, R.; Plankensteiner, W. Schlöger, H. et al, Integrated Environmental Protection in the Paper Industry - Overview, Austria, 1994

[Kari, 1996]

Kari, F.G., Giger, W., Speciation and fate of ethylenediaminetetraacetate (EDTA) in municipal wastewater treatment, Wat. Res. Vol. 30, No. 1, pp. 122 - 134, 1996.

[Kaindl, 1999]

Kaindl, N., Tillman, U. and Möbius, C.H. (1999). Enhancement of capacity and efficiency of a biological waste water treatment. Proc. 6<sup>th</sup> IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, Tampere

[Koepp-Bank, 1991]

Koepp-Bank, H.-J., Biologische Reinigung des Abwassers einer altpapierverarbeitenden Papierfabrik (in German only), Allg.Papier-Rdsch. 115, No. 40, p. 1092-1098, 1991

[Krieger, 1998]

Krieger, U., New developments in rejects and sludge dewatering, Paper Technology 39, No. 4, p. 45-50, 1998

[Legnerfält, 1997]

Legnerfält, B., Hallgren, O., Nygren, A., Evaporation as a CTMP mill kidney, 1997

[Löfblad, 1991]

Löfblad, R., Moberg, G., Olausson, L., Boström, C.-A., NO<sub>x</sub> Reduction from a recovery boiler by injection of an enhanced urea solution (NO<sub>x</sub>OUT process), TAPPI Proceedings, Environmental Conference, April 1991

[Lorson, 1996]

Lorson, H.; Schingnitz, M.; White, V.F.; Dean, D.R, Black Liquor Recovery by Pressurized, Oxygen-Blown Gasification, Noell, Inc.

[Lorson, 1996]

Lorson, H.; Schingnitz, M.; White, V.F.; Dean, D.R, Emerging Gasification Applications, Noell, Inc., 1996

[Merkel, 1997]

M. Merkel, Waste Paper Treatment and Energy Consumption, (in German), WfP No.5, 1997, p. 211-215

[Metcalf, 1991]

Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3<sup>rd</sup> ed., revised by G. Tchobanoglous & F.Burton, McGraw-Hill International Editions, ISBN 0-07-041690-7

[Ministry of Education, 1994]

Höyrykattilatekniikka ("Steam boiler engineering"), A Publication of the Finnish Ministry of Education, 1994

[Ministry of Food, Agriculture and Forestry, 1997]

Environmentally compatible pulping processes (in German: Umweltverträgliche Holzaufschlußverfahren"), on behalf of Ministry of Food, Agriculture and Forestry, Project.No. 95 NR076-S, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 1997, ISBN 3-7843-2877-6.

[Möbius, 1997 a]

Möbius, C.H., Cordes-Tolle, M., Enhanced biodegradability by oxidative and radiative wastewater treatment, Water Sci. Technol. 35 (1997), No 2-3, p. 245-250

[Möbius, 1997 b]

Möbius, C.H., Pulp and paper industry wastewater. Biological treatment of wastewater from pulp and paper manufacturing (in German only: Abwasser der Papier- und Zellstoffindustrie. Biologische Reinigung von Abwässern aus der Erzeugung von Papier und Zellstoff), 2nd Edition, Munich, Germany, 1997

[Möbius, 1999]

Möbius, C.H., Inside wastewater biofilters used for advanced treatment of papermill effluent, Proc. 6th IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, June 1999, Tampere, Finland

[Mönningmann, 1996]

Mönningmann, R., Schwarz, M., Abwasserfreie Papierfabrik - Traum oder Alptraum ? (in German only), Das Papier 50, No. 6, p. 357-364, 1996

[Naturvårdsverket, 1996]

Naturvårdsverket (SE), Action Programme for Waste (Mål för särskilda avfallsslag), Naturvårdsverket, 1996

[Nivelon, 1997]

Nivelon, S., Pichon, M., Piollet, A., Deconcentration treatment for corrugating medium papermaking circuits: target zero reject, 84th Annual Meeting, Technical Section CPPA, A 123-A 126, 1997

[Nokelainen, 1995]

Nokelainen J., Piirainen R., Wet end control- results and new possibilities. Pulp & Paper Conference "EcoPaper/Tech". Helsinki June 1995, p. 21 - 30, Finland

[Nokelainen, 1997]

Nokelainen J., Artama M., Farrand N., Control of retention and ash, PIRA Conference Proceedings " Use of minerals in Papermaking", February 1997, Manchester, UK

[Nordic Council of Ministers, 1993]

Nordic Council of Ministers, Study on Nordic Pulp and Paper Industry and the Environment, Nordic Council of Ministers, 1993

[Nygard, 1997]

Nygard, S., Hietanen, S., Roitto, I., Alho, J., Coating chemical regeneration by ultrafiltration, 1997

[Ojala, 1999]

Ojala, t., Condebelt drying process benefiting paper- and boardmanufacturing and converting, presentation at Aticelca/ATI Convention in Milan, April 19, 1999, Energetic evolution in the paper sector

[Öko-Institut, 1993]

Öko-Institut (DE), Report about investigations at 10 paper manufacturing plants in the federal state Hesse concerning the implementation of Art 5 (in German only), Hessisches Ministerium für Umwelt, Germany, 1993

[Öller, 1997 a]

Öller, H.-J., Weinberger, G., Demel, I., Enhanced COD elimination and colour stripping by ozone treatment of biologically treated mill effluents (in German only), Das Papier No 4, (1997), p. 177- 182

[Öller, 1997 b]

Öller, H.-J., Weinberger, G., Demel, I., Reduction in residual COD in biologically treated paper mill effluents by means of combined ozone and ozone/UV reactor stages, Water Sci. Technol. 35 (1997), No 2-3, p. 269-276

[Paper and Timber, 1993]

Firing pulp and paper making residues at small power plants, Paper and Timber Vol. 75/No. 8, 1993

[Papermaking Science and Technology, 1999]

Papermaking Science and Technology, Book 5: Mechanical Pulping, (ed.) Sundholm, J., published by Fapet Oy, Helsinki, Finland, 1999, ISBN 952-5216-05-5

(This book is one out of a series of 19 books on pulp and paper industry. These recently published 19 volumes cover descriptions of latest technology and future trends for all pulp and paper grades)

[Paper News a]

Landström, L.; Pettersson, H., Two of the world's most silent board machines, MoDo Iggesund Paperboard BM 2 and Stora Paperboard Skoghall BM 8, Paper News, Valmet

[Paper News b]

Petterson, H., Environmentally friendly air systems for pulp, paper and board machines, Paper News, Valmet

[PARCOM, 1992]

PARCOM, Report on Pulp and Paper Industry, PARCOM, 1992

[PARCOM, 1994]

PARCOM, BAT and BEP for the Sulphite and Kraft Pulp Industry, PARCOM, 1994, ISBN 0946 56 367

[Pfitzner, 1999]

Pfitzner, Th., Process Water Systems in Newsprint Paper Mills (in German only: Wassersysteme von Zeitungsdruckpapierfabriken), Wochenbl.f.Papierfabrik., No. 4, P. 223-226, 1999

[Proceedings, 1997 a]

Proceedings of the European Conference on Pulp and Paper Research - The present and the future, October 9/11, 1996, Stockholm, Sweden, EUR 17467, ISBN 92-827-9327-3.

[Proceedings, 1997 b]

Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents, Rotorua, New Zealand, 9 - 13 November 1997

[PTS, 1998]

N.N., Operation of biological Wastewater Treatment Plants - Reasons and Prevention of Disturbances (in German only: Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen - Ursachen und Vermeidung von Betriebsstörungen), (ed.) Demel, I., Schmid, F., Papiertechnische Stiftung PTS (The Paper Technology Specialists), PTS-Seminar, 1998

[PTS-FB 09/97]

Öller, H.-J., Kappen, J., Measures for reduction of gaseous emissions from paper and coating machines (only in German), Munich: Papiertechnische Stiftung (PTS), 108 p., PTS Research-report PTS-FB 09/97

[Pulp & Paper, 1993]

Lavigne, J.R., Pulp & Paper Dictionary, Millar Freeman Books, San Francisco, 1993

[Rampotas, 1996]

Rampotas, C., Terelius, H., Jansson, K., The netfloc system - the tool to remove extractives and NPE, 1996 Tappi Minimum Effluent Mill Conference, 1996.

[Regenex, 1996]

N.N., Regenex RCF system at TAPPI, Paper Equipment & Material International, March-April 1996

[Rentz, 1996]

Rentz, O., Schleef, H.-J., Dorn, R., Sasse, H., Karl, U., Emission control at stationary sources in the Federal Republic of Germany, Volume I, Sulphur oxide and Nitrogen oxide emission control, French-German Institute for Environmental Research University of Karlsruhe (TH), Karlsruhe, August 1996

[Retulainen, 1998]

Retulainen, E., Merisalo, N. Lehtinen, J. Paulapuro, H., Effect of Condebelt press drying in sheet structure and properties, Pulp Pap. Can., Vol 99, No 1, 1998, p. 53-58

[RIZA, 1997a]

Senhorst, H.; Zwart, L.; Boulan, R.P.; Luttmer, W., A Broad Approach to Water Loop Closure at Papierfabriek Doetinchem (and Appendix Report), RIZA-document 97.188X, RIZA, 1997

[RIZA, 1997b]

Benschop, P., The evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of Surface water Act, Riza report 98.005, Lelystad, 1997, ISBN 903 6951569

[Roberts, 1998]

Roberts, J. Wastepaper yields more treasure. There's more to be extracted from wastepaper than just fibre, Pulp and Paper Europe (PPE) Number 5, 1998, p. 33-34

[Roitto, 1997]

Roitto, I., Alho, J., Environment-friendly coating: recycling of coating chemicals, Executive conference on profitable making of coated papers, April 7 to 10, 1997, p. 69-79

[Saarinen, 1998]

Saarinen, K., Jouttijärvi, Forsius, K., Monitoring and control practices of emissions in pulp and paper industry in Finland, The Finnish Environment 220, Finnish Environment Institute, Helsinki, 1998, ISBN 952-11-0308-6

[Schwarz, 1995]

Schwarz, M., Peripheral subsystems for water, sludge and rejects (in German only), WfP, No. 18, p. 792-802, 1995

[Sebbas, 1988]

Sebbas, E., Reuse of kraft mill secondary condensates, Tappi Journal, July 1988.

[SEPA report 4008, 1992]

Pöyry, J., Reduction of Atmospheric Emissions from Pulp Industry, on behalf of Swedish EPA, 1992

[SEPA report 4869, 1996]

SEPA report 4869, "Skogsindustrins utsläpp till vatten och luft samt avfallsmängder och energiförbrukning 1996" (The Forest Industry's emissions to the atmosphere and water, amounts of waste and consumption of energy), 1996

[SEPA report 4785, 1997]

Swedish Environmental Protection Agency, 1997, Environmental Impact of Pulp and Paper Mill Effluents. A strategy for Future Environmental Risk Assessments, Report 4785, ISBN 91-620-4785-X

[SEPA-Report 4712-4, 1997]

Energy conservation in the pulp and paper industry, Jaakko Pöyry Consulting AB. 1997

[SEPA-Report 4713-2, 1997]

Aspects on Energy and Environment Costs in Connection with Production of Kraft Pulp, Recycled Fibre and TMP. Jaakko Pöyry Consulting AB. 1997

[Solid Waste Handbook, 1996]

Consortium solid waste handbook (ed.), 1996. Solid waste handbook for the paper industry, (in German), ISBN No. 3-9521198-0-6

[SSVL 1974]

Skogsindustrins miljövårprojekt, Teknisk sammanfattning, SSVL 1974

[StoraEnso, 1999]

StoraEnso, 1998 Simplified Environmental Statement, Sachsen mill, 1999

[Swedish EPA, 1992]

Statens Naturvårdsverk (S), BAT (Miljöstörande Anläggningar), Statens Naturvårdsverk (S) (1992)

[Sweet, 1993]

Sweet, F.W., Manolescu, D.R., Mason J.C., Millar Western's zero liquid effluent market BCTMP mill one year after start-up, Pacific Coast and Western Branches Conference, CPPA, Whistler, B.C. May 1993

[Talja, 1998]

Talja, R., Bäckström, M. Kilian, M., Impulse technology - a paper making process for tomorrow, EcoPaperTech, 1998

[Tappi Environmental Conference, 1992]

Josephson, W., Krishnagopalan, Ch.A., Brownstock washer performance and control. Tappi Proceedings, Environmental Conference, 1992

[Tappi, Proceedings, 1994]

Tappi, Proceedings 1994, Key design features of the DNCG system at Howe Sound Pulp and Paper Ltd.

[Tappi Proceedings, 1996]

Design considerations for cost-effective kraft and sulphite pulping liquor spill control system, Tappi Proceedings, Minimum effluent Mill Symposium, 1996

[Tappi, Proceedings, 1997]

Tappi, Proceedings 1997, Environmental Conference May 5-7, 1997. Odour abatement systems of the modern pulp mill and relative importance of prevailing TRS emissions sources.

[Teppler, 1996]

Teppler, M., Paatero, J., Bergdahl, J., Damen, H., PM and BM white water treatment with membrane technology, in: PTS-Manuskript, PTS-MS 21/96, Munich, Germany, 1996

[Tomani, 1997]

Tomani, P., Report to European Commission DG XII. Project: "Separation methods for closed loop technology in bleached kraft pulp production", 1996 - 1999. See also: Jönsson, J., Report to European Commission DG XII. Project: "Closed cycle mill for high quality chemical pulp", 1996 - 1999.

[Tripathi, 1996]

Tripathi, P., Pinch technology reduces wastewater. Mass exchange integration maximizes water recycling at a paper mill, Chemical engineering, November 1996, p. 86- 90

[UBA Report 7041, 1996]

UBA-Report 7041(German EPA, Berlin), Avoidance of wastewater by closed water loops with in-line process water treatment in a paper mill, (in German only: Abwasservermeidung durch geschlossene Produktionskreisläufe mit integrierter Kreislaufwasserbehandlungsanlage in einer Papierfabrik), Berlin, 1996

[Uhlmann, 1991]

Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 18 A (alphabetically arranged articles) Paper and Pulp, completely rev.ed., 1991, ISBN 3-527-20118-1

[UNEP, 1996]

UNEP, Effluent Discharge Standards, UNEP, 1996

[US EPA, 1993]

Handbook on pollution prevention opportunities for bleached kraft pulp and paper mills, USEPA, 1993

[USEPA, 1992]

Total Cost Assessment: Accelerating IPPC Measures, USEPA, 1992

[USEPA, 1993]

Guidance Manual for Developing Best Management Practices, USEPA, 1993

[USGI, 1995]

EPA Sector Notebook: Pulp and Paper Industry, USGI, 1995

[van Ginkel, 1997a]

van Ginkel, C.G., Stroo, C.A., Treatability of EDTA containing wastewaters from bleaching plants in an activated sludge plant, Akzo Nobel Central Research, Internal Report, 1997

[van Ginkel, 1997b]

van Ginkel, C.G., Vandenbrouke, K.L., Stroo, C.A., Biological Removal of EDTA in conventional activated sludge plants operated under alkaline conditions, *Bioresource Technology* 59 (1997), 151-155.

[Virtapohja, 1997]

Virtapohja, J., Alén, R., Accelerated biodegradation of EDTA in a conventional activated sludge plant under alkaline conditions, 1997 TAPPI Environmental Conference, Minnesota, USA, May 5-7, 1997, Book 2, p. 991-997.

[Ward, 1993]

Ward, R.O, Manolescu, D.R., Sweet, F.W., Millar Western Meadow Lake. A success story in effluent treatment, Joint Conference of Environment Canada and the German Ministry of Environment, Munich, Germany, Nov. 1993

[WBCSD, 1996]

Towards a Sustainable Paper Cycle, WBCSD, 1996

[Wigsten, 1995]

Wigsten, A., Towards ecobalanced paper production, EcoPaperTech Conference, 6.6.1995, Helsinki, Finland

[Winell, 1997]

Winell, B., Chemicals Use (Kemikalier), Sweden (1997)

[Wünschmann, 1993]

Possibilities of utilization of residues from paper industry in agriculture and land reclamation (only in German), *Das Papier* 47 (1993), Nr.10A, V119-V126

[Wünschmann, 1995a]

Composting of wastepaper and residues from paper industry, part 1: fundamentals about composting and requirements to composting materials (only in German), *Wochenbl. f. Papierfabr.* 123 (1995), Nr.9, 395-403

[Wünschmann, 1995b]

Composting of wastepaper and residues from paper industry, part 2: analysis of the compostability in lab-scale (only in German), *Wochenbl.f.Papierfabr.* 123 (1995), Nr.16, 707-714

[Young, 1998]

Young, R.A., Akhtar, M. (Ed.), *Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry*, John Wiley&Son.Inc., New York, 1998, ISBN 0-471-15770-8

[Zippel, 1999]

Zippel, F., *Water Management in Paper Mills* (in German only: *Wasserhaushalt in Papierfabriken*), Frankfurt am Main, Germany, Dt. Fachverlag, 1999, ISBN 3-87 150-619-2

[Zunich, 1993]

Zunich, J.L., Vora, V.M., Venkataram, B., Design considerations for steam stripping of kraft mill foul condensates. TAPPI Environmental Conference Book 1993.

## GLOSSAIRE DES TERMES ET ABRÉVIATIONS

### Unités et facteurs de conversion

- a = année, 365 jours
- d = jour, 24 heures
- h = heure(s)
- 1 kWh = 3.6 MJ
- 1 MJ = 0.2778 kWh
- 1 kg vapeur = En supposant une pression de 2.5 bar dans les canalisations de vapeur, la chaleur de la vapeur pouvant être utilisée correspond à environ 0.7 kWh/kg vapeur soit environ 2.5 MJ/kg vapeur
- ppm = Valeur multipliée par le Poids Moléculaire divisé par 22.41 = mg/m<sup>3</sup>; soit 1 ppm NO<sub>2</sub> = 2.05 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> ou 1 ppm SO<sub>2</sub> = 2.85 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>
- t = tonne métrique (1 \* 10<sup>6</sup> gramme)
- m<sup>3</sup>n ou Nm<sup>3</sup> = mètre cube normalisé (standard); volume occupé par un gaz à pression atmosphérique (1013 mbar) et 273.15 K (= 0°C)
- I-TEQ = PCDD/F équivalents internationaux de toxicité
- °C = degré Celsius
- μ = micro = 1 \* 10<sup>-6</sup>

### Abréviations (de l'anglais vers le français)

Anglais		Français
<b>Adt</b>	Air dry metric tonne of pulp meaning dry solids content of 90 %. Please note that an air dry tonne of paper is defined as paper with 6% moisture content.	<b>T ou t</b>
<b>AOX</b>	Adsorbable Organic Halides measured according to the ISO 9562: 1998 standard method for wastewaters	<b>AOX</b>
<b>BAT</b>	Best Available Techniques, as defined in Article 2(11) of the IPPC Directive	<b>MTD</b>
<b>BOD<sub>5</sub>/BOD<sub>7</sub></b>	Biological Oxygen Demand indicating the amount of biodegradable organic matter in the wastewaters assessed using a standard 5 day or 7 day test.	<b>DBO5/DBO7</b>
<b>BREF</b>	Best Available Techniques Reference Document	<b>BREF</b>
<b>C</b>	Chlorination bleaching stage using molecular chlorine dispersed and dissolved in water	<b>C</b>
<b>COD</b>	Chemical oxygen demand indicating the amount of chemically oxidisable organic matter in the wastewaters (normally referring to analysis with dichromate oxidation)	<b>DCO</b>
<b>CSF</b>	Canadian Standard Freeness - a measure of the rate at which water drains from a pulp, the smaller the number the slower draining is the pulp.	<b>CSF</b>
<b>CTMP</b>	Chemi-thermo-mechanical pulp	<b>CTMP</b>
<b>D</b>	Chlorine dioxide bleaching stage using a water solution of chlorine dioxide (ClO <sub>2</sub> )	<b>D</b>
<b>DAF</b>	Dissolved Air Flotation	<b>Flottateur</b>
<b>D/C</b>	Bleaching stage with chlorine dioxide and chlorine where chlorine dioxide dominates over chlorine (which can be specified with percentages of active chlorine e.g. D <sub>90</sub> /C <sub>10</sub> meaning 90 % chlorine dioxide and 10 % chlorine)	<b>D/C</b>

.../...



