

PREFACE

1. Statut du présent document

Sauf indication contraire, les références à « la directive » faites dans le présent document renvoient à la directive du Conseil 96/61/CE relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution. La Directive s'appliquant sans préjudice des dispositions communautaires sur la santé et la sécurité sur le lieu de travail, il en est de même du présent document.

Le présent document fait partie d'une série de documents qui présentent les résultats d'un échange d'informations entre les États membres de l'UE et les industries intéressés au sujet des meilleures techniques disponibles (MTD), des prescriptions de contrôle y afférentes et de leur évolution. Il est publié par la Commission européenne en application de l'article 16, paragraphe 2, de la directive et doit donc être pris en considération, conformément à l'annexe IV de la directive, lors de la détermination des « meilleures techniques disponibles ».

2. Obligations légales correspondantes de la Directive IPPC et définition des MTD

Afin de clarifier le contexte juridique entourant la rédaction du présent document, la préface décrit quelques unes des principales dispositions de la directive IPPC et définit notamment le terme « meilleures techniques disponibles ». Cette description ne peut évidemment pas être complète et est donnée à titre purement informatif. Elle n'a aucune valeur juridique et n'a pas pour effet de modifier les dispositions réelles de la directive ou de leur porter atteinte.

La directive a pour objet la prévention et la réduction intégrées des pollutions en provenance des activités énumérées dans son annexe I afin de garantir un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. La base juridique de cette directive est liée aux objectifs de protection de l'environnement. Lors de sa mise en oeuvre, il conviendra de tenir également compte d'autres objectifs communautaires tels que la compétitivité de l'industrie communautaire, ce qui permettra de contribuer au développement durable.

Plus spécifiquement, la directive prévoit un système d'autorisation pour certaines catégories d'installations industrielles, en vertu duquel les exploitants et régulateurs sont invités à adopter une approche globale intégrée en ce qui concerne les risques de pollution et le potentiel de consommation associés à l'installation. L'objectif de cette approche intégrée est d'améliorer la gestion et le contrôle des procédés industriels afin de parvenir à un niveau de protection élevé pour l'environnement dans son ensemble. Le principe général défini à l'article 3 constitue la pierre angulaire de cette approche. Il stipule que les exploitants doivent prendre toutes les mesures de prévention appropriées contre la pollution, notamment en mettant en oeuvre les meilleures techniques disponibles afin d'améliorer les performances en matière d'environnement.

L'expression « meilleures techniques disponibles » est définie à l'article 2, paragraphe 11 de la directive comme « le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission visant à éviter 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, point 11 précise ensuite cette définition comme suit :

Les « techniques » désignent aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt,

Les techniques « disponibles » correspondent aux 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 utilisées

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

Les « meilleures » techniques renvoient aux techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

En outre, l'annexe IV de la directive comporte une liste de « 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 comprennent les informations publiées par la Commission en vertu de l'article 16, paragraphe 2.

Les autorités compétentes chargées de délivrer des autorisations sont invitées à tenir compte des principes généraux définis à l'article 3 lorsqu'elles définissent les conditions de l'autorisation. Ces conditions doivent comporter des valeurs limites d'émission, qui peuvent être complétées ou remplacées, le cas échéant, par des paramètres ou des mesures techniques équivalentes. Conformément à l'article 9, paragraphe 4 de la directive, ces valeurs limites d'émission, paramètres et mesures techniques équivalents doivent, sans préjudice du respect des normes sur la qualité de l'environnement, reposer sur les meilleures techniques disponibles. Elles ne doivent pas prescrire l'utilisation d'une technique ou d'une technologie spécifique, mais tenir compte des caractéristiques techniques de l'installation considérée, de son implantation géographique et des 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 transfrontières 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 ont l'obligation de veiller à ce que les autorités compétentes se tiennent informées ou soient informées de l'évolution des meilleures techniques disponibles.

3. Objectif du présent document

L'article 16, paragraphe 2 de la directive invite la Commission à organiser « l'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 à publier les résultats des échanges d'informations.

L'objet de l'échange d'informations est défini au considérant 25 de la directive, qui prévoit 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 oeuvre efficace de la présente directive ».

La Commission (DG Environnement) a mis en place un forum d'échange d'informations (IEF) pour faciliter les travaux entrepris en application de l'article 16, paragraphe 2. Un certain nombre de groupes de travail techniques ont par ailleurs été créés sous les auspices de l'IEF. L'IEF comme les groupes de travail techniques sont composés de représentants des États membres et de l'industrie, comme le prévoit l'article 16, paragraphe 2.

La présente série de documents a pour objet de refléter précisément l'échange d'informations qui a été établi conformément à l'article 16, paragraphe 2 et de fournir des informations de référence à l'instance chargée de la délivrance des autorisations pour qu'elle les prenne en compte lors de la définition des conditions d'autorisation. En rendant disponibles les informations pertinentes relatives aux meilleures techniques disponibles, ces documents doivent devenir des outils précieux pour l'amélioration des performances en matière d'environnement.

4. Sources d'information

Le présent document est le résumé des informations recueillies à partir d'un certain nombre de sources, y compris notamment l'expertise des groupes mis en place pour assister la Commission dans son travail, puis vérifiées par les services de la Commission. Il convient de remercier ici les auteurs de toutes ces contributions.

5. Compréhension et utilisation du présent document

Les informations contenues dans le présent document sont prévues pour servir de base à la détermination des meilleures techniques disponibles dans certains cas particuliers. Lors de la détermination de ces meilleures techniques et de la fixation des conditions d'autorisation, l'objectif global, qui est de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble, ne doit jamais être perdu de vue.

Les paragraphes ci-après décrivent le type d'informations présentées dans chacune des sections du document.

Le chapitre 1 présente une description générale des eaux usées et des effluents gazeux, et contient des informations générales relatives aux systèmes de traitement et de gestion.

Le chapitre 2 décrit la gestion des effluents et environnementale, ainsi que les outils adaptés pour sa mise en place.

Le chapitre 3 décrit les techniques de traitement des effluents gazeux et des eaux usées couramment utilisées dans le secteur chimique. Ces techniques incluent les procédés de réduction et de récupération. Les chapitres 2 et 3 constituent le corps de ce document de référence et fournissent les informations nécessaires permettant d'aboutir aux conclusions sur les MTD décrites au chapitre 4.

Le chapitre 4 présente les techniques et les niveaux d'émission et de consommation jugés compatibles avec les meilleures techniques disponibles au sens général. Lorsqu'il s'agit de choisir les techniques de traitement les plus appropriées pour une situation donnée, le terme « techniques » dans le contexte de ce document horizontal englobe non seulement la technologie, mais aussi les stratégies de gestion. Le but est ainsi d'apporter des indications générales sur les niveaux d'émission et de consommation qu'il est possible de considérer comme des valeurs de référence appropriées pour servir de base à la détermination de conditions d'autorisation reposant sur les meilleures techniques disponibles ou à l'établissement des prescriptions contraignantes générales mentionnées à l'article 9, paragraphe 8. Il faut cependant souligner que ce document ne propose pas de valeurs limites d'émission. La détermination des conditions d'autorisation appropriées supposera la prise en compte de facteurs locaux inhérents au site, tels que les caractéristiques techniques de l'installation concernée, son implantation géographique et les conditions locales de l'environnement. Dans le cas des installations existantes, il faut en outre tenir compte de la viabilité économique et technique de leur amélioration. Le seul objectif consistant à assurer un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble impliquera déjà souvent de faire des compromis entre différents types d'impacts sur l'environnement et ces compromis seront souvent influencés par des considérations locales.

Bien que ce document cherche à aborder certains des problèmes évoqués, il ne pourra pas les traiter tous de manière exhaustive. Les techniques et niveaux présentés à la section traitant des conclusions sur les meilleures techniques disponibles au chapitre 4 ne sera donc pas forcément appropriés pour toutes les installations. Par ailleurs, l'obligation de garantir un niveau élevé de protection de l'environnement, y compris la réduction de la pollution à longue distance ou transfrontières, suppose que les conditions d'autorisation ne pourront pas être définies sur la base de considérations purement locales. C'est pourquoi il est de la plus haute importance que les autorités chargées de délivrer les autorisations tiennent compte de toutes les informations présentées dans le présent document.

Étant donné que les meilleures techniques disponibles sont modifiées au fil du temps, le présent document sera révisé et mis à jour, le cas échéant. Toutes les éventuelles observations et propositions peuvent être envoyées au Bureau européen IPPC de l'Institut de prospective technologique, à l'adresse suivante :

Edificio Expo, Inca Garcilaso s/n, E-41092 Séville, Espagne

Téléphone : +34 95 4488 284

Télécopieur : +34 95 4488 426

e-mail : eippcb@jrc.es

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

Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour les systèmes communs de gestion et de traitement des eaux usées et des effluents gazeux dans le secteur chimique

RÉSUMÉ

PRÉFACE	1
PORTÉE	14
1 DESCRIPTION GÉNÉRALE	17
1.1 Eaux usées et effluents gazeux dans l'industrie chimique	17
1.1.1 Eaux usées	19
1.1.2 Effluents gazeux	
1.2 Management environnemental concernant les eaux usées et les effluents gazeux	20
1.3 Technologies de traitement	22
1.3.1 Mesures intégrées aux procédés	23
1.3.2 Techniques de traitement en aval	24
1.3.2.1 Traitement des eaux usées	25
1.3.2.2 Traitement des effluents gazeux	28
1.4 Impact environnemental et interdépendance du traitement des eaux usées et des effluents gazeux	31
2 MANAGEMENT DES EAUX USÉES ET DES EFFLUENTS GAZEUX	34
2.1 Système de management environnemental (SME)	34
2.2 Outils de management	37
2.2.1 Outils de gestion des inventaires	37
2.2.1.1 Inventaire du site	38
2.2.1.2 Registre ou inventaire des effluents	38
2.2.1.2.1 Évaluation complète des effluents (ECE)	39
2.2.1.2.2 Réduction de la consommation d'eau et du rejet des eaux usées	46
2.2.1.2.3 Quantification des émissions d'effluents gazeux	47
2.2.1.3 Analyse des flux d'énergie et de matière (AFEM)	49
2.2.2 Outils de management opérationnel	50
2.2.2.1 Surveillance	50
2.2.2.2 Définition et révision régulière des objectifs ou des programmes internes	50
2.2.2.3 Choix des solutions de traitement	53
2.2.2.3.1 Sélection d'un système de contrôle des eaux usées	54
2.2.2.3.2 Sélection d'un système de contrôle des effluents gazeux	
2.2.2.4 Choix d'un système de collecte	59
2.2.2.4.1 Sélection d'un système de séparation et de collecte des eaux usées	60
2.2.2.4.2 Choix des systèmes de collecte des effluents gazeux	
2.2.2.5 Mise en place des solutions de contrôle des émissions choisies	61
2.2.2.6 Méthodes de contrôle de la qualité	62
2.2.3 Outils de gestion stratégique	65
2.2.3.1 Évaluation des risques	65
2.2.3.2 Évaluation comparative (benchmarking)	66

2.2.3.3 Analyse du cycle de vie (ACV)	66
2.2.4 Outils de sécurité et d'intervention en cas d'urgence	67
2.2.4.1 Gestion des eaux d'incendie et des eaux provenant de déversements accidentels importants	68
2.2.4.2 Plan d'urgence en cas de pollution involontaire	70
3 TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT	71
3.1 Informations présentées dans ce chapitre	71
3.2 Informations sur les coûts dans le présent document	72
3.2.1 Coûts d'installation totaux par rapport aux coûts-fournisseur des équipements	73
3.2.2 Coûts d'installations entièrement nouvelles par rapport aux coûts de modernisation	74
3.2.3 Coûts de capital par rapport aux coûts d'exploitation	75
3.2.4 Coûts initiaux par rapport aux coûts différentiels de la surveillance des émissions	75
3.3 Techniques de traitement des eaux usées	76
3.3.1 Mesures intégrées aux procédés	76
3.3.1.1 Exemple de procédé permettant l'économie d'eau : l'extraction à contre-courant	
3.3.1.2 Utilisations multiples et recyclage	76
3.3.1.3 Refroidissement indirect par phases vapeur	77
3.3.1.4 Procédés sans production d'eaux usées pour la génération du vide	77
3.3.1.5 Procédés sans production d'eaux usées pour le nettoyage de l'air extrait	78
3.3.1.6 Récupération ou rétention de substances des liqueurs mères ou par procédés optimisés	78
3.3.1.7 Utilisation de matières brutes et de produits auxiliaires faiblement pollués	79
3.3.2 Régulation des flux	79
3.3.3 Capacité de stockage ou de rétention en cas de défaillances	80
3.3.4 Techniques en aval	82
3.3.4.1 Polluants insolubles/séparation mécanique	84
3.3.4.1.1 Dessablage	84
3.3.4.1.2 Décantation des matières solides	86
3.3.4.1.3 Aéroflottation	91
3.3.4.1.4 Filtration	96
3.3.4.1.5 Microfiltration et ultrafiltration	100
3.3.4.1.6 Séparation huile/eau	104
3.3.4.2 Traitement physico-chimique des polluants inhibiteurs ou non biodégradables solubles	107
3.3.4.2.1 Précipitation	107
3.3.4.2.2 Cristallisation	110
3.3.4.2.3 Oxydation chimique	114
3.3.4.2.4 Oxydation à l'air humide	118
3.3.4.2.5 Oxydation par l'eau supercritique (SCWO)	123
3.3.4.2.6 Réduction chimique	126
3.3.4.2.7 Hydrolyse chimique	128
3.3.4.2.8 Nanofiltration (NF) et osmose inverse (OI)	130
3.3.4.2.9 Adsorption	135
3.3.4.2.10 Échange d'ions	141
3.3.4.2.11 Extraction	144
3.3.4.2.12 Distillation/Rectification	147
3.3.4.2.13 Évaporation	148
3.3.4.2.14 Stripping	150
3.3.4.2.15 Incinération des eaux usées	155

3.3.4.3	Traitement biologique des polluants biodégradables soluble	157	
3.3.4.3.1	Traitement anaérobie	158	
3.3.4.3.2	Élimination biologique des composés de soufre et des métaux lourds	162	
3.3.4.3.3	Traitement aérobie	165	
3.3.4.3.4	Élimination biologique de l'azote	173	
3.3.4.3.5	Traitement biologique central des eaux usées	177	
3.3.4.4	Contrôle des eaux d'incendie et des eaux pluviales	181	
3.3.4.4.1	Bassins de retenue	182	
3.3.4.4.2	Filtres à sable	183	
3.4	Techniques de traitement des boues	184	
3.4.1	Épaississement et déshydratation des boues	186	
3.4.2	Stabilisation et conditionnement	190	
3.4.3	Réduction thermique des boues	193	
3.5	Techniques de traitement en aval des effluents gazeux	197	
3.5.1	Techniques récupératives de traitement des COV et des composés inorganiques	199	
3.5.1.1	Séparation par membrane	199	
3.5.1.2	Condensation	202	
3.5.1.3	Adsorption	210	
3.5.1.4	Laveurs par voie humide pour l'élimination de polluants gazeux	216	
3.5.2	Procédés et techniques de réduction des COV et des composés inorganiques	225	
3.5.2.1	Biofiltration	225	
3.5.2.2	Biolavage	229	
3.5.2.3	Filtrage percolateur	233	
3.5.2.4	Oxydation thermique	236	
3.5.2.5	Oxydation catalytique	242	
3.5.2.6	Combustion en torchère	247	
3.5.3	Techniques récupératives et destructives de traitement des particules	254	
3.5.3.1	Séparateur	255	
3.5.3.2	Cyclone	256	
3.5.3.3	Electrofiltre (ESP)	259	
3.5.3.4	Dépoussiéreurs par voie humide	264	
3.5.3.5	Filtre à fibres textiles	266	
3.5.3.6	Filtration catalytique	274	
3.5.3.7	Filtre dépoussiéreur à deux étages	276	
3.5.3.8	Filtre absolu (filtre HEPA)	279	
3.5.3.9	Filtre à air à haute efficacité (HEAF)	281	
3.5.3.10	Filtre dévésiculeur	282	
3.5.4	Techniques récupératives et destructives de traitement des polluants gazeux des gaz extraits	285	
3.5.4.1	Injection de sorbant comme technique de DGC	285	
3.5.4.2	Réduction sélective des NO _x (RNCS et RCS)	291	

4 MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES CONCERNANT LE TRAITEMENT ET LA GESTION DES EAUX USEES ET DES EFFLUENTS GAZEUX DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE

4.1	Introduction	296
4.2	MTD générales	298
4.3	MTD spécifiques	301
4.3.1	Eaux usées	301
4.3.2	Effluents gazeux	331

5 TECHNIQUES ÉMERGENTES	346
6 CONCLUSIONS	347
RÉFÉRENCES	
7 ANNEXES	350
7.1 Annexe I. Fonctionnement conjoint des stations d'épuration municipales et industrielles	
7.2 Annexe II. Exemple d'AFEM : Technologie de pincement	352
7.3 Annexe III. Contrôle d'une station d'épuration centrale biologique	355
7.4 Annexe IV. Normes de contrôle	356
7.5 Annexe V. Plan d'urgence en cas de pollution involontaire	361
7.6 Annexe VI. Exemples de traitement des effluents gazeux et des eaux usées	362
7.6.1 Informations techniques concernant des stations d'épuration (exemples)	362
7.6.2 Informations sur les rejets d'eaux usées (exemples)	369
7.6.3 Informations sur les systèmes de traitement des eaux usées de sites complexes	(exemples)
374	
7.6.4 Exemples de rejets de métaux lourds	377
7.6.5 Exemples d'installations de traitement des effluents gazeux	378
7.7 Annexe VII. Législation des États membres relative aux eaux usées et aux effluents gazeux dans le	
secteur chimique	381
GLOSSAIRE DES TERMES ET ABRÉVIATIONS	472