<b>DIP</b>	Deinked pulp – pulp produced from recovered printing paper, e.g. newsprint, through de-inking process	<b>DIP</b>
<b>DS</b>	Dry solids	<b>MS</b>
<b>DTPA</b>	Diethyl Triamine Penta Acetic acid, complexing agent	<b>DTPA</b>
<b>E</b>	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide (NaOH)	<b>E</b>
<b>ECF</b>	Elemental Chlorine Free (bleaching).	<b>ECF</b>
<b>EDTA</b>	Ethyl Diamine Tetra Acetic acid, complexing agent	<b>EDTA</b>
<b>e.g.</b>	For example (exempli gratia, latin)	<b>Par ex.</b>
<b>E/O</b>	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide with subsequent addition of gaseous oxygen as a reinforcing agent	<b>E/O</b>
<b>EOP</b>	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide with subsequent addition of oxygen and hydrogen peroxide solution as a reinforcing agent	<b>EOP</b>
<b>E/P</b>	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide with subsequent addition of hydrogen peroxide solution as a reinforcing agent	<b>E/P</b>
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency	<b>EPA</b>
<b>EQO</b>	Environmental Quality Objective	
<b>ESP</b>	Electrostatic precipitator	<b>EF</b>
<b>ETS</b>	European Tissue Symposium, European Association of Tissue Manufacturerers	<b>ETS</b>
<b>Euro</b>	European currency unit	<b>Euro</b>
<b>FAS</b>	Formamidine sulfonic acid, reductive bleaching agent	<b>FAS</b>
<b>FEI</b>	Finnish Environment Institute	<b>FEI</b>
<b>GW</b>	Groundwood pulp	<b>FEI</b>
<b>HC</b>	High consistency - pulp concentration in the interval 30 - 50% dry solid content	<b>HC</b>
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Hydrogen peroxide	<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>
<b>i.e.</b>	That is (id est, latin)	<b>Càd (c'est à dire)</b>
<b>IPPC</b>	Integrated Pollution Prevention and Control	<b>IPPC</b>
<b>SVI</b>	Sludge Volume Index. Volume in ml occupied by 1 gram of activated sludge after settlement under specified conditions for a specified time, usually 30 minutes	<b>IM</b>
<b>% ISO</b>	Brightness unit according to ISO, the International Organisation for Standardisation	<b>%ISO</b>
<b>LC</b>	Low consistency - pulp concentration in the interval 3 - 5% dry solid content	<b>LC</b>
<b>LWC</b>	Lightweight coated paper	<b>LWC</b>
<b>MBR</b>	Membrane Bioreactor	<b>BAM ou BRM</b>
<b>MC</b>	Medium consistency - pulp concentration in the interval 8 – 15% dry solid content	<b>MC</b>
<b>Meuros</b>	1 million euros, a European currency unit	<b>Meuros</b>
<b>Mg</b>	Magnesium	<b>Mg</b>
<b>MLSS</b>	Mixed Liquor Suspended Solids	<b>MVS</b>
<b>MWC</b>	Medium weight coated paper	<b>MWC</b>
<b>NCG</b>	Non-condensable gases referring to malodorous gases of chemical pulping	<b>Incondensables</b>
<b>Ndg</b>	Normal dry gas related to standard conditions	<b>Nm3 secs</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	The sum of nitrogen oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> ) expressed as NO <sub>2</sub>	<b>NO<sub>x</sub></b>
<b>NPE</b>	Non Process Elements that can accumulate when closing up the water circuits in pulp mills such as Al, Si, Ca, Ma, Mn	<b>NPE</b>

.../...

<b>NSSC</b>	Neutral Sulphite Semi Chemical pulp is the most common type of semichemical pulp which is produced by a combination of chemical and mechanical pulping. In the process wood chips are partially digested to weaken the bonds between fibres and lignin. The chips are then mechanically treated in a refiner	<b>NSSC</b>
<b>O</b>	Oxygen bleaching stage	<b>O</b>
<b>P</b>	Alkaline bleaching stage with hydrogen peroxide (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) as liquid	<b>P</b>
<b>PCDD/PCDF</b>	Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins/Furans	<b>PCDD/PCDF</b>
<b>PGW</b>	Pressurised ground wood (pulping)	<b>PGW</b>
<b>Q</b>	Acid bleaching stage where chelating agent EDTA or DTPA has been used for removal of metals	<b>Q</b>
<b>RCF</b>	Recycled fibre(s). Pulp obtained from recovered paper processing	<b>FCR</b>
<b>RMP</b>	Refiner mechanical pulping	<b>RMP</b>
<b>S</b>	1) Sulphur 2) Acid bleaching stage with sodium hydrosulphite (NaHSO <sub>3</sub> )	<b>S</b>
<b>SC</b>	Supercalendered paper	<b>SC</b>
<b>SEPA</b>	Swedish Environmental Protection Agency	<b>SEPA</b>
<b>SGW</b>	Stone groundwood (pulp)	<b>SGW</b>
<b>SNCR</b>	Selective Non-Catalytic Reduction	<b>SNCR</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	Sulphur dioxide	<b>SO<sub>2</sub></b>
<b>SS</b>	Suspended solids	<b>MES</b>
<b>TCF</b>	Totally chlorine free (bleaching)	<b>TCF</b>
<b>TMP</b>	Thermo-mechanical pulp	<b>TMP</b>
<b>TRS</b>	Total reduced sulphur meaning the sum of the following reduced malodorous sulphur compounds generated in the pulping process: hydrogen sulphide, methyl mercaptan, dimethylsulphide and dimethyldisulphide expressed as sulphur	<b>SRT</b>
<b>TSS</b>	Total suspended solids (in wastewater)	<b>MEST</b>
<b>TSP</b>	Total solid particulates (in flue gases), dust	<b>Poussières</b>
<b>VOC</b>	Volatile Organic Compounds	<b>COV</b>
<b>WWTP</b>	Wastewater treatment plant	<b>STEP</b>
<b>Z</b>	Ozone bleaching stage using gaseous ozone (O <sub>3</sub> )	<b>Z</b>

#### Abréviations (du français vers l'anglais)

<b>Français</b>		<b>Anglais</b>
<b>AOX</b>	Composés organo-halogénés adsorbables selon la norme ISO 9562 :1998	<b>AOX</b>
<b>BAM ou BRM</b>	Bioréacteur à membranes : BRM est une marque déposée mais est utilisé	<b>MBR</b>
<b>BREF</b>	Document de Référence sur les Meilleures Techniques Disponibles	<b>BREF</b>
<b>C</b>	Stade de blanchiment au chlore utilisant le chlore élémentaire	<b>C</b>
<b>Càd</b>	C'est à dire	<b>i.e.</b>
<b>COV</b>	Composés Organiques Volatils	<b>VOC</b>
<b>CSF</b>	Canadian Standard Freeness : mesure le taux d'égouttage de la pâte. Plus le nombre est petit, plus la pâte s'égoutte mal.	<b>CSF</b>
<b>CTMP</b>	Pâte Chimico-Thermo-Mécanique	<b>CTMP</b>
<b>D</b>	Stade de blanchiment au bioxyde de chlore	<b>D</b>
<b>DBO5/DBO7</b>	Demande Biologique en Oxygène : quantité de matière organique biodégradable présente dans les effluents mesurée sur 5 ou 7 jours	<b>BOD5/BOD7</b>
<b>D/C</b>	Stade de blanchiment utilisant dioxyde de chlore et chlore, le premier étant prédominant (les % peuvent être spécifiés par exemple D90/C10 )	<b>D/C</b>

.../...

<b>DCO</b>	Demande chimique en oxygène (mesurée selon la méthode au bichromate en général)	<b>COD</b>
<b>DIP</b>	Pâte désencrée	<b>DIP</b>
<b>DTPA</b>	Acide diethyltriamine pentacétique (agent complexant)	<b>DTPA</b>
<b>E</b>	Stade de blanchiment d'extraction alcaline (utilisant la soude NaOH)	<b>E</b>
<b>ECF</b>	Séquence de blanchiment sans chlore élémentaire	<b>ECF</b>
<b>EDTA</b>	Acide éthyldiamine tétracétique (agent complexant)	<b>EDTA</b>
<b>E/O</b>	Stade de blanchiment d'extraction alcaline E avec addition d'oxygène	<b>E/O</b>
<b>EOP</b>	Stade de blanchiment d'extraction alcaline E avec addition d'oxygène et de peroxyde d'hydrogène	<b>EOP</b>
<b>E/P</b>	Stade de blanchiment d'extraction alcaline avec addition de peroxyde d'hydrogène	<b>E/P</b>
<b>EPA</b>	European Protection Agency (Agence de Protection de l'Environnement, USA)	<b>EPA</b>
<b>EF</b>	Electrofiltre	<b>ESP</b>
<b>ETS</b>	European Tissue Symposium : association européenne des fabricants de tissu	<b>ETS</b>
<b>Euro</b>	Monnaie européenne	<b>Euro</b>
<b>FAS</b>	Acide formamide sulfonique (agent de blanchiment réducteur)	<b>FAS</b>
<b>FCR</b>	Fibres cellulosiques de récupération	<b>RCF</b>
<b>FEI</b>	Institut de l'Environnement Finlandais	<b>FEI</b>
<b>Flottateur</b>	Flottation à air dissous	<b>DAF</b>
<b>GW</b>	Pâte mécanique de défibreur	<b>GW</b>
<b>HC</b>	Haute Consistance (pâte à 30-50% de matières sèches)	<b>HC</b>
<b>H2O2</b>	Peroxyde d'hydrogène	<b>H2O2</b>
<b>IM</b>	Indice de Mohlmann : volume en ml occupé par 1g de boues activées après décantation, dans des conditions spécifiées (généralement 30 minutes dans une éprouvette de 1 litre)	<b>SVI</b>
<b>Incondensables</b>	Incondensables : caractérise les gaz malodorants émis par les procédés chimiques de production de pâtes (et qui sont généralement brûlés en air d'appoint de la chaudière de récupération ou du four à chaux)	<b>NCG</b>
<b>IPPC</b>	Prévention et Contrôle Intégré de la Pollution	<b>IPPC</b>
<b>% ISO</b>	Unité de blancheur selon l'ISO	<b>% ISO</b>
<b>LC</b>	Basse Consistance (pâte à 3-5% de matières sèches)	<b>LC</b>
<b>LWC</b>	Papier couché léger	<b>LWC</b>
<b>MC</b>	Moyenne Consistance (pâte à 8-15% de matières sèches)	<b>MC</b>
<b>MES</b>	Matières en suspension	<b>SS</b>
<b>MEST</b>	Matières en suspensions totales (voir MES)	<b>TSS</b>
<b>Meuro</b>	Million d'euros	<b>Meuro</b>
<b>Mg</b>	Magnésium	<b>Mg</b>
<b>MS</b>	Matières sèches	<b>DS</b>
<b>MTD</b>	Meilleures Techniques Disponibles (selon Directive IPPC Article 2(11) )	<b>BAT</b>
<b>MVS</b>	Matières Volatiles en Suspension (caractérise les boues biologiques)	<b>MLSS</b>
<b>MWC</b>	Papier couché moyen	<b>MWC</b>
<b>Nm3 secs</b>		<b>Ndg</b>
<b>Nox</b>	Somme des gaz azotés (NO+NO2 exprimé en NO2)	<b>NOx</b>
<b>NPE</b>	Eléments traces ne rentrant pas dans le procédé et apportés principalement par le bois. Comme Al, Si, Ca, Mn...	<b>NPE</b>
<b>NSSC</b>	Pâte selon le procédé Neutral Sulphite Semi Chemical : procédé au sulfite neutre de Na ou de NH4	<b>NSSC</b>
<b>O</b>	Stade de blanchiment à l'oxygène	<b>O</b>
<b>OQE</b>	Objectif de qualité environnementale	<b>EQO</b>
<b>Par ex.</b>	Par exemple	<b>e.g.</b>

.../...

<b>PNV</b>	Papier net vendable	<b>NSP</b>
<b>P</b>	Stade de blanchiment (alcalin) au peroxyde d'hydrogène	<b>P</b>
<b>PCDD/PCDF</b>	Polychloro-dibenzo-dioxines et furannes	<b>PCDD/PCDF</b>
<b>PGW</b>	Pâte mécanique de défibreur sous pression	<b>PGW</b>
<b>Poussières</b>	Poussières (dans les gaz de combustion : chaudières de récupération à déchets, four à chaux)	<b>TSP</b>
<b>Q</b>	Stade de blanchiment (acide) dans lequel des agents séquestrants, EDTA ou DTPA, sont utilisés pour éliminer les métaux	<b>Q</b>
<b>RMP</b>	Pâte mécanique de raffineur	<b>RMP</b>
<b>S</b>	Soufre ou stade de blanchiment (acide) à l'hydrosulfite de sodium (NaHSO <sub>3</sub> )	<b>S</b>
<b>SC</b>	Papier super-calandré	<b>SC</b>
<b>SEPA</b>	Agence de protection de l'environnement suédoise	<b>SEPA</b>
<b>SGW</b>	Pâte mécanique de meule	<b>SGW</b>
<b>SNCR</b>	Réduction sélective non catalytique	<b>SNCR</b>
<b>S02</b>	Dioxyde de soufre	<b>SO2</b>
<b>SRT</b>	Soufre réduit total : comprend la somme des composés soufrés malodorants résultant du procédé (en général kraft) comme H <sub>2</sub> S, CH <sub>3</sub> SH, CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub> , CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub> exprimés en S	<b>TRS</b>
<b>STEP</b>	Station de traitement des effluents	<b>WWTP</b>
<b>T ou t</b>	Tonne de pâte séchée à l'air correspondant à 90% de matières sèches. Pour le papier 1 t sèche correspond à du papier à 6% d'humidité.	<b>ADt</b>
<b>TCF</b>	Séquence de blanchiment sans aucun composé chloré	<b>TCF</b>
<b>TMP</b>	Pâte thermo-mécanique	<b>TMP</b>
<b>Z</b>	Stade de blanchiment utilisant l'ozone	<b>Z</b>

### Définition des termes

Blanchiment	Procédé de blanchiment des fibres par élimination des substances colorées ou par décoloration	Bleaching
Caisse de tête	Installation en tête de machine à papier qui répartit la suspension fibreuse sur la toile	Headbox
Capacité de production journalière	Poids de produits (séché à l'air) par jour sortis de l'installation	Daily production capacity
Cassés	Papier éliminé lors de la production (n'arrivant pas à l'enrouleuse)	Broke
Charges	Additifs en général minéraux ajoutés à la composition fibreuse en tête de machine (carbonate de calcium...)	Fillers
Composition fibreuse	Mélange des différents produits entrant dans la fabrication des papiers et cartons : pâte (fibres de différentes provenance), charges, agents de collage, éventuellement produits résistants humides, colorants....	Furnish
Consistance	% de matières fibreuses en suspension dans la composition : basse consistance 3-5%, moyenne consistance 8-15%, haute consistance 30-50%	Consistency
Consommation spécifique d'eau	Quantité d'eau fraîche prélevée (eau de surface, eau de nappe) pour la production exprimée en m <sup>3</sup> /t séchée à l'air (pour la pâte). L'eau utilisée pour le refroidissement (qui n'a pas été en contact avec les flux du procédé) est rejetée directement et n'est pas incluse. Les eaux résiduelles provenant des générateurs d'énergie et de vapeur ne sont pas incluses	Specific water consumption

.../...

Cylindre Yankee	Cylindre sécheur de très grand diamètre utilisé dans la fabrication du tissu	Yankee cylinder
Désencrage	Procédé d'élimination de l'encre (mais aussi de tous les autres produits indésirables) des papiers recyclés	Deinking
Dispersion	Traitement mécanique des fibres recyclées pour disperser les particules d'encre	Dispersing
Eaux blanches	Eaux provenant de la partie humide de la machine à papier ainsi que des épaisseurs, laveurs, récupérateurs de fibres...et chargées en partie en fibres, fibres et adjuvants de fabrication non retenus par le matelas fibreux sur la table de la machine	White water
Effets inter-milieux	Répercussion d'un impact environnemental d'un compartiment de l'environnement à l'autre (par exemple en éliminant les poussières dans les rejets à l'atmosphère, des déchets sont générés)	Cross media effects
Feuillus	Type de bois incluant tremble, hêtre, bouleau, eucalyptus	Hardwood
Fines	Fibres de petites dimensions (inférieures à 75µ) présentes dans la composition fibreuse	Fines
Fosse à cassé	Ouvrage sous la section des presses de la machine à papier qui reçoit les chutes et les rognures de la fabrication	Couch pit
Grammage	Masse surfacique du papier/carton en g/m <sup>2</sup>	Grammage
Indice kappa	Mesure de la lignine résiduelle de la pâte : plus l'indice est faible, moins il y a de lignine	Kappa number
Installation	Unité où une ou plusieurs sortes sont produites	Installation
Lignine	Polymère organique complexe de structure irrégulière constituant la paroi des fibres végétales	Lignin
Magnefite	Procédé de fabrication de pâte chimique au bisulfite de magnésium	Magnefite
Mise en pâte	Procédé d'obtention de fibres à partir de bois ou de fibres recyclées	Pulping
Niveau d'émission des MTD	Niveaux d'émissions (et de consommations) associés et estimés atteignables lors de l'application des MTD sans préjudices aux coûts et avantages inhérents à la définition des MTD	Levels associated with BAT
Papier	Matelas de fibres cellulosiques contenant un certain nombre de produits chimiques ajoutés	Paper
Papier/carton avec bois	Papier/carton contenant une part importante (plus de 5%) de composés non cellulosiques (donc de pâte mécanique) dans sa composition	Wood-containing paper
Papier/carton sans bois	Papier/carton contenant une faible part (moins de 5%) de composés non cellulosiques (donc avec une part importante de pâte chimique dans sa composition)	Woodfree paper
Partie humide	Partie de la machine à papier avant la section des presses	Wet end
Partie sèche	Section de la machine à papier située après la formation de la feuille	Dry end
Pâte au bisulfite	Pâte chimique où les produits chimiques de cuisson sont des composés sulfitiques ou bisulfitiques	Sulphite pulp
Pâte chimique	Partie de fibres cellulosiques obtenue après élimination des matières non cellulosiques par voie chimique (cuisson, délignification, blanchiment)	Chemical Pulp
Pâte écrue	Suspension de pâte non blanchie	Brownstock
Pâte de fibres recyclées	Pâte à base de fibres qui ont déjà constitué un produit papier/carton	Recycled fibre pulp
Pâte kraft	Pâte chimique produite par action d'un mélange soude/sulfure de sodium sur du bois en copeaux	Kraft pulp
Pâte mécanique	Procédé de fabrication de pâte par voie mécanique utilisant différents bois sous forme de rondins (pâte mécanique de meule) ou de copeaux (pâte mécanique de raffineur). La pâte contient une quantité importante de matière non cellulosique	Mechanical pulp

.../...

Pâte thermo-mécanique	Pâte mécanique obtenue à partir de diverses matières premières qui sont soumises à un pré-traitement thermique et qui contient une grande part de matières non cellulosiques	Thermo-mechanical-pulp
Poix	Substances résineuse présente dans les pâtes vierges	Pitch
Production intégrée	Installation dans laquelle il y a à la fois production de pâte et de papier/carton	Integrated production
Production non intégrée	Installation où il n'y a que la production de papier/carton et où il n'y a pas de production de pâte	Non integrated production
Raffinage	Traitement mécanique des fibres pour développer des liaisons interfibres	Refining
Récupérateur de pâtes	Installation permettant de récupérer les fibres et les charges dans les eaux blanches (généralement filtration, décantation, floculation, flottation)	Save all
Rendement	Quantité de matériau fibreux obtenu après les opérations de cuisson, de blanchiment ou de désencrage, exprimé en % du matériau initial	Yield
Résine MF	Résine mélamine formaldéhyde	MF resin
Résine UF	Résine urée-formaldéhyde	UF resin
Résineux	Bois résineux (pin, épicéa.....)	Softwood
Savons	Produits résultants de la réaction entre les liqueurs kraft alcalines et les acides gras du bois qui peuvent précipiter lors de la concentration des liqueurs de cuisson	Soaps
Stickies	Substances « collantes » provenant des adhésifs contaminants les papiers recyclés	Stickies
Stock	Suspension de fibres cellulosiques et autres produits en mélange qui constitueront la feuille de papier	Stock
Térébenthine	Mélange de composés terpéniques (pinènes) obtenu par distillation à la vapeur des tall-oils récupérés au lessiveur de cuisson kraft de bois résineux	Turpentine
Tonne sèche	Tonne de pâte séchée au four (o.d.) à 100% de siccité	Absolute dry ton
Tonne séchée à l'air	Tonne de pâte à 90% de siccité	Air dry ton
UASB	Procédé ou réacteur anaérobie à lit de boues ascendant	UASB
Valeur atteignable	Quand on utilise une technique ou une combinaison de techniques, un certain niveau d'émission peut être atteint pendant une période de temps assez longue (1 an) pour une installation ou un procédé bien conduit et bien entretenu utilisant ces techniques	Achievable value

## ANNEXE I

### PRODUITS CHIMIQUES ET ADDITIFS UTILISES DANS LA FABRICATION DU PAPIER

L'industrie papetière utilise un grand nombre de produits chimiques. D'un côté, elle en a besoin dans le processus pour la fabrication de la pâte à papier, de l'autre, elle met en œuvre des additifs (ou adjuvants) et des agents auxiliaires chimiques pour la production du papier. Nous n'étudierons ici que les additifs et auxiliaires chimiques. Les premiers sont utilisés pour conférer diverses caractéristiques au papier alors que les auxiliaires chimiques servent à améliorer l'efficacité et réduire les perturbations du processus de production.

Étant donné que les additifs chimiques sont conçus pour conférer une certaine caractéristique au papier, pour des raisons de coût et d'efficacité, ils présentent généralement un niveau élevé de rétention par les fibres cellulosiques. Cela explique qu'ils soient en majorité retenus dans le papier. En revanche, les auxiliaires chimiques ont le plus souvent un faible niveau de rétention et sont en grande partie rejetés avec les eaux usées. Un produit avec un additif chimique contient souvent des auxiliaires chimiques destinés à faciliter sa mise en œuvre, par exemple des émulsifiants pour assurer une meilleure accessibilité dans le circuit d'eau des substances qui sont difficiles à dissoudre dans l'eau. Ces auxiliaires chimiques n'ont pas non plus beaucoup d'affinité avec la cellulose. Selon la dégradabilité des produits chimiques et l'aptitude des installations de traitement des eaux usées à les traiter, ils risquent d'achever leur parcours dans l'environnement extérieur.

Les groupes les plus courants de produits chimiques utilisés dans l'industrie du papier sont étudiés ci-après sous l'angle de l'environnement. On s'est concentré sur les groupes de substances les plus courants, qui ne représentent qu'un extrait de la longue liste de produits chimiques actuellement utilisés (selon une étude réalisée par la Suède, l'industrie papetière de ce pays emploie en tout quelque 1 300 produits, représentant environ 800 substances). L'étude comprend à chaque fois des renseignements sur la fonction, les substances mises en œuvre et les émissions et effets prévus. Lorsqu'elles existent, on trouvera également des indications sur les possibilités de limiter les rejets ou de réduire l'impact sur l'environnement.

Les additifs chimiques suivants sont étudiés dans les pages ci-après :

- charges
- agents d'encollage
- agents pour renforcer la résistance à l'état humide
- agents pour renforcer la résistance à l'état sec
- produits chimiques de couchage
- azurants optiques
- colorants
- agents de rétention
- antimousses
- agents de dispersion et tensioactifs
- biocides pour l'eau en entrée
- biocides (antislimes) pour les circuits d'eau de process.

Différents pays ont réalisé des études pour identifier les substances qui, pour des raisons liées à l'environnement, sont susceptibles d'être remplacées en application du principe de substitution. Ce principe signifie que, dans le cadre de l'utilisation de produits chimiques, il convient d'éviter les produits dangereux lorsqu'ils peuvent être remplacés par des produits moins dangereux. La dangerosité

d'une substance pour l'environnement est déterminée en évaluant ses caractéristiques intrinsèques en ce qui concerne les paramètres environnementaux de toxicité, biodégradabilité et bioaccumulation. Malheureusement, une grande partie de ces informations est encore inexistante pour les candidats au remplacement aussi bien que pour le produit de remplacement approprié. Il s'avère donc nécessaire de mettre au point une sorte d'étude à l'échelle européenne qui pourrait servir à la fois aux exploitants et aux inspecteurs. Cette étude devrait porter sur les candidats au remplacement, c'est-à-dire les produits chimiques "à haut risque" qui devraient être supprimés et remplacés par des types "à faible risque" sans compromettre le processus de fabrication du papier.

### **Charges (agents auxiliaires pour le produit)**

**Fonction** : les charges sont ajoutées lors de la fabrication du papier pour améliorer l'opacité, le degré de blanc et le lissé de la surface. Les charges, moins cher, sont utilisées en substitution des fibres.

**Produits chimiques** : on utilise du kaolin et du carbonate de calcium, jusqu'à 300 kg/t. Sous réserve qu'il soit compatible avec les spécifications du papier, on utilise de préférence le carbonate de calcium plutôt que le kaolin en raison de son niveau de rétention global plus élevé et plus homogène. Le dioxyde de titane, le talc et les microsphères plastiques sont utilisés en moindre quantité comme charges spéciales. Les charges sont ajoutées dans la partie humide et sont retenues dans une proportion de 50 à 80 % dans la feuille de papier, selon que les agents de rétention utilisés.

**Émissions et impact** : le niveau de rétention type après récupération des fibres et des charges est de l'ordre de 98 %. Les charges qui arrivent jusqu'à l'effluent seront éliminées en très grande partie par le traitement primaire. Cela dit, on peut observer des rejets dans les milieux aquatiques récepteurs, notamment sous forme de rejets accidentels ou temporaires. Les charges inorganiques sont en principe des produits insolubles et inertes. Les charges organiques sont très faiblement dégradables. Lorsqu'elles sont rejetées dans les cours d'eau, les charges peuvent affecter la pénétration de la lumière dans les milieux aquatiques (turbidité) et former des dépôts ou des sédiments.

### **Agents d'encollage (agents auxiliaires pour le produit)**

**Fonction** : les colles sont ajoutées pour améliorer la résistance du papier aux liquides, c'est-à-dire qu'elles le rendent hydrophobe. Elles sont mises en œuvre soit dans la partie humide (encollage dans la masse du papier) soit au niveau de la presse encolleuse (encollage en surface). Elles sont utilisées dans la fabrication du papier journal, des papiers d'impression-écriture et des papiers d'emballage.

**Produits chimiques** : on utilise des produits naturels tels que des résines naturelles modifiées (colles à base de résine), l'amidon ou l'amidon modifié ou des produits synthétiques tels que le dimère d'alkyle cétène (AKD) et d'autres polymères (par exemple les copolymères à base d'esters d'acide acrylique et d'acide maléique, d'acrylonitrile et de styrène). L'AKD est le produit chimique de collage le plus couramment utilisé et il doit être employé de préférence lorsque les spécifications du produit le permettent. Avec l'AKD, il suffit de 0,1 % de substance active (par rapport à la pâte sèche) pour obtenir un encollage intégral. On a recours dans une moindre mesure à la cire de paraffine, aux cires de polyéthylène et aux produits chimiques fluorés. On ajoute habituellement des émulsifiants et d'autres adjuvants pour obtenir un encollage de haute qualité.

**Émissions et impact** : on ne connaît que peu de choses concernant le taux de rétention des produits chimiques. Étant donné la faible solubilité de ces produits, il est probable qu'il vont adhérer au produit papetier ou être éliminés en grande partie dans les installations de traitement des effluents. Pour les agents d'encollage en surface, le taux de rétention est très proche de 100 %.



Lorsqu'on ajoute des quantités importantes de produits chimiques d'encollage dans la pâte, les exploitants devraient indiquer les niveaux de rejets prévus via l'ETP et le parcours des substances mises en œuvre.

AKD : biodégradable, faible toxicité vis-à-vis des bactéries, susceptible de bioaccumulation [Note Royaume Uni IPR 6/9], [J.Pöyry, 1994b].

Produits à base de résine : toxiques pour les bactéries, bioaccumulation dans les poissons [Note Royaume Uni IPR 6/9], [J.Pöyry, 1994b].

Amidons modifiés : biodégradables, non toxiques, [Note Royaume Uni IPR 6/9]. Pas de risques communiqués d'effets sur l'environnement.

### **Agents de renforcement de la résistance à l'état humide (agents auxiliaires pour le produit)**

**Fonction** : ces agents sont ajoutés dans la partie humide pour améliorer les caractéristiques de résistance du papier lorsqu'il est humide. Ils sont employés dans des applications telles que les essuie-mains, les essuie-tout, les serviettes de table, les papiers pour sacs d'emballage, les étiquettes, les billets de banque, les cartes et les papiers-filtres.

**Produits chimiques** : on utilise principalement des polymères qui assurent la liaison des fibres entre elles, tels que les résines urée-formaldéhyde (UF), les résines mélamine-formaldéhyde (MF) et les résines à base de polyamidoamine-épichlorhydrine (PAA-E). Selon le domaine d'application, on utilise des quantités variables de ces agents de renforcement de la résistance à l'état humide. Le pourcentage de substance solide ajoutée peut atteindre 5 % (par rapport à la pâte séchée à l'air).

**Émissions et impact** : on estime que le taux de rétention sur la machine à papier est > 90 %, ce qui signifie que < 10 % sort du circuit avec les eaux. [J.Pöyry, 1994b]. Cependant, on a connaissance de cas actuels où les résines UF-MF sont retenues à 50 à 70 % seulement (Autorité de Wallonie). Ces résines sont moyennement toxiques pour les poissons et ne sont que partiellement biodégradables.

Les résines UF et MF contiennent un peu de formaldéhyde libre (typiquement de 2 à 5 %) et une plus grande quantité sera rejetée à partir de la réaction de réticulation associée au durcissement de la résine. Compte tenu de la grande solubilité du formaldéhyde, la majorité du formaldéhyde libre restera dans l'eau et se retrouvera dans l'installation de traitement des effluents où il sera facilement dégradé biologiquement. Mais l'eau qui s'évapore pendant le séchage rejettera le formaldéhyde qu'elle contient dans l'atmosphère. Il faudrait déterminer la concentration et le débit massique du formaldéhyde libre en mesurant la teneur en formaldéhyde de l'air qui sort de la sécherie. Si l'on estime que le débit massique est important, dans ce cas il faudra envisager des mesures pour le recueillir.

Il existe des résines ne contenant pas de formaldéhyde, ou seulement en très faible quantité (< 0,5 %), que l'on peut utiliser dans certains cas avec une petite perte de résistance à l'état humide. Mais avec certaines compositions, on a besoin de quantités plus importantes, qui annulent les avantages obtenus. Il faut que les exploitants étudient soigneusement ces différentes alternatives possibles.

Les résines PAA-E ne dégagent aucun composé volatil au cours de leur mise en œuvre, mais elles contiennent du chlore sous forme de composés chlorés organiques, qui sera rejeté dans l'effluent lorsqu'elles ne sont pas retenues dans le papier ou dans les boues. Elles sont toxiques pour les organismes aquatiques et ne sont pas biodégradables. Pendant la synthèse de ces résines PAA-E, l'épichlorhydrine peut également réagir ou former du dichloropropanol (DCP), une substance suspectée d'être cancérogène et du chloropropanediol (CPD). Pour ces deux raisons, on trouve désormais sur le marché un vaste éventail de résines PAA-E avec des niveaux réduits d'AOX et de DCP/CPD, et qu'il convient d'utiliser de préférence aux autres.

En cas de déversements directs de ces résines, elles peuvent entraîner la mort des poissons en se fixant aux branchies. Il faut donc prévoir des systèmes pour exclure l'éventualité de tels rejets directs.

Une fois entièrement séchés, les papiers résistants à l'état humide sont plus difficiles à réduire de nouveau en pâte que les papiers ordinaires. La désintégration (repulpage) des papiers traités avec des résines UF ou MF peut entraîner des rejets de formaldéhyde. Les exploitants devraient être invités à surveiller ces opérations pour déterminer l'ampleur des rejets.

### **Agents de renforcement de la résistance à l'état sec (agents auxiliaires pour le produit)**

**Fonction** : ces produits chimiques peuvent être ajoutés dans la partie humide ou à la surface du papier pour améliorer les caractéristiques de résistance de ce dernier à l'état sec. Ils sont employés principalement pour le papier journal et les papiers d'impression-écriture et, dans une certaine mesure, pour les papiers à usage sanitaire et domestique.

**Produits chimiques** : on utilise de l'amidon ou des amidons cationiques modifiés, tels que les *galactomannanes*, les dérivés de la cellulose (par exemple la carboxyméthylcellulose (CMC), les polyacrylamides et l'alcool polyvinylique (presse encolleuse seulement). Les principaux types utilisés comme agent de renforcement de la résistance à l'état sec sont l'amidon ou l'amidon cationique.

**Émissions et impact** : la consommation type d'agents de renforcement de la résistance à l'état sec est de 10 kg/t dans la partie humide, où la rétention est faible, de l'ordre de 70 à 90 %, mais elle peut atteindre jusqu'à 40 à 50 kg/t au niveau de la presse encolleuse. L'amidon utilisé dans une papeterie est en partie rejeté dans le circuit d'eau blanche. Ainsi, ces agents contribuent à la charge en DBO, qui est biodégradable en grande partie et non toxique. Ceux dont on a la preuve qu'ils présentent la meilleure rétention dans l'installation devraient être utilisés lorsque les exigences imposées au produit le permettent.

### **Produits chimiques pour le couchage (agents auxiliaires pour le produit)**

**Fonction** : l'application de ce que l'on appelle une sauce de couchage sur le papier fini dans une coucheuse séparée est destinée à conférer au papier certaines propriétés de surface, par exemple de meilleures caractéristiques de blancheur, d'opacité, de brillant, de lissé et d'imprimabilité.

**Produits chimiques** : les sauces de couchage sont le plus souvent un mélange aqueux de pigments et de liants. Ce sont les pigments blancs qui déterminent en grande partie la qualité et le coût du couchage. Les pigments représentent habituellement au moins 80 % du poids sec total de la sauce de couchage. Les pigments les plus couramment utilisés sont le kaolin, le carbonate de calcium broyé et précipité et, dans une moindre mesure, le sulfoaluminate de calcium (blanc minéral) et le dioxyde de titane. Le pigment le plus couramment utilisé est le kaolin, mais diverses qualités de carbonate de calcium ont connu un fort développement et sont utilisées en quantités comparables au kaolin.

Le rôle du liant ou adhésif est de lier les particules des pigments les unes aux autres et de fixer la sauce sur le papier support. Leur proportion en poids dans la sauce de couchage est de 5 à 20 % par rapport au pigment. On peut établir une distinction entre les liants à base de matières premières naturelles solubles dans l'eau et les liants synthétiques non solubles. Les liants naturels les plus couramment utilisés sont l'amidon et ses dérivés et les éthers de cellulose tels que la carboxyméthylcellulose – (CMC), qui sont raisonnablement biodégradables. L'utilisation des liants naturels se heurte cependant à quelques limites. Comme liants synthétiques, on utilise des dispersions de polymères de liants de couchage non solubles dans l'eau tels que le latex styrène butadiène, les polyacrylates et l'acétate de polyvinyle, et avec certaines restrictions, l'alcool de polyvinyle (PVA). Les dispersions de styrène-butadiène sont les plus largement utilisées dans le monde entier. Les dispersions de polymères utilisées comme liants synthétiques peuvent contenir des concentrations relativement élevées (jusqu'à

< 1 %) de composés organiques volatiles (COV) en tant que monomères résiduels, les concentrations dépendant du monomère et du processus utilisé. Il existe également des produits rectifiés ("strippés") avec de très faibles niveaux de COV.

Les formules peuvent comprendre en plus tout un éventail d'agents auxiliaires : des dispersants pour obtenir une stabilisation chimique vis-à-vis de la réagglomération des pigments, des agents de renforcement de la résistance à l'état humide (durcisseurs), des produits destinés au contrôle de la viscosité et de la rétention d'eau, des antimousses et des désémulsifiants, des azurants, des nuanceurs, des lubrifiants pour améliorer le calandrage du papier et des biocides. Le couchage des papiers spéciaux pourrait inclure le recours à des solvants, qui sont partiellement rejetés dans l'atmosphère sous forme de composés organiques volatiles (COV). Les agents de lubrification englobent les stéarates d'ammonium et de calcium, les paraffines et les savons.

On peut en conclure que les sauces de couchage peuvent être des systèmes à plusieurs composants relativement complexes. Il existe un grand nombre de formules différentes.

**Émissions et impact** : les sauces de couchage sont presque toutes à base d'eau. Toutefois, lorsqu'on met encore en œuvre des sauces de couchage à base de solvants organiques, il conviendrait de les remplacer par d'autres à base d'eau. Si l'on estime que le débit massique est important, les émissions contenant des COV devraient être recueillies en divers points à l'aide d'un système d'extraction, suivi d'une incinération ou d'une combustion dans la chaudière.

Lorsque l'installation fonctionne normalement, il n'y a pas de rejets de sauce de couchage. Les pertes dues aux fuites, aux lavages et au repulpage des cassés de fabrication couchés devraient faire l'objet de mesures de contrôle. Certains liants ont un impact négatif sur l'installation externe de traitement des effluents, et il faudrait donc envisager des mesures adéquates pour résoudre ce problème (voir 6.3.3 et 6.3.6). L'impact le plus immédiat d'un rejet important de sauce de couchage est un changement de couleur du milieu aquatique récepteur.

### **Azurants optiques (agents auxiliaires pour le produit)**

**Fonction** : les azurants optiques sont ajoutés pour renforcer l'impression de blancheur du papier en convertissant l'énergie des rayons UV absorbés en une lumière bleue fluorescente.

**Produits chimiques** : il s'agit le plus souvent de dérivés de l'acide 4,4'- di-amino-stilbène 2,2' sulfonique, qui sont utilisés dans de nombreux papiers blancs. Les agents de blanchiment optique sont ajoutés dans la partie humide, au niveau de la presse encolleuse ou à enduction ou en tant que composant des sauces de couchage.

**Émissions potentielles, impact sur l'environnement et maîtrise des rejets** : la consommation type est de 5 à 10 kg/t et la rétention type, faible, de 50 à 90 %. Ces agents ne sont pas biodégradables, mais ils seront fixés par adsorption dans les boues de l'installation de traitement des effluents. Ceux qui sont rejetés dans les milieux aquatiques subiront une photo-dégradation partielle (transformation de la structure chimique uniquement). Les azurants optiques sont faiblement/moyennement toxiques pour les poissons [J.Pöyry, 1994b]. Ils doivent être utilisés sous une forme assurant la plus grande rétention possible et être appliqués, dans la mesure du possible, au niveau de la presse encolleuse. Dans la production de papiers et de cartons d'emballages de qualité alimentaire, il convient d'accorder une attention particulière à la consommation de ces agents de blanchiment. Ils peuvent en effet contenir jusqu'à 30 % d'urée en tant qu'agents de stabilisation. Si l'on n'en tient pas compte, il peut y avoir surdose d'azote dans l'installation de traitement biologique des effluents.

## Colorants (agents auxiliaires pour le produit)

**Fonction** : les colorants sont ajoutés pour donner une certaine couleur ou teinte au papier.

**Produits chimiques** : les colorants sont ajoutés principalement dans la partie humide mais aussi à l'aide de la presse encolleuse. Pour colorer les papiers, on utilise presque exclusivement des colorants organiques. On peut établir une distinction entre les colorants basiques, acides et directs et les pigments. Les colorants utilisés sont avant tout des versions solubles dans l'eau de colorants azoïques, stilbéniques, du diphenylméthane ou du triphenylméthane, du xanthène, de l'acridine, de la quinoléine, des aziniques, oxaziniques, thiaziniques, anthraquinoniques, indigoïdes et phtalocyaniniques. En outre, tous les colorants contiennent un ou plusieurs adjuvant(s) (produits chimiques organiques et inorganiques). Les colorants réactifs sont peu utilisés. Les pigments solides (par exemple oxydes de fer, noir de carbone) sont utilisés pour conférer au produit une résistance élevée à la lumière. Étant donné qu'ils ne forment pas de liaison avec les fibres, il y a d'importantes pertes dans l'eau, contre lesquelles il faut lutter par des méthodes de sédimentation, de floculation ou de précipitation chimique. La consommation type de colorants est comprise entre 0,1 kg/t pour les nuances et 100 kg/t pour les teintes très sombres.

**Émissions potentielles, impact sur l'environnement et maîtrise des rejets** : la rétention est comprise entre 70 et 98 %. Compte tenu de la grande affinité avec les fibres des colorants basiques et directs et de l'utilisation complémentaire d'agents de fixation pour les colorants directs, l'eau de process ne devrait pas contenir de colorants si ceux-ci sont soigneusement dosés. Toutefois, pour certaines applications, on peut observer des émissions importantes. Il est impossible de donner un résumé complet des risques d'impacts sur l'environnement que représentent les colorants en raison de la grande quantité de substances différentes et du fait que ces impacts ne sont pas parfaitement connus dans toute leur ampleur. Il convient cependant de ne pas oublier ce qui suit :

- de nombreux colorants sont connus pour être toxiques pour les poissons et autres organismes aquatiques
- les colorants sont généralement connus pour être peu biodégradables dans des conditions aérobies
- certains colorants comprennent des ions métalliques.

Lorsqu'on applique des colorants avec des saucés de couchage, l'eau de lavage à contre-courant du filtre de couchage et l'eau des rinceurs et les eaux de lavage de l'installation de couchage pourraient être récupérées et traitées par membranes. Le perméat devrait être recyclé.

Si, en dépit des mesures ci-dessus, on rencontre encore des problèmes de toxicité de l'effluent final, on peut envisager l'une des mesures complémentaires suivantes :

- lorsque les colorants ont été appliqués dans l'installation de couchage, la concentration de ces matières dans les cassés de fabrication sera élevée. Il faudra éventuellement envisager la nécessité de laver ces cassés repulpés avant de les renvoyer dans la préparation de la pâte et de traiter séparément les eaux de lavage concentrées.
- un traitement tertiaire dans l'installation externe de traitement des effluents.

Il faut éviter dans la mesure du possible les colorants qui ne peuvent pas être blanchis pour le recyclage en pâte soit en tant que cassés soit en tant que papiers de récupération, afin de minimiser la production de déchets.

Les formulations comprennent un vaste éventail d'adjuvants. Ils sont en majorité soit dégradables soit inorganiques et peuvent augmenter la DCO. Il incombe à l'exploitant d'obtenir les informations confirmant que cela est bien le cas pour les formules utilisées. On utilise souvent des agents de fixation des colorants pour renforcer la fixation des colorants directs sur les fibres.

### **Agents de rétention (agents auxiliaires pour le processus)**

**Fonction** : les agents de rétention agissent via un mécanisme de coagulation/floculation pour renforcer la rétention (fibres, fragments de fibres, particules fines et charges plus les produits chimiques adsorbés) sur la toile. Ces agents réduisent les pertes de matières premières et augmentent la production.

**Produits chimiques** : les produits les plus couramment utilisés sont des polymères synthétiques tels que les polyacrylamides modifiés (PAM), que l'on trouve en proportion d'environ 0,1 à 0,5 kg de substance active par t, et des polymères cationiques comme les polyéthylèneimines (PEI) (1 à 2 kg/t). On utilise également des produits chimiques inorganiques tels que le sulfate d'aluminium (alum), l'aluminate de sodium et le polychlorure d'aluminium). Ils présentent toutefois l'inconvénient d'augmenter la teneur en sel de l'eau blanche.

**Émissions potentielles et impact sur l'environnement** : la rétention globale des agents de rétention est élevée (97 à 99 %) et les rejets après traitement sont estimés comme étant faibles. De façon générale, les agents de rétention sont toxiques pour les organismes aquatiques en raison de leur caractère cationique (ils collent aux branchies des poissons) et ne sont pas facilement biodégradables. Cette toxicité sera considérablement réduite dans l'installation de traitement des effluents. Les PEI sont moyennement biodégradables. Alors que le monomère PEI libre est toxique, il se dégrade biologiquement en grande partie dans l'installation de traitement des effluents. Le polyacrylamide n'est pas biodégradable. L'acrylamide monomère libre présente une toxicité modérée pour les poissons mais il est biodégradable.

Étant donné que les principaux circuits des différents composants de la pâte les amènent soit à sortir du processus avec le produit fini soit à se retrouver dans l'installation de traitement de l'effluent, le degré de rétention des matières dans le produit papetier joue un rôle important. La meilleure rétention possible varie en fonction du type de produit, mais l'exploitant devrait être en mesure de prouver qu'il utilise le système de rétention approprié pour son application particulière.