Liste des illustrations

Figure 1.1 : Techniques de traitement des eaux usées	23
Figure 1.2 : Techniques de traitement des effluents gazeux	23
Figure 2.1 : Boucle du système de management environnemental (SME)	34
Figure 2.2 : Stratégie d'un SME orienté site	36
Figure 2.3 : Complexité d'un SME orienté site	37
Figure 2.4 : Procédure générale de réduction de la consommation d'eau et des rejets d'eaux usées	
Figure 2.5 : Diagramme décisionnel pour le choix d'un système de contrôle des eaux usées	54
Figure 2.6 : Diagramme des causes-effets de la mauvaise qualité d'un effluent	64
Figure 3.1 : Bassin tampon autonome avec remplissage en alternance	81
Figure 3.2 : Bassin tampon raccordé, remplissage discontinu	81
Figure 3.3 : Bassin tampon raccordé, remplissage continu	82
Figure 3.4 : Système de tamponnement des fuites	83
Figure 3.5 : Techniques de traitement des eaux usées existantes en fonction du type de polluant	
Figure 3.6 : Dessableur couloir	85
Figure 3.7 : Dessableur circulaire	85
Figure 3.8 : Dessableur aéré	85
Figure 3.9 : Bassin de décantation ou décanteur	88
Figure 3.10 : Bassin à fond conique	88
Figure 3.11 : Décanteur à tube ou laminaire	88
Figure 3.12 : Dispositif de FAD	92
Figure 3.13 : Comparaison entre la capacité de séparation de la FAD et la décantation	93
Figure 3.14 : Filtre à sable conventionnel multi-milieus à flux descendant	97
Figure 3.15 : Filtre à pression	97
Figure 3.16 : Filtre rotatif sous vide	97
Figure 3.17 : Séparateur API (American Petroleum Institute)	104
Figure 3.18 : Séparateur à plaques parallèles (SPP)	105
Figure 3.19 : Séparateur à plaques ondulées (SPO)	105
Figure 3.20 : Principe d'un procédé de cristallisation	111
Figure 3.21 : Application polyvalente du procédé de cristallisation dans un site de production chimique	112
Figure 3.22 : Diagramme des flux d'une installation Loprox	119
Figure 3.23 : Diagramme des flux simplifié du procédé SCWO	124
Figure 3.24 : Installation d'OI	132
Figure 3.25 : Fonctionnement de deux colonnes d'adsorption connectées en série	136
Figure 3.26 : Stripping de l'ammoniac, stripping à l'air et à la vapeur	152
Figure 3.27 : Bilans carbone de la dégradation microbiologique aérobie (A) et anaérobie (B) des composés organiques	158
Figure 3.28 : Procédé par contact anaérobie	159
Figure 3.29 : représentation schématique du procédé UASB	160
Figure 3.30 : Présentation schématique d'un traitement anaérobie à deux étapes	163
Figure 3.31 : Schéma de procédé d'une installation de réduction biologique du sulfate et des métaux lourds	167
Figure 3.32 : Exemple de procédé biologique à tour	168
Figure 3.33 : Variantes du bioréacteur à membrane par rapport au procédé à boues activées	168
Figure 3.34 : Schéma de fonctionnement d'un lit bactérien	168
Figure 3.35 : Comparaison entre le procédé par biofiltre et le procédé à boues activées traditionnel	
Figure 3.36 : Nitrification/dénitrification en série	175
Figure 3.37 : Nitrification/dénitrification avec dénitrification comme première étape	176
Figure 3.38 : Exemple d'une station d'épuration centrale (mécanique-biologique-chimique)	179

Figure 3.39 : Épaississeur centrifuge de boues	186
Figure 3.40 : Épaississeur à FAD pour les boues activées résiduelles	187
Figure 3.41 : Filtre-presse à bandes presseuses	187
Figure 3.42 : Filtre-presse à plateau encastré et à volume fixe	187
Figure 3.43 : Incinérateur à lit fluidisé [cww/tm/4]	194
Figure 3.44 : Réacteur d'oxydation en puits profond [cww/tm/4]	194
Figure 3.45 : Présentation des techniques de traitement en aval des effluents gazeux en fonction du type de polluant	197
Figure 3.46 : Module membrane capillaire type	199
Figure 3.47 : Schéma d'une installation de séparation par membrane classique	200
Figure 3.48 : Application d'un procédé de séparation par membrane en tant qu'installation de récupération (IRV) des vapeurs	201
Figure 3.49 : Système de condensation à deux étapes	204
Figure 3.50 : Système de récupération par condensation cryogénique avec mise en œuvre d'atmosphères d'azote	204
Figure 3.51 : Système de récupération cryogénique sous atmosphère inerte	205
Figure 3.52 : Système classique de condensation par gaz inerte en circuit fermé	206
Figure 3.53 : Procédé d'adsorption à deux lits	210
Figure 3.54 : Adsorption en lit fluidisé	211
Figure 3.55 : Adsorption et désorption en lit mobile continu	212
Figure 3.56 : Laveur à lit mobile	217
Figure 3.57 : Laveur à lit fixe	218
Figure 3.58 : Laveur à plateaux	219
Figure 3.59 : Tour de pulvérisation, (a) contre-courant, (b) cocourant	219
Figure 3.60 : Système d'absorption/désorption classique	220
Figure 3.61 : Schéma d'un biofiltre	225
Figure 3.62 : Procédé par biofiltre classique	227
Figure 3.63 : Biolaveur classique	229
Figure 3.64 : Procédé classique de biolavage	230
Figure 3.65 : Diagramme des flux d'un procédé de filtrage percolateur	233
Figure 3.66 : Installation de filtrage percolateur classique	234
Figure 3.67 : Schémas de différents systèmes de combustion régénératifs	237
Figure 3.68 : Principe de l'oxydation catalytique	242
Figure 3.69 : Oxydateur catalytique régénératif	244
Figure 3.70 : Torchère haute classique [cww/tm/143]	247
Figure 3.71 : Principaux éléments d'un brûleur confiné	248
Figure 3.72 : Torchère verticale à lance d'injection	249
Figure 3.73 : Torchère carénée	250
Figure 3.74 : Torchère à silencieux	250
Figure 3.75 : Cyclone à écoulement inversé	257
Figure 3.76 : Cyclone à passage direct	257
Figure 3.77 : ESP à plaques	260
Figure 3.78 : ESP tubulaire	260
Figure 3.79 : Représentation schématique du fonctionnement des ESP à un ou deux champs	261
Figure 3.80 : Laveur à impact et à entraînement	265
Figure 3.81 : Laveur à Venturi	265
Figure 3.82 : Chambre de filtration catalytique, avec appareillage de prélèvements	274
Figure 3.83 : Filtre dépoussiéreur à deux étages	277
Figure 3.84 : Filtre à mailles métalliques avec procédé de reformation de gâteau	277
Figure 3.85 : Injection de sorbant sec pour l'élimination du dioxyde de soufre (points d'injection)	286
Figure 3.86 : Système de DGC semi-sec ou à pulvérisation	287

Figure 3.87 : Système de DGC humide : laveur à lait de chaux	287	
Figure 4.1 : Algorithme décisionnel pour le traitement des eaux usées sur un site chimique : base pour les conclusions concernant les MTD	304	
Figure 7.1 : Coopération entre une station d'épuration municipale et une station d'épuration industrielle : ancienne situation	352	
Figure 7.2 : Coopération entre une station d'épuration municipale et une station d'épuration industrielle : nouvelle situation	353	
Figure 7.3 : Technologie de pincement : analyse, courbes des sources et des puits d'eau	353	
Figure 7.4 : Exemple de stratégie de conservation de l'eau avant et après analyse de pincement	354	
Figure 7.5 : Situation d'un site de production chimique complexe (exemple XXI)	376	
Figure 7.6 : Station d'épuration centrale d'un site chimique fabricant des produits pharmaceutiques et des pesticides	377	

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Principaux polluants des eaux usées et leurs techniques de traitement respectives	26	
Tableau 1.2 : Sélection de techniques d'épuration des émissions d'effluents gazeux selon le polluant à éliminer	30	
Tableau 1.3 : Sélection de techniques d'épuration des émissions d'effluents gazeux selon le débit de l'effluent gazeux	31	
Tableau 1.4 : Impacts potentiels des installations de traitement des eaux usées	32	
Tableau 1.5 : Impacts potentiels des installations de traitement des effluents gazeux	32	
Tableau 3.1 : Exemple de coût d'un projet réel	74	
Tableau 3.2 : Taux d'épuration des polluants des eaux usées par coagulation	87	
Tableau 3.3 : Caractéristiques de la microfiltration (MF) et de l'ultrafiltration (UF)	100	
Tableau 3.4 : Élimination de la DCO de diverses substances en fonction de l'utilisation d'H ₂ O ₂ [cww/tm/132]	117	
Tableau 3.5 : Caractéristiques de la nanofiltration (NF) et de l'osmose inverse (OI)	131	
Tableau 3.6 : Adsorbants couramment utilisés et leurs propriétés	136	
Tableau 3.7 : Caractéristiques de la performance de l'adsorption sur CAG avec des concentrations d'environ 1 000 mg/l	138	d'alimentation
Tableau 3.8 : Paramètres spécifiques des procédés anaérobies, anoxiques et aérobies	158	
Tableau 3.9 : Concentration seuil des substances toxiques pour les boues activées	166	
Table 3.10 : Comparaison des charges volumétriques traitées par différents procédés aérobies	170	
Tableau 3.11 : Principaux inhibiteurs de la nitrification	175	
Tableau 3.12 : Dosages typiques de la chaux pour la stabilisation des boues liquides	192	
Tableau 3.13 : Niveaux typiques d'ajout de polymères pour différents types de boues et pour différentes méthodes de déshydratation	193	
Tableau 3.14 : Applications classiques des biolaveurs	231	
Tableau 3.15 : Types de brûleur	238	
Tableau 3.16 : Application et limites et restrictions d'application pour les différents types de dépoussiéreurs par voie humide	266	
Tableau 3.17 : Taux de performance, consommables et coûts des différents dépoussiéreurs par voie humide		
Tableau 3.18 : Fibres textiles couramment utilisées	269	
Tableau 3.19 : Taux de performance de sorption sèche avec la chaux comme sorbant pour différentes températures et différents systèmes d'épuration des poussières	289	
Tableau 3.20 : Rendement d'épuration des SO _x en sorption sèche pour la chaux à différentes gammes de températures et pour différents rapports molaires Ca/S	289	
Tableau 3.21 : Rendement d'épuration des SO _x en sorption semi-sèche pour la chaux pour différents rapports molaires Ca/S	290	
Tableau 3.22 : Taux de réduction des sorptions sèche et semi-sèche avec du carbonate de sodium		
Tableau 4.1 : Techniques de traitement des eaux pluviales telles que décrites au chapitre 3	307	
Tableau 4.2 : Niveaux d'émission associés aux MTD concernant l'huile et les hydrocarbures déversés dans les eaux réceptrices	308	
Tableau 4.3 : Techniques de traitement associées aux MTD pour les matières en suspension	312	
Tableau 4.4 : Techniques de traitement associées aux MTD pour les métaux lourds	315	
Tableau 4.5 : techniques de traitement associées aux MTD pour les sels inorganiques (les métaux ne sont pas inclus)	317	lourds
Tableau 4.6 : Techniques de traitement associées aux MTD pour les polluants qui ne se prêtent pas à un traitement biologique	322	
Tableau 4.7 : Techniques de traitement associées aux MTD pour le traitement biologique	328	

Tableau 4.8 : Niveaux d'émission associés aux MTD pour le déversement des eaux usées finales dans les eaux réceptrices	329
Tableau 4.9 : Techniques de traitement associées aux MTD pour le traitement des particules dans les effluents gazeux normaux	336
Tableau 4.10 : Techniques de traitement associées aux MTD pour le traitement des COV et des composés inorganiques dans les effluents gazeux normaux	340
Tableau 4.11 : Niveaux d'émission associés aux MTD et performances relatives au traitement des gaz de combustion dans l'industrie chimique	345
Tableau 7.1 : Contrôle d'une station d'épuration	355
Tableau 7.2 : Flux d'eaux usées et données relatives aux traitements pour un site chimique complexe (exemple XXI)	375
Tableau 7.3 : Niveaux d'émission des métaux lourds au point de déversement final	378

PORTÉE

Ce document de référence horizontal sur les MTD (BREF), intitulé Systèmes communs de gestion et de traitement des eaux usées et des effluents gazeux dans le secteur chimique (CWW), couvre la totalité de ce secteur et a pour objectif d'éclairer les décisions des autorités de réglementation face à une demande d'autorisation liée au rejet d'effluents gazeux et/ou d'eaux usées par des installations chimiques. Le présent document fait partie d'une série de BREF concernant l'industrie chimique, qui doivent tous être lus conjointement.

Ces BREF sont intitulés :

- L'industrie du chlore-alcali
- Produits chimiques organiques en grande quantité (LVOC)
- Produits chimiques inorganiques en grande quantité (LVIC)
- Polymères
- Chimie fine organique (OFC)
- Chimie inorganique de spécialités (SIC)

et les BREF horizontaux

- Systèmes de refroidissement industriel
- Émissions dues au stockage des matières dangereuses ou en vrac
- Systèmes de contrôle
- Aspects économiques et effets multi-milieux

Le présent BREF est également considéré par l'industrie des raffineries comme adapté aux problèmes rencontrés par ce secteur.

Étant donné les nombreuses possibilités de traitement des eaux usées et/ou des effluents gazeux dans l'industrie chimique, le présent document se limite aux techniques couramment utilisées ou applicables dans ce secteur. Malgré cette restriction, le présent BREF ne peut traiter qu'une partie des techniques utilisées. Il en découle que les méthodes de traitement employées par un site particulier et/ou conçues pour un procédé de production spécifique ne sont pas couvertes par le présent document. Elles sont traitées dans le cadre des documents verticaux correspondants. Par ailleurs, les techniques de traitement qui ne sont pas encore utilisées dans l'industrie chimique mais qui fonctionnent avec succès dans d'autres secteurs sont couvertes dans le présent document lorsqu'elles sont applicables dans l'industrie chimique.

Les techniques intégrées aux procédés sont abordées dans le présent document lorsqu'elles peuvent être employées au sein de plusieurs procédés ou lorsque leur application est largement reconnue. Les questions liées aux sites ou aux procédés, et relatives au traitement des effluents gazeux et des eaux usées ne sont pas traitées dans ce document mais sont envisagées selon un angle général expliquant comment gérer certaines conditions particulières.

Un autre sujet abordé dans le présent document de référence est la gestion des effluents gazeux et des eaux usées dans le cadre de la gestion opérationnelle. Le concept de gestion fait référence à la prise en considération des conditions locales (telles que les particularités de production, la législation, la situation environnementale locale, la disponibilité et la qualité des matières brutes, et/ou les conditions climatiques) pour diriger de manière efficace, tant au niveau économique qu'environnemental, un site industriel. Le présent document vise à décrire la ou les approches permettant de prendre des décisions

de gestion afin de minimiser l'impact global des émissions d'effluents gazeux et d'eaux usées sur l'environnement.

Le concept « d'impact sur l'environnement » utilisé dans le présent BREF recouvre notamment :

- La consommation en ressources, par exemple l'eau provenant des masses d'eau naturelles, l'énergie, les matières brutes, les substances chimiques, etc. ; ce point revêt une importance particulière lorsque certaines ressources sont limitées. On peut citer l'eau lorsque les conditions climatiques sont défavorables ou les énergies non renouvelables.
- Les émissions dans l'air et/ou dans l'eau, notamment le bruit et les odeurs.
- La production de déchets.
- Les émissions au démarrage ou à l'arrêt.

L'évacuation des boues ou des résidus solides produits par le traitement des eaux usées et des effluents gazeux fait partie des considérations que les exploitants de sites chimiques doivent prendre en compte. Certains sites étant équipés des installations de traitement adéquates pour les boues résiduelles, leur traitement est abordé dans le présent document. Le traitement des déchets autres que les boues résiduelles est discuté dans le cadre d'autres documents verticaux pour d'autres secteurs à l'annexe 1 de la directive. Toutefois, le présent BREF n'empiète pas sur le BREF concernant l'incinération des déchets, non encore écrit à ce jour.

Pour éviter autant que possible la duplication du travail et le chevauchement des sujets avec les BREF horizontaux et verticaux concernés, il est nécessaire d'établir des frontières. Par exemple, la frontière entre les BREF verticaux concernant la chimie et le présent document horizontal est illustrée à la figure I dans le cas des eaux usées ; la situation est similaire pour ce qui est des effluents gazeux.

Chemical reaction	Réaction chimique
Work-up	Traitement
Product Isolation	Isolation du produit
Recovery	Récupération
Aqueous residue	Résidu aqueux
Tributary stream treatment	Traitement des flux secondaires
Waste water	Eaux usées
Central treatment systems	Systèmes de traitement central
Reaction mixture	Mélange réactionnel
Auxiliaries, solvents, water	Produits auxiliaires, solvants, eau
Product	Produit
PRODUCTION	PRODUCTION
CONTROL	CONTROLE
horizontal	horizontal
vertical	vertical

Figure I : frontière entre la production et le contrôle, ou entre un BREF vertical et horizontal

Le champ d'application du présent document de référence horizontal recouvre donc :

- La présentation du management environnemental relatif aux eaux usées et aux effluents gazeux, ainsi que ses modalités d'application à un site de la façon la plus avantageuse qui soit pour l'environnement.

- La description des mesures intégrées aux procédés applicables de manière générale (c'est-à-dire appliquées à des fins identiques mais dans un procédé de production différent).
- La description des techniques de traitement appliquées aux eaux usées et aux effluents gazeux, ainsi que leur impact sur l'environnement, leurs performances, leur efficacité, leurs limites, leurs avantages et leurs coûts.
- La description des techniques de traitement des boues résiduelles, lorsque ce traitement est effectué sur le site chimique.
- La description de plans et de solutions, basés sur les informations précédentes, pour garantir que les techniques de traitement des eaux usées et des effluents gazeux et/ou l'association de ces techniques participe à l'application des MTD au fonctionnement d'un site chimique.

Les exemples sont donnés à titre indicatif et présentent des performances pouvant être atteintes pour illustrer les conclusions sur les MTD. L'utilisation de ces exemples n'implique pas que les valeurs spécifiées peuvent être atteintes quelles que soient l'application et les conditions de fonctionnement, mais que les recommandations ou les propositions exposées sont valables de manière générale.

Le présent document concerne avant tout le secteur chimique. Toutefois, le TWG reconnaît que les éléments décrits (outils et systèmes de gestion, techniques de traitement des flux résiduels) contiennent également des informations pouvant intéresser d'autres secteurs. Cependant, l'application de ces informations dans d'autres secteurs doit être soigneusement évaluée au cas par cas.

1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les lois scientifiques générales telles que l'équilibre physique et/ou chimique établissent que la production d'effluents au cours des procédés chimiques (synthèses) est inévitable ; des produits dérivés indésirables doivent donc être évacués. La nature et l'ampleur de ces émissions sont extrêmement variables et dépendent de la composition des matières premières, des produits finis, des produits intermédiaires, des produits auxiliaires, des conditions du procédé, etc.

Les effluents produits au cours de ces procédés se répartissent ainsi :

- les eaux usées,
- les effluents gazeux,
- les résidus solides et liquides,

Les résidus solides et liquides (non aqueux) issus de la production chimique et du traitement des produits sont abordés par ailleurs, généralement dans des BREF verticaux, et ne font pas l'objet du présent document.

Le présent chapitre présente une vue d'ensemble des aspects suivants :

- les effluents gazeux et les eaux usées,
- le management environnemental,
- les technologies de traitement,
- l'impact sur l'environnement du traitement des eaux usées et des effluents gazeux,

sans entrer dans les détails.

1.1 Eaux usées et effluents gazeux dans l'industrie chimique

1.1.1 Eaux usées

D'un point de vue qualitatif, la majorité des eaux usées de l'industrie chimique n'est généralement pas directement issue des étapes de réactions chimiques. Bien que ces réactions puissent produire des eaux usées, par exemple sous forme de condensats ou d'effluents de réaction, les rejets aqueux du traitement physico-chimique ultérieur des mélanges réactionnels sont bien supérieurs. Les produits et/ou les produits intermédiaires de chaque synthèse ou de chaque étape de synthèse sont isolés et épurés par des techniques telles que la filtration et la centrifugation des milieux réactionnels aqueux, ou par traitement des mélanges réactionnels, par exemple parextraction ou distillation.

Les flux d'eaux usées émis directement par les synthèses chimiques (eaux de procédé), sont notamment :

- les liqueurs mères,
- les eaux de lavage de la purification des produits,
- les condensats de vapeur,
- les eaux de refroidissement,
- les eaux usées issues du traitement de l'air extrait des gaz de combustion,
- les eaux usées issues du nettoyage des équipements,
- les eaux usées issues de la production de vide.

Les flux d'eaux usées secondaires provenant d'autres sources du site, notamment :

- le lavage des gaz d'extraction provenant des procédés d'incinération et de combustion,
- le traitement des eaux d'alimentation du procédé,
- la vidange des circuits d'alimentation en eau des chaudières (pouvant contenir des inhibiteurs de corrosion, des biocides ou du tartre),
- la purge des cycles de refroidissement,
- le lavage à contre-courant des filtres,
- les laboratoires et les installations pilotes,
- les ateliers,
- le réseau de collecte des eaux sanitaires usées,
- le réseau de collecte des eaux pluviales provenant des zones polluées,
- les lixiviats des décharges,

participent également à la pollution globale des eaux. Les eaux usées contiennent donc très souvent presque tous les types de polluants présents ou émis au cours des réactions, par exemple :

- les matières premières n'ayant pas réagi,
- les résidus des procédés de production,
- les produits auxiliaires, s'ils ne sont pas extraits des rejets aqueux et récupérés,
- les composés intermédiaires,
- les produits dérivés indésirables.

Si les synthèses sont réalisées en utilisant des solvants organiques et d'autres produits auxiliaires, ceux-ci constituent généralement la majeure partie de la charge de polluant organique transmise aux installations de traitement des eaux usées. Par ailleurs, les produits dérivés et les matières premières sont souvent à l'origine de la fraction faiblement biodégradable de la charge totale des eaux usées.

La majeure partie des eaux usées de procédé (70-90 %) est composée de flux secondaires dont le niveau de pollution est faible [cww/tm/82]. Par exemple :

- les eaux de lavage,
- les eaux usées issues de la production de vide,
- les eaux de lavage provenant du traitement de l'air extrait,
- les eaux usées provenant d'équipements tels que les pompes de production

Les flux secondaires tels que les liqueurs mères, les rejets aqueux initiaux, l'eau de purge des cycles de nettoyage et les condensats de vapeur constituent les 10 à 30 % restants [cww/tm/82].

Lorsque l'on considère la teneur en polluants, le rapport s'inverse. Les flux d'eaux usées secondaires les plus concentrés (10 à 30 % de la quantité totale d'eaux usées) contiennent jusqu'à 90 % de la charge en polluants correspondante [cww/tm/82].

Toutefois, les conséquences des polluants des flux d'eaux usées ne sont pas uniquement fonction de la charge ou de la concentration. L'impact des polluants toxiques et dangereux dont la concentration est proche de la limite de détection peut être plus importante que l'impact de substances non toxiques à haute concentration. C'est pourquoi les eaux usées des sites industriels chimiques peuvent présenter des effets toxiques. De plus, des effets synergétiques de flux distincts n'ayant individuellement aucun effet toxique peuvent être observés lorsque ces flux se mélangent dans le système d'assainissement ou les eaux réceptrices.

Les eaux usées et leur impact sur l'environnement sont généralement caractérisés par :

- la teneur et l'émission de polluant, exprimées par la charge et/ou la concentration d'une substance particulière, par exemple les ions NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , chacun des métaux lourds, les acides et les sels inorganiques, l'huile ;
- l'effet et/ou la dangerosité sur les eaux réceptrices, exprimés au moyen de paramètres de substitution ou de sommes tels que les MES, la DBO, la DCO, les AOX/EOX, les VOX, le pH, la conductivité et la température ;
- l'effet sur les organismes des eaux réceptrices, exprimé par des données de toxicité telles que la toxicité aiguë, la toxicité chronique ou la mutagénicité ;
- les propriétés telles que la charge hydraulique ;

1.1.2 Effluents gazeux

Les effluents gazeux peuvent être divisés en deux catégories : les émissions captées à la source et les émissions non captées à la source (diffuses, fugitives). Seules les émissions captées à la source peuvent être traitées. En ce qui concerne les émissions diffuses et fugitives, l'objectif de la gestion des effluents gazeux est de les éviter et/ou de les réduire (par exemple en les capturant dans un système de canalisations).

Les émissions d'effluents gazeux et d'air extrait dans l'industrie chimique sont :

- les émissions captées à la source, telles que :
 - les émissions des procédés rejetées via une conduite d'aération et qui sont inhérentes au fonctionnement de l'installation ;
 - les gaz de combustion des unités qui fournissent de l'énergie, telles que les fours de procédé, les chaudières à vapeur, les unités de cogénération (combined heat and power units – à confirmer), les turbines à gaz, les moteurs à gaz ;
 - les effluents gazeux des équipements de traitement des émissions tels que les filtres, les incinérateurs ou les adsorbants. Ces effluents sont susceptibles de contenir des polluants résiduels ou générés dans l'unité de traitement ;
 - les gaz résiduels des réacteurs et des condenseurs ;
 - les effluents gazeux issus de la régénération des catalyseurs ;
 - les effluents gazeux issus de la régénération des solvants ;
 - les effluents gazeux des circuits d'aération du stockage et de la manipulation (transferts, chargement, déchargement) de produits finis, de matières brutes et de produits intermédiaires ;
 - les effluents gazeux des circuits de purge ou des équipements de préchauffage, utilisés seulement lors des opérations de démarrage ou d'arrêt ;
 - les rejets des dispositifs de sécurité (soupapes de sûreté, événements de sûreté) ;
 - l'air extrait du système de ventilation général ;
 - l'air extrait des événements issus des captations des sources diffuses et/ou fugitives, par exemple les sources diffuses installées dans une enceinte ou un bâtiment.
- les émissions diffuses (voir glossaire), qui se dégagent de sources ponctuelles, linéaires, surfaciques ou volumiques dans des conditions normales de fonctionnement [cww/tm/158] :
 - les émissions rejetées par les équipements d'un procédé et inhérentes au fonctionnement de l'installation, qui se dégagent d'une grande surface ou à travers des ouvertures, etc. ;

- les émissions non captées à la source (par exemple, les pertes en procédé et par respiration, lorsqu'elles ne sont pas capturées et acheminées vers un système) des équipements de stockage et des opérations de manipulation (remplissage de fûts, de camions ou de conteneurs) ;
 - les émissions occasionnelles, provenant d'opérations autres que celles du fonctionnement courant de l'installation, notamment les émissions au démarrage ou à l'arrêt, et pendant l'entretien ;
 - les émissions des torchères ;
 - les émissions secondaires provenant de la manipulation ou de l'évacuation des déchets (par exemple, matières volatiles des réseaux d'assainissement, des stations d'épuration ou des eaux de refroidissement) ;
- les émissions fugitives (voir glossaire), telles que :
 - les fuites issues des éléments des pompes et des compresseurs tels que les joints, les vannes, les brides, les connecteurs et autres éléments des canalisations, ou bien encore d'autres parties des équipements telles que les bouchons de vidange ou de purge, ou les joints.

Les principaux polluants atmosphériques provenant des procédés chimiques et de l'alimentation en énergie sont :

- le dioxyde de carbone
- les oxydes de soufre (SO_2 , SO_3) et autres composés du soufre (H_2S , CS_2 , COS)
- les oxydes d'azote (NO_x , N_2O) et autres composés d'azote (NH_3 , HCN)
- les halogènes et leurs composés (Cl_2 , Br_2 , HF , HCl , HBr)
- les composés provenant d'une combustion incomplète (CO et C_xH_y)
- les composés organiques volatils (COV) et les composés d'organosilicium, pouvant englober des composés cancérogènes
- les particules (poussières, suie, alcali, métaux lourds) avec éventuellement des propriétés cancérogènes

1.2 Management environnemental concernant les eaux usées et les effluents gazeux

L'importance du management environnemental dans un système de management global ne cesse de croître. Il recouvre la structure organisationnelle, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les procédés et les ressources permettent de développer, de mettre en œuvre, d'atteindre, de réviser et de suivre la politique environnementale d'une entreprise industrielle. Pour ce qui est des eaux usées et des effluents gazeux, il détermine les règles relatives à la définition des concepts (du besoin ?), à la planification, à l'évaluation, à la conception, à la construction, au fonctionnement et à la maintenance d'un site chimique, c'est-à-dire la stratégie permettant d'atteindre l'ensemble des objectifs en lien avec les eaux usées et/ou les effluents gazeux. Il aide à :

- la prise en compte des impacts éventuels sur l'environnement lors de la planification de nouvelles lignes de production ou de l'agrandissement des lignes existantes
- la prise de décisions quant aux procédés de production planifiés
- la prise de décisions quant à la mise en place de mesures intégrées aux procédés
- la prise de décision quant aux filières de production
- la prise de décisions quant au choix des filières d'élimination
- la prise de décision quant à la mise en place d'un traitement ou d'un contrôle centralisé ou décentralisé

- la prise de décision quant à la méthode de limitation de la pollution
- la prise de décision quant à la création d'une infrastructure appropriée ou la modification d'une infrastructure existante, dans le but d'améliorer la qualité des effluents gazeux et/ou des eaux usées
- l'évaluation des impacts croisés des différentes stratégies de traitement
- la prise de décision quant à la prévention des émissions fugitives en remplaçant ou en modifiant les équipements trop anciens dont les fuites tendent à être plus importantes
- la prise de décision quant à la mise en place d'un programme de détection et de réparation des fuites (DRF)

Comme le montrent les quelques exemples ci-dessus, le management environnemental trouve principalement sa finalité dans l'aide à la décision entre plusieurs solutions en fonction d'une situation particulière. Bien sûr les aspects économiques et la compétitivité entrent également en ligne de compte. La principale question à laquelle le management environnemental répond est la suivante : Comment faire fonctionner un site complexe, et gérer ses besoins en ressources et ses rejets tout en minimisant l'ensemble de ses impacts sur l'environnement, avec la plus grande efficacité économique, et sans diminution de la qualité des produits ? Le chapitre 4 sur les conclusions des MTD vise notamment à répondre à cette question.

Pour que l'impact sur l'environnement des eaux usées et/ou des effluents gazeux soit minimal, les exploitants doivent développer une stratégie environnementale intégrée et globale. Il est important que cette stratégie reflète les éléments suivants :

- L'eau est un bien de plus en plus précieux et l'importance du recyclage des eaux résiduaires traitées, lorsque cela est possible voire nécessaire dans certains cas, va crescendo. C'est pourquoi l'objectif du traitement des effluents est de permettre le recyclage ou la récupération de l'eau, ainsi que d'améliorer la qualité des eaux rejetées. Il se peut que le résultat de cette stratégie globale concernant les eaux usées, dans l'analyse finale, soit spécifique au site et applicable uniquement à sa situation particulière. Toutefois, l'approche menant à ce résultat suit le raisonnement décrit aux chapitres 2 et 4.
- Bien que l'air ne soit pas une ressource de plus en plus rare, sa pureté est essentielle à la vie (avec des problèmes cruciaux tels que le changement climatique et le trou de la couche d'ozone). C'est pourquoi davantage d'efforts doivent être faits pour éviter le rejet de polluants dans l'atmosphère, et pour les recycler dans le procédé de production ou les utiliser ailleurs sur le site.
- Contrairement aux eaux usées, certains composants substantiels des effluents gazeux, ceux non captés à la source, ne peuvent pas être traités. Ils doivent être éliminés par des techniques préventives. La gestion des émissions fugitives implique la détection, la mise en œuvre de méthodes de quantification, la sélection des équipements, l'entretien et la maintenance préventive.
- Lors de la planification et de la conception d'un procédé de production, l'objectif premier devrait être la prévention du rejet d'effluents dans l'environnement. Le choix de technologies et de matières premières appropriées aide à atteindre cet objectif.
- Lors de la planification et de la conception d'un système de traitement des effluents gazeux, le choix entre l'utilisation de techniques consommant ou non de l'eau (lavage humide,

biofiltration, réfrigération par refroidissement à eau) est un problème majeur, particulièrement pour les régions où l'eau est rare.

- Si, comme c'est généralement le cas, la prévention totale de la production d'effluents n'est pas possible, il faut alors en minimiser le volume et la nocivité par remplacement des substances dangereuses au sein du procédé de production.
- Si toutes les mesures de prévention sont prises, il faut alors contrôler le rejet inévitable en mettant en place un système de traitement aussi efficace que possible afin de minimiser l'impact total sur l'environnement. Le choix du système de traitement se base sur une évaluation de :
 - l'efficacité de son contrôle
 - ses besoins énergétiques
 - son encombrement
 - la production éventuelle d'effluents gazeux ou d'eaux usées, de déchets et de bruit
 - sa consommation en ressources
 - ses coûts de capital
 - son interaction avec d'autres unités ou avec les problématiques de sécurité
 - ses exigences en matière d'entretien
- La qualité du milieu récepteur des effluents du site industriel peut impliquer des exigences particulières plus strictes quant à la qualité des eaux usées et/ou des effluents gazeux.

La planification des actions ne constitue qu'une partie du management environnemental. L'étape suivante, qui est plus importante, consiste à apporter continuellement des améliorations à une situation donnée, c'est-à-dire à répéter sans cesse les différentes étapes. Cette amélioration continue des performances est en général un engagement de la politique environnementale des compagnies sur les différents sites, et est appuyée par les législations des Etats Membres.

Le management environnemental, ou la gestion des eaux usées et des effluents gazeux, appliqué au contrôle des effluents se fonde sur le principe de limitation voire de prévention de l'introduction dans les systèmes de traitement ultimes de polluants ne pouvant être éliminés..

Les possibilités d'introduction ou d'application du management environnemental sont différentes selon que l'installation est nouvelle ou existante. Dans les nouvelles installations, les mesures de contrôle préventif, le traitement interne de flux séparés et/ou les mesures intégrées aux procédés peuvent être pris en compte de manière efficace dans la phase de conception de l'installation. En ce qui concerne les installations existantes, leur aménagement est généralement plus coûteux, notamment à cause de contraintes techniques et organisationnelles.

Cependant, l'approche et le principe, mais sans doute pas le résultat, du management environnemental tel que proposée dans le présent document sont les mêmes que l'installation soit nouvelle ou existante.

Une description détaillée des systèmes de management environnementaux et des outils pour les mettre en place est donnée au chapitre 2.

1.3 Technologies de traitement

La diversité des sources d'émissions (aqueuses et/ou gazeuses), des polluants et de leur charge rend inévitable la mise en place d'un système de traitements (prévention et/ou contrôle) plus ou moins

complexe, selon la complexité de la production, pour qu'un site chimique puisse fonctionner correctement. Un tel système de traitements doit se baser sur des décisions de management. Il est composé des éléments suivants :

- des mesures intégrées aux procédés, telles que la réutilisation de l'eau, l'économie d'eau et la prévention de la pollution
- un traitement en aval (installations individuelles et/ou centrales)

Le champ d'application du présent document relatif aux techniques de traitement est illustré à la figure 1.1 pour les eaux usées et à la figure 1.2 pour les effluents gazeux. Les lignes verticales représentent les limites du présent BREF horizontal.

Process-integrated measures	Mesures intégrées aux procédés
Waste water techniques	Techniques relatives aux eaux usées
End-of-pipe treatment	Traitement en aval
Individual treatment	Traitement individuel
Central treatment	Traitement central
Final treatment	Traitement final
Pre-treatment	Prétraitement
Recipient	Eaux réceptrices

Figure 1.1 : techniques de traitement des eaux usées

Les flèches de la figure 1.1 représentent l'écoulement des eaux usées. Toutefois, il est à souligner que cette illustration ne suggère en aucun cas que des unités de prétraitement sont nécessaires lorsqu'une installation centrale de traitement est employée.