### **Antimousses (agents auxiliaires pour le processus)**

**Fonction** : les antimousses s'utilisent dans la partie humide de la machine à papier et dans la préparation de la sauce de couchage pour éviter la formation de mousse, voire pour détruire la mousse qui s'est formée. L'air pose des problèmes au niveau de la formation initiale de la feuille de papier et peut provoquer la formation de mousse sur la machine, que l'on combat généralement par des moyens chimiques. Les antimousses sont utilisés dans le circuit principal et dans les installations de traitement des effluents.

**Produits chimiques** : les substances utilisées sont des composés organiques avec des propriétés tensioactives (surfactants). On emploie des produits à base d'huile minérale ou végétale, des acides gras et leurs dérivés, des esters de l'acide phosphorique, des alcools forts et des huiles à base de silicone.

**Émissions potentielles, impact sur l'environnement et maîtrise des rejets** : la majeure partie des antimousses ajoutés dans la partie humide est probablement rejetée avec l'effluent. Ceux ajoutés lors du couchage sont essentiellement retenus dans le papier ou partiellement éliminés par évaporation lors du séchage.

La biodégradabilité des antimousses dépend du type de produits chimiques utilisés. Les produits à base d'huile minérale ont une faible biodégradabilité et seront rejetés dans les milieux récepteurs aquatiques. Il ne faudrait utiliser que des produits entièrement biodégradables, dont la biodégradation donne des produits connus et sans dangers. D'habitude, les antimousses rejetés dans les milieux aquatiques sont faiblement toxiques pour les poissons. Cependant, certains produits chimiques sont

lipophiles et susceptibles de présenter une bioaccumulation. Les liquides répandus peuvent supprimer la formation des bulles et entraver le mécanisme d'aération dans les installations de traitement aérobie des effluents. Pour éviter cela, on prévoira un système correctement conçu.

### **Agents de dispersion et tensioactifs (agents auxiliaires pour le processus)**

**Fonction** : les tensioactifs, également appelés surfactants, ont pour première fonction de réduire les tensions superficielles. Ils se composent d'une partie hydrophile et d'une partie hydrophobe (lipophile). Ces tensioactifs s'utilisent principalement dans les fonctions suivantes des processus des papeteries :

- nettoyage des feutres, toiles et parties de machine, en continu pendant la production
- nettoyage des circuits d'eau, de façon discontinue pendant les arrêts de production
- dispersion des particules d'encre dans le désencrage des FCR
- dispersion des résines, "slimes" (agglomérats de bactéries) et autres dépôts.

**Produits chimiques** : les tensioactifs et les dispersants constituent un groupe très vaste de produits chimiques, dont on a utilisé de très nombreuses versions différentes. Le groupe des tensioactifs comprend les types anioniques, cationiques et non ioniques, par référence au caractère chimique de la partie hydrophile de la molécule. Comme composés anioniques pour le groupe hydrophile, on peut utiliser par exemple des sulfonates, des sulfates ou des carboxylates, pour le groupe non ionique par exemple du polyoxyéthylène, des sucres ou des peptides, pour le groupe cationique par exemple de l'ammonium quaternaire. Les composés d'acides gras, de savons acides ou d'alcools peuvent également être utilisés ainsi que des paraffines, des oléfines, des benzènes d'alkyle (par exemple nonylphénols, nonylphénoéthoxylates, alkylphénoéthoxylates), composés naphthaléniques et polymères d'oxyde de propylène. Les nonylphénols étant suspectés de provoquer des troubles endocriniens, il convient d'éviter l'emploi de ces composés (même comme émulsifiants dans les adjuvants).

**Émissions potentielles, impact sur l'environnement et maîtrise des rejets** : mis en œuvre à raison de 0,5 kg/t (de substance active), tous les surfactants sont potentiellement toxiques dans la mesure où ils attaquent les structures cellulaires et la plupart d'entre eux seront rejetés dans l'installation de traitement de l'effluent, où leur biodégradabilité varie. Il faut donc faire très attention lorsqu'on les choisit. Il existe des tensioactifs biodégradables. Les exploitants devront prouver qu'ils n'utilisent que ceux possédant un très grand degré de biodégradabilité et dont on connaît les produits de la biodégradation. Il faut éviter les nonylphénoéthoxylates, qui peuvent se décomposer en nonylphénol. Ce nonylphénol est un composé toxique présentant des risques de bioaccumulation avec une faible biodégradabilité. On a également quelques preuves comme quoi certains produits de la dégradation de l'éthoxylate d'alkylphénol présentent une activité œstrogène. Dans sa recommandation 92/8, le PARCOM<sup>15</sup> a recommandé la suppression progressive des agents de nettoyage industriel contenant des nonylphénoéthoxylates.

### **Biocides de traitement de l'eau (agents auxiliaires pour le processus)**

**Fonction** : selon la source d'eau d'alimentation, il sera peut-être nécessaire de prévoir un traitement de cette eau. Étant donné que l'on utilise souvent des eaux de surface pour l'eau de process et de refroidissement, des micro-organismes sont entraînés dans le système. Or ces micro-organismes peuvent rapidement former des colonies à la surface des canalisations et des circuits de refroidissement. Il existe plusieurs solutions pour lutter contre cet encrassement biologique, dont beaucoup font appel à des biocides.

<sup>15</sup> R. Renner, Interdictions en Europe des déclencheurs tensioactifs, débat transatlantique, Env. Sci. Technol. 31 (7), 1997 pages 316 à 320.

**Produits chimiques** : le chlore et l'hypochlorite de sodium sont couramment utilisés, de même que des composés de brome, tels que l'acide hypobromeux.

**Émissions potentielles, impact sur l'environnement et maîtrise des rejets** : l'emploi de chlore liquide comporte un risque de rejet dangereux. Tout cela entraînera la formation d'un vaste éventail de substances organiques halogénées potentiellement dangereuses. Naturellement, plus il y aura de substances organiques dans l'eau d'alimentation, plus la génération de ces composés sera importante. C'est pourquoi il ne faudrait pas utiliser de chlore. Cela étant, dans certains cas dans lesquels on utilise de l'eau de surface comme eau de process il sera peut-être nécessaire de mettre en œuvre des substances telles que l'hypochlorite de sodium. Lorsque la teneur en substances organiques est élevée, on peut envisager l'utilisation de dioxyde de chlore puisque la formation de substances halogénées sera moins importante. L'ozone est une autre solution, bien qu'il n'ait pas d'action biocide résiduelle et qu'il convienne de limiter le risque d'exposition dû à la libération d'ozone gazeux dans les zones fermées. L'eau d'alimentation peut être soumise à un prétraitement (par exemple sédimentation, précipitation, filtration). Cela permet de réduire la quantité de biocide nécessaire pour que le traitement donne un bon résultat.

Les biocides peuvent avoir des effets négatifs importants sur l'installation de traitement des effluents et sur l'environnement. C'est pourquoi les exploitants devraient montrer comment ils minimisent leur consommation de biocides proportionnellement à une action biocide efficace.

### **Biocides (antislimes) pour les circuits d'eau de process (agents auxiliaires pour le processus)**

**Fonction** : les "slimes" (agglomérats de bactéries) sont des matières biologiques avec les dépôts chimiques correspondants, qui se déposent n'importe où dans le système. Elles constituent une perturbation grave au bon fonctionnement de la papeterie. Elles provoquent des taches et des trous, rendant le papier plus sensible aux ruptures, avec les pertes de production qui en découlent. On contrôle habituellement ce phénomène via le dosage des biocides (antislimes) qui inactivent les bactéries, associés à des agents de dispersion. De nombreuses usines, mais pas toutes, procèdent aussi régulièrement au lavage des réseaux hydrauliques.

**Produits chimiques** : comme composants actifs, on utilise une grande quantité de produits chimiques organiques divers tels que des composés sulfo-organiques, bromo-organiques et organo-azotés tels que des dithiocarbamates, des isothiazolinones, du bromohydroxyacétophénone et de nombreux autres. La formule des biocides peut également contenir des dispersants, des tensioactifs et des solvants.

**Émissions et impact** : La majeure partie de ces biocides, employés en général à raison de 30 mg/l dans le circuit d'eau, et qui sont en soi potentiellement dangereux, sera rejetée dans l'environnement aquatique, comme peuvent l'être aussi les produits de leur dégradation. Les produits à employer de préférence devraient être choisis sur la base de la minimisation des risques pour l'environnement, grâce à une bonne connaissance des produits utilisés en ce qui concerne leur dégradation, leur bioaccumulation et leur désactivation. Qui plus est, il faudrait aussi connaître les produits de la dégradation. La performance environnementale d'un biocide dépend, entre autres, de sa demi-vie et est un compromis entre la durée de sa dégradation, le point de mise en œuvre et la quantité de produits chimiques qu'il faut ajouter. L'objectif est d'utiliser le minimum de biocides pour empêcher les problèmes d'apparaître entre les nettoyages pendant les arrêts plutôt que de chercher à maintenir un circuit "stérile". L'évaluation devrait montrer que l'on a bien tenu compte de ces facteurs, et de tout autre facteur lié aux autres substances figurant dans la composition. L'évaluation de l'exploitant doit aussi tenir compte des biocides persistants, qui peuvent aboutir dans les boues du traitement des effluents.

Le nettoyage discontinu d'une machine à l'occasion d'un arrêt implique la remise en circuit d'une concentration de biocides et de nettoyeurs supérieure à la normale, habituellement à des températures

élevées, au niveau du système d'eau. Le demandeur devrait montrer comment il gère ce flux concentré pour éviter une surcharge et, partant, des perturbations dans l'installation de traitement des effluents.

Compte tenu de certains effets indésirables dans leur manipulation ou pour des raisons écologiques, d'autres solutions ont été proposées en tant que méthode alternative possible dans le traitement antislime, par exemple des enzymes, des oxydants (par exemple le peroxyde), des dispersants et des inhibiteurs du biofilm (tels que les ligno-sulfonates). Une stratégie possible pour réduire la consommation de biocides consiste à combattre la formation de "slime" à l'aide de combinaisons de dispersants et de biocides. Selon le matériel en place, la conception du processus et les exigences imposées au produit, il est possible d'atteindre une réduction importante de la consommation de biocides. L'emplacement du dosage des biocides peut aussi avoir une grande incidence sur la quantité de biocides requise. Dans certains cas, des papeteries ont réussi à produire en se passant totalement de biocides.



## ANNEXE II

### Législation et accords nationaux et internationaux applicables

#### Valeurs limites d'émissions pour la production de pâte à papier et de papier au niveau national à l'intérieur de l'Union Européenne

Les systèmes fixant les limites et les orientations relatives à l'environnement pour l'industrie papetière varient considérablement d'un pays à un autre, en dépit des efforts déployés pour uniformiser le système.

Certains pays européens, (AT, DE, ES, FR, IT, PT par exemple) ont mis en place un système d'autorisation dans lequel la législation/les autorités nationales ont fixé des limites ou seuils (minimums) généraux qui doivent toujours être respectés. Ces valeurs correspondent aux émissions maximales acceptées. Les autorités chargées d'accorder les autorisations peuvent fixer des seuils plus rigoureux sur la base des conditions environnementales (pour les grandes installations, il est demandé une Évaluation des Effets sur l'Environnement). Pour chaque autorisation, l'autorité compétente procède à des ajustements sur la base des conditions environnementales locales et des caractéristiques techniques de l'installation. Dans d'autres pays (par exemple FI, NL, NO, SE, UK), les limites sont fixées au cas par cas sur la base des mesures techniquement et économiquement acceptables compte tenu des conditions environnementales. Les pays scandinaves ont également publié des documents fixant les grandes lignes de la politique et d'autres instruments pour guider la décision à prendre pour chaque autorisation (par exemple les Recommandations du groupe de travail scandinave concernant l'industrie papetière, les Valeurs indicatives nationales pour les paramètres-clés de contrôle).

Les autorisations mentionnent habituellement des valeurs limites ou seuils pour les émissions et des exigences concernant les mesures techniques (tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des processus). Dans un petit nombre de pays, les limites fixées dans les autorisations incluent les charges maximales pour l'environnement (kg/jour). Les émissions peuvent être régulées par des seuils de concentration (mg/l ou mg/m<sup>3</sup>), de charge spécifique (kg/t) et de charge dans l'environnement (kg/h, kg/j). De façon générale, les émissions doivent faire l'objet de contrôles de façon à vérifier que les seuils d'émissions sont bien respectés et que les normes de qualité environnementales ne sont pas dépassées.

La plupart des pays ont des systèmes d'autorisation distincts pour les émissions dans l'atmosphère, les rejets dans l'eau et les déchets solides mais, notamment depuis l'adoption de la Directive PRIP (IPPC) de l'Union Européenne, on s'efforce de suivre une ligne de conduite plus intégrée.

Il est important de noter que les pays européens ne tirent pas les mêmes conséquences et n'agissent pas de la même façon en cas de non observation des valeurs limites. L'interprétation de ces limites peut varier, par exemple en ce qui concerne la tolérance au-delà de laquelle un dépassement du seuil constitue un non-respect évident qui nécessite des sanctions (par exemple si une valeur limite autorisée est dépassée pendant une période de 2 heures, d'un jour, de dix jours, de 30 jours, d'une année). Il faut faire une distinction entre les valeurs limites qui ne doivent en aucun cas être dépassées et celles fixées à titre indicatif, qui peuvent être dépassées temporairement et dont seul le dépassement permanent peut faire l'objet de sanctions. Dans certains pays, on ne tient compte que des seules valeurs limites qui ne doivent en aucun cas être dépassées et tout dépassement, même occasionnel, est sanctionné par la loi. C'est pourquoi il importe au plus haut point de considérer le cadre et le contexte juridique des seuils fixés dans l'autorisation, à savoir s'ils sont basés sur des valeurs maximales journalières ou des moyennes maximales mensuelles (ou annuelles) et si des pénalités sont prévues ou non en cas de non observation.

Certains pays (AT, DE, FR) ont promulgué des réglementations à l'échelle nationale/fédérale concernant les émissions sectorielles pour différents types de pâtes (par exemple pâte kraft, pâte au bisulfite etc.) et de papiers (par exemple papiers sans bois couchés et non couchés, papiers avec bois, papiers à base de fibres recyclées etc.). Ces réglementations concernent différentes matières premières, différents processus et différentes productions. D'autres pays (par exemple ES, IT, PT) ont fixé des valeurs limites générales (seuils de concentration) pour les papeteries - quelle que soit la pollution spécifique générée. En Italie, les valeurs limites sont fixées pour l'industrie dans son ensemble, sans tenir compte des différents secteurs industriels.

A titre d'exemple pour cette question complexe, les tableaux II.1 à II.3 donnent un aperçu des limites de rejets fixées pour les émissions dans l'eau de certaines qualités de pâtes et de papiers dans des pays donnés. Ces tableaux sont basés sur les exigences réglementaires et ne tiennent pas compte des questions d'application. Les valeurs indiquées ne concernent que les pays où les données étaient disponibles ou qui les ont communiquées.

Le tableau II.1 récapitule les seuils applicables à la pâte kraft blanchie, le tableau II.2 ceux concernant la pâte au bisulfite blanchie et le tableau II.3 les limites pour les différents types de papier.

Pays	DCO	DBO <sub>5</sub>	MES	AOX	Commentaires
Autriche	usines existantes: 30 kg/t nouvelles/modifiées :20 kg/t	usines existantes :3 kg/t nouvelles/modifiées : 2 kg/t	usines existantes :5 kg/t nouvelles: 2,5 kg/t	usines existantes : 0,5 kg/t nouvelles: 0,25 kg/t	valeur de surveillance quotidienne ("4 sur 5")
France <sup>1)</sup>	usines existantes : 65 (32,5) kg/t nouvelles/modifiées : 50 (25) kg/t	usines existantes : 3,98 (2,6) kg/t nouvelles : 3 (2) kg/t	usines existantes : 6,5 kg/t nouvelles : 5 kg/t	1 kg/t (moyenne annuelle)	valeur limite mensuelle = ½ max. quotidien
Allemagne <sup>2)</sup>	usines existantes : 40 kg/t nouvelles/modifiées : 25 kg/t	usines existantes : 35 mg/l nouvelles/modifiées : 30 mg/l	pas de valeurs (partie de la DCO)	usines existantes : 0,35 kg/t nouvelles : 0,25 kg/t	valeur de surveillance quotidienne ("4 sur 5")
Irlande <sup>3)</sup>	pas de limite	élimination à 90 % ou 50 mg/l	pas de limite	0,1 mg/l	échantillon mixte 24 h
Italie <sup>4)</sup>	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	pas d'exigences	moyenne 3 h
Pays-Bas <sup>5)</sup>	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
Royaume-Uni <sup>6)</sup>	pas de niveaux à atteindre proposés comme orientation	10 – 50 mg/l	10 à 50 mg/l	< 1,5 kg/t	moyenne mensuelle
<b>1.1.1 Notes</b> 1) La première valeur concerne toujours la pâte de résineux blanchie. Les valeurs entre parenthèses s'appliquent à la pâte de bois de feuillus. 2) Limites en cours de discussion, à l'état de projet. Pas de distinction entre pâte kraft et pâte au bisulfite. 3) Les limites sont fixées dans le projet de note irlandaise d'orientation "Draft BATNEEC Guidance Note" pour la fabrication de la pâte à papier et du papier. 4) Pour les principaux polluants, la législation italienne fixe les seuils d'émissions dans l'eau sur la base des paramètres de concentration, sans faire aucune distinction entre les secteurs industriels concernés. Les valeurs indiquées dans le tableau s'appliquent à des rejets dans des eaux de surface. Les rejets dans le réseau public d'égouts doivent respecter d'autres valeurs. 5) Il n'y a pas de production de pâte kraft blanchie aux Pays-Bas. 6) Niveaux de rejets possibles - nouveaux procédés. On estime habituellement que, en général, ils ne sont pas applicables aux usines existantes, mais qu'ils doivent être pris en considération pour fixer des limites acceptables. Il ne s'agit pas de limites de rejets présentant un caractère obligatoire. On ne fait pas de distinction entre les différentes méthodes de fabrication des pâtes chimiques.					

**Tableau II.1 - Limites actuelles par pays des rejets liés à la production de pâte kraft blanchie.**  
**Pour les pays qui n'appliquent pas de seuils minimum nationaux (par exemple BE, DK, FI, NL, SE), on ne présente pas de valeurs limites généralement obligatoires. Dans ces pays, les contraintes liées à l'autorisation sont fixées au cas par cas et elles sont spécifiques au site. Quant aux pays qui appliquent des contraintes présentant un caractère obligatoire général, mais qui ne sont cependant pas mentionnés dans le présent tableau, c'est qu'ils n'ont pas communiqué de renseignements.**

Pays	DCO	DBO <sub>5</sub>	MES	AOX	Commentaires
Autriche	usines existantes : 40 kg/t sulfite de magnésium ("magnéfite") : 50 kg/t nouvelles/modifiées : 25 kg/t ("magnéfite") : 30 kg/t	usines existantes : 3 kg/t nouvelles/modifiées : 2 kg/t	usines existantes : 5 kg/t nouvelles : 2,5 kg/t	usines existantes : 0,2 kg/t nouvelles : 0,1 kg/t	valeur de surveillance quotidienne ("4 sur 5")
France <sup>1)</sup>	usines existantes : 45,5 kg/t nouvelles/modifiées : 35 kg/t	usines existantes : 6,5 kg/t nouvelles : 5 kg/t	usines existantes : 6,5 kg/t nouvelles : 5 kg/t	1 kg/t (moyenne annuelle)	valeur limite mensuelle = ½ max. quotidien
Allemagne <sup>2)</sup>	usines existantes : 40 kg/t nouvelles/modifiées : 25 kg/t	usines existantes : 35 mg/l nouvelles/modifiées : 30 mg/l	pas de valeurs (partie de la DCO)	usines existantes : 0 kg/t	valeur de surveillance quotidienne ("4 sur 5")
Irlande <sup>3)</sup>	pas de limite	Elimination à 90 % ou 50 mg/l	pas de limite	0,1 mg/l	échantillon mixte 24 h
Italie <sup>4)</sup>	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	pas d'exigences	moyenne 3 h
Pays-Bas <sup>5)</sup>	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
Royaume-Uni <sup>6)</sup>	pas de niveaux à atteindre proposés comme orientation	10 à 50 mg/l	10 à 50 mg/l	< 1,5 kg/t	moyenne mensuelle
Notes 1) La première valeur concerne toujours la pâte de résineux blanchie. Les valeurs entre parenthèses s'appliquent à la pâte de bois de feuillus. 2) Limites en cours de discussion, à l'état de projet. Pas de distinction entre pâte kraft et pâte au bisulfite. 3) Les limites sont fixées dans le projet de note irlandaise d'orientation "Draft BATNEEC Guidance Note" pour la fabrication de la pâte à papier et du papier. 4) Pour les principaux polluants, la législation italienne fixe les seuils d'émissions dans l'eau sur la base des paramètres de concentration, sans faire aucune distinction entre les secteurs industriels concernés. Les valeurs indiquées dans le tableau s'appliquent à des rejets dans des eaux de surface. Les rejets dans le réseau public d'égouts doivent respecter d'autres valeurs. 5) Il n'y a pas de production de pâte au bisulfite blanchie aux Pays-Bas. 6) Niveaux de rejets possibles - nouveaux procédés. On estime habituellement que, en général, ils ne sont pas applicables aux usines existantes, mais qu'ils doivent être pris en considération pour fixer des limites acceptables. Il ne s'agit pas de limites de rejets présentant un caractère obligatoire. On ne fait pas de distinction entre les différentes méthodes de fabrication des pâtes chimiques.					

**Tableau II.2 - Limites actuelles par pays des rejets liés à la production de pâte au bisulfite blanchie.**

Pour les pays qui n'appliquent pas de seuils minimum nationaux (par exemple BE, DK, FI, NL, SE), on ne présente pas de valeurs limites généralement obligatoires. Dans ces pays, les contraintes liées à l'autorisation sont fixées au cas par cas et elles sont spécifiques au site. Quant aux pays qui appliquent des contraintes présentant un caractère obligatoire général, mais qui ne sont cependant pas mentionnés dans le présent tableau, c'est qu'ils n'ont pas communiqué de renseignements.

Pays	DCO	DBO <sub>5</sub>	MES	AOX	Commentaires
Autriche <sup>1)</sup>	usines existantes : 2 à 5 kg/t (y compris fabrication de pâtes mécaniques / RFC)	usines existantes : 20 à 25 mg/l	usines existantes : 50 mg/l	usines existantes : 10 à 30 g/t	valeur de surveillance quotidienne ("4 sur 5")
France	usines existantes : 4 à 8 kg/t nouvelles/modifiées : 2,5 à 4 kg/t	actuellement : 1 à 2 kg/t kg/t nouvelles : 0,7 kg/t	usines existantes : 1,5 kg/t nouvelles : 0,7 kg/t	----	valeur limite mensuelle = 1/2 max. quotidien
Allemagne <sup>1)</sup>	usines existantes : 2 à 6 kg/t (y compris fabrication de pâtes mécaniques / FCR)	usines existantes : 25 mg/l	pas de valeurs (partie de la DCO)	usines existantes : 10 à 40 g/t	échantillon 2 h ("4 sur 5")
Irlande <sup>2)</sup>	pas de limite	élimination à 90 % ou 50 mg/l	pas de limite	0,1 mg/l	échantillon 24 h
Italie <sup>3)</sup>	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	pas d'exigences	moyenne 3 h
Pays-Bas <sup>4)</sup>	200 mg/l	20 mg/l	30 mg/l	pas de normes d'émissions	échantillon 24 h
Royaume-Uni <sup>5)</sup>	pas de niveaux à atteindre proposés comme orientation	10 à 50 mg/l	10 à 50 mg/l	< 1,5 kg/t	moyenne mensuelle
Notes					
1)	Papiers spéciaux avec plus d'un changement de type par jour ouvrable, les papiers finement broyés et le parchemin végétal ont des limites plus élevées. Dans le cas où l'on donne une fourchette, les valeurs dépendent du type de papier produit.				
2)	Les limites sont fixées dans le projet de note irlandaise d'orientation "Draft BATNEEC Guidance Note" pour la fabrication de la pâte à papier et du papier.				
3)	Pour les principaux polluants, la législation italienne fixe les seuils d'émissions dans l'eau sur la base des paramètres de concentration, sans faire aucune distinction entre les secteurs industriels concernés. Les valeurs indiquées dans le tableau s'appliquent à des rejets dans des eaux de surface. Les rejets dans le réseau public d'égouts doivent respecter d'autres valeurs.				
4)	Aux Pays-Bas, les exigences liées à l'autorisation sont spécifiques au site. Par conséquent, on indique les normes d'émissions types pour les usines disposant d'une installation de traitement biologique in situ. Les données communiquées dans le tableau concernent les valeurs moyennes de 10 échantillons. Les valeurs maximum types après le traitement biologique sont les suivantes 300 mg/l DCO; 30 mg/l DBO; 60 mg/l MES.				
5)	Niveaux de rejets possibles - nouveaux procédés. On estime habituellement que, en général, ils ne sont pas applicables aux usines existantes, mais qu'ils doivent être pris en considération pour fixer des limites acceptables. Il ne s'agit pas de limites de rejets présentant un caractère obligatoire. On ne fait pas de distinction entre les différents types de fibres ou de qualités de papiers qui sont fabriqués dans une papeterie.				

### Tableau II.3 - Limites actuelles des rejets liés à la production de *papier*.

**Pour les pays qui n'appliquent pas de seuils minimum nationaux (par exemple BE, DK, FI, SE), on ne présente pas de valeurs limites généralement obligatoires. Dans ces pays, les contraintes liées à l'autorisation sont fixées au cas par cas et elles sont spécifiques au site. Quant aux pays qui appliquent des contraintes présentant un caractère obligatoire général, mais qui ne sont cependant pas mentionnés dans le présent tableau, c'est qu'ils n'ont pas communiqué de renseignements.**

Lorsque l'on compare les valeurs limites, il convient de noter que les durées servant à établir les moyennes pour ces limites peuvent différer d'un pays à l'autre, par exemple moyennes journalières, mensuelles, annuelles, de même que, dans une certaine mesure, les méthodes d'analyse et les conditions de référence. Les critères de conformité aussi peuvent varier. Certains pays ont fixé des seuils différents pour les usines existantes et les usines nouvelles (par exemple AT, FR, DE). Des seuils plus rigoureux peuvent être appliqués dans certains cas spécifiques en fonction des décisions de l'autorité compétente afin de répondre aux normes de qualité de l'eau.

Pour plus de renseignements sur les valeurs limites des rejets dans d'autres milieux (par exemple dans l'atmosphère, les déchets) et sur les questions d'environnement qui font l'objet d'une réglementation dans l'industrie papetière dans les pays européens, nous renvoyons à une étude approfondie de l'OCDE qui a été publiée à la fin 1999<sup>16</sup>. Cette étude repose sur une série de Profils de Pays, qui décrivent les procédures d'autorisation de dix pays, à savoir Autriche, Belgique (Wallonie), Canada, Finlande,

<sup>16</sup> OCDE. Direction de l'Environnement, Exigences environnementales pour les autorisations industrielles, Étude de cas sur l'utilisation de la Meilleure Technique Disponible (MTD) et des Objectifs de qualité pour l'environnement (OQE) dans les autorisations délivrées, sous l'angle de l'environnement, aux fabriques de pâte chimique blanchie et de papier, Paris, France.

Allemagne, Nouvelle Zélande, Norvège, Suède, Suisse et États-Unis. Le rapport final contient une analyse des conditions d'autorisation liées à l'environnement pour les usines de pâte chimique blanchie et de papier dans les dix pays étudiés. Il décrit les responsabilités légales et les procédures suivies pour octroyer les autorisations; la mise en œuvre des normes d'émissions et les valeurs limites; la place accordée à la meilleure technique disponible (MTD) et aux objectifs de qualité de l'environnement (OQE) lorsqu'on fixe les conditions d'octroi d'une autorisation; la façon dont les usines respectent les conditions stipulées dans l'autorisation et l'opinion des entreprises sur la procédure d'autorisation appliquée dans leur pays.

Les lecteurs sont également invités à se reporter à trois autres volumes traitant des "Exigences environnementales pour la délivrance de permis industriels" qui ont été publiés par l'OCDE en 1999<sup>17</sup>.

### **Coopération internationale pour la protection du milieu marin PARCOM (Mer du Nord et Atlantique du Nord-Est)**

La Commission de Paris a été créée par la Convention pour la prévention de la pollution marine par des sources terrestres ("Convention de Paris"). La Convention OSPAR est entrée en vigueur le 25 mars 1998. Elle remplace les Conventions d'Oslo et de Paris, mais les décisions, recommandations et autres accords adoptés en vertu de ces anciennes conventions continueront à être applicables et conserveront le même caractère juridique, à moins qu'ils ne soient abrogés par de nouvelles mesures adoptées en vertu de la Convention OSPAR. Par conséquent les Décisions et Recommandations PARCOM concernant l'Industrie de la pâte à papier et du papier mentionnées ci-après sont toujours en vigueur dans la nouvelle Convention.

La convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est (Convention OSPAR) a été signée et ratifiée par toutes les Parties contractantes aux Conventions d'Oslo et de Paris (Belgique, Danemark, la Commission des Communautés Européennes, Finlande, France, Allemagne, Islande, Irlande, Pays-Bas, Norvège Portugal, Espagne, Suède et le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord) et par le Luxembourg et la Suisse.

Conformément à la Convention OSPAR, les parties Contractantes doivent "prendre toutes les mesures possibles pour prévenir et éliminer la pollution" et notamment "les mesures nécessaires pour protéger la zone maritime contre les effets défavorables des activités humaines". A cet effet, les Parties adoptent des programmes et des mesures et harmonisent leurs politiques et leurs stratégies. La Commission OSPAR a adopté un certain nombre de décisions et de recommandations. Une décision OSPAR revêt un caractère obligatoire, pour les parties qui ont voté pour, dans un délai de 200 jours après son adoption. Jusqu'à ce jour, le programme de travail s'est concentré sur la rédaction de recommandations et de décisions visant à mieux définir le concept des MTD pour des secteurs spécifiques.

Les Décisions PARCOM obligatoires suivantes ont été prises en ce qui concerne l'industrie papetière :

- décision PARCOM 96/2 sur l'abandon des procédés au chlore moléculaire (Cl<sub>2</sub>) dans le blanchiment de la pâte kraft et de la pâte au bisulfite, adoptée en juin 1996,
- décision PARCOM 95/2 sur les plafonds d'émissions et de rejets applicables à l'industrie de la pâte au bisulfite intégrée et non intégrée, adoptée en juin 1995,
- décision PARCOM 95/3 sur les plafonds d'émissions et de rejets applicables à l'industrie de la pâte kraft intégrée et non intégrée, adoptée en juin 1995.

Les recommandations PARCOM suivantes ont été formulées en ce qui concerne l'industrie papetière :

<sup>17</sup> OCDE. 1999. Exigences environnementales pour la délivrance de permis industriels : Volume I - Méthodes et instruments; Volume 2, - Groupe de travail OCDE sur l'utilisation des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) et des Objectifs de qualité pour l'environnement (OQE), Paris, 9-11 mai 1996; Volume 3 - Cadres réglementaires dans les pays de l'OCDE, ISBN 92-64-16193-7, voir également [www.oecd.org](http://www.oecd.org).

- recommandation PARCOM 94/2 sur les meilleures techniques disponibles et sur la meilleure pratique environnementale dans l'industrie de la pâte au bisulfite intégrée et non intégrée, adoptée en juin 1994
- recommandation PARCOM 94/3 sur les meilleures techniques disponibles et sur la meilleure pratique environnementale dans l'industrie de la pâte kraft intégrée et non intégrée, adoptée en juin 1994.

On trouvera une description des meilleures techniques disponibles -MDT- (BAT) et de la meilleure pratique environnementale -MPE- (BEP) avec des informations de base complémentaires pour l'industrie de la pâte kraft et de la pâte au bisulfite dans OSPAR 1994, secteurs industriels : séries Meilleures techniques disponibles -MTD- (BAT) et Meilleure pratique environnementale -MPE- (BEP). Des rapports sur l'état d'avancement de leur mise en œuvre sont publiés à intervalles réguliers.

Il n'existe pas de recommandations ou décisions PARCOM sur les MTD (BAT) applicables aux usines de papier. Les recommandations et décisions PARCOM ainsi que des renseignements complémentaires sont disponibles sur Internet sous : [www.ospar.org](http://www.ospar.org).

### **HELCOM (mer Baltique)**

La première convention sur la protection de l'environnement marin de la zone de la Mer Baltique a été signée en 1974 par les états riverains de la Baltique à cette époque. En 1992, une nouvelle convention a été signée par tous les pays bordant cette mer et par la Communauté Économique Européenne. L'organe directeur de la convention est la Commission d'Helsinki - Commission sur la protection de l'environnement marin de la Baltique - également connue sous le nom de HELCOM. Les parties contractantes actuelles à HELCOM sont le Danemark, l'Estonie, la Communauté Européenne, la Finlande, l'Allemagne, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne, la Russie et la Suède. La Convention d'Helsinki de 1974, établie pour protéger l'environnement marin de la Mer Baltique, a été le premier accord international couvrant toutes les sources de pollution atteignant le territoire de la Convention, tant terrestres et maritimes qu'atmosphériques. Pour atteindre cet objectif, la Convention a préconisé de prendre des mesures pour limiter les diverses sources de pollution de la Mer Baltique. La convention d'Helsinki contient des dispositions définissant les meilleures techniques disponibles, qui sont très proches de celles de la convention OSPAR. Les décisions prises par la commission d'Helsinki - qui sont adoptées à l'unanimité - sont considérées comme des recommandations à l'intention des pays concernés. Elles ont un poids moral et politique considérable.

La Convention d'Helsinki a élaboré un certain nombre de recommandations concernant les émissions de l'industrie papetière :

- recommandation HELCOM 16/4 Réduction des émissions dans l'atmosphère provenant de l'industrie papetière, adoptée en mars 1995
- recommandation HELCOM 17/8 Réduction des rejets de l'industrie de la pâte kraft, adoptée en mars 1996
- recommandation HELCOM 17/9 Réduction des rejets de l'industrie de la pâte au bisulfite, adoptée en mars 1996
- une recommandation HELCOM sur la réduction des rejets provenant de la production de pâtes mécaniques, de pâtes thermomécaniques, de pâtes chimiothermomécaniques, de pâtes recyclées et de la fabrication de papiers et de cartons existe à l'état de projet.

Les tableaux II.4 et II.5 donnent un aperçu des plafonds recommandés dans les différentes décisions et recommandations, pour les usines, respectivement, de pâte au bisulfite et de pâte kraft.

Plafonds en tant que moyennes annuelles, kg/tonne de pâte séchée à l'air (90 % de solides secs)				
	Usines existantes, au 31/12/99 (OSPAR), au 01/01/00 (HELCOM)		Usines nouvelles, ou accroissement de plus de 50 % de la capacité après le 31/12/96 (OSPAR) ou le 01/01/97 (HELCOM)	
	OSPAR	HELCOM <sup>3</sup>	OSPAR	HELCOM <sup>3</sup>
DCO	80	70	35	35
MES	8.0	---	4.5	---
AOX	---	0.5	---	0.1
Tot-P	---	0.08	---	0.04
Tot-N	---	0.06	---	0.4
SO <sub>2</sub>	5.0 <sup>1</sup>	3.0 <sup>2</sup>	3.0 <sup>1</sup>	---
NO <sub>x</sub>	2.5 <sup>1</sup>	---	1.5 <sup>1</sup>	---

Notes :

1) Pour OSPAR, les plafonds des émissions dans l'atmosphère pour les usines de pâte au bisulfite et de papier ne couvrent que le SO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub> provenant des chaudières de récupération mais excluent les émissions des chaudières auxiliaires.

2) Le plafond recommandé initialement est 1,5 kg S/ADt; il a été converti en kg SO<sub>2</sub>/ADt pour faciliter la comparaison des valeurs. Aucune valeur distincte n'est recommandée pour les usines nouvelles.

**Tableau II.4 - Plafonds (moyenne annuelle) recommandés par les Commissions de Paris et d'Helsinki pour l'industrie de la pâte au bisulfite blanchie et du papier, intégrée et non intégrée.**

Plafonds en tant que moyennes annuelles, kg/tonne de pâte séchée à l'air				
	Usines existantes, au 31/12/99 (OSPAR), au 01/01/00 (HELCOM)		Usines nouvelles, ou accroissement de plus de 50 % de la capacité après le 31/12/96 (OSPAR) ou le 01/01/97 (HELCOM)	
	OSPAR	HELCOM <sup>3</sup>	OSPAR	HELCOM <sup>3</sup>
DCO	50	30	30	15
MES	8.0	---	4.0	---
AOX	---	0.4	---	0.2
Tot-P	---	0.04	---	0.02
Tot-N	---	0.4	---	0.35
SO <sub>2</sub> -S	2.0 <sup>1</sup>	1.0 <sup>2</sup>	1.0 <sup>1</sup>	---
NO <sub>x</sub>	2.0 <sup>1</sup>	---	1.5 <sup>1</sup>	---

Notes :

1) Pour OSPAR, les plafonds des émissions dans l'atmosphère de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> pour les usines de pâte kraft concernent la somme de ces émissions provenant des chaudières de récupération, des fours à chaux et des éventuelles installations pour brûler séparément les gaz fortement nauséabonds. Le soufre gazeux (S) s'entend des composés sulfuriques calculés en tant que S.

2) Pour HELCOM, les émissions dans l'atmosphère incluent toutes les sources concernées à l'exception de celles provenant des chaudières auxiliaires. Aucune valeur distincte n'est recommandée pour les usines nouvelles.

3) Toutes les analyses d'effluents doivent être réalisées sur des échantillons non décantés et non filtrés.

**Tableau II.5 - Plafonds (moyenne annuelle) recommandés par les Commissions de Paris et d'Helsinki pour l'industrie de la pâte kraft (au sulfate) blanchie et du papier, intégrée et non intégrée.**

#### États-Unis : « Cluster Rules » pour l'industrie papetière.

En novembre 1997, le ministère américain de l'Environnement (EPA) a mis au point un nouvel ensemble de directives fédérales. Ces directives sont très compliquées et stipulent des limites pour 12 types différents d'usines, caractérisés chacun par quatre niveaux techniques différents :

- limitations correspondant au degré de réduction de l'effluent pouvant être atteint par l'application de la Meilleure Technologie de Contrôle Praticable Actuellement Disponible (Best Practicable Control Technology Currently Available - BPT). Ces plafonds doivent être atteints par toutes les

sources ponctuelles existantes et comprennent les paramètres de base tels que DBO<sub>5</sub>, MES et pH.

- limitations correspondant au degré de réduction de l'effluent pouvant être atteint par l'application de la Meilleure Technologie Classique de Contrôle des Polluants (Best Conventional Pollutant Control Technology - BCT). Elles peuvent être requises pour les polluants classiques tels que DBO<sub>5</sub> et MES (si cela est justifié) et elles sont dans la pratique habituellement les mêmes que les BPT.
- limitations correspondant au degré de réduction de l'effluent pouvant être atteint par l'application de la Meilleure Technologie Disponible Économiquement Réalisable (Best Available Technology Economically Achievable - BAT) utilisées pour réduire les polluants toxiques et non classiques tels que les biocides contenant des chlorophénols.
- normes de Performances pour les Nouvelles Sources (New Source Performance Standards - NSPS) utilisées pour les nouvelles usines combinant des MTD pour des polluants classiques et non classiques.

Les plafonds sont mentionnés en tant que charge de polluants exprimée en kg de polluant par tonne de produit, en faisant une distinction entre les valeurs maximales pour 1 jour quelconque et les valeurs moyennes des valeurs quotidiennes pour 30 jours consécutifs.

Pour les rejets de polluants toxiques, par exemple les biocides contenant des chlorophénols, dans une installation de traitement municipale des effluents, l'usine doit atteindre les normes de prétraitement pour les sources existantes (PSES) et les normes de prétraitement pour les sources nouvelles (PSNS).

Cette réglementation s'applique à n'importe quelle usine de pâte à papier, de papier ou de carton qui rejette des polluants de l'eau de process dans des milieux aquatiques ou dans une installation de traitement publique des effluents. Le tableau ci-après illustre le schéma de subdivision codé. Les limitations des rejets dans les effluents sont indiquées pour chaque catégorie d'usine :



Sous-catégorie	Types de produits inclus dans la sous-division. Des plafonds différents sont indiqués pour chaque sous-catégorie
Pâte kraft à dissoudre	Pâte à dissoudre dans les usines de pâte kraft
Pâte kraft et à la soude blanchies	Production de pâte marchande dans les usines de pâte kraft blanchie; production intégrée de carton, papier brut et papier à usage sanitaire et domestique dans les usines de pâte kraft blanchie; production intégrée de pâte et de papiers fins dans les usines de pâte kraft blanchie et production intégrée de pâte à papier et de papier dans les usines de pâte à la soude
Pâte kraft non blanchie	Pâte à papier et papier dans des usines de pâte kraft non blanchie, y compris les papier couverture ou pour sacs d'emballage et autres produits mixtes; pâte et papier selon le procédé de récupération croisée kraft NSSC.
Pâte au bisulfite à dissoudre	Pâte dans les usines de pâte au bisulfite pour les qualités suivantes : nitrification, viscose, cellophane et acétate
Pâte au bisulfite (pâtes à base de $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ ou $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , pâtes pour papiers à usages spéciaux)	Pâte et papier dans des usines de pâte au bisulfite qualité papier utilisant le soufflage et le lavage de la pâte, et pâte et papier dans des usines de pâte au bisulfite qualité papier utilisant des filtres à tambours à vide ou à pression pour le lavage de la pâte.
Pâte mi-chimique	Pâte et papier dans des usines de pâte mi-chimique utilisant une base ammonium ou une base sodium
Pâte mécanique	Pâte et papier dans des usines de pâtes chimico-mécaniques à base de bois défibré; pâte et papier dans des usines de pâtes à base de bois défibré utilisant le procédé thermo-mécanique; pâte et papier brut, produits en cellulose moulée et papier journal dans les usines de pâtes à base de bois défibré; pâte et papier fin dans des usines de pâtes à base de bois défibré
Pâte chimique (autre que bois)	Pâte et papier dans les usines de pâtes chimiques à base de fibres autres que le bois
Fibres secondaires, avec désencrage (FCR)	Pâte et papier dans les usines avec désencrage, y compris les papiers fins, les papiers à usage sanitaire et domestique ou le papier journal
Fibres secondaires, sans désencrage (FCR°)	Carton fabriqué à partir de vieux papiers de récupération à partir de papier autre que ondulé et de papier pour ondulé; papier à usage sanitaire et domestique à partir de vieux papiers de récupération sans désencrage dans des usines utilisant des fibres secondaires; produits moulés provenant de vieux papiers sans désencrage; papier pour construction et carton bitumé pour toiture à partir de vieux papiers de récupération
Papier fin et papier léger à partir de pâte achetée	Papiers fin dans des usines non intégrées utilisant des fibres de bois ou des fibres de coton; papiers légers dans des usines non intégrées ou papiers légers pour composants électriques dans des usines non intégrées
Papiers à usage sanitaire et domestique, filtres, non tissés et papier-carton à partir de pâte achetée	Papiers à usage sanitaire et domestique dans des usines non intégrées, papiers filtres et non-tissés dans des usines non intégrées; papier-carton dans des usines non intégrées

**Tableau II.6 - Plan des sous-catégories dans les "Cluster Rules" de l'industrie papetière américaine.**

Comparées aux exigences européennes récentes en matière d'autorisation, les limitations fixées pour les usines existantes dans les « Cluster Rules » américaines semblent peu sévères. Mais, pour encourager les usines à dépasser ces plafonds, l'EPA met en place un programme de mesures d'incitations volontaires. Les usines qui décident d'adhérer à ce programme seront soumises à des réductions plus importantes et, en retour, elles seront récompensées de leur participation, par exemple par des délais plus longs pour se conformer aux règles. Ce que l'on appelle les "Ultimative Voluntary Advanced Incentives Program BAT Limitations" qui doivent être atteintes dans un délai de six (étape I), onze (étape II) et seize ans (étape III) après la date de publication des "Cluster Rules" sont plus proches des Valeurs de référence des MTD mentionnées dans le BREF. Pour certaines sous-catégories, les Normes de performance pour les sources nouvelles (par exemple pour la  $\text{DBO}_5$  et les AOX) sont également comparables aux niveaux d'émissions observés dans les usines existantes en Europe.