Waste gaz techniques	Techniques relatives aux effluents gazeux
For ducted emissions	pour les émissions captées à la source
For fugitive and diffuse emissions	pour les émissions fugitives et diffuses
End-of-pipe treatment	Traitement en aval
Individual treatment (with or without pretreatm.)	Traitement individuel (avec ou sans prétraitement)
Group treatment (with or without pretreatm.)	Traitement collectif (avec ou sans prétraitement)
Central treatment (with or without pretreatm.)	Traitement central (avec ou sans prétraitement)
Process-integrated measures	Mesures intégrées aux procédés
Capture	Captage
STACK	CHEMINEE

Figure 1.2 : techniques de traitement des effluents gazeux

La figure 1.2 fait apparaître que les émissions fugitives et diffuses sortent du champ d'application du présent document. Lorsqu'il est possible de capter les émissions fugitives et diffuses, elles entrent dans le circuit des techniques de traitement des émissions captées à la source.

1.3.1 Mesures intégrées aux procédés

Bien que, à proprement parler, les mesures intégrées aux procédés pour la prévention ou la réduction du rejet de polluants via les eaux usées et les effluents gazeux entrent dans le cadre de BREF verticaux, elles sont néanmoins mentionnées dans le présent document horizontal lorsqu'elles sont

applicables de manière générale aux procédés de production chimique. Elles font partie bonnes pratiques de management et doivent être prises en compte lors de la mise en œuvre d'un système de management des eaux usées et des effluents gazeux sur un site.

La protection environnementale bascule de techniques en aval vers des méthodes intégrées au procédés ou à la production. Les mesures intégrées aux procédés permettent une amélioration significative pour l'environnement, que ce soit dans les installations existantes ou dans les installations nouvelles. Leur but est de réduire, voire éviter, la production de résidus directement à la source, avant même d'être rejetés. Bien souvent, ces améliorations apportées aux procédés permettent de diminuer les coûts des mesures de traitement supplémentaires et d'augmenter l'efficacité économique grâce à l'augmentation du rendement de la production et/ou la réduction la consommation de matières premières. Les coûts d'évacuation et les limites des traitements en aval participent également à cette orientation vers les mesures intégrées aux procédés. Bien que la prévention des rejets, et donc la mise en place de mesures intégrées aux procédés, voient leur importance grandir, les techniques de traitement des effluents resteront un facteur essentiel du contrôle des émissions dans l'environnement, principalement lorsque les mesures intégrées aux procédés ne sont pas applicables à la production existante.

Une protection environnementale intégrée aux procédés correcte fait appel à toutes les techniques physiques, chimiques, biologiques et d'ingénierie possibles pour la prévention, la réduction et le recyclage des résidus.

Exemples :

- nouvelles voies de synthèse
- utilisation produits de départ ou de produits auxiliaires plus purs ou différents
- utilisation de combustibles plus purs ou différents
- optimisation des étapes des procédés
- améliorations de la technologie des installations, du contrôle des procédés et des séquences de réaction
- adaptations techniques des procédés
- amélioration de l'utilisation des catalyseurs et/ou des solvants
- recyclage des produits auxiliaires (par exemple, eaux de lavage, gaz inertes, solvants, catalyseurs)
- recyclage des résidus au cours du procédé
- utilisation des résidus comme matière première dans d'autres lignes de production (intégration des produits sur place ou non)
- utilisation des résidus pour la production d'énergie

À l'évidence, le développement de nouvelles voies de synthèse dans les installations existantes restera une exception, essentiellement pour des raisons économiques, et sera restreinte aux produits en vrac ou à haute valeur économique. En pratique, la protection environnementale intégrée à la production continuera à progresser comme la somme de nombreuses améliorations indépendantes et parfois minimales apportées au fil du temps.

1.3.2 Techniques de traitement en aval

Les techniques en aval regroupent les techniques de traitement des flux résiduels émis par un procédé ou une unité de stockage, ou tout ou partie d'une zone, destinées à en réduire la teneur en polluants (voir figures 1.1 et 1.2).

1.3.2.1 Traitement des eaux usées

Les mesures intégrées aux procédés étant généralement mises en place dans les nouvelles installations ou les nouveaux procédés de production, pour des raisons économiques (coûts de capital élevés) ou pour des raisons relatives à l'aménagement (manque d'espace, par exemple), l'industrie chimique et la plupart des autres secteurs industriels se résolvent à utiliser des techniques de traitement en aval afin de réduire les eaux usées et leur charge en polluants. Ces techniques englobent le prétraitement ou le traitement final de flux d'eaux usées séparés, et le traitement central d'eaux usées collectées avant déversement dans des eaux réceptrices.

Les différentes techniques de traitement en aval des eaux usées et leur applicabilité pour contrôler les principaux polluants de l'industrie chimique sont répertoriées dans le tableau 1.1.

Technique	MES	DBO DCO COT	DCO réfractaire	AOX EOX	N- total	NH ₄ - N (NH ₃)	PO ₄ -P	Métaux lourds	Phénols	Huile
Décantation ^{a j}	X	(X)						(X)		
Aérofloitation ^{b j}	X	X						(X)		X
Filtration ^{a j}	X	(X)						(X)		
MF/UF ^{c a}	(X)	(X)								
Séparation de l'huile		X								X
Précipitation							X	X		
Cristallisation							X	X		
Oxydation chimique		X	X	X						
Oxydation à l'air humide		X	X	X					X	
SCWO		X	X	X					X	
Réduction chimique										
Hydrolyse chimique										
NF/OI		X	X	X				X		
Adsorption		X	X	X				X		
Échange d'ions ^d		(X)						X		
Extraction		X	X	X						
Distillation/rectification		X	X	X						
Évaporation ^e		(X)						X		
Stripping ^f		(X)		X		X				
Incinération ^{g k}		X	X	(X)		X		(X)	X	X
Traitement biologique anaérobie ^{h h l}		X		(X)	(X)			X		
Traitement biologique aérobie ^h		X		(X)			X		X	
Nitrification/dénitrification					X	X				

^a	solide uniquement
^b	contenu organique non dissous
^c	finement dispersées et concentration faible
^d	espèces ioniques organiques
^e	contenu organique non volatil
^f	contenu organique volatil
^g	nécessite un incinérateur particulier
^h	fraction biodégradable uniquement
^j	composés de métaux lourds non dissous
^k	transférés dans les cendres ou les eaux usées de l'incinérateur
^l	combinés au sulfate précipité sous forme de sulfures

Tableau 1.1 : principaux polluants des eaux usées et leurs techniques de traitement  **Objectives**

Les sites de production chimique complexes disposent généralement d'un important système de collecte et de traitement des eaux de procédé. Le traitement des eaux usées peut se faire selon différentes approches présentant toutes des avantages et des inconvénients, selon la situation :

- les stations d'épuration décentralisées, qui traitent l'effluent aqueux à la source et le déversent dans des eaux réceptrices (en d'autres termes, pas de station d'épuration centrale sur le site) ;
- le traitement central des eaux usées, généralement dans une station d'épuration centrale ;
- la station d'épuration centrale, avec prétraitement à la source, en amont, des flux secondaires ;
- le déversement des eaux usées dans une station d'épuration municipale ;
- le déversement des eaux usées dans une station d'épuration municipale avec prétraitement à la source sur le site ;

ces deux derniers points sont respectivement des situations particulières de chacun des deux points précédents.

Les avantages du traitement décentralisé des eaux usées ou du traitement à la source (ou les inconvénients du traitement centralisé des eaux usées) sont les suivants :

- Les exploitants des différentes installations de production se montrent plus concernés par le problème des effluents produits lorsqu'ils sont tenus directement responsables de la qualité du déversement de leurs propres eaux usées.
- La flexibilité est plus meilleure en cas de forte charge de travail ou pour réagir face à des changements de conditions.
- Les installations de traitement à la source sont réalisées sur mesure ; les performances sont donc généralement meilleures.
- Contrairement au traitement biologique central, il n'y a pas, ou peu, de boues activées excédentaires à évacuer.
- Les performances de traitement des techniques non biologiques sont indépendantes de la biodégradabilité des flux d'eaux usées.
- La dilution due au mélange des flux d'eaux usées est évitée, ce qui se traduit généralement par une efficacité plus élevée du traitement, etc.
- Le ratio avantages-coûts peut être bien supérieur dans le cas d'un traitement de flux secondaires par rapport à un traitement central.

Le recours au traitement décentralisé des eaux usées est préférable lorsque des flux d'eaux usées secondaires présentant des propriétés complètement différentes sont à traiter.

Les principaux avantages d'une station d'épuration centrale (ou les inconvénients des installations de traitement décentralisées) sont les suivants :

- mise en œuvre d'effets synergétiques grâce au mélange d'eaux usées biodégradables, c'est-à-dire d'effets qui permettent la dégradation microbiologique de polluants particuliers en les mélangeant à d'autres (ou même en les diluant avec d'autres flux d'eaux usées), alors que les flux secondaires présentent individuellement une faible biodégradabilité.
- mise en œuvre d'effets dûs au mélange, tels que la modification du pH ou de la température.
- utilisation plus efficace des agents chimiques (nutriments, par exemple) et des équipements, impliquant une baisse des coûts d'exploitation correspondants.

Les eaux usées des sites industriels chimiques sont également traitées conjointement aux eaux usées municipales, que ce soit dans des stations d'épuration municipales communes ou dans des stations construites spécialement pour le traitement conjoint des eaux usées industrielles et municipales. Le traitement conjoint est généralement réalisé de telle manière que les eaux usées industrielles subissent d'abord une étape de haute performance (charge élevée), avant d'être rejointes par les eaux usées municipales dans une deuxième étape biologique (charge faible). Les raisons à cela sont que les eaux usées industrielles présentent une charge organique initiale élevée et que les taux de dégradation des eaux usées ont tendance à diminuer lors de la dilution.

L'expérience montre que le traitement conjoint des eaux usées municipales et de l'industrie chimique ne présente généralement pas, du moins dans une première approximation, d'effets synergétiques ou antagonistes sur les eaux réceptrices [cww/tm/82] (un exemple contraire de fonctionnement coordonné d'une station d'épuration chimique et municipale est décrit à l'annexe 7.1). Les charges de polluants évacués s'ajoutent généralement.

Les avantages [cww/tm/82] du traitement conjoint des eaux usées peuvent être :

- la stabilité fonctionnelle du traitement biologique conjoint peut être influencée de manière positive par :
 - l'amélioration des conditions nutritives
 - l'optimisation de la température des eaux usées et donc de les cinétiques de dégradation
 - l'égalisation de la charge d'alimentation, pour autant que les courbes journalières d'évolution de la charge des deux flux d'eaux usées soient structurées en conséquence, ou puissent être mises en correspondance
 - la suppression des effets toxiques et inhibiteurs des constituants des eaux usées en abaissant les concentrations en dessous des seuils critiques
- le traitement conjoint des eaux usées et des boues activées excédentaires peut, dans certains cas, permettre de réaliser des économies au niveau des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation

Les inconvénients peuvent être :

- En cas de fortes précipitations, les systèmes avec réseau d'évacuation unique et sans bassin tampon approprié peuvent subir une surcharge hydraulique qui peut aboutir à une augmentation du rejet de polluants accompagnée d'une perte des bactéries des boues activées de la station d'épuration centrale WWTP [cww/tm/82].

- Des perturbations de fonctionnement peuvent diminuer l'efficacité du nettoyage, ce qui se traduit par une augmentation de la pollution des eaux liée à un traitement insuffisant des flux d'eaux usées municipaux et industriels [cww/tm/82].
- Un certain nombre de produits chimiques peuvent, même si leur concentration est faible, bloquer la nitrification. Lorsque l'étape de nitrification est ainsi perturbée, plusieurs semaines peuvent être nécessaires avant de pouvoir obtenir à nouveau une élimination suffisante de l'azote. Ainsi, pour minimiser le risque pour le traitement conjoint des eaux usées, il est très important d'étudier et de surveiller avec soin la présence de facteurs gênants ou inhibiteurs dans les flux d'eaux usées industriels [cww/tm/82].
- Le traitement conjoint des eaux usées de différentes origines présente le risque que des polluants persistants tels que les métaux lourds et les composés non biodégradables puissent échapper au contrôle, et parfois même à la détection, à cause de la dilution. Ces polluants sont rejetés dans les eaux réceptrices sans être dégradés, sont adsorbés sur les boues activées ou sont dégazées à l'atmosphère pendant l'aération. Ceci est contraire à l'obligation de prévenir ou contrôler ces substances à la source. Cet inconvénient s'applique à toutes les étapes de traitement des flux d'eaux usées conjoints.
- Le traitement conjoint peut produire des boues trop polluées pour qu'elles puissent être utilisées ou traitées par la suite, par exemple par digestion anaérobie.

Un autre aspect important de la gestion des eaux usées concerne le traitement des eaux pluviales et de rinçage. En Europe, un certain nombre de complexes chimiques relativement anciens ne disposent que d'un seul réseau d'assainissement qui collecte les eaux pluviales, de rinçage, de refroidissement et de procédé, et les achemine vers les installations de traitement. Plus particulièrement pendant les périodes de fortes pluies, ceci peut perturber le fonctionnement de la station d'épuration et augmenter les rejets. Les sites chimiques modernes disposent généralement d'un réseau d'assainissement séparatif pour les eaux de pluies non polluées et les eaux de refroidissement. Pour plus de détails, se reporter à la section 3.3.4.4.

1.3.2.2 Traitement des effluents gazeux

Les techniques de traitement des effluents gazeux se concentrent généralement sur la réduction :

- des particules
- des vapeurs des substances liquides volatiles
- des polluants atmosphériques gazeux

Le traitement des effluents gazeux est généralement effectué directement à la source. Il est rare que des effluents gazeux présentant des caractéristiques différentes puissent être traités simultanément dans une seule unité de traitement central. L'une des principales raisons à cela est le fait que les unités de traitement sont généralement conçues pour des effluents gazeux d'une composition bien précise. Une autre raison également importante est l'attention particulière à apporter au rejet des composés toxiques et nocifs, et à leur impact sur l'environnement immédiat et sur la sécurité de l'installation. Dans l'industrie chimique, étant donné la toxicité et/ou le caractère dangereux de nombreux composés, ainsi que les volumes importants à manipuler et à mettre en œuvre, la sécurité est un élément fondamental.

Le choix des techniques en fonction des polluants est détaillé au tableau 1.2, et en fonction du débit de l'effluent gazeux au tableau 1.3 [cww/tm/70 pour les deux].

							odeurs
composés organiques sous forme de gaz ou de vapeur							
composés inorganiques sous forme de gaz ou de vapeur							
particules organiques							
particules inorganiques							
matière humide							
matière sèche							
Technique							
Récupération et destruction des poussières							
Séparateur (pré)	x	x	x	x			
Cyclone (pré)	x	x	x	x			
Dépoussiéreur par voie humide (TF)	x	x	x	x			
Electrofiltre (TF)	x	x	x	x	(x)	(x)	
Filtre à fibres textiles (y compris en céramique) (TF)	x		x	x			
Filtration catalytique (TF)	x	x	x	x		x	
Dépoussiéreur à deux étages (finit.)	x		x	x			
Filtre absolu (HEPA) (finit.)	x		x	x			
Filtre à air à haute efficacité (HEAF) (finit.)		x					
Filtre dévésiculeur (pré, finit.)		x			(x)		
Récupération des gaz							
Séparation par membrane (pré)						x	
Condenseur (pré)					(x)	x	
Cryocondensation (pré, TF)					(x)	x	(x)
Adsorption (TF)					x	x	x
Laveur humide (eau) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
Laveur humide (solution alcaline) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x

Laveur humide (oxydation alcaline) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)			x
Laveur humide (solution acide) (TF)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
Destruction des gaz							
Biofiltration (TF)					x	x	x
Biolavage (TF)					x	x	x
Filtre percolateur (TF)					x	x	x
Oxydation thermique (TF)				x		x	x
Oxydation catalytique (TF)						x	x
Combustion en torchère (TF)						x	x
Traitement des gaz de combustion							
Injection d'alcali par voie sèche (TF)					x		
Injection d'alcali par voie semi-sèche (TF)					x		
Injection de lait de chaux par voie humide (TF)					x		
RNCS (TF)					x		
RCS (TF)					x	(x)	
x = application primaire (x) = application secondaire (pré) : principalement comme installation de prétraitement (TF) : technique de traitement employée comme traitement final (finit.) : principalement comme finition après techniques standards							

Tableau 1.2 : sélection de techniques d'épuration des émissions d'effluents gazeux selon le polluant à éliminer

Technique	100 [Nm ³ /h]	1 000 [Nm ³ /h]	10 000 [Nm ³ /h]	100 000 [Nm ³ /h]
Récupération et destruction des poussières				
Séparateur	x	x	xx	xx
Cyclone	x	xx	xx	x
Dépoussiéreur par voie humide		x	xx	xx
Électrofiltre (un champ)			x	x
Filtre à fibres textiles	x	x	xx	xx
Filtre en céramique		xx	x	x
Filtration catalytique	x	x	x	
Filtre dépoussiéreur à deux étages		x	x	
Filtre absolu (HEPA)	x	x		
HEAF	xx	xx	x	

Filtre dévésiculeur		X	XX	XX
Récupération des gaz				
Filtration par membrane				
Condenseur	X	X	XX	X
Cryocondensation	X	X		
Adsorption	X	XX	XX	X
Laveur humide (eau)	X	X	XX	XX
Laveur humide (solution alcaline)	X	X	XX	XX
Laveur humide (oxydation alcaline)	X	X	XX	X
Laveur humide (solution acide)	X	X	XX	XX
Destruction des gaz				
Biofiltration	X	XX	XX	XX
Biolaveur	X	X	X	X
Filtre percolateur	X	X	X	X
Oxydation thermique		X	XX	
Oxydation catalytique		X	XX	
Traitement des gaz de combustion				
Injection d'alcali par voie sèche			XX	X
Injection d'alcali par voie semi-sèche			X	XX
Injection de lait de chaux par voie humide		X	X	X
RNCS	X	X	X	X
RCS		X	XX	XX
x = application xx = applications les plus courantes				

Tableau 1.3 : sélection de techniques d'épuration des émissions d'effluents gazeux selon le débit de l'effluent gazeux

1.4 Impact environnemental et interdépendances du traitement des eaux usées et des effluents gazeux

Bien qu'en général les systèmes de traitement des eaux usées soient là pour réduire la pollution, leur fonctionnement a son propre impact sur l'environnement. Ce sont les flux pollués par des composés organiques volatils (COV) et par des composés inorganiques volatils (par exemple : ammoniac, sulfure d'hydrogène, chlorure d'hydrogène) qui sont particulièrement à l'origine d'émissions atmosphériques lors du traitement des eaux usées. Lorsque de tels flux d'eau sont en contact direct avec l'atmosphère, des émissions (odorantes) de ces composés peuvent survenir. Il est nécessaire d'apporter une attention toute particulière à l'aération des bassins de traitement biologique des eaux usées, des procédés d'agitation, des bassins tampons ouverts, des bassins de décantation et des installations de stripping. Dans ces cas-là, l'émission de polluants peut être déplacée du milieu aqueux vers l'atmosphère. C'est pourquoi un traitement supplémentaire des effluents gazeux peut être requis. Des émissions atmosphériques peuvent également se dégager lors du mélange de flux d'eau à des températures différentes, ou lors de l'ajout d'acides ou d'alcalis destinés à ajuster le pH.