Ces règles ainsi que d'autres renseignements sont disponibles sur Internet sous : [www.epa.gov/ostwater/pulppaper/reg.html](http://www.epa.gov/ostwater/pulppaper/reg.html).

## **Canada**

Au Canada, la législation et les autorités compétentes se situent à deux niveaux : celui de l'Etat et celui des Provinces. La législation et les autorités nationales fixent des directives générales mais les plafonds et les directives concrètes peuvent différer d'une province à l'autre. La plupart des provinces demandent qu'il soit procédé à une Évaluation de l'impact sur l'environnement (Environmental Impact Assessment - EIA) lors de la construction ou de l'extension de papeteries, et cette évaluation influe sur les plafonds pratiqués.

Au Canada, les systèmes de plafonds pour les effluents reposent principalement sur le kg de charge par tonne de production. On applique différentes limites pour différents types d'usines. Certains paramètres peuvent être mesurés sous forme de concentrations. On utilise aussi des plafonds pour la toxicité. Au cours des dernières années, les limites pour les papeteries ont été étendues de manière à inclure par exemple les substances toxiques, telles que dioxines et furannes.

Dans les usines canadiennes, la lutte contre la pollution atmosphérique repose sur le respect de normes de qualité de l'air ambiant. Des plafonds d'émission types sont fixés pour les principaux paramètres et les principales sources d'émissions (par exemple SO<sub>2</sub> de la chaudière de récupération).

## **Asie**

L'Indonésie est l'un des principaux pays producteurs de pâte à papier et de papier en Asie. Il a instauré un système d'autorisations bien développé avec des évaluations de l'impact sur l'environnement pour les principales installations industrielles. Il a promulgué deux séries de normes nationales sur les eaux usées, qui doivent être mises en œuvre respectivement pour 1995 et pour 2000. Les valeurs limites sont exprimées tant en plafonds de concentration qu'en charge spécifique (kg/t), et la consommation d'eau aussi est limitée (m<sup>3</sup>/t). Les nouvelles limites s'appliquent à sept types d'usines de pâte à papier et à quatre types d'usines de papier.

Il existe des normes nationales pour les émissions dans l'atmosphère provenant de différentes sources dans une papeterie, exprimées en mg/m<sup>3</sup>. Les autorités compétentes peuvent fixer des limites plus rigoureuses dans certaines zones. En Indonésie, les papeteries de classe mondiale suivent de préférence les directives internationales pour leurs systèmes de protection de l'environnement.

## **Amérique du Sud**

Le Brésil est le plus important producteur de pâte à papier et de papier en Amérique du Sud et est souvent pris en exemple par les autres pays de la région. Les autorités brésiliennes ont tendance à suivre les directives de l'EPA des États-Unis lorsqu'elles fixent des plafonds de rejets dans l'environnement pour les usines.

Les valeurs limites pour les effluents couvrent les paramètres traditionnels et sont habituellement exprimées en charges spécifiques maximum (kg/t). Les plafonds pour les usines modernes sont relativement stricts.

Les plafonds pour les émissions gazeuses aussi sont relativement rigoureux pour les usines nouvelles. Des limites de concentration sont fixées pour les principales sources et les exigences technologiques (par exemple collecte des gaz malodorants) sont souvent stipulées dans les autorisations.

## ANNEXE III

### Surveillance des rejets et des émissions dans les PAPETERIES européennes

Pour compléter les informations indiquées ci-dessous, se reporter aux travaux parallèles en cours sur un BREF "Surveillance des émissions".

#### Méthodes analytiques à l'intérieur de l'Union Européenne

La législation en vigueur en Europe demande que les papeteries surveillent les émissions dans les milieux aquatiques et dans l'atmosphère. Les déchets solides et les niveaux sonores aussi sont habituellement surveillés et contrôlés. Les méthodes de surveillance varient dans une certaine mesure entre les pays parce que les méthodes d'analyse et notamment l'échantillonnage et le calcul des résultats ne sont pas totalement harmonisées. C'est pourquoi l'on ne peut pas garantir la comparabilité des résultats des mesures. Par ailleurs, la plupart des pays européens ont adopté des normes nationales pour les paramètres les plus utiles se rapportant aux émissions dans les cours d'eaux et dans l'atmosphère. Cela signifie que ces méthodes sont validées pour l'objectif spécifique et que l'on répond à des exigences minimum en ce qui concerne la précision indépendamment des détails techniques des procédures analytiques utilisées. Cependant, dans le cas de paramètres de groupes tels que MES, DCO, DBO, AOX, que l'on peut considérer comme définis sur le plan opérationnel par la méthode d'analyse employée, il est évident que l'on ressent très fortement la nécessité d'une harmonisation à l'échelon européen. Cela se reflète dans les activités du Comité technique 147 Qualité de l'eau de l'Organisation Internationale de Normalisation ISO et du Comité technique 230 de l'Organisation Européenne de Normalisation CEN qui, respectivement, ont déjà publié des normes appropriées ou y travaillent. Pour obtenir un tableau plus clair de la comparabilité et de l'exactitude des données présentées dans le présent document, on trouvera ci-dessous un bref aperçu des méthodes utilisées dans l'Union Européenne. Néanmoins, il convient de souligner que toute la chaîne de la méthodologie analytique, depuis l'échantillonnage, l'analyse et l'étalonnage jusqu'à la communication des résultats doit faire l'objet d'une évaluation si l'on veut obtenir des informations fiables sur les principales sources d'erreurs et la comparabilité des données.

#### 1. Comparaison des mesures de rejets dans les eaux usées

Les paramètres types de surveillance des effluents à analyser dans le cas des papeteries sont les suivants : débit, matières en suspension (MES), température, demande chimique d'oxygène ( $\text{DCO}_{\text{Cr}}$ ), demande biochimique d'oxygène (DBO5 ou 7), phosphore total (P), azote total (N), pH, conductivité, composés organiques halogénés adsorbables (AOX) et toxicité. D'autres paramètres tels que TOC, chlorate, EDTA/DTPA et métaux sont surveillés dans certains cas. Certaines de ces mesures sont étudiées plus en détail ci-après.

##### **Demande chimique d'oxygène (DCO)**

La demande chimique d'oxygène dans les effluents se mesure en tant que consommation correspondante d'oxygène pendant l'oxydation avec du bichromate ( $\text{DCO}_{\text{Cr}}$ ). La DCO se détermine sur des échantillons non décantés ni filtrés. Le principe de la  $\text{DCO}_{\text{Cr}}$  est d'ajouter une quantité connue de bichromate à un certain volume de l'échantillon d'eau et de chauffer le mélange pendant 2 heures. Une partie du bichromate va réagir avec les composés oxydables de l'échantillon et l'on détermine enfin le bichromate restant par titrage (méthode standard ou photométrie). La valeur  $\text{DCO}_{\text{Cr}}$  est calculée d'après la quantité de bichromate réduit et le résultat est exprimé en  $\text{mg O}_2/\text{l}$ . Les méthodes

photométriques (par exemple Dr Lange, HACH, WTW) ont simplifié l'analyse de la  $\text{DCO}_{\text{Cr}}$  et ont été adoptées par les autorités dans la majorité des pays comme méthode alternative équivalente à la méthode standard plus complexe.

Les méthodes employées dans les pays européens semblent être très semblables mais elles sont connues sous des appellations différentes (par ex. DIN 38 409-H41, BS 6068 : section 2.34, SFS 3020, SS 02 81 42). Elles reposent toutes sur les principes décrits dans la norme ISO 6060 / 1989 Qualité de l'eau - Calcul de la demande chimique d'oxygène. On ne s'attend pas à ce que les petites différences entre ces méthodes donnent lieu à une différence significative entre les résultats des analyses. Dans certains cas, la DCO est analysée sur des échantillons filtrés. Il faut en tenir compte dans l'évaluation des résultats, car cela peut avoir une incidence sur ces derniers si une quantité importante est retenue par le filtre.

### **Demande biochimique d'oxygène (DBO)**

La DBO est associée à la teneur en substances susceptibles d'être oxydées par voie biochimique. L'objet est de mesurer la consommation d'oxygène lorsque les substances de l'échantillon sont dégradées par des bactéries. On peut dire que la DBO est la partie facilement dégradable de la DCO. Elle est déterminée sur des échantillons n'ayant subi ni décantation ni filtration.

On dilue l'échantillon avec de l'eau de dilution contenant l'ensemencement des micro-organismes aérobies. On détermine la concentration en oxygène dissous avant et après la période d'incubation de 5 jours (dans quelques pays 7 jours). L'incubation se fait sous température contrôlée (20 °C) sans lumière et dans une bouteille entièrement remplie et fermée. De façon générale, la DBO est sensible aux erreurs (facteur de dilution, durée de stockage, température etc.) La teneur en oxygène peut être mesurée par des méthodes de titrage ou électrométriques. La DBO est la réduction de la teneur en oxygène et elle est exprimée en  $\text{mg O}_2/\text{l}$ .

Il existe des différences minimales entre les pays européens, bien qu'ils utilisent des appellations ou des références différentes (DIN 38 409-H51, BS 60 68 : section 2.14, SFS 5508, SS 02 81 43). Toutes les méthodes semblent très proches de la méthode ISO et elles reposent sur les principes décrits dans la norme ISO 5815 / 1989 Qualité de l'eau - Détermination de la demande biochimique en oxygène après 5 jours - Méthode par dilution et ensemencement. Il existe des différences minimales dans la pratique, par exemple concernant l'eauensemencée utilisée ou les volumes des bouteilles d'incubation. Il n'existe aucune raison valable de penser que ces différences pourront avoir une incidence significative sur les résultats des analyses (sauf l'ensemencement !).

La plupart des pays appliquent la méthode DBO après 5 jours ( $\text{DBO}_5$ ), mais les pays scandinaves ont une période d'incubation de 7 jours. Selon les recherches effectuées par l'Institut Finlandais pour l'Environnement pour les effluents de papeteries, la  $\text{DBO}_7$  correspond à 1,16 fois la  $\text{DBO}_5$  (c'est-à-dire une  $\text{DBO}_5$  de 25  $\text{mg/l}$  correspond à une valeur  $\text{DBO}_7$  de 29  $\text{mg/l}$ ).

Depuis 1998, il existe une méthode européenne standard pour déterminer la DBO : EN 1899-1 "Méthode par dilution et ensemencement par addition de thio-urée allylique".

### **Matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension sont des particules qui sont en suspension, c'est-à-dire qui sont capables de se déposer dans l'eau stagnante. Ces matières consistent en petits fragments de fibres, charges, particules fines, boues biologiques non décantées (agglomération de micro-organismes) et d'autres petites particules jusqu'à une taille d'environ 1  $\mu\text{m}$ . Les plus petites de ces particules se déposent très lentement dans les conditions normales et se rapprochent de la zone des particules colloïdales (< 0,4  $\mu\text{m}$ ).

L'analyse des matières en suspension se fait en filtrant un volume connu d'eau à travers un filtre à vide avec des pores d'une taille approximativement définie, puis en pesant les matières solides retenues par le filtre. Le type de filtre utilisé dépend de l'objectif de l'analyse. Selon qu'il s'agit de déterminer la

quantité de fibres et de particules grossières (EN 871, dosage des particules grossières et des fibres à l'aide d'une toile métallique avec une ouverture de mailles comprise entre 60 et 70 µm) ou la quantité de toutes les particules (EN 872, total des matières en suspension), on aura besoin de filtres différents. La plupart des pays utilisent des filtres en fibres de verre, qui donnent une valeur MES approximative.

Aujourd'hui, il existe une méthode standard internationale pour déterminer les matières en suspension par filtration sur filtre en fibres de verre (ISO 11923 / 1997). Il existe également une norme européenne EN 872 sur le dosage des matières en suspension. Mais cette norme ne précise pas de taille définie pour les pores des filtres en fibres de verre. En Allemagne par exemple, on utilise des filtres avec des pores de 0,3 à 1 µm conformément à la norme DIN-EN 872. Les filtres en fibres de verre du type Whatman GF/A (1,6 µm) ou GF/C (1,2 µm) conviennent pour déterminer la quantité totale de matières en suspension (MES) provenant des papeteries.

Les membres du TWG ont exprimé des doutes quant à l'existence d'éventuelles différences significatives dans les méthodes d'analyses des matières en suspension utilisées dans les différents pays et sur la comparabilité des émissions de MES en Europe. On a donc récapitulé dans le tableau III.1 quelques informations sur les méthodes standard utilisées dans les pays de l'Union Européenne pour analyser les matières en suspension. Ce tableau mentionne également des précisions sur les filtres utilisés (renseignements communiqués par les membres du TWG).

Pays	Méthode d'analyse	Paramètre	Type de filtre	Commentaires
Autriche	ÖNORM EN 872	Matières en suspension	Filtre en fibres de verre (0,3 à 1 µm)	selon EN 872
Belgique	Aucun renseignement communiqué			
Danemark	DS 207	Matières en suspension	Pas d'infos	remplace SFS 3037
Finlande	SFS-EN 872	Matières en suspension	Filtre en fibres de verre (0,3 à 1 µm)	
France	NF T 90 105	Matières en suspension	Pas d'infos	
Allemagne	DIN EN 872	Matières en suspension	Filtre en fibres de verre (0,3 à 1 µm)	selon EN 872
Grèce	Aucun renseignement communiqué			
Irlande	B7 (méthode interne non publiée basée sur la méthode standard)	Matières en suspension	Filtre en fibres de verre (0,3 à 1 µm)	basé sur APHA/AWWA Section 2540 D 19 <sup>ème</sup> édition
Italie	IRSA CNR N.2 2050	Matières en suspension	Filtre 0,45 µm	
Pays-Bas	NEN 6484	Matières en suspension	Filtre 0,45 µm	
Norvège	NS 4733	Matières en suspension	Filtre en fibres de verre GF/A	
Portugal	No information provided			
Espagne	NFT 90-105	Matières en suspension	Pas d'infos	
Suède	SS 02 81 12 SS 02 81 38	Matières en suspension Particules grossières y compris les fibres	Filtre en fibres de verre GF/A toile métallique à mailles 70 µm	identique à DS 207 et SFS 3037
Royaume-Uni	Aucun renseignement communiqué			
Note :				
Après la publication d'une Norme Européenne (EN), les États membres sont tenus de la publier en tant que norme nationale qui en reprend intégralement le contenu et la présentation, ou de publier une note nationale à l'effet de l'entériner. Les normes nationales qui vont à l'encontre des normes EN doivent être abrogées.				

**Tableau III.1 – Méthodes standard pour l'analyse des matières en suspension (MES) au sein de l'Union Européenne**

#### **Composés organiques halogénés adsorbables (AOX)**

De nombreux pays ont adopté le dosage des AOX comme méthode standard pour déterminer les composés organiques chlorés dans les effluents des papeteries (la présence d'autres halogènes que le chlore est insignifiante dans ces effluents). En Scandinavie, on analyse les AOX en conformité avec la

méthode standard du comité scandinave de contrôle des pâtes, papiers et cartons, SCAN-W 9/89. Le principe est d'adsorber les constituants organiques de l'échantillon sur du charbon actif, de séparer le charbon de l'échantillon par filtration et de brûler le charbon avec de l'oxygène dans un dispositif spécial AOX. On observe la formation de HX à partir de l'halogène initial des composés organiques, lesquels sont absorbés dans un électrolyte dans lequel ils sont dosés par titrage microcoulométrique. Le résultat est exprimé en mg Cl/l.

La méthode allemande correspondante, DIN 38409, H14, est fondamentalement très proche de la méthode scandinave. Depuis 1998, il existe une norme ISO (ISO 9562:1998) ainsi qu'une norme européenne, EN 1485 - Dosage des composés organiques halogénés adsorbables. En supposant que l'on dispose d'un personnel qualifié suffisant dans le laboratoire, les différences mineures entre les méthodes employées ne devraient pas donner de différences significatives entre les valeurs obtenues par l'analyse.

### **Conclusions**

Il existe des différences minimales entre les méthodes employées dans les pays européens pour mesurer les rejets des papeteries bien que ces méthodes soient identifiées par des termes ou références différents. Toutes ces méthodes semblent très proches des méthodes ISO et reposent sur des principes similaires (ou identiques). Il est donc peu probable que ces différences minimales se traduiront par des variations importantes des valeurs analysées. Il semblerait que d'autres aspects tels que les méthodes d'échantillonnage, de manipulation et de stockage des échantillons, la qualification du personnel et les mesures d'assurance qualité interne et externe dans les laboratoires d'analyses aient une incidence beaucoup plus élevée sur les résultats que les différences dans les méthodes de mesure. Mais ces facteurs peuvent entraîner des différences importantes au niveau des résultats des mesurages des effluents des papeteries non seulement entre les pays mais aussi à l'intérieur d'un même pays.

Enfin, la fréquence des échantillons prélevés pour déterminer les performances des usines au niveau de l'environnement ainsi que les périodes de référence (intervalles de temps) servant de base au calcul de l'émission (moyenne quotidienne, mensuelle, annuelle) pourront avoir une incidence significative sur les résultats (voir Annexe IV : Exemples de variations des émissions).

## **2. Comparaison des méthodes de mesurage portant sur les émissions dans l'atmosphère**

Dans l'industrie papetière, les émissions dans l'atmosphère proviennent à la fois du processus et de la production d'énergie. Les sources d'émissions du processus dans le cas des usines de pâte kraft sont essentiellement la chaudière de récupération, le four à chaux et l'unité de cuisson. D'autres sources d'émissions sont par exemple le blanchiment, les filtres de lavage, l'installation d'évaporation, le dissolvant, le silo à copeaux et la fabrication de tall-oil. Les émissions des papeteries proviennent principalement des gaz de cheminées de la production d'énergie. Dans les installations de pâte à papier et de papier, les sources d'émissions dues à la production d'énergie sont le four multi-combustibles et la chaudière à écorce. Dans les papeteries qui exploitent des installations de désencrage pour le traitement des papiers de récupération, différentes boues peuvent être incinérées dans une chaudière à combustibles solides.

Les paramètres types de surveillance des rejets de gaz de combustion devant être analysés dans les papeteries sont les suivants : débit du gaz, oxydes de soufre (exprimés en  $\text{SO}_2$ ), oxydes d'azote (exprimés en  $\text{NO}_2$ ), matières particulaires/poussières, soufre réduit total (SRT) et  $\text{H}_2\text{S}$ . Dans certains cas ou à certains intervalles, on peut aussi analyser le monoxyde de carbone, le chlore et les polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofurannes (PCDD/PCDF) ainsi que le HCl pour les chaudières brûlant des boues. Certains aspects généraux à prendre en considération et les méthodes de mesurage couramment employées sont décrits ci-après.

## Fréquence des mesures, échantillonnage, débit des gaz de cheminées et calcul des émissions

### Mesurages en continu

Les mesurages en continu sont effectués par les exploitants des installations eux-mêmes. On considère que la durée disponible de surveillance est suffisante si la surveillance en continu des émissions est opérationnelle pendant au moins 90 % du temps annuel de fonctionnement. Les résultats indiquent les émissions annuelles totales ainsi que les variations des émissions dans le temps pendant la période de fonctionnement.

Dans les usines de pâte, on mesure généralement en continu le dioxyde de soufre, le SRT, les poussières et les oxydes de carbone. Ces mesurages en continu sont mis en place lorsque le débit des gaz de fumées est important, tout comme celui des émissions provenant de la chaudière de récupération, du four à chaux, du système de manutention pour les gaz non condensables et des chaudières pour la production d'énergie. Quelques pays seulement (par exemple Suède, Finlande) procèdent à des mesurages en continu des émissions de NO<sub>x</sub>, par exemple pour les chaudières de récupération ou les grandes chaudières à vapeur. Étant donné qu'il n'existe pas actuellement de système fiable de mesure en continu du débit volumique des gaz de fumées, on éprouve certaines difficultés à faire en sorte que les valeurs périodiques décrivent les variations de conditions de fonctionnement du processus. Toutefois, dans de nombreux cas, par exemple les chaudières de récupération et les fours à chaux, il est possible de calculer le débit à partir des données concernant le combustible.

L'échantillonnage et le traitement des échantillons représentent habituellement les points les plus délicats de ces mesurages. On peut rencontrer des problèmes pour prélever un échantillon de gaz qui soit représentatif. Diverses normes proposent des instructions pour choisir le point de mesure et pour procéder aux prélèvements d'échantillons. Les mesures proprement dites sont habituellement effectuées en conformité avec les normes actuellement en vigueur (sur la base des normes étrangères ou internationales apparentées) ou avec un matériel de mesure d'un type éprouvé. L'ISO et le CEN ont publié plusieurs normes et propositions de normes pour l'étalonnage.

### Mesurages périodiques/ discontinus

Les mesurages périodiques sont utilisés pour les sources d'émissions distinctes et peu importantes. Ils se font sous forme de mesurages manuels uniques ou sur de courtes périodes. Ils peuvent avoir lieu une fois par semaine ou une fois par mois (et dans certains cas spéciaux une fois par an seulement, par exemple pour les dioxines et les furannes), pour les composants suivants des émissions : SO<sub>2</sub>, SRT, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Cl et particules, dans certains cas aussi pour les émissions de dioxines, de furannes et de HCl provenant des chaudières d'incinération des boues selon les méthodes standard utilisées dans le pays concerné. Les composés de chlore (Cl<sub>2</sub>, ClO<sub>2</sub>) qui peuvent être dosés dans la zone de préparation chimique du blanchiment et dans les vapeurs d'élimination des procédés de blanchiment sont également mesurés périodiquement. Ces mesurages périodiques sont des indicateurs des émissions pour la période d'échantillonnage choisie.

Les paramètres requis dans n'importe quel calcul d'émissions, tels que le débit-volume, la température, la teneur en oxygène et l'humidité des gaz sont également déterminés lors de mesurages périodiques.

Si l'objectif de cette surveillance discontinue est de donner un tableau fiable des émissions totales pendant une période donnée, par exemple un jour, un mois ou un an, il est capital de disposer d'un nombre d'échantillons bien fondé statistiquement. Si l'on calcule les émissions totales sur la base de quelques échantillons représentant seulement une petite partie de la durée totale de production, il faut s'attendre à ce qu'ils représentent mal la situation réelle. Cela est dû au fait que les processus ne sont pas uniformes et que les conditions en vigueur, les dysfonctionnements du processus etc., risquent de perturber considérablement les résultats.

### **Débit des gaz de fumées**

S'il faut déterminer les émissions totales ou spécifiques à un produit (par exemple kg SO<sub>2</sub>/Adt), la qualité de la mesure ou du calcul du débit du gaz de fumées revêt une importance capitale. Si cette opération n'est pas réalisée correctement, même avec une bonne qualité de l'analyse de l'émission, les paramètres ne peuvent pas donner une image fiable de la situation. Si l'objectif est de déterminer la concentration du composant dans le gaz de fumées, il suffit de connaître le débit du gaz échantillon, en plus de la masse de la substance à doser.

### **Calcul des émissions**

Les calculs de bilan matière peuvent être utilisés en complément des mesurages d'émissions de manière à contrôler les résultats de ces derniers ainsi que pour brosser un tableau général du niveau d'émission totale de chaque composant. Quelquefois, il peut y avoir une quantité substantielle d'émissions diffuses qui ne sont pas enregistrées par les mesurages d'émissions (par exemple les émissions de SRT des usines de pâte kraft), mais qu'il est possible de déterminer approximativement à l'aide des bilans matière du soufre. Le calcul d'un bilan matière donne une idée de l'ampleur prévisible de l'émission d'une substance spécifique, mais sans pouvoir donner (ni même remplacer) des mesures précises. C'est pourquoi on peut mettre en doute l'utilité d'un calcul théorique des émissions pour déterminer les niveaux de performances pour l'environnement. Les calculs de bilan matière reposent souvent sur des évaluations de débits du processus et des mesures de concentrations. Cependant, si les mesurages ne fournissent qu'une petite quantité d'informations de base, les risques d'erreurs peuvent s'accumuler dans les résultats finals. Calculer des niveaux d'émissions moyens fiables pour une installation implique une surveillance des processus sur une longue durée et des études statistiques.

### **Oxydes de soufre (SO<sub>2</sub>), oxydes d'azote (NO<sub>2</sub>) et matières particulaires/poussières**

Les émissions dans l'atmosphère des papeteries incluent principalement les polluants traditionnels ainsi que les rejets des chaudières pour la production d'énergie : oxydes de soufre, oxydes d'azote et matières particulaires. Dans les usines de pâte kraft, il faut en outre considérer avant tout les émissions de SRT qui proviennent de quelques sources principales et de quelques autres sources avec des concentrations moindres (émissions diffuses).

Les normes internationales pour déterminer les principaux polluants atmosphériques sont élaborées par le Comité technique de l'Organisation Internationale de Normalisation et l'Organisation européenne de Normalisation CEN. Les normes ISO pour les émissions provenant de sources fixes et les Normes Européennes publiées à ce jour sont récapitulées dans le tableau III.2. Elles incluent normalement les méthodes d'échantillonnage et de mesurage. Dans une large mesure, ces normes ont été adoptées comme normes nationales.



Numéro	Année de publication	Paramètre mesuré	Commentaires
ISO 7934	1989	Détermination de la concentration en masse de dioxyde de soufre - Méthode au peroxyde d'hydrogène/perchlorate de baryum/thorine	Mesurage discontinu voir également amendement 1
ISO 11632	1998	Détermination de la concentration en masse de dioxyde de soufre - Méthode par chromatographie ionique	
ISO 7935	1992	Détermination de la concentration en masse de dioxyde de soufre - caractéristiques de performance des méthodes de mesurage automatisées	
ISO/DIS 11564	1996	Détermination de la concentration en masse des oxydes d'azote - Méthode photométrique à la naphtyléthylène diamine	
ISO 10849	1996	Détermination de la concentration en masse des oxydes d'azote - caractéristiques de performance des méthodes de mesurage automatisées	
ISO 10396	1993	Échantillonnage pour le dosage automatisé des concentrations de gaz	
ISO 10780	1994	Mesurage de la vitesse et du débit-volume des courants gazeux dans des conduites	Mesurage discontinu
ISO/DIS 14164	1997	Détermination du débit-volume des courants gazeux dans des conduites - méthode automatisée	
ISO 9096	1992	Détermination de la concentration et du débit-masse de matières particulaires dans des veines gazeuses - Méthode gravimétrique manuelle	Mesurage discontinu
ISO 10155	1995	Surveillance automatisée des concentrations en masse de particules – Caractéristiques de performance, méthodes de test et spécifications	
EN 1911	1998	Méthode manuelle de dosage du HCl	
EN 1948	1996	Détermination de la concentration massique en PCDD/PCDF	
Abréviations : DIS = projet de Norme Internationale ISO = Norme Internationale prEN = projet de Norme Européenne EN = Norme Européenne			

**Tableau III.2 - Normes pour déterminer les polluants atmosphériques provenant d'émissions de sources fixes, publiées par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO).**

Il est probable que les émissions possibles citées dans le présent document soient déterminées par les normes ISO/CEN ou, si les normes internationales ne sont pas encore disponibles, en appliquant des normes nationales adaptées. Pour déterminer le SO<sub>2</sub> aujourd'hui on utilise couramment des méthodes de mesurage en continu (par exemple absorption par la lumière IR ou UV, ou fluorescence). Toutefois, pour les chaudières génératrices d'énergie fonctionnant au gaz ou avec des combustibles solides à base de bois (écorce), les émissions de SO<sub>2</sub> sont si faibles que le mesurage en continu de ce paramètre présente peu d'intérêt.

S'agissant du dosage du SO<sub>2</sub> et des NO<sub>x</sub>, on peut s'attendre à ce que les différences entre les méthodes utilisées au sein de l'Union ne produisent pas de différences significatives des valeurs analytiques. La fréquence des prélèvements d'échantillons pratiqués pour déterminer les performances des usines en matière d'environnement ainsi que les périodes de référence (intervalles de temps) servant de base au calcul de l'émission (moyenne quotidienne, mensuelle, annuelle) pourront avoir une incidence significative sur les résultats (voir Annexe IV).

Pour la détermination des particules, les différentes pratiques employées au sein de l'Union Européenne auront peut-être un impact important étant donné que les particules ne sont pas un

paramètre bien défini (comme le  $\text{SO}_2$  et les  $\text{NO}_x$ ) mais qu'elles sont définies par la méthode de mesurage. Pour l'échantillonnage, on utilise principalement et couramment la méthode isocinétique, à savoir que la vitesse du gaz dans le dispositif d'échantillonnage doit correspondre à celle dans la conduite. La méthode utilisée pour l'échantillonnage dépend de la teneur en humidité et de la composition du gaz. Le gaz de fumées provenant des chaudières fonctionnant au mazout, au charbon, au gaz ou avec un combustible solide (bois) est habituellement suffisamment sec pour autoriser la méthode du filtre sec. L'échantillon de gaz est recueilli à l'aide d'une pompe reliée à un compteur gaz pour mesurer le débit du gaz prélevé comme échantillon. Les matières particulières recueillies sur un élément filtrant adapté sont déterminées par la méthode gravimétrique.

Pour illustrer les différences possibles dans les mesurages de particules/poussières, on a rassemblé dans le tableau III.3 des renseignements concernant les méthodes standard au sein de l'Union Européenne. On y précise également la méthode de mesurage utilisée (renseignements communiqués par les membres du TWG).

Pays	Méthode standard utilisée	Année de publication	Principe du mesurage	Commentaires
Finlande	SFS 3866	1990	Méthode manuelle	
Allemagne	VDI 2066	1993	Filtre dans la cheminée, discontinu	Méthode pour l'étalonnage
Irlande	BS 6069/ISO 9096	1992	Méthode gravimétrique	
Italie	UNI-UNICIM 10 623			
Pays-Bas	ISO/NEN 9096		Aspiration isocinétique, suivie d'un dosage par la méthode gravimétrique	
Norvège	NS 4863	1985	Optique Méthode gravimétrique	Continu Discontinu
Suède			Méthode optique ou gravimétrique discontinue	

**Tableau III.3 - Méthodes standard d'analyse des particules/poussières au sein de l'Union européenne.**

Ce tableau n'inclut que les pays qui ont communiqué des informations.

### Soufre réduit total (SRT)

Les gaz malodorants non condensables produits dans l'unité de cuisson de la pâte kraft contiennent du  $\text{H}_2\text{S}$  et des composés organiques de soufre (essentiellement du méthylmercaptan  $\text{CH}_3\text{SH}$ , du diméthyle sulfure  $(\text{CH}_3)_2\text{S}$  et du diméthyle bisulfure  $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ ), dont les seuils olfactifs sont très bas. Ces composés s'évaporent facilement et on les retrouve en fortes concentrations dans certains gaz et condensats dans les unités de cuisson et d'évaporation. Du sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) peut également se former lors de l'incinération en cas de manque d'oxygène dans la zone de combustion ou si les acides réagissent avec les ions bisulfure dans la phase liquide. Les gaz à concentration élevée (faible volume) sont générés dans les unités de cuisson, d'évaporation et de séparation des condensats. Ils sont toujours brûlés. Les gaz à faible concentration et haut volume sont rejetés par exemple au niveau des lessiveurs, des silos à copeaux, des dissolvants, des évaporateurs et des bacs de liqueur noire. Dans les usines de pâte kraft, les émissions de soufre diffuses peuvent être importantes.

Afin de surveiller les émissions totales de soufre et déterminer les sources d'émission les plus importantes ou les composés qui prédominent dans les émissions totales, il faut exécuter des mesurages qui couvrent la totalité de l'installation. Ces résultats servent de base pour décider quand les mesurages en continu s'imposent, quand les mesurages périodiques sont valables et quel analyseur choisir.

Il est possible que les différentes méthodes utilisées pour doser les émissions de SRT non traitées qui sont rejetées de façon diffuse par un certain nombre de petites sources d'émissions donnent lieu à des

différences considérables dans les résultats. Le degré de collecte et de traitement des émissions diffuses contenant des SRT peut entraîner des différences notables entre les États membres. Normalement, les émissions de SRT sont dosées par estimations sur la base des résultats de mesurages discontinus de sources d'émissions identifiées. Par conséquent, il existe une certaine incertitude lorsqu'on compare les résultats atteints pour réduire les émissions de SRT dans les pays européens.

### **3. Déchets solides**

Le producteur doit être au courant des diverses fractions de déchets générées au cours de la production. Cela inclut des renseignements sur la quantité, la qualité, les propriétés et l'origine des déchets générés (par exemple dispositions générales pour la comptabilité). Il faut également connaître les effets des déchets sur l'environnement et la santé, ainsi que les propriétés qui influent sur leur élimination. En Europe, le producteur est normalement tenu de faire évoluer sa production vers des techniques produisant moins de déchets (voir annexe 4 de la Directive PRIP). Les exploitants doivent tenir un registre sur les déchets produits, recueillis, stockés, transportés, utilisés ou évacués ainsi que sur les déchets vendus ou transférés. Il convient aussi d'enregistrer les lieux et dates de livraison, les modes de transport, d'utilisation et d'évacuation lorsque les déchets sont acheminés vers un autre endroit que le site de production. Un rapport annuel doit être présenté aux autorités sur la quantité, l'élimination, l'utilisation, le stockage ou le transport des déchets produits ou obtenus ailleurs. Ce rapport est rédigé sur un formulaire spécial en utilisant les codes du CED (Catalogue Européen des déchets, 94/3/CE) pour les déchets.

Dans la plupart des pays, il existe des dispositions générales pour les décharges et notamment une évaluation de l'aptitude des déchets à la mise en décharge. L'autorisation de mise en décharge repose sur des principes généraux qui stipulent qu'il faut connaître la composition, les caractéristiques de lixiviation et le comportement en longue durée des déchets. L'évaluation des propriétés des déchets repose sur des études portant sur ces derniers sous la forme d'un certain nombre de tests physico-chimiques. Ces tests comprennent une analyse de :

- la composition des déchets
- la teneur en matières organiques et des caractéristiques de dégradabilité des déchets
- la teneur en composés et leur aptitude à la lixiviation
- les effets écotoxicologiques des déchets et des eaux de la décharge provenant de ces déchets.

L'aptitude à la mise en décharge d'un déchet est habituellement testée par des laboratoires compétents spécialisés dans les lixiviats et autres tests servant à déterminer les propriétés des déchets. Il existe des variations dans les méthodes utilisées pour tester les différents déchets.

### **4. Bruit**

Le bruit est généralement défini comme un son indésirable (nuisance sonore). Le son est un mouvement ondulatoire qui se produit quand une source de sons commence à faire bouger les particules de l'air environnant, provoquant des variations de densité et de pression. Toute source de bruit possède une puissance sonore caractéristique mais la pression acoustique à laquelle elle donne naissance dépend de nombreux facteurs extérieurs, tels que éloignement, direction, température, humidité, vent et milieu ambiant.

Les paramètres acoustiques sont exprimés sous la forme d'un rapport logarithmique d'une valeur mesurée. L'unité correspondante a été appelée décibel (dB). L'oreille humaine est moins sensible aux sons basse fréquence. Dans un dispositif de mesure du niveau sonore, on utilise un filtre qui "corrige" le spectre sonore en fonction de la sensibilité de l'oreille. C'est ce que l'on appelle un niveau sonore pondéré A, exprimé en dB(A).

Les niveaux sonores sont habituellement déterminés selon les méthodes suivantes :

- mesurages sur le terrain : DIN 45 635 - 47 : Mesurage des bruits aériens émis par des machines
- mesurages dans des laboratoires acoustiques : ISO 3741 : Acoustique : Détermination des niveaux de puissance sonore émis par les sources de bruits - Méthodes de laboratoires en salles réverbérantes pour les sources à large bande.

Dans les autorisations liées à l'environnement, il est demandé que les niveaux sonores ne dépassent pas certains niveaux de référence sonore qui sont fixés au cas par cas. Ces niveaux dits d'immission sont souvent fixés séparément pour les zones résidentielles et de loisirs pour la journée (de 7 h 00 à 22 h 00) et pour la nuit (de 22 h 00 à 7 h 00). L'exploitant d'une installation est tenu de communiquer des informations sur la diffusion des bruits et les mesures prises en matière de lutte contre le bruit.

## ANNEXE IV

## EXEMPLES DE VARIATIONS D'EMISSIONS

Les données représentées dans ce document sont considérées comme typiques pour le secteur pris dans son ensemble. La plupart des données présentes dans le BREF sont des moyennes annuelles. Quand des intervalles sont fournis, ils représentent la variabilité à l'intérieur du secteur et sa dépendance des matières premières, des types de process, des différents produits fabriqués, et des mesures prises pour la prévention et le contrôle de la pollution.

Cependant, les différences entre les données basées sur des moyennes mensuelles ou annuelles, et par exemple des moyennes journalières peuvent être importantes, de 100% ou plus. La variabilité des émissions ponctuelles dans le temps dépend du type d'installation, de la source de l'émission, de l'organisation et du fonctionnement du process, du contrôle du process, de la maintenance, de la substance concernée et d'autres facteurs. La comparaison des données doit donc se faire avec prudence.

Dans le texte qui suit, des exemples de données de mesure provenant de différentes sources d'émission et pour différents paramètres sont présentées et succinctement discutées. Ces exemples n'ont pas vocation d'être complets ou de couvrir tous les cas possibles, mais plutôt d'attirer l'attention sur l'influence des différentes durées sur lesquelles les moyennes sont calculées sur la représentation chiffrée des performances environnementales des papeteries concernées.

### Exemple n°1 : émissions à l'atmosphère d'une chaudière de régénération dans une usine de pâte kraft

A titre d'exemple, les deux graphiques ci-dessous illustrent les variations des émissions à l'atmosphère d'oxydes d'azote d'une chaudière de récupération (production kraft). Le premier graphique (figure IV.1) présente ces variations sur une période de trois jours, le deuxième (figure IV.2) présente ces mêmes variations sur une période de 5 mois.

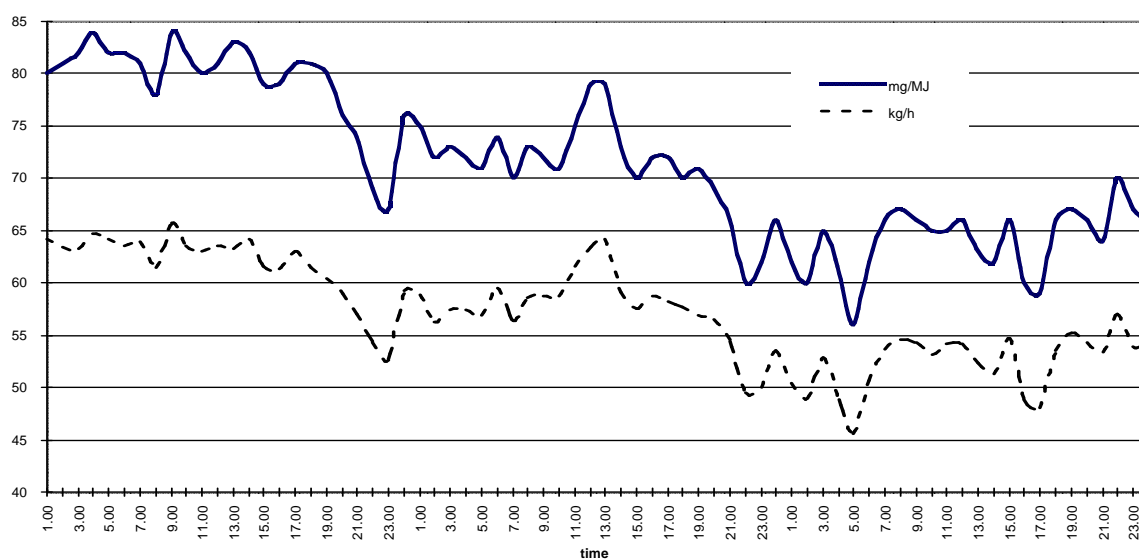


Figure IV.1 : Résultat de la surveillance continue des émissions d'oxydes d'azote (NOx) d'une chaudière de régénération (fabrication kraft) sur une période de trois jours.

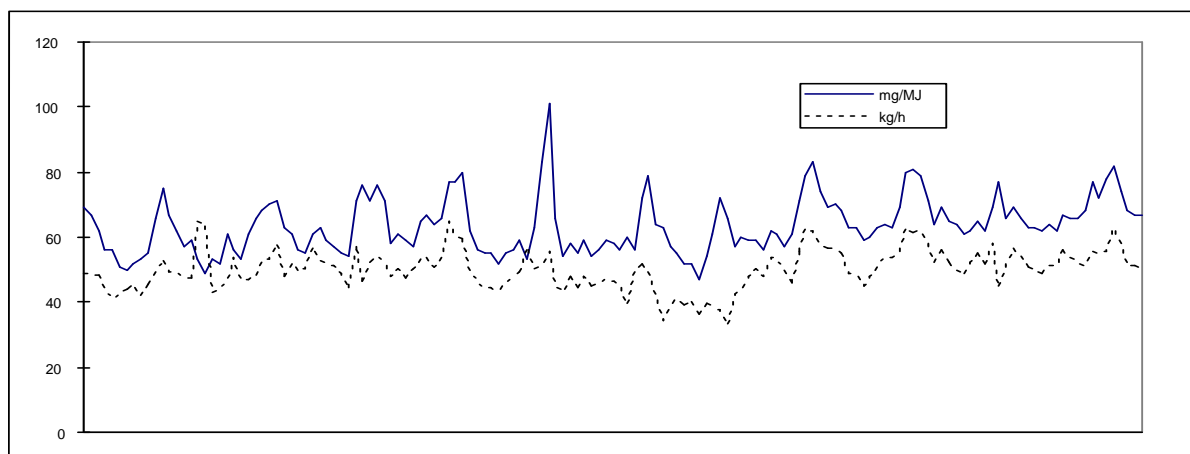


Figure IV.2 : Moyennes journalières des émissions d'oxydes d'azote (NOx) d'une chaudière de régénération (fabrication kraft), représentées sur une période de cinq mois.