Les impacts environnementaux potentiels des stations d'épuration sur les différentes thématiques environnementales sont brièvement décrites au tableau 1.4 [cww/tm/84].

Thématique environnementale	Effet/émission potentiel(le)
Air	<ul style="list-style-type: none"> • Évaporation/formation d'odeurs (H₂S, NH₃, mercaptanes, etc.). • Formation d'aérosols. • Emission accidentelle de micro-organismes potentiellement dangereux issu de l'installation de traitement. • Émissions de COV (évaporés ou dégazé du milieu aqueux). • Lorsque du biogaz est produit et qu'il n'est pas utilisé comme combustible pour la production d'énergie, il est brûlé en torchère, avec production d'émissions atmosphériques.
Eau	<ul style="list-style-type: none"> • En principe, réduction significative des effluents aqueux. • Lorsque des eaux pluviales sont traitées en même temps que des eaux de procédé, le système de traitement peut s'engorger en cas de fortes précipitations, ce qui peut provoquer une émission de polluants supplémentaire, le système de traitement ne fonctionnant pas correctement.
Déchets	<ul style="list-style-type: none"> • Boues issues du traitement des eaux usées et solutions de lavage.
Autre	<ul style="list-style-type: none"> • Les stations d'épuration centrales consomment de l'énergie. Dans certains cas, du biogaz est produit. Il peut être utilisé comme source d'énergie.

Tableau 1.4 : impacts potentiels des installations de traitement des eaux usées

La consommation d'énergie et la production de boues sont également des points importants à considérer en ce qui concerne les techniques de traitement des eaux usées. La production et le traitement des boues (déshydratation et incinération, par exemple) représentent une part importante des besoins énergétiques et de l'impact sur l'environnement d'une station d'épuration. Toutefois, il existe des systèmes de traitement dont le bilan énergétique est positif. Par exemple, dans les unités de traitement biologique anaérobie, le gaz produit par le traitement (biogaz) peut être utilisé comme combustible. Si ce n'est pas possible, il doit être brûlé en torchère, d'où un rejet de polluants dans l'atmosphère.

Les éléments mentionnés dans le paragraphe précédent concernant les systèmes de traitement des eaux usées s'appliquent aussi aux technologies de traitement des effluents gazeux. Les impacts environnementaux concernés sont les émissions dans les milieux aqueux et atmosphériques. Les techniques d'épuration par voie humide, par exemple, impliquent une étape ultérieure de traitement des eaux usées. L'oxydation d'un effluent gazeux produit un gaz de combustion contenant des polluants gazeux absents de l'effluent d'origine, qui peut nécessiter un traitement supplémentaire. Tout comme pour le traitement des eaux usées, le fonctionnement des installations de traitement des effluents gazeux impliquent des consommations d'eau et d'énergie. Dans certaines conditions climatiques, la consommation d'eau peut s'avérer être un problème fondamental. Ces considérations sont brièvement décrites au tableau 1.5.

Thématique environnementale	Effet/émission potentiel(le)
Air	<ul style="list-style-type: none"> • En principe (et en premier lieu), réduction significative des émissions de polluants. • Les COV sont remplacés par les gaz de combustion polluants, par exemple les oxydes de carbone, les halogénures d'hydrogène, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les dioxines, dans le cas où

	l'oxydation thermique ou catalytique est employée. <ul style="list-style-type: none"> • Émissions des torchères.
Eau	<ul style="list-style-type: none"> • Les procédés de lavage et d'absorption transfèrent des polluants du milieu atmosphérique vers le milieu aqueux. • Certains procédés de traitement nécessitent une très grande quantité d'eau (lavage, procédé de condensation utilisant l'eau
Déchets	<ul style="list-style-type: none"> • Boues produites par le traitement secondaire des eaux usées provenant du traitement des effluents gazeux. • Résidus des installations de traitement des effluents gazeux (par exemple, résidus solides séparés, liquide condensé non recyclé, adsorbant ou catalyseur épuisé).
Autre	<ul style="list-style-type: none"> • Les installations de traitement des effluents gazeux consomment de l'énergie.

Tableau 1.5 : impacts potentiels des installations de traitement des effluents gazeux

Outre les torchères et les oxydateurs thermiques et catalytiques, il existe un grand nombre d'installations environnementales et de sécurité dans l'industrie chimique. Ces installations visent à réduire l'impact sur l'environnement ou à améliorer la sécurité du fonctionnement de l'installation. Elles peuvent aussi bien être des équipements très simples que des unités de traitement complexes.

En général, les effets globaux des installations environnementales et de sécurité sont positifs. C'est pour cela qu'on les installe. Toutefois, à cause des lois fondamentales de conservation, la plupart des techniques de traitement peuvent avoir, outre leur capacité de purge, des impacts négatifs sur l'environnement. Parmi ces impacts croisés se trouvent les déchets produits par les filtres, les eaux usées issues des laveurs et l'augmentation de la consommation en énergie à cause du fonctionnement des systèmes de traitement. Il est difficile d'évaluer le seuil à partir duquel les effets positifs d'une installation de traitement sont supérieurs à ses effets négatifs, étant donné l'énorme influence des conditions locales. En règle générale, la priorité doit être accordée à la qualité de l'environnement immédiat et à la sécurité. De plus, il est généralement admis que les polluants doivent être de préférence dans l'état le plus concentré et le plus maîtrisable possible. Cela permet d'optimiser leur recyclage, leur traitement postérieur ou leur évacuation.

En résumé, les traitements des eaux usées et des effluents gazeux, outre leurs propres impacts sur l'environnement, présentent entre eux différentes interactions :

- Plusieurs techniques de traitement des eaux usées produisent des émissions gazeuses qui doivent être captées et acheminées jusqu'à des installations de traitement des effluents gazeux en aval, ce qui implique souvent des étapes de construction complexes.
- Les techniques de traitement des effluents gazeux produisent des effluents aqueux et/ou gazeux qui doivent être traités en conséquence.

Chaque élément (les rejets gazeux pour les installations de traitement des effluents gazeux et les rejets aqueux pour les stations d'épuration) peut avoir un impact sur les installations existantes en aval, bien que dans la plupart des cas, cette influence se limite à une faible augmentation de la charge. L'évaporation par voie humide des gaz extraits ou le stripping des composés volatils des stations d'épuration sont des contre-exemples.

2 MANAGEMENT DES EAUX USÉES ET DES EFFLUENTS GAZEUX

Le chapitre 2 précise la description générale présentée au chapitre 1 et décrit les différents aspects du management des eaux usées et des effluents gazeux dans le cadre de la directive IPPC. Le présent chapitre insiste sur l'importance du management pour atteindre un haut niveau de protection de l'environnement dans son ensemble, au niveau d'un site ou d'une installation chimique. Lorsque cela est possible, l'approche conjointe des émissions aqueuses et gazeuses est maintenue ; il n'est fait référence au milieu que lorsque des outils et des stratégies spécifiques au milieu sont traités.

Dans le présent chapitre, le management environnemental se définit comme étant l'interaction entre les systèmes de management et les outils de management. Il n'est pas limité aux problèmes relatifs aux eaux usées et aux effluents gazeux, mais aux implications issues des exigences de la directive IPPC. Dans le cas contraire, les objectifs d'une approche intégrée ne pourraient pas être atteints.

La mise en œuvre d'un système de management environnemental sur un site particulier dépend de l'impact sur l'environnement des activités pratiquées sur ce site. Il est par ailleurs nécessaire de prendre en compte la situation environnementale spécifique au site et à ses alentours. Le présent chapitre présente la planification et les outils adéquats permettant de mettre en place un système de management environnemental valable pour les sites chimiques.

2.1 Système de management environnemental (SME)

Comme nous l'avons évoqué au chapitre 1, l'importance du management environnemental, auquel il est souvent fait référence au travers du « management de la santé, de la sécurité au travail et de l'environnement (SSE) », ne doit pas être surestimée. Il présente de nombreux avantages, notamment :

- un meilleur aperçu des aspects environnementaux de l'entreprise ;
- une base plus solide pour la prise de décisions ;
- une plus grande motivation du personnel ;
- des possibilités supplémentaires de réduction des coûts d'exploitation et d'amélioration de la qualité des produits ;
- une amélioration des performances environnementales ;
- une meilleure image de marque pour l'entreprise ;
- la réduction de l'assujettissement aux taxes, des coûts des assurances et des risques de non-conformité réglementaires ;
- un plus grand attrait de l'entreprise vis-à-vis des employés, des clients et des investisseurs ;
- une amélioration des relations avec les autorités et les associations de défense de l'environnement.

De manière générale, un SME repose sur la mise en boucle d'actions stratégiques, comme l'illustre la figure 2.1 [cww/tm/132]. Ces actions sont [cww/tm/132] :

- la politique environnementale, c'est-à-dire une déclaration publique, approuvée par le plus haut niveau de la direction, qui traite des intentions, des principes d'action et des objectifs qui orientent le management de l'organisme à l'égard de l'environnement ;
- l'organisation et la structure nécessaires à la mise en œuvre de la politique environnementale de l'organisme ;
- un registre exhaustif des standards de l'organisme et de la législation applicables ;
- un programme de surveillance et mesures périodiques avec enregistrement des résultats ;
- la création d'un programme environnemental pour le site, sur la base d'objectifs globaux à long terme définis sur le meilleur niveau de performances susceptible d'être atteint ainsi que sur la base des impacts réels et mesurés sur l'environnement ;
- des audits environnementaux ;

- un passage en revue périodique du SME qui permet de s'assurer que ce dernier est toujours approprié et efficace, le résultat modifiant si besoin la politique environnementale, fermant et ouvrant ainsi la boucle d'amélioration.

EMS	SME
Policy	Politique
Organisation	Organisation
Standards	Exigences légales et autres
Monitoring	Contrôle
Programmes	Programmes
Audits	Audits
Review	Revue de direction

Figure 2.1 : boucle du système de management environnemental  (E)

Cette boucle met en évidence le fait que le SME n'est pas un processus déterminé une fois pour toutes, mais un processus itératif qui permet d'optimiser la situation ou l'attitude à l'égard de l'environnement d'un organisme ou d'un site d'activités industrielles.

Les référentiels existants pour le SME sont notamment :

- ISO 9001/14001 (Organisation internationale de normalisation) ;
- EMAS (Règlement (CE) no 761/2001 du Parlement européen et du Conseil du 19 mars 2001, Système communautaire de Management Environnemental et d'Audit), qui intègre les exigences de la norme ISO 14001 ;
- Responsible Care® (industrie chimique) ;
- Charte des entreprises pour le développement durable (Chambre internationale de commerce - ICC) ;
- lignes directrices du CEFIC pour la protection de l'environnement (Conseil européen des industries chimiques).

Le présent document n'a pas pour objectif de fournir une description détaillée d'un SME complet pour un site chimique, c'est pourquoi, dans le présent document, le terme SME fait uniquement référence à ses implications relatives à la gestion des eaux usées et des effluents gazeux dans le cadre de la directive IPPC.

Le SME est un excellent moyen d'amélioration de l'ensemble des performances environnementales d'un site industriel. Il offre à la direction d'une entreprise la possibilité :

- d'avoir un aperçu des mécanismes pollueurs des procédés de production ;
- de prendre des décisions averties concernant les actions environnementales ;
- d'éviter les solutions provisoires et l'absence de retours sur investissement ;
- d'agir de façon appropriée et pro-active concernant les nouveaux développements en matière environnementale.


Le SME suit généralement la stratégie d'un processus cyclique :

- analyse ou caractérisation/évaluation de la pollution issue des procédés de fabrication pour comprendre comment la pollution est produite, au moyen d'outils décrits à la section 2.2.1.
- identification de la possibilité de réduire la pollution au moyen de mesures telles que :
 - la prise en compte des impacts sur l'environnement lors de la planification de nouvelles lignes de production ou de l'agrandissement des lignes existantes ;

- la révision de la conception de la technologie de procédé, c'est-à-dire, par exemple, changer pour une technologie plus propre, utiliser des matières premières plus propres et/ou améliorer les équipements du procédé ;
- les mesures de prévention intégrées aux procédés ;
- le recyclage ou la récupération de certains déchets ;
- l'amélioration de la collecte et du contrôle des émissions, par exemple la réduction des rejets grâce à un prétraitement ;
- les mesures en aval ;
- l'évaluation des traitements en aval centralisés par rapport aux traitements en aval décentralisés ;
- évaluation des solutions les plus efficaces, en prenant en compte :
 - les impacts et les bénéfices pour l'environnement, notamment le rendement d'épuration global et l'équilibre global des impacts croisés ;
 - la faisabilité technique, organisationnelle et financière ;
 - les contraintes et les solutions propres au site (l'encombrement de l'installation par rapport à la place disponible, la qualité du milieu récepteur) ;
 - les problèmes de sécurité ;
 - les ressources et les utilités nécessaires ;
- réalisation de l'objectif et suivi de son avancement conformément à un plan d'action qui contient les éléments suivants :
 - le calendrier des actions ;
 - la responsabilité des actions ;
 - les données à évaluer ;
 - la méthode et la fréquence du contrôle ;
 - les lignes directrices pour le suivi et l'évaluation des actions, suivis de l'évaluation des résultats.

Le cycle est illustré à la figure 2.2. L'évaluation des résultats relance le cycle puisque, comme mentionné précédemment, le SME est un processus itératif.

Pollution characterisation and evaluation	Caractérisation et évaluation de la pollution
Identification of options for improvement	Identification des solutions d'amélioration
Execution, monitoring and evaluation	Exécution, contrôle et évaluation
Assessment of most effective options	Évaluation des solutions les plus efficaces

Figure 2.2 : stratégie d'un SME orienté 

Une partie du SME porte sur l'évaluation des impacts sur l'environnement dès les premières étapes de planification du développement de procédés et/ou de nouvelles activités. Cette évaluation doit permettre de répondre aux questions suivantes en utilisant le cycle de la figure 2.2 :

- Quelles sont ou quelles peuvent être leurs impacts ?
- Que deviennent les déchets ?
- Peuvent-ils être traités dans les installations existantes ?
- Sont-ils toxiques (très toxiques) pour le milieu récepteur ou les installations de traitement existantes ?
- Peuvent-ils ou doivent-ils être évités ?

La mise en œuvre d'un SME est une procédure complexe, car le cycle de la figure 2.2 doit être suivi pour chaque unité de procédé en considérant tous les aspects environnementaux contribuant au résultat de l'ensemble du site. La figure 2.3 donne un aperçu de cette complexité. Il est à noter que seuls quelques aspects environnementaux essentiels (stratégie de l'usine orientée traitement de la pollution) et deux unités opérationnelles différentes sont inclus. Les étapes 1 à 4 correspondent à celles de la figure 2.2.

Individual process unit 1	Unité de procédé 1
Individual process unit 2	Unité de procédé 2
Characterisation of off-gas	Caractérisation des effluents gazeux
Characterisation of WW	Caractérisation des eaux usées
Characterisation of waste	Caractérisation des déchets
Preventive approach & identify options	Approche préventive et identification des possibilités
First step	Première étape
Identify off-gas treatment opportunities	Identification des possibilités de traitement des effluents gazeux
Identify waste treatment opportunities	Identification des possibilités de traitement des déchets
Identify WW treatment opportunities	Identification des possibilités de traitement des eaux usées
Second step	Deuxième étape
Assessment of off-gas treatment scenarios	Évaluation des scénarios de traitement des effluents gazeux
Assessment of WW treatment scenarios	Évaluation des scénarios de traitement des eaux usées
Assessment of waste treatment scenarios	Évaluation des scénarios de traitement des déchets
Third step	Troisième étape
Evaluation	Évaluation
Fourth step	Quatrième étape
Step 1	Étape 1
etc.	etc.

Figure 2.3 : Complexité d'un SME orienté 

La mise en place du SME s'achève grâce à l'avis d'experts aidés dans leur tâche par des outils de gestion. Les différents types d'outils sont présentés et détaillés à la section 2.2.

2.2 Outils de management

Pour réaliser un SME en suivant la boucle de l'amélioration continue (voir la figure 2.1), plusieurs types d'outils (de management et d'ingénierie) sont utilisés. Ils peuvent être classés ainsi :

- Les outils d'inventaire, fournissant des informations détaillées sur l'emplacement, la production, les conditions environnementales, les émissions, etc. concernant le site chimique. Ils aident à la détection des émissions qui peuvent être évitées ou réduites.
- Les outils opérationnels, qui aident à la prise de décisions quant à la planification, la conception, l'installation, le fonctionnement et l'amélioration de la prévention de la pollution et/ou des installations de traitement.
- Les outils stratégiques, portant sur l'organisation et le fonctionnement intégrés du traitement des émissions sur l'ensemble du site chimique.
- Les outils de sécurité ou d'intervention en cas d'urgence, nécessaires pour le dépannage en cas d'événements imprévus.

2.2.1 Outils de management pour inventaires

Pour exploiter un site industriel selon un SME correct, il est essentiel de disposer d'informations détaillées et transparentes sur :

- le site et ses conditions environnementales
- les procédés de production
- les caractéristiques des polluants de chaque procédé de production
- les caractéristiques des effluents
- la situation locale

Sans ces informations, il est impossible de développer une stratégie cohérente, efficace et économique de prévention ou de réduction des émissions. Bien qu'il soit souvent pratiquement impossible de quantifier les émissions de chaque polluant présent dans chaque effluent, il existe généralement un moyen de diminuer le nombre de paramètres nécessaires (par exemple le nombre de mesures) sans perte d'informations.

2.2.1.1 Inventaire du site

L'inventaire du site rassemble les informations concernant :


- l'emplacement (carte, plan d'ensemble) ;
- le climat, la situation géographique, la qualité du sol et des nappes souterraines, l'habitat, l'urbanisme et les infrastructures environnantes, les eaux réceptrices ;
- la taille du site (surface totale, surface construite, surface drainée, surface couverte) ;
- le nombre d'employés ;
- les unités de production ;
- la liste des installations de production avec, pour chacune d'entre elles, les données suivantes :
 - la classification des installations de production conformément à la directive, annexe I, 4. Industrie chimique, 4.1 - 4.6 ;
 - les données spécifiques à l'installation de production ;
- les procédés de production, avec pour chaque procédé :
 - une description succincte ;
 - un ou des schémas de procédé simplifiés indiquant les sources d'effluent ;
 - les détails des réactions chimiques (réactions principales et secondaires) et les activités annexes ;
 - les informations sur les matières utilisées, et sur les produits intermédiaires et finis ;
 - le mode de fonctionnement (procédé discontinu, en continu par campagnes ponctuelles) ;
 - les situations d'urgence éventuelles (déversements accidentels, fuites) ;
- le réseau d'assainissement (réseau de collecte, station d'épuration, évacuation des eaux pluviales).

2.2.1.2 Registre ou inventaire des effluents

Les données de base appropriées relatives à la composition et à la quantité de chacun des flux d'eaux usées et d'effluents gazeux sont compilées dans un registre ou inventaire des flux (registre des eaux usées, registre des effluents gazeux). Les effluents sont répertoriés en fonction de leur source, c'est-à-dire du procédé de production dont ils proviennent. Il s'agit d'un élément clé de l'évaluation de leur degré de pollution et de la nature de leurs polluants, ainsi que des possibilités de réduction à la source. Les sources d'eaux usées sont répertoriées à la section 1.1.1, celles des effluents gazeux à la section 1.1.2.

Un registre des flux se compose des éléments suivants :

- des informations sur les procédés de production chimique, notamment :

- les formules des réactions chimiques faisant apparaître les matières de départ, les produits finis et les produits dérivés ;
- le diagramme des flux simplifiés du procédé correspondant à l'unité de production en question, faisant apparaître le réacteur, l'isolation et la préparation des produits, et l'origine exacte des diverses émissions ;
- des informations sur les effluents, par exemple :
 - les composants et leur variabilité ;
 - les données pertinentes sur la concentration et la charge des principaux composants et leur variabilité (y compris la méthode et la fréquence du contrôle) ;
 - le débit de l'effluent et sa variabilité (par exemple, débit pulsé, continu ou discontinu) ;
 - la température ;
 - le pH (pour les eaux usées) ;
 - la conductivité (pour les eaux usées) ;
 - l'inflammabilité (pour les effluents gazeux) ;
 - les limites d'explosibilité (limite d'explosibilité inférieure - LIE- et supérieure - LSE)
 - la réactivité (pour les effluents gazeux) ;
 - les polluants et/ou les paramètres pertinents, tels que : . DCO/COT, +, NO₃⁻ et NO₂⁻N, phosphore, métaux lourds, hydrocarbures halogénés, polluants organiques persistants (POP), le cas échéant, et toxicité pour les eaux usées ;
 . chlore, brome, fluor, chlorure d'hydrogène, oxydes de soufre (SO_x), sulfure d'hydrogène, mercaptans, monoxyde de carbone, oxydes d'azote (NO_x), particules, métaux lourds et leurs composés, composés organiques volatils (COV) pour les effluents gazeux ;
 - les données relatives à la biodégradabilité (pour les eaux usées), par exemple :
 - . les concentrations en DBO ;
 - . les résultats du test de Zahn-Wellens modifié ;
 - . les charges en DCO/COT réfractaires ;
 - . le potentiel d'inhibition de la dénitrification ;
 - la présence d'autres substances (pour les effluents gazeux) qui peuvent avoir un impact sur le système de traitement ou sur la sécurité, par exemple l'oxygène, l'azote, la vapeur d'eau, les poussières.

L'objectif d'un inventaire des flux est d'identifier les sources d'émissions les plus importantes (pour les eaux usées et pour les effluents gazeux) et de permettre la hiérarchisation des étapes de réduction des émissions à suivre. De manière générale, il y a quatre étapes :

- le listage des sources
- l'évaluation des causes des émissions de chaque source
- la quantification des émissions de chaque source
- la validation des résultats au moyen d'un bilan-matière

Un classement approprié des différents flux secondaires (c'est-à-dire séparément pour les eaux usées et les effluents gazeux) correspondant aux caractéristiques et à la charge de polluants, est une partie capitale de l'inventaire et une base importante pour l'identification des possibilités de réduction des émissions (voir la section 2.2.1.3). Les flux respectifs au sommet de chaque classement sont les principaux candidats à la réduction des émissions la plus efficace.

Sur les sites chimiques, les mesures relatives à la réduction des émissions sont particulièrement efficaces lorsqu'elles sont appliquées à des procédés pour lesquels le rapport entre les bénéfices pour l'environnement et le coût peut être optimisé. Pour les installations existantes, des taux d'élimination non optimaux pour les effluents mineurs ne portant pas de charge significative peuvent être tolérés, à condition que les efforts se concentrent sur les flux portant une charge significative, réduisant ainsi de manière globale les émissions et l'impact sur l'environnement.

2.2.1.2.1 Évaluation complète des effluents (ECE)

Les rejets d'effluents ont largement été évalués et réglementés en fonction de propriétés physiques et chimiques telles que la DCO, la DBO, les MES, le pH et les concentrations en substances dangereuses particulières. Ces propriétés constituent une base solide pour le contrôle des effluents contenant relativement peu de polluants, dont les caractéristiques sont connues, et dont les propriétés toxicologiques sont bien définies et bien comprises. Toutefois, il est parfois très difficile d'évaluer l'impact sur l'environnement d'effluents complexes et variables en fonction de leur composition et de leurs propriétés physico-chimiques.

L'évaluation complète des effluents est une méthodologie qui permet d'évaluer les flux d'eaux usées complexes. Elle complète l'utilisation des paramètres de substitution et de sommes tels que la DCO, les AOX ou les EOX. Le but est d'évaluer la dangerosité potentielle des effluents dont le contrôle serait insuffisant en ne se basant que sur les indications chimiques fournies par les paramètres de sommes ou par les limites définies pour chaque produit chimique individuellement. L'évaluation complète des effluents fournit un moyen supplémentaire et peut-être plus direct d'évaluer l'impact potentiel des effluents sur le milieu aquatique. Il est probable qu'elle jouera un rôle de plus en plus important dans la réglementation des rejets, s'ajoutant, voire remplaçant, les mesures classiques relatives à la qualité des effluents, dans le cadre du surveillance de l'environnement et de l'évaluation des risques. La coopération et la compréhension réciproque entre les autorités de réglementation et l'organisme qui rejette des effluents complexes deviendront des éléments essentiels pour garantir un contrôle adapté du rejet en question.

Les méthodes de test ou d'essai biologiques, sont utilisées pour l'évaluation complète de la toxicité des effluents. Ces essais biologiques portent, par exemple, sur les poissons, les algues, les bactéries et les crustacés. Par rapport aux analyses chimiques sur une substance précise, ces méthodes présentent l'avantage de déterminer les propriétés toxicologiques des échantillons d'eau de façon intégrée et de prendre directement en compte les interactions qui peuvent se produire lorsque plusieurs polluants sont présents. Grâce aux méthodes de tests biologiques, l'impact environnemental d'un effluent complexe peut être déterminée. Ces méthodes sont généralement plus rapides et moins coûteuses que la caractérisation chimique complète, et donc simplifient la réglementation. Elles couvrent une gamme de résultats sur les substances et les produits qui peuvent être assez facilement interprétés. En outre, elles permettent de tirer des conclusions quant à l'efficacité des stations d'épuration à éliminer les substances toxiques.

Le choix des méthodes de test biologiques et du plan d'expérience dépend de l'utilisation qui sera faite des résultats, c'est-à-dire de leur emploi pour l'évaluation des risques, pour la surveillance ou pour la conformité. Les méthodes de test biologiques pour différentes applications ne présentent pas les mêmes exigences.

Il existe de nombreuses expériences de mesures de la toxicité aiguë. Deux procédures particulières sont couramment utilisées pour évaluer les données sur la toxicité :

- L'approche EC_x/LC_x utilisant l'analyse statistique des données. Il est nécessaire de disposer d'au moins cinq paires de données concentration/réponse comprises entre 0 et 100 % de réponse.
- L'approche LID (Lowest Ineffective Dilution, Dilution minimale sans effet) qui consiste à diluer le flux d'eaux usées d'origine jusqu'à ce que plus aucun effet ne soit observé ; cette valeur équivaut à 1/NOEC (No Observe Effect Concentration, Concentration sans effet observé). Il n'est pas nécessaire que la concentration et la réponse soient liées, c'est pourquoi la procédure de test est plus simple. Cependant, il n'est pas possible d'établir d'évaluation statistique ni de limites de confiance.

L'évaluation complète des effluents (ECE) fournit des informations sur les effluents grâce à toute une gamme de méthodes chimiques, physiques et biologiques destinées à examiner leurs effets biologiques potentiels. La méthodologie d'une ECE vise à déterminer les effets néfastes potentiels des effluents et utilise pratiquement les mêmes paramètres d'effet que ceux utilisés dans une approche orientée substance :

- la toxicité aiguë
- la mutagénicité ou (de préférence) la génotoxicité
- la toxicité chronique
- la bioaccumulation
- la persistance ou la (bio)dégradabilité

Les produits chimiques persistants (P), toxiques (T) et/ou sujets à la bioaccumulation (B) présentent des problématiques spécifiques en milieu aquatique. L'approche chimique vise à mesurer les substances dangereuses sélectionnées et hiérarchisées à l'aide du critère P-T-B. Un programme d'ECE bien conçu permet de fournir au management environnemental des mesures intégrées pour les effluents complexes. Les avantages de l'utilisation de paramètres d'effets biologiques sont :

- L'ECE prend en compte tous les composés des eaux usées, quelles que soient leur origine et leur détectabilité par une analyse chimique. Il n'est pas forcément nécessaire d'identifier les composés. Les produits dérivés et les métabolites sont également évalués.
- Les effets toxiques sur les organismes aquatiques sont directement visibles ; les effets combinés sont aussi pris en compte.
- Les sources des effluents dangereux (étapes de production ou points chauds) à l'intérieur de sites industriels peuvent être identifiées dans de nombreux cas (backtracking : stratégie de contrôle à rebours).
- L'effort nécessaire pour réaliser les tests d'une ECE est comparable à celui d'une analyse complète de chaque substance d'un effluent complexe.

Les avantages mentionnés ci-dessus sont plus ou moins scientifiques, mais l'ECE peut s'avérer également utile pour les pratiques de production quotidiennes :

- Une combinaison de mesures directes et indirectes de divers effets éventuels peut être employée dans le management environnemental, particulièrement lorsque des effluents contiennent des substances dont la persistance, la bioaccumulation et la toxicité sont mal connues.
- Alors que les résultats sur la toxicité peuvent être mis en application facilement, par exemple dans les calculs de dilution, la bioaccumulation et la persistance d'un effluent n'apportent pas d'indications sur les effets en eux-même, mais se rapportent plutôt à une évaluation de l'exposition chronique.
- L'ECE fournit des informations utiles sur les risques potentiels pour l'environnement aux exploitants et aux autorités compétentes.
- Avec certaines techniques, l'ECE peut être utilisée pour identifier des composants dangereux dans l'effluent et pour aider les exploitants à réduire les rejets de ces composants.



L'application de l'ECE se heurte à des problèmes que la communauté scientifique tente de résoudre. Ces problèmes sont :


- Un accent permanent sur la toxicité au sein des P-T-B conjointement à l'absence de consensus concernant les tests normalisés pour la bioaccumulation et la persistance.
- L'ECE ne prend généralement pas en compte la protection des sédiments ni les risques pour la chaîne alimentaire. Toutefois, un processus d'évaluation des risques écologiques plus vaste peut permettre d'évaluer ces effets.

- Il est important de communiquer les résultats des tests de l'ECE en la localisation spatiale et temporelle de la prise d'échantillons de l'effluent, les méthodes de test employées, les hypothèses posées et les analyses statistiques appliquées aux données. Il est nécessaire d'arriver à un accord et à une normalisation au niveau international sur ces points.

De manière générale, l'ECE peut être utilisée comme un outil au sein d'un SME pour obtenir des informations détaillées sur les caractéristiques des polluants d'un effluent. Comme indiqué à la section 2.2.1, il est pratiquement impossible de quantifier les émissions de chaque polluant présent dans l'effluent. Toutefois, un programme d'ECE bien conçu peut fournir aux exploitants des mesures intégrées de la qualité des effluents. L'ECE peut être l'une des mesures employées dans un registre des flux tel que décrit à la section 2.2.1.2.

Les applications possibles de l'ECE sont :

- Réglementations ou lignes directrices relatives à la toxicité des effluents
Certaines juridictions établissent des critères chiffrés pour la toxicité dans les autorisations de rejets, alors que d'autres utilisent les données relatives à la toxicité comme outil d'évaluation et de planification. La définition de critères relatifs à la toxicité garantit une évaluation cohérente des effluents : les mesures de mise en application ou de gestion sont généralement prises seulement lorsque l'effluent ne satisfait pas aux de toxicité de manière répétée. Des approches moins formelles de l'utilisation des données sur la toxicité peuvent également réduire les incertitudes concernant les risques liés au rejet d'effluents en venant compléter les données chimiques traditionnelles concernant cet effluent. Outre les données sur la toxicité, des évaluations de la persistance et de la bioaccumulation peuvent être employées de manière similaire. 
- Classement des risques pour l'environnement des rejets dans un milieu aquatique
L'ECE peut être utilisée pour évaluer les risques relatifs posés par des rejets multiples, dans le but d'identifier les plus préoccupants.
- Évaluations de l'identification/réduction de la toxicité (EIT/ERT)
Les EIT/ERT servent à déterminer les raisons de la toxicité d'un effluent et les mesures permettant de réduire cette toxicité jusqu'à un niveau acceptable (voir le site <http://www.setac.org/wettr.html>). L'ERT peut se définir comme une étude spécifique au site conduite selon une procédure à étapes successives ⁵  inée à :
 - identifier l'agent responsable de la toxicité de l'effluent
 - isoler la source de la toxicité
 - évaluer l'efficacité des options de contrôle de la toxicité
 - confirmer la réduction de la toxicité de l'effluent

L'EIT se définit comme un ensemble de procédures permettant d'identifier l'agent responsable de la toxicité de l'effluent (et peut donc être un des outils utilisés dans le cadre de l'ERT). La réduction de la toxicité jusqu'à un niveau acceptable peut se faire via l'identification et le contrôle de la source de la toxicité, ou via l'identification et la mise en œuvre d'une stratégie de traitement visant à réduire la toxicité jusqu'à un niveau acceptable. Les EIT/ERT peuvent être aussi bien simples qu'extrêmement complexes. Elles fournissent aux exploitants un processus logique leur permettant d'aborder un problème de toxicité important. L'ERT peut orienter les efforts des ingénieurs en charge du traitement sur la minimisation des coûts des actions d'amélioration liées à la qualité des effluents. Toutefois, ce type d'étude doit être conduit par du personnel expérimenté avec l'aide d'un bon laboratoire (ayant des compétences en chimie et en toxicité). Par définition convention, les EIT/ERT évaluent la toxicité, mais il est possible d'ajouter au processus des éléments relatifs à la persistance et à la bioaccumulation (EIP/ERP ou EIB/ ).

- Hierarchisation des mesures de traitement des effluents

Les évaluations d'identification et de réduction (décrites ci-dessus) peuvent être utilisées pour prévoir l'efficacité de diverses mesures de traitement des effluents et ainsi les classer en fonction de la réduction de la dangerosité des effluents qu'elles permettent. Par exemple, les données d'un test de toxicité peuvent fournir une évaluation intégrée des améliorations envisagées pour le traitement des effluents (exemple : test de toxicité des effluents d'une station d'épuration pilote). Ce type d'informations aide les décideurs à tirer le meilleur parti de leur investissement dans le traitement des effluents (eaux usées).

- Analyse de l'efficacité des mesures d'amélioration des traitements

Une fois que des améliorations ont été apportées à un système de traitement des effluents, la toxicité et d'autres paramètres de l'effluent peuvent être testés dans le temps afin d'évaluer l'impact à terme des améliorations du traitement des effluents. Une étude comparative de la toxicité de différents effluents a montré que les mesures d'améliorations des traitements basées sur des approches conventionnelles ne garantissent pas l'absence de toxicité aiguë ⁶.

⁴ Approches décrites dans : de Maagd, R.G.-J. 2000. Bioaccumulation tests applied in whole effluent toxicity testing. Env. Toxicol. & Chem. 19(1): 25-35.

⁵ USEPA. 1991. Technical support document for water quality based toxics control. Washington DC: Office of Water. EPA/505/2-90-001.

⁶ Tonkes, M., P.J. F. de Graaf and J. Graansma. 1999. Assessment of complex industrial effluents in the Netherlands using a whole effluent toxicity (or wet) approach. Water Science and Technology 39 (10-11): 55.

- Backtracking (stratégie de contrôle à rebours) des effets observés dans un milieu récepteur
Lorsque l'on peut observer des impacts négatifs sur les conditions environnementales du milieu récepteur, l'ECE (souvent dans une gamme de concentrations qui correspond à la dilution du milieu récepteur) peut être employée pour établir un lien de cause à effet. Par exemple, l'hypothèse selon laquelle la pauvreté de la communauté benthique est due à un rejet d'eaux usées peut être testée grâce à une ECE soigneusement préparée. En outre, des méthodes d'évaluation des effluents peuvent servir à évaluer la qualité des eaux réceptrices, ce qui permet de comparer directement les deux systèmes.
- Évaluation des risques/dangers spécifiques au site
Le risque en matière environnemental que présente un effluent peut être prédit ou évalué grâce à une approche dite d'évaluation des risques, l'une des méthodes d'évaluation des effets biologiques étant l'ECE⁷. Il est important de tenter d'obtenir la validation sur le terrain des effets biologiques en établissant un lien entre les données de l'ECE et les effets biologiques mesurés sur les espèces aquatiques⁸.

Comme démontré dans les exemples ci-dessus, l'ECE peut être utilisée comme base des décisions relatives aux MTD de plusieurs manières concrètes. Chaque juridiction peut décider de la combinaison des applications qui convient le mieux à ses politiques et pratiques de contrôle des effluents. Que l'ECE se base uniquement sur les émissions ou qu'elle soit associée à une approche basée sur la qualité de l'eau, elle constitue généralement une aide à la plupart des approches relatives à la gestion des rejets d'effluent.

L'ECE est couramment utilisée, que ce soit au sein de l'Union européenne ou en dehors. L'une des principales différences entre les approches utilisées par chaque pays est la combinaison et les types de test employés (toxicité/génotoxicité, persistance et/ou bioaccumulation). Au sein de l'Union européenne, la mise en place d'une ECE dans un contexte de réglementation n'en est uniquement qu'à l'étape de la recherche et du développement. Toutefois, les exemples ci-dessous montrent diverses utilisations ou approches de l'ECE :

- En Allemagne, la toxicité aiguë et la génotoxicité sont couramment utilisées comme normes écotoxicologiques pour les effluents de différents secteurs industriels [cww/tm/130]. Il existe également un programme de recherche et de développement concernant l'ECE (notamment, développement de tests sur les œufs de poisson).
- Ces six dernières années, l'Irlande a établi des valeurs limites obligatoires en terme d'unités toxiques (UT) pour les effluents déversés dans les eaux par les industries concernées par la Réduction Intégrée de la Pollution. Les limites des UT sont comprises entre 5 et 10 et sont publiées dans les documents d'orientation comportant les MTD [cww/tm/95] pour les différents secteurs. En outre, les industries déversant leurs effluents dans une station d'épuration municipale peuvent avoir à réaliser des tests de toxicité et de respirométrie.
- En Suède, la caractérisation des effluents (y compris l'ECE) est utilisée pour évaluer si le traitement d'un effluent pour une activité particulière est adapté. Il s'agit généralement d'une vérification effectuée sur les nouvelles unités de production (installations intégrées au procédé et en aval) quelque temps après leur mise en service et imposée dans le cadre du processus de délivrance de l'autorisation d'exploiter. Par ailleurs, cette approche peut être utilisée à tout moment pour évaluer si des installations supplémentaires sont nécessaires.
- Le Royaume-Uni développe actuellement une méthode d'évaluation de la toxicité directe (DTA : Direct Toxicity Assessment) pour le rejet d'effluents⁹, après avoir conduit une phase de recherche et de développement complète, et un programme de démonstration.
- Les Pays-Bas en sont aux dernières étapes de la phase de recherche et de développement de l'ECE, qui évaluera tout aussi bien la (généto)toxicité, la persistance et la bioaccumulation. L'ECE sera mise en place dans un contexte de réglementation d'ici 2005.

À l'échelle européenne, la convention OSPAR (Convention Oslo-Paris pour la protection du milieu marin de l'Atlantique Nord-Est) a repris en 1994 les travaux réalisés par le groupe de travail sur les sources diffuses et ponctuelles (PDS) concernant l'évaluation écotoxicologique des eaux usées comme moyen d'évaluation de la qualité des effluents. En novembre 1999, le ministère fédéral allemand de l'environnement a édité un document préliminaire sur l'utilisation de l'ECE pour l'évaluation des eaux usées [cwv/tm/130]. Un groupe d'experts intersessions a été créé en 1999 dans le but de développer l'ECE dans le cadre de la Stratégie substances dangereuse de la commission OSPAR (OSPAR, 2000, <http://www.ospar.org>). Le groupe d'experts intersessions de la commission OSPAR a examiné l'utilisation de l'ECE dans différentes industries (à ce jour, les industries des pâtes et papiers et de la fabrication de produits pharmaceutiques). En outre, le groupe d'experts intersessions a entrepris de réviser les méthodes de test pour la persistance et la bioaccumulation, ainsi que pour la génotoxicité et la perturbation endocrinienne (toutes deux en préparation).

L'ECE est donc un outil utile de réduction et de prévention intégrées de la pollution. C'est un outil complémentaire et non de remplacement des contrôles basés sur les substances chimiques.

L'expérience montre que lorsque des mesures de P-T-B sont mises en place dans le cadre d'un programme d'ECE bien construit, elles se traduisent par la réduction des émissions de substances dangereuses dans les eaux usées. Le point fondamental est de concevoir l'ECE de sorte à ce qu'elle complète les autres mesures de contrôle dans le cadre d'un système de management environnemental efficace.

⁷ Chapman, P.M. 2000. Whole effluent toxicity testing- usefulness, level of protection, and risk assessment. *Env. Toxicol. & Chem.* 19(1):3-13

⁸ Grothe, D.R., K.L. Dickson and D.K. Reed-Judkins (eds). 1996. Whole effluent toxicity testing: an evaluation of methods and prediction of receiving system impacts. Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Pensacola, FL, USA.

⁹ Boumphrey, R., Tinsley, D., Forrow, D. and R. Moxon. 1999. Whole Effluent Assessment in the UK. OSPAR Workshop on Whole Effluent Assessment, Lelystad, Netherlands, 28-29 October, 1999.

2.2.1.2.2 Réduction de la consommation d'eau et du rejet des eaux usées

Étant donné son importance croissante dans de nombreuses parties de l'Union européenne, il convient de consacrer un paragraphe supplémentaire à la préservation de l'eau (c'est-à-dire la réduction de l'utilisation d'eau et des émissions d'eau usées) et/ou la réutilisation de l'eau comme outil de gestion de l'eau. La préservation de l'eau, par exemple, permet souvent de réduire l'impact négatif du transfert de polluants du milieu gazeux vers le milieu aqueux. Il n'est pas exagéré que de dire que la réutilisation et le recyclage de l'eau sont limités par la créativité et la volonté des personnes concernées plutôt que par des barrières techniques. Toutefois, cela dépend des circonstances locales. Les éléments à envisager sont, par exemple :

- Le développement de stratégies visant à minimiser la consommation d'eau (douce) et les émissions d'eaux usées des procédés de production [cww/tm/67d], notamment :
 - la modification des procédés, qui peut conduire à la réduction de besoins en eau, par exemple en remplaçant les systèmes de refroidissement par eau par des systèmes de refroidissement à air ;
 - le recyclage direct des eaux usées, c'est-à-dire la réutilisation des flux d'eaux usées faiblement pollués dans d'autres procédés non affectés par ces polluants. Cela aboutit à une réduction des besoins en eaux douces et des émissions d'eaux usées sans changement de la charge de polluants ;
 - le prétraitement et la réutilisation postérieure des eaux usées (dans le même procédé ou dans un autre), ce qui aboutit à une réduction de la consommation d'eau douce, de l'émission d'eaux usées et de la charge en polluants ;
- Minimiser la consommation d'eau douce des techniques de dépollution des effluents gazeux (par exemple les laveurs par voie humide, les biolaveurs, les systèmes de refroidissement à eau, les hydrocyclones, électrofiltres humides) et éviter dans la mesure du possible l'utilisation de ces techniques, notamment lorsque les ressources d'eau douce sont limitées ou lorsque les eaux réceptrices sont sensibles aux perturbations.

La procédure de réduction de la consommation d'eau et de l'émission des eaux usées suit généralement le parcours illustré à la figure 2.4 [cww/tm/67d].


La première étape consiste à dresser un bilan des eaux et des principaux polluants qui peuvent empêcher la réutilisation directe de l'eau. Lorsque la collecte des données pour le registre des eaux usées n'a pas pu fournir de données cohérentes, il est nécessaire d'établir un bilan comparatif des données associé à des mesures élaborées supplémentaires.

En se basant sur les bilans massiques stables, il est possible de développer diverses solutions de réduction de la consommation d'eau et d'en évaluer la faisabilité. Pour réduire la quantité d'eaux usées, il peut être nécessaire de collecter et mélanger les flux provenant de différents procédés de production et de recycler le mélange complet, ce qui augmente le potentiel de précipitation et de corrosion. Les outils permettant de gérer le développement de ces procédés sont décrits à la section 2.2.1.3.

Il ne faut cependant pas négliger le fait que l'enrichissement des polluants ne pouvant pas être éliminés par des techniques de réduction ou d'épuration internes peut cantonner la réutilisation de l'eau à une utilisation en circuit fermé.

Collection and reconciliation of data	Collecte et bilan comparatif des données
Contaminant balance	Bilan des polluants
Information on waste water treatment techniques	Informations sur les techniques de traitement des eaux usées
Specification of water quality	Spécifications sur la qualité de l'eau

Chemical modelling	Modélisation chimique
Generation of options	Élaboration de solutions
Operation optimisation	Optimisation du fonctionnement
Development of economical solution	Développement de solutions économiques

Figure 2.4 : procédure générale de réduction de la consommation d'eau et des rejets d'eaux usées 

2.2.1.2.3 Quantification des émissions d'effluent gazeux

Les causes des émissions gazeuses de chaque source peuvent être multiples, c'est pourquoi il peut être nécessaire d'évaluer séparément l'émission résultant de chaque cause afin de quantifier les émissions totales de cette source. De plus, la réduction à la source implique de se concentrer sur la cause des émissions plutôt que sur la source à travers laquelle elles sont dégagées.

Quantification des émissions par source

Les émissions peuvent être quantifiées par source selon la méthode adoptée dans la directive 1999/13/CE du Conseil (directive relative aux COV) [cww/tm/88].

Pour préparer un inventaire des effluents gazeux, il est nécessaire de quantifier les émissions de toutes les sources potentielles. Cette quantification peut se faire par estimation, calcul ou mesure, selon le type d'émission et son importance relative par rapport à la quantité totale des émissions d'effluents gazeux. Certaines émissions sont plus facile à estimer au niveau de leur exutoire et d'autres par recherche de leurs causes. En particulier, il est très difficile de mesurer les émissions non captées. Elles nécessitent d'être quantifiées en fonction de leur cause.

Les cas suivants sont donnés à titre d'exemple :

- Il est possible d'estimer l'émission d'un produit (généralement des COV) lorsque le contenu gazeux du produit est connu. La quantité de solvants contenus dans le produit, par exemple, est parfaitement définie, et les quantités vendues ou récupérées sont également connues.
- Si des substances gazeuses sont contenues dans des déchets, leur teneur doit être mesurée ou définie autrement afin de calculer la quantité pouvant être émise. Cela dépend aussi de la méthode utilisée pour l'évacuation des déchets.
- Les émissions atmosphériques captées à la source peuvent être quantifiées en mesurant de façon adéquate le débit d'air et la concentration des effluents gazeux (de préférence à différentes étapes du procédé). Ces mesures peuvent être relativement coûteuses à effectuer et difficiles à réaliser à cause de problèmes d'accès, de la présence de vapeur d'eau ou de particules, ou d'autres circonstances. Ce n'est qu'un instantané d'une situation qui varie généralement dans le temps. Une méthode de calcul est donc généralement préférable lorsqu'il n'est pas possible d'effectuer des mesures. Cette possibilité dépend de la cause de l'émission. Par exemple, si des émissions captées à la source sont produites par évaporation d'un solvant dans un procédé de séchage (émission de COV), il est généralement plus facile de calculer la quantité de solvant évaporé en mesurant la teneur en solvant du produit avant séchage. Les polluants des gaz de combustion (NO_x , SO_x , etc.) ou les polluants dangereux nécessitent quant à eux que les mesures soient réalisées dans la cheminée.
- Les quantités non réduites dans un système de dépollution peuvent être calculées si les quantités transmises au système de dépollution et l'efficacité du système sont connues.

- Les émissions non captées sont par nature difficiles et souvent plus coûteuses à mesurer. Leur évaluation nécessite généralement de rechercher leurs causes et de suivre les méthodes d'évaluation correspondantes détaillées ci-dessous. Néanmoins, avant de rejeter la possibilité d'effectuer des mesures, il est nécessaire d'en évaluer la faisabilité.

Quantification des émissions en fonction de leur cause

La quantification des émissions en fonction de leur cause s'avère souvent être la seule solution pratique, surtout dans le cas des émissions non captées, mais également fréquemment dans le cas des émissions captées à la source. Il existe plusieurs méthodes pour effectuer ces calculs. Toutes les méthodes de calcul fournissent des estimations qui, dans certains cas, ne donnent qu'un ordre de grandeur.

Exemples :

- La quantification des émissions des procédés doit se baser sur une compréhension exacte du procédé en question. Dans de nombreux cas, cela permet d'obtenir une évaluation assez précise de la quantité émise, qu'il faut cependant parfois confirmer par des mesures. Lors de la réalisation de ces calculs et de ces mesures, il est important de prendre en compte la variabilité éventuellement inhérente au procédé. La variabilité peut être temporelle (dans les procédés discontinus, la quantité émise varie au cours du temps) ou fonction de la qualité du produit (des qualités de produit différentes conduisent à des quantités émises différentes). Les calculs doivent refléter ces considérations et, lorsque des mesures sont réalisées, les conditions opératoires lors de chaque mesure doivent être enregistrées avec précision. Un nombre suffisant de mesures doit être réalisé pour prendre en compte correctement l'étendue de la variabilité. Un bilan-matière annuel doit prendre en compte la production annuelle réelle pour refléter correctement l'impact des différents produits.
- Les calculs des émissions des réservoirs de stockage peuvent se baser sur la méthodologie développée par l'USEPA (United States Environmental Protection Agency, Agence américaine de protection de l'environnement) [cww/tm/89]. Les calculs sont complexes et nécessitent la connaissance de certaines données météorologiques disponibles auprès du centre météorologique local. Des émissions significatives peuvent être générées par des réservoirs aériens à pression atmosphérique. Toutefois, les pertes par respiration des réservoirs enterrés ou dont la pression est supérieure à la pression atmosphérique sont réduites de manière significative. Les pertes liées au procédé dépendent du nombre de renouvellements par an (c'est-à-dire du nombre de fois où le réservoir a été rempli et vidé pendant l'année) ; elles sont faibles si le nombre de renouvellements est faible. Le balayage à la vapeur durant le remplissage du réservoir permet d'éliminer les pertes. C'est pourquoi, dans de nombreuses installations, les émissions dues au stockage sont faibles par rapport aux autres types d'émissions. Il est conseillé d'évaluer les pertes qui surviennent pendant le stockage en se basant sur le bilan-matière avant de se lancer dans des calculs détaillés. Si ceux-ci sont nécessaires, il est fortement recommandé d'utiliser l'outil informatique TANKS [cww/tm/90] développé par l'USEPA. Il s'agit de la version informatisée de la méthode de calcul de l'USEPA.
- Les émissions lors de la manipulation de produits peuvent être calculées en posant l'hypothèse que la teneur en vapeur de l'air extrait du conteneur en train d'être rempli correspond à la tension de vapeur du produit en train d'être manipulé, à la température de remplissage, et multipliée par un facteur de saturation. Le facteur de saturation dépend de la méthode de remplissage et représente le degré de saturation atteint en moyenne dans l'espace occupé par la vapeur pendant le remplissage. Les facteurs de saturation des camions-citernes sont [cww/tm/72] :
 - remplissage sous le niveau du liquide dans une citerne propre : 0,5

- remplissage sous le niveau du liquide dans une citerne humide (service spécialisé) : 0,6
- remplissage en surface : 1,45
(un facteur supérieur à 1 signifie qu'une sursaturation est causée par des gouttelettes de liquide expulsées avec la vapeur)
- Les calculs des émissions dues aux fuites des équipements sont basés sur des méthodes développées par l'USEPA et varient de méthodes simples (basées sur le nombre de points de fuite et les émissions moyennes par point) à complexes (basées sur des corrélations entre une concentration en ppm mesurée au niveau de l'interface de fuite et un taux de fuite spécifique au type d'équipement considéré). Une description supplémentaire est fournie dans protocole USEPA-453 [cww/tm/152], également détaillée dans le projet IMPEL « Émissions diffuses de COV » [cww/tm/154]. Ces méthodes de calcul fournissent des estimations des émissions réelles. Généralement, une méthode de calcul plus complexe produit des résultats moins bons. Les calculs basés sur le dénombrement des équipements sont les seuls qui ne nécessitent pas de mesures à l'aide d'un analyseur de vapeurs organiques à chaque point de fuite éventuel. Si ces calculs fournissent des résultats satisfaisants, il est inutile d'effectuer des analyses supplémentaires. Si les émissions dues aux fuites des équipements deviennent importantes, un programme de contrôle et de maintenance (LDAR : Leak Detection And Repair), doit être mis en place, ce qui entraîne la réalisation de mesures à chaque point de fuite éventuelle et la possibilité de réparer les fuites détectées. Cette tâche nécessite des compétences particulières afin de réaliser les mesures et de les enregistrer dans une base de données. C'est pourquoi il est préférable de la confier à des prestataires spécialisés.
- Les émissions occasionnelles qui se produisent au démarrage, à l'arrêt des installations ou lors des opérations de maintenance doivent être prises en compte. Elles dépendent fortement du type de fonctionnement. Aucune méthode largement reconnue ne permet d'estimer ces émissions. Toutefois, elles peuvent être importantes dans le cas de procédés discontinus avec ouvertures et fermetures fréquentes des cuves. Dans de tels cas, l'approche la plus pratique consiste à lancer une série de mesures pour quantifier les émissions liées à chaque étape du procédé.
- Aucune émission accidentelle ne devrait se produire. Néanmoins, elles arrivent et un bilan-matière devrait alors refléter la perte de solvant correspondante. Il est recommandé de suivre ces incidents et de garder une trace de la quantité estimée émise durant chacun des incidents.

2.2.1.3 Analyse des flux d'énergie et de matière (EMFA : Energy and Material Flow Analysis)

L'EMFA regroupe un ensemble d'outils permettant d'optimiser la consommation d'énergie, de matières premières et d'eau, ainsi que le rejet des effluents en suivant de manière systématique les flux internes d'énergies et de masses dans les procédés de production. À ce titre, elle constitue une partie ou un complément à l'inventaire des flux, utilisant les données obtenues pour tirer les conclusions nécessaires. Pour mener à bien cette tâche, des logiciels plus ou moins complexes sont disponibles. La procédure normale de l'EMFA est la suivante :

- analyse des entrées/sorties du procédé
- répétitions itératives de la procédure pour identifier les possibilités d'amélioration par comparaison quantitative des données sur les entrées et les sorties avec des valeurs cibles
- simulation de différents scénarios (c'est-à-dire différentes conceptions du procédé) avec évaluation pour chacun d'entre eux de leur impact sur l'environnement
- identification de la meilleure solution en fonction des objectifs définis (Rentabilité, prévention des effluents, économie des ressources, etc.)

L'objectif de la mise en place d'une EMFA est d'optimiser le fonctionnement des procédés et de réduire leur impact sur l'environnement (par exemple, réduction des rejets d'effluents et/ou de la consommation d'eau), éventuellement avec des économies au niveau des coûts.

Un exemple d'EMFA est détaillé à l'annexe 7.2.

2.2.2 Outils de management opérationnels

Alors que les outils de management des inventaires fournissent toutes les informations nécessaires à la prise de décisions concernant la prévention, la minimisation et/ou le traitement efficace des effluents, les outils de management opérationnels servent de base à la mise en œuvre de ces décisions.

2.2.2.1 Surveillance

La surveillance constitue une passerelle entre l'inventaire et les outils opérationnels et d'inventaire. Elle est également en lien avec les outils stratégiques et de sécurité. L'ensemble des informations fournies par les outils d'inventaires, par exemple le(s) registre(s) des flux, est rassemblé grâce aux programmes et aux systèmes de surveillance. Le point sans doute le plus important est la surveillance du bon fonctionnement des procédés de production et de traitement, afin de vérifier si les objectifs définis en matière d'environnement sont atteints, et afin d'identifier et d'aider au suivi des accidents (incidents).

Il est impossible de gérer ce que l'on ne peut pas mesurer. C'est pourquoi, afin de mesurer l'efficacité d'un SME, il est nécessaire de disposer de données réelles sur les effets précis des activités du site industriel sur l'environnement ainsi que sur les personnes. Il est donc nécessaire d'établir un programme de surveillance et d'échantillonnage périodique et planifié. Les paramètres à surveiller doivent inclure [cww/tm/132] :

- les sources ponctuelles, les émissions diffuses et fugitives dans l'atmosphère, dans l'eau ou dans le réseau d'assainissement ;
- les déchets, plus particulièrement les déchets dangereux ;
- la pollution du sol, de l'eau et de l'atmosphère ;
- l'utilisation d'eau, de combustibles, d'énergie, d'oxygène, d'azote et d'autres gaz (argon, par exemple) ;
- le rejet d'énergie thermique, de bruit, d'odeurs et de poussières ;
- les effets sur certains éléments de l'environnement et sur des écosystèmes particuliers (voir notamment la section 2.2.1.2.1) ;
- les accidents qui se sont produits sur le site et les presque accidents ;
- les accidents du personnel ;
- les accidents de transport ;
- les plaintes des habitants des environs du site.

Toutefois, la surveillance ne se limite pas à des mesures analytiques. Elle inclut aussi la maintenance, et les inspections visuelles et de sécurité régulières.

Le lecteur est invité à se reporter au BREF sur la surveillance, édité en parallèle du présent document, pour obtenir de plus amples informations. Dans le contexte des eaux usées et des effluents gazeux, la surveillance est traitée au chapitre 3 ; les normes relatives aux paramètres à analyser sont répertoriées à l'annexe 7.4.

2.2.2.2 Définition et révision régulière des objectifs ou des programmes internes

Un SME doit établir un programme environnemental dans lequel des objectifs globaux et à long terme ainsi que des objectifs internes, spécifiques au site sont définis. Les objectifs globaux et à long terme font partie de la politique de la compagnie et ne sont donc pas traités dans le présent BREF. Cependant, il est important de préciser qu'une telle politique est nécessaire.

Les paramètres pour lesquels des objectifs internes sont définis doivent être choisis selon leur pertinence. Afin de limiter le nombre de paramètres, il ne faut pas perdre de vue le but de la définition des objectifs, à savoir un fonctionnement optimal des opérations de production et de dépollution, limitant ainsi l'ensemble des impacts sur l'environnement. Il n'est généralement pas nécessaire de définir des niveaux cibles pour chacun des paramètres concernés, l'utilisation de paramètres de substitution pouvant convenir pour décrire les émissions. Les niveaux cibles mesurables doivent être définis de sorte que le niveau d'autorisation accordé concernant les rejets finaux et les conditions locales particulières puissent être facilement atteints.

Les objectifs se divisent en plusieurs catégories, l'une étant relative aux exigences générales et l'autre aux exigences spécifiques au site. Exemples d'exigences d'ordre général :

- exigences définies par les objectifs de qualité de l'environnement (OQE) ou par les Normes de qualité de l'environnement (NQE), ainsi que les normes technologiques et les bonnes pratiques de fabrication (BPF) ;
- exigences générales pour la qualité des bassins fluviaux (définies par la directive cadre européenne sur l'eau ou par les réglementations nationales concernant la qualité de l'eau) ;
- exigences générales en matière d'émissions atmosphériques, définies par les programmes nationaux ou internationaux ;
- exigences fixées par les directives internes à l'entreprise et publiées pour l'ensemble de ses sites, indépendamment des niveaux définis par les autorisations délivrées localement.

Exemples de normes spécifiques au site :

- exigences définies par les conditions précisées dans l'autorisation délivrée (par exemple, s'assurer de la conformité permanente du site aux valeurs limites d'émissions) ;
- restrictions particulières liées au potentiel écotoxique des rejets finals au regard des limites fixées pour le milieu récepteur (eau de surface, air). Par exemple, en Allemagne, les valeurs pouvant être atteintes pour les déversements finals dans un milieu récepteur sont ¹⁰ :
 - T_P = 2 (test sur les poissons)
 - T_D = 4 (test sur la daphnie)
 - T_A = 8 (test sur les algues)
 - T_L = 16 (test sur les bactéries luminescentes)
 - T_M = 1,5 (mutagénicité)

L'un des objectifs à long terme de l'industrie chimique allemande (conformément à la déclaration du VCI, le syndicat allemand de la chimie, de mai 2000 [cww/tm/166]) est de réduire davantage les effets toxiques des déversements d'eaux usées, en prenant en compte :

- la toxicité aiguë pour les poissons, les daphnies et les bactéries ;
- la toxicité chronique pour les algues ;
- la mutagénicité.

Leur objectif est que le rejet des effluents dans des eaux naturelles réceptrices ne dépasse pas des facteurs de dilution de T_x = 2 (T_M = 1,5) ; les toxicités dues aux concentrations en sels ne sont pas incluses.

Lorsque des objectifs sont définis, il est nécessaire de définir une planification des actions à entreprendre lorsqu'un niveau cible d'un ou plusieurs flux secondaires, ou du rejet final, est dépassé pendant un certain laps de temps. Ces actions doivent être clairement définies, et les responsabilités et les compétences pour ces actions doivent être attribuées.

Les unités de toxicité (valeurs T et parfois valeurs G) sont exprimées sous la forme de « facteurs de dilution ». $T_x = 2$ signifie que le flux d'eaux usées doit être dilué jusqu'à la moitié de sa concentration d'origine pour que les organismes de test puissent survivre. Voir aussi la section 2.2.1.2.1.

Exemples d'objectifs internes :

- réduction continue des charges de polluant ;
- conformité aux exigences fixées par l'autorisation délivrée ;
- réduction des effets écotoxiques (voir la section 2.2.1.2.1).

Le rôle du contrôle dans la définition des objectifs est précisé à la section 2.2.2.1.

Du fait que l'industrie chimique et les conditions dans lesquelles elle fonctionne sont sujettes à des développements continus et des modifications constantes, le procédé dynamique de définition des objectifs implique une révision régulière, indépendamment de la parution de nouvelles réglementations. C'est pourquoi un programme permettant de gérer ces évolutions doit être instauré. Le but de cette révision régulière est d'améliorer en permanence les performances environnementales d'un site chimique dans son ensemble. Pour atteindre ce but, un programme d'amélioration doit être mis en place. Il doit contenir les éléments suivants :

- une évaluation périodique des pratiques de management environnemental associées aux opérations et aux équipements, en prenant en compte :
 - les impacts sur l'environnement ;
 - les modifications dans la législation ;
 - les attentes de la population ;
 - la mise en place d'améliorations en continu ;
- des avantages financiers pour la mise en place d'actions rentables et la reconnaissance pour les contributions significatives aux objectifs de réduction des émissions, par exemple :
 - une répartition des coûts du traitement des eaux usées et des effluents gazeux en introduisant un système de tarification, par exemple l'introduction sur le site industriel chimique du principe du pollueur payeur pour les rejets des unités de production individuelles qui participent alors financièrement au coût des installations de traitement proportionnellement à leur contribution à la pollution totale ; c'est une méthode efficace pour réduire les émissions et donc le coût du traitement partagé de l'unité de production ;
 - des primes internes pour récompenser les propositions d'amélioration du fonctionnement émises par le personnel ;
 - une concurrence interne pour la réduction des dysfonctionnements des procédés et des accidents ;
- l'intégration d'objectifs relatifs à la prévention des émissions lors de la conception de nouvelles installations ou de nouveaux procédés, ou de la modification de ceux existants, par exemple :
 - intégration du recyclage des matières premières ou des produits lorsque des modifications de l'installation sont prévues ;
 - introduction de mesures d'économies d'eau, dans le même cas de figure que précédemment ;
- la maintenance préventive et des techniques de contrôle appropriées pour minimiser les émissions et les pertes ;
- la mise en place de contrôles et de procédures relatifs à l'exploitation et à l'ingénierie, avec des critères opératoires, pour améliorer la prévention, la détection précoce et le confinement des déversements et des émissions par :
 - surveillance ou

- mesures organisationnelles avec l'aide du personnel qui effectue régulièrement des rondes de contrôle ou en installant des systèmes de confinement avec un volume de collecte suffisant ;
- une enquête et une évaluation portant sur les déversements/émissions qui se sont produits, pour identifier les actions correctives et préventives ;
- la communication aux employés et au public des informations relatives aux émissions, aux progrès réalisés en matière de réduction des impacts et aux projets, avec un dialogue structuré sur les inquiétudes et les idées des employés et du public.

Cette révision peut aboutir à des modifications ou des adaptations des objectifs, du programme et de la politique en matière d'environnement.

2.2.2.3 Choix des solutions de traitement

Une fois les informations nécessaires concernant les émissions d'un site chimique, et les objectifs et les exigences en matière environnementale définies, il faut sélectionner les solutions de contrôle adéquates. En général, le but est de trouver une méthode de traitement économiquement acceptable dont les performances environnementales sont optimales. Un choix approprié requiert généralement des études pilotes et/ou de traitabilité.

Les solutions de contrôle disponibles sont en principe évaluées et sélectionnées en fonction des critères suivants :

- les caractéristiques de l'effluent, par exemple :
 - le débit ;
 - la concentration et les propriétés des polluants ;
 - la présence d'impuretés ;
 - la température ;
 - la pression ;
- le volume de la fraction à traiter ;
- les objectifs à atteindre, la récupération des polluants étant le premier choix ;
- les exigences légales ;
- les solutions de contrôle existantes pour un cas donné.

Ce processus d'évaluation et de sélection, qui nécessite des données obtenues grâce à l'inventaire des flux (voir la section 2.2.1.2), conduit toujours à des conclusions supplémentaires spécifiques au site qu'il faut prendre en compte, les facteurs clés variant d'un site à l'autre. Par exemple :

- l'emplacement de l'usine ;
- la taille et l'agencement du site ;
- les performances environnementales et économiques actuelles des installations en question, leur âge, leur conception et leur durée de vie estimée ;
- la possibilité et le degré d'intégration des procédés pour une installation et entre différentes installations ;
- le type et la qualité du milieu récepteur ;
- l'impact sur l'environnement résultant d'une émission réelle ou prévue ;
- la durée de vie restante et les performances des équipements de réduction de la pollution existants ;
- la disponibilité des ressources ;
- la sécurité ;
- les limites et les contraintes concernant une installation imposées par d'autres législations ;
- les résultats des analyses des impacts croisés (consommation d'eau, production de déchets, consommation d'énergie) ;

- les coûts de capital et les coûts d'exploitation.

Dans le cas d'installations de traitement final ou central, les solutions de réduction à la source doivent être envisagées. Il résulte des considérations mentionnées ci-dessus que le choix du système de traitement approprié se fait en fonction des diverses options pour :

Les mesures de réduction à la source
le système de collecte
les méthodes de traitement

Les problèmes spécifiques aux eaux usées et aux effluents gazeux sont respectivement traités aux sections 2.2.2.3.1 et 2.2.2.3.2.

2.2.2.3.1 Sélection d'un système de contrôle des eaux usées

La figure 2.5 illustre le parcours décisionnel permettant de trouver le système de traitement approprié aux flux d'eaux usées [cwv/tm/132]. Les lignes en pointillés représentent les solutions alternatives.

Les questions suivantes, qui contiennent les principaux objectifs de la directive (prévention, réduction et contrôle) doivent être traitées pour chaque type d'eau usée.

- La quantité et le niveau de pollution peuvent-ils être réduits ou éliminés au moyen de mesures intégrées aux procédés ou par d'autres méthodes ?
- Est-il nécessaire de traiter la totalité du flux d'eaux usées ou un système de séparation peut-il s'avérer utile ?
- Le flux d'eaux usées peut-il subir un traitement biologique ou doit-il passer par une étape de prétraitement décentralisé ?

Production process	Procédé de production
Waste water?	Eaux usées ?
Minimisation or avoidance?	Réduction ou prévention ?
Biologically nondegradable?	Non biodégradable ?
Containing POPs?	Contient des POP ?
Organic contaminants?	Polluants organiques ?
Contaminated?	Pollué ?
Pretreatment?	Prétraitement
Central or municipal WWTP	Station d'épuration municipale ou centrale
YES	OUI
NO	NON
RECIPIENT WATER	EAUX RECEPTRICES

Figure 2.5 : diagramme décisionnel pour le choix d'un système de contrôle des eaux 

À titre d'exemple, on peut citer la présence d'une charge persistante de COT de l'ordre de 20 à 50 kg/j comme critère pour donner la priorité à un examen plus approfondi des flux d'eaux usées secondaires. Ce critère est utilisé dans certaines régions d'Allemagne. D'autres paramètres pertinents dans ce contexte sont les métaux lourds, les composés organiques halogénés et la toxicité.

La procédure de sélection suit les étapes mentionnées à la section 2.2.2.3 :

- **Réduction à la source**
Les solutions de réduction à la source des eaux usées doivent être envisagées en premier. Dans de nombreux cas, elles résultent des considérations sur les procédés décrites dans le BREF

vertical correspondant. Voici quelques suggestions concernant les causes fréquentes de pollution :

L'utilisation des **eaux de procédé** dépend du procédé de fabrication. Leur concentration en polluant dépend principalement de la solubilité du flux de procédé dans l'eau. Les suggestions suivantes sont à envisager :

- la séparation des eaux de procédé, des eaux pluviales et des autres eaux résiduares pour permettre la réutilisation ou le recyclage ainsi que pour réduire la quantité d'eau à traiter, l'installation d'un toit au-dessus de certaines zones de procédé et au dessus des aires de chargement et de déchargement, etc. ;
- le recyclage des eaux de procédé, lorsque cela est économiquement possible, avec un nombre maximal de recyclages avant rejet ;
- éviter si possible d'utiliser des systèmes de refroidissement par contact direct ;
- examiner de manière critique l'utilité des systèmes de lavage humide ou, s'ils sont inévitables, la possibilité de régénérer et de réutiliser l'eau (voir la section 2.2.1.2.2) ;
- la réduction des flux d'eau issus des systèmes de rinçage aqueux et d'étanchéité; généralement nécessaires pour des raisons de sécurité, ce qui ne signifie pas que leurs effluents soient exempts de tout contrôle ou de toute restriction ;
- la récupération des huiles avant rejet dans le réseau d'assainissement grâce à un décanteur ;
- une séparation eau / hydrocarbures efficace, lorsque le procédé le permet, avant rejet des eaux dans le réseau d'assainissement ;
- si possible, utilisation d'un fluide industriel au lieu de vapeur dans les systèmes à Venturi, ou bien d'une pompe à anneau liquide, avec de préférence un fluide industriel comme liquide d'étanchéité, ou encore d'une pompe à vide sèche, pour minimiser la pollution produite par les appareils sous vide ;
- lorsque cela est possible, capter les rejets des soupapes de sûreté et des clapets de décharge thermique ainsi que les purges des dispositifs double isolement ou des vannes à joints doubles, car il est déconseillé de les rejeter dans des zones où les eaux pluviales sont collectées ;
- collecte des effluents des laboratoires dans une réservoir à résidus.

Les **rejets opérationnels involontaires** dans le réseau d'assainissement peuvent généralement être évités grâce à une plus grande attention de la part de l'opérateur. Des instruments de surveillance supplémentaires ou des décanteurs permettent à l'opérateur de travailler plus efficacement. De plus, décanteurs sont conseillés lorsque des rejets liquides d'hydrocarbure se produisent fréquemment. Pour réduire les rejets opérationnels involontaires, les suggestions suivantes sont à envisager :

- boucher les événements et les conduites d'évacuation lorsqu'ils ne sont pas utilisés ;
- collecter les eaux de rinçage vers des installations de décantation plutôt que de les envoyer dans le réseau d'assainissement, en utilisant de préférence des systèmes d'échantillonnage en boucle fermée ou des robinets d'échantillonnage qui ne nécessitent aucun rinçage (par exemple, des robinets d'échantillonnage à piston). Les flacons d'échantillonnage sont dimensionnés afin d'éviter le débordement et de minimiser la fréquence d'échantillonnage et l'échantillon lui-même ;
- éviter le débordement des cuves ou des réservoirs en installant un niveau de surveillance ou des procédures appropriés ;
- minimiser l'utilisation des tuyaux ;
- envisager des installations de collecte des fuites des tuyaux ;