Les données présentes dans ces deux graphiques peuvent être résumées comme suit :

Période	Moyenne [mg/MJ]	Maximum [mg/MJ]	Moyenne [kg/h]	Maximum [kg/h]
Jour - 1	79	84	61	65
Jour - 2	71	79	57	64
Jour - 3	64	70	52	57
3 jours	71	84	57	65
5 mois	64	101	50	65

Bien qu'une période de mesure plus longue puisse inclure des valeurs de crête plus extrêmes, l'examen de ces données démontre qu'une période de mesure plus longue amène à des valeurs moyennes moins élevées. Ceci est dû au fait que la présence des valeurs de crête est compensée par le grand nombre de données proches de la valeur moyenne (conditions de fonctionnement normales). Cependant, il est difficile de mettre au point des coefficients multiplicateurs qui permettraient de relier valeurs moyenne et durée de la période de mesure.

De plus, les différentes unités dans lesquelles les résultats peuvent être exprimés, comme l'émission spécifique par unité d'énergie consommée (mg/MJ) ou la quantité émise par unité de temps (kg/h) peuvent donner des impressions légèrement différentes quant à la performance sur ces périodes de temps, bien que dans les deux cas, la comparaison des moyennes amène au même résultat. Dans cet exemple, les valeurs extrêmes semblent moins significatives quand elles sont exprimées comme quantités émises par unité de temps.

#### Exemple n°2 : Rejets d'effluents d'une usine de pâte kraft procédant seulement à un traitement primaire (pas de traitement biologique)

Cet exemple montre la variabilité des émissions d'une usine de pâte kraft blanchie, sur une période d'un mois et sur une période plus longue. Cette usine n'effectue pas de traitement biologique des effluents.

En regardant le graphique ci-dessous (figure IV.3), on s'aperçoit que les variations au cours du temps sont significatives. Ce graphique montre que la demande chimique en oxygène (DCO) varie en moyenne journalière de 23 kg/tonne de pâte (moyenne journalière minimale) à 71 kg/tonne de pâte

(moyenne journalière maximale). La moyenne sur le mois des moyennes journalières des DCO mesurées est de 36 kg/ tonne de pâte. Le graphique comporte trois valeurs de crête. Les variations de DCO exprimée en tonnes d'oxygène par jour sont moins accentuées, ce qui s'explique par le fait que la DCO relative augmente quand la production journalière décroît.

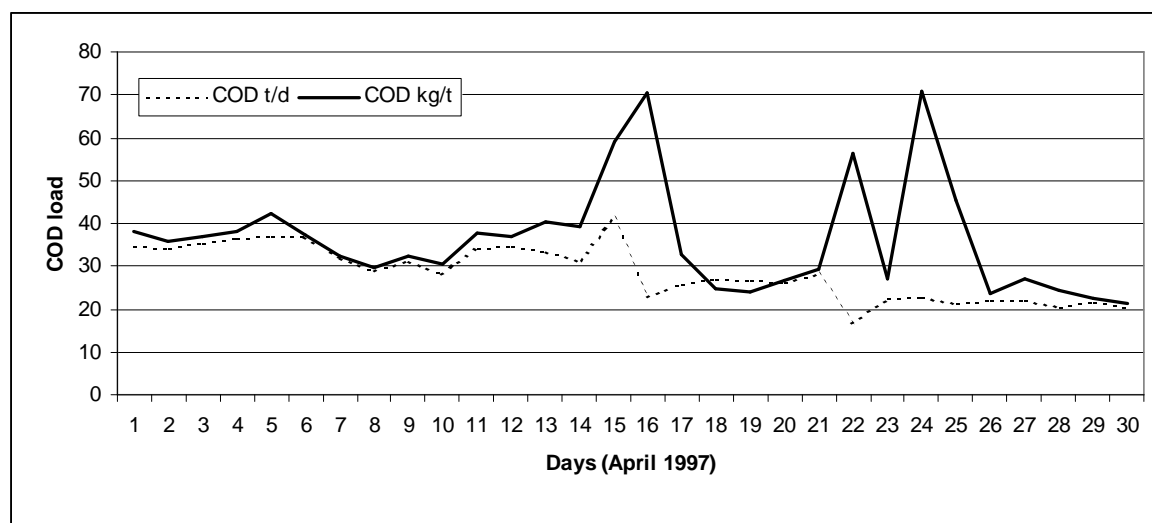


Figure IV.3 : Valeur en moyennes journalières de la DCO des effluents d'une usine de pâte kraft sur une période de 30 jours.

Les résultats des moyennes journalières de DCO récapitulées sur une période de six mois pour la même usine sont présentées dans la figure ci-dessous (figure IV.4)

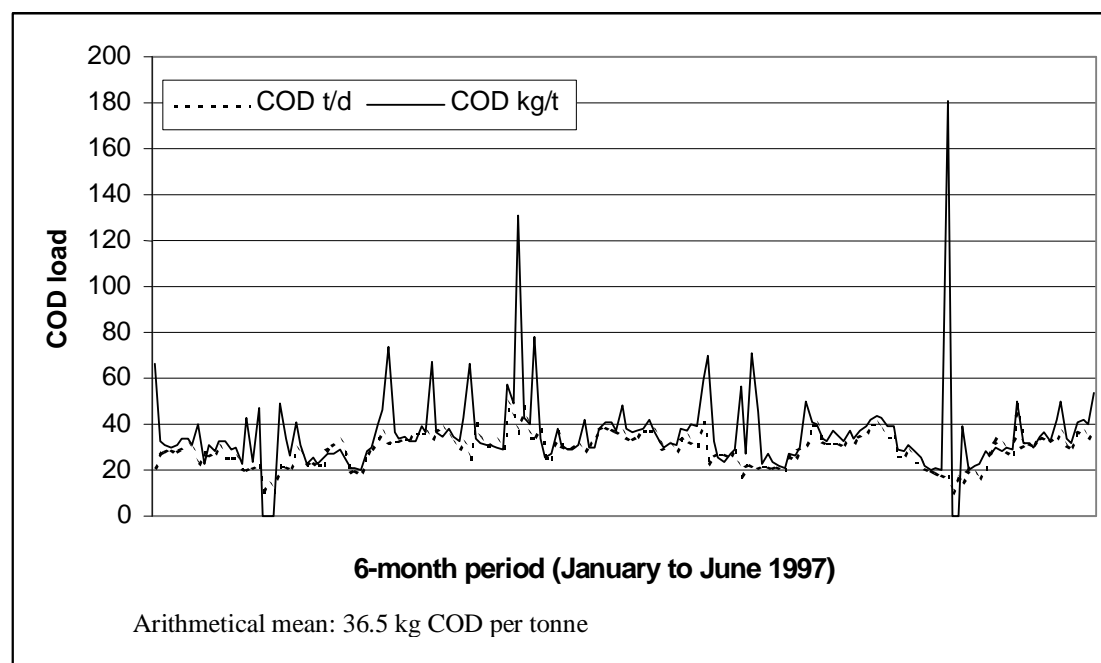


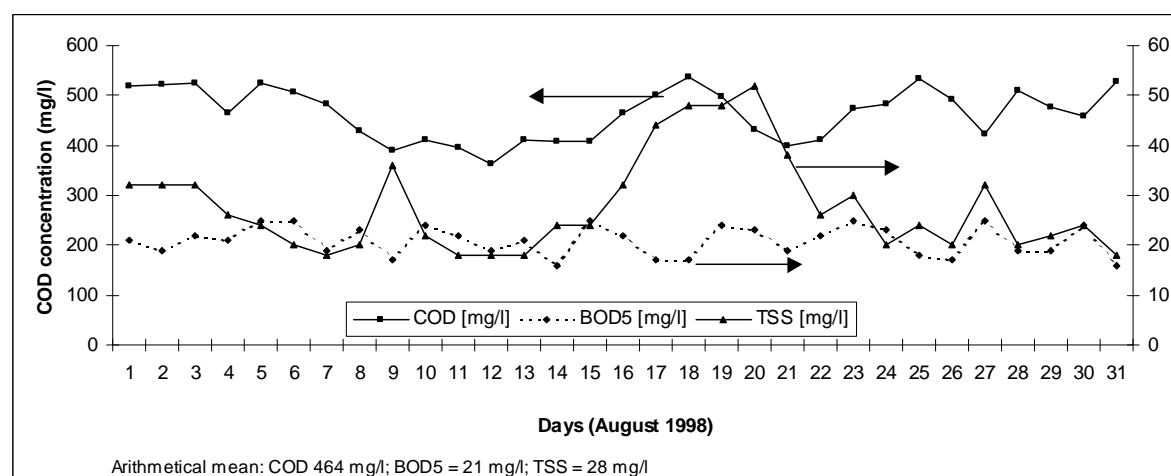
Figure IV.4 : Récapitulatif des mesures de DCO (moyennes journalières) sur une période de 6 mois  
Les données présentées sur le graphique IV.4 sont résumées ci-dessous :

Période	Production [tonnes par jour]	DCO moyenne [kg/t]	DCO Minimum [kg/t]	DCO Maximum [kg/t]
Janvier	804	33	23	66
Février	935	35	25	74
Mars	921	31	25	131
Avril	846	36	21	71
Mai	920	33	20	50
Juin	859	40	20	181
6 mois	881	36.5	20	181

Les effluents non traités biologiquement d'une usine de pâte kraft blanchie montrent un nombre élevé de valeurs extrêmes. Ces installations n'ont pas d'équipements qui pourraient jouer le rôle tampon et « lisser » les charges de matières organiques extrêmes. Celles-ci sont donc directement rejetées dans le milieu. D'autre part, ces effets ne sont plus remarquables quand on considère des périodes de temps plus longues, en utilisant par exemple des moyennes mensuelles ou annuelles.

### Exemple n°3 : Effluents en sortie de la station d'épuration d'une usine intégrée de pâte au bisulfite.

Le système de traitement des eaux usées utilisé par cette installation est décrit dans le chapitre 3.3.7. du BREF.



(Ci-dessus : TSS = MES)

Figure IV.5. Moyennes journalières des valeurs des rejets d'effluents d'une usine intégrée de pâte au bisulfite, récapitulées sur un mois.

Les résultats d'observations menées sur la même installation sur une période de six mois sont présentés sur le graphique IV.6



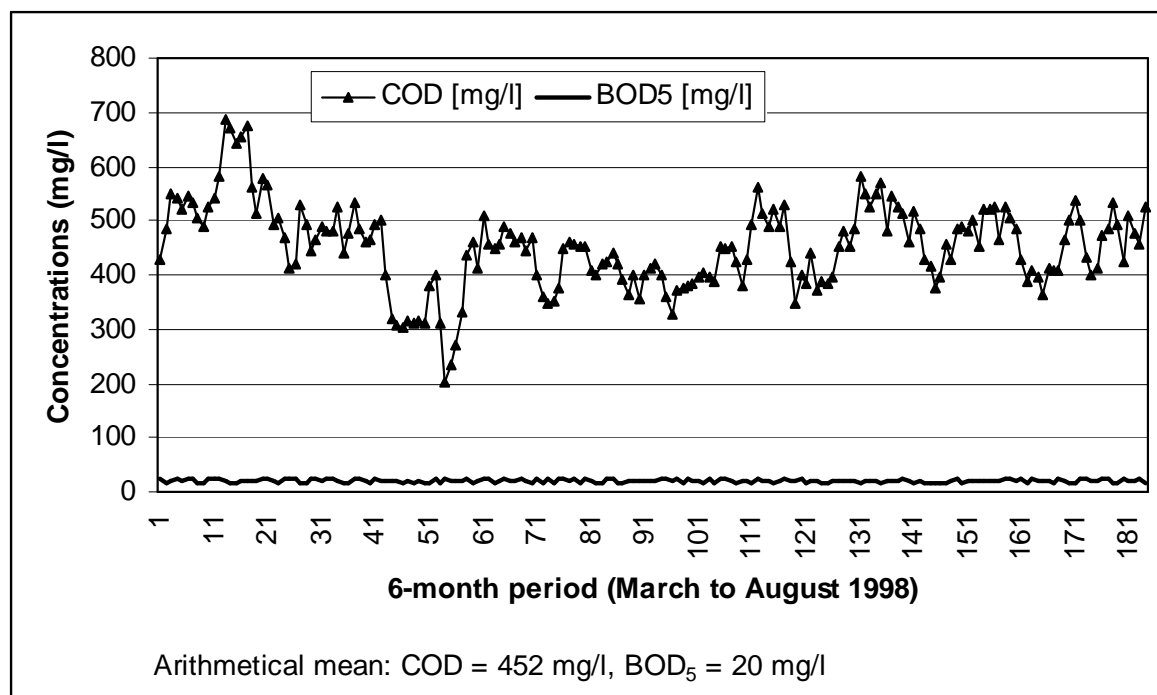


Figure IV.6 : Moyennes journalières des rejets dans l'eau d'une usine intégrée de pâte au bisulfite, sur une période de six mois

Les données présentées sur les deux graphiques qui précèdent sont résumées dans le tableau ci dessous :

Période en 1998	DCO [mg/l]			DBO <sub>5</sub> [mg/l]			MES [mg/l]		
	Moy.	Minim.	Maxi m.	Moy	Mini m.	Maxi m.	Moy	Mini m.	Maxi m.
Mars	533	414	687	21	15	26	39	28	54
Avril	396	204	533	21	15	26	21	12	40
Mai	423	347	487	21	16	26	24	16	36
Juin	426	329	560	21	15	25	27	10	40
Juillet	472	371	581	20	15	24	25	12	38
Août	464	364	537	21	16	25	28	18	52
6 mois	452	204	687	21	15	26	27	12	54

Les effluents après traitement biologique ne montrent que peu de variation dans les valeurs de demande biologique en oxygène (DBO), indépendamment de la durée sur laquelle les moyennes sont calculées. Les valeurs des mesures de matières en suspension (MES) sont elles aussi contenues dans un intervalle de variation restreint, bien que la dispersion des valeurs en questions soit un peu plus marquée que celle des valeurs de DBO.

Les valeurs de DCO peuvent varier dans un intervalle sensiblement plus large. Cependant, une conception et une maintenance appropriée des installations de traitement des effluents garantit la rareté des valeurs de crête extrêmes. La figure IV.5 montre qu'en août 1998, la moyenne journalière de DCO a varié entre les valeurs extrêmes de 364 et 537 mg/l, avec une valeur moyenne de 452 mg/l. La plupart des moyennes mensuelles ne diffèrent pas plus que de +/- 10% par rapport à la moyenne du semestre.

#### Exemple n°4 : Effluents en station d'épuration d'une papeterie non intégrée.

Dans cet exemple, les effluents proviennent d'une papeterie produisant du papier d'impression écriture avec bois et 25% de papier recyclé. Les données ci-dessous font référence à une station d'épuration à deux étages de traitement biologique (boues activées + biofiltration). Les valeurs correspondent à des mesures quotidiennes sur une année complète. La station d'épuration en question est assez largement dimensionnée. En 1998, il n'y a pratiquement pas eu de perturbations. Les valeurs mesurées par échantillonnage composite sur 24h sont représentées sur la figure IV.7. Elles sont groupées en classes correspondant à des intervalles de DCO identiques.

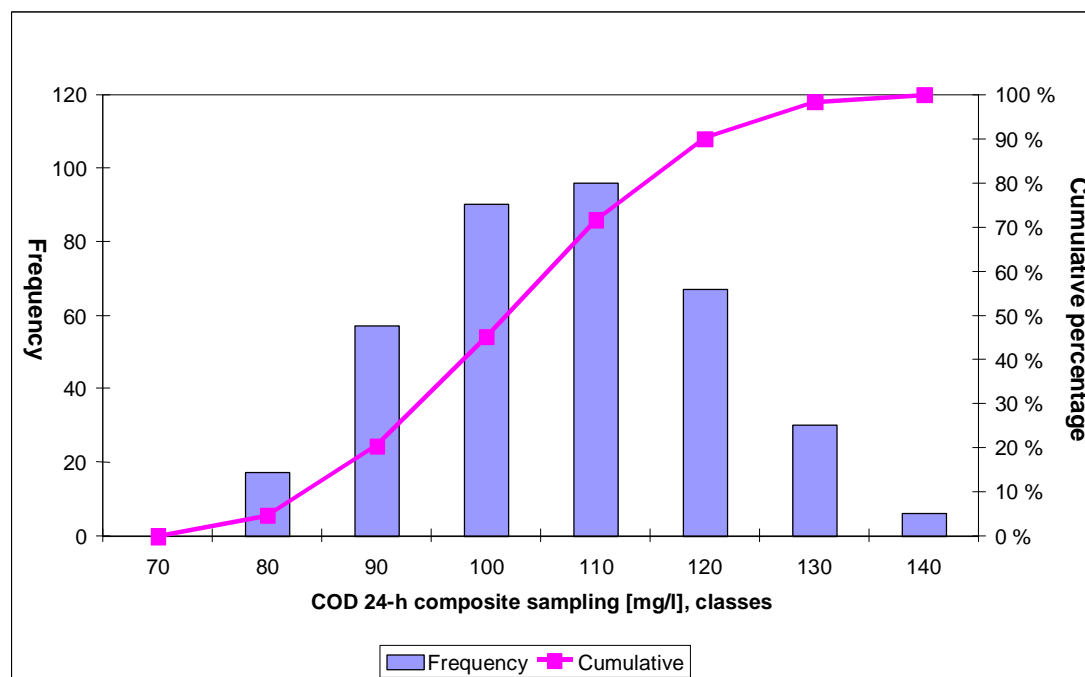


Figure IV.7 : Histogramme du flux de DCO en sortie d'une papeterie

La moyenne annuelle pour la DCO est de 103 mg/l. La plupart des valeurs mesurées sont comprises dans un intervalle de 90 à 120 mg/l. La moyenne journalière la plus élevée est de 139 mg/l, la plus basse est de 68 mg/l.

Si les perturbations dans le fonctionnement de la station d'épuration sont plus nombreuses, il est possible que l'écart entre la moyenne arithmétique et la valeur maximale soit plus important. D'un point de vue environnemental, une station d'épuration dont le fonctionnement est le moins perturbé possible est préférable.

Il n'existe pas d'astuce pour convertir les moyennes annuelles en moyennes mensuelles ou en échantillons composites journaliers, ce qui rend les comparaisons difficiles. Dans un intervalle donné, il peut être affirmé que plus la période de temps sur laquelle on calcule la moyenne est courte, plus les variations constatées seront importantes. Les valeurs moyennes mensuelles varient de mois en mois dans un intervalle donné, qui dépend du volume de production, de la qualité du bois employé comme matière première, des conditions climatiques, etc. Seule une analyse statistique au cas par cas est capable d'apporter une réponse fiable dans l'évaluation de l'intervalle de variation.

## Facteurs de variabilité

Le "facteur de variabilité" est défini comme le rapport du maximum journalier divisé par la limite de la moyenne mensuelle. Il n'existe pas de méthode mathématique disponible qui permettrait une comparaison directe entre les valeurs calculées sur le court terme et le long terme, ni de possibilité d'obtenir les unes à partir des autres. Cependant, certaines approches pragmatiques ont été mises au point dans différents pays, basées sur le retour d'expérience. Ces méthodes permettent d'obtenir une idée approximative des ordres de grandeur des intervalles dans lesquelles les résultats de mesure, pour des périodes de calcul des moyennes différentes, sont susceptibles de varier.

- En Allemagne, on se base, pour l'étude des rejets d'usines de pâte chimique, sur la supposition que les valeurs obtenues par échantillonnage journalier sont plus élevées d'environ 60% que la moyenne annuelle. Par exemple, une valeur obtenue par échantillonnage mixte sur 24 h de 40kg de DCO par tonne de pâte produite équivaut à une moyenne annuelle de 25 kg de DCO par tonne de pâte produite. La valeur limite d'émission journalière est considérée comme respectée si 4 échantillons sur 5 sont sous la limite et si aucune valeur n'excède la limite de plus de 100%.
- La législation française concernant les papeteries fait l'hypothèse suivante : la moyenne mensuelle est 100% plus élevée que la valeur maximum journalière qui doit respecter l'exigence minimale fixée par la législation.
- En Suède, on suppose qu'on peut s'attendre à ce que la moyenne mensuelle soit de 20% plus haute que la moyenne annuelle de l'année en cours.
- Au Canada, il existe une grande divergence dans les modes de calcul des facteurs de variabilité utilisés dans les différentes provinces. Par exemple, pour la demande biologique en oxygène, la limite de facteur de variabilité utilisé varie de 1,6 dans les règlements en vigueur au Québec, jusqu'à 2.0 dans les états de l'Alberta et de l'Ontario. Un facteur de variabilité de 2 signifie qu'une mesure journalière maximum de 3kg/t de DBO équivaudra à une moyenne mensuelle de DBO de 1,5 kg/t. Le Gouvernement Fédéral utilise quant à lui une valeur de 1,66.
- Aux Etats-Unis, il est supposé que la charge maximale journalière spécifique en DBO (kg de DBO par tonne de pâte, kg de MES/t de pâte) est approximativement égale au double de la moyenne sur 30 jours de ce même paramètre.

Les facteurs de variabilité sont un élément de réflexion important dans l'établissement des valeurs limites d'émission car cette fixation va déterminer la sévérité (rigueur) de la législation. Comme la variabilité est une caractéristique intrinsèque des effluents de papeteries, une unité à laquelle on imposerait un facteur de variabilité bas ou pas de facteur de variabilité (c'est à dire qui serait contrôlée exclusivement sur la base de moyennes journalières), devrait travailler sur la base de moyennes mensuelles de rejets plus basses pour être certaine de rester dans les limites journalières. Des installations qui auraient des facteurs de variabilité plus élevés tout en ayant les mêmes limites mensuelles seraient moins gênées. Cependant, quand on compare la rigueur des limites de rejets imposées par les différents pays, il est plus important de comparer la limite journalière maximum imposée que la limite en moyenne mensuelle. La limite journalière est celle qui est la plus susceptible d'être dépassée par les papeteries.

Dans ce document, la description des performances environnementales des usines de pâte et de papier se fait souvent par le biais de moyennes annuelles. Si ces performances sont transformées en valeurs limites d'émission, les variations de ces émissions au cours du temps devront être également prises en considération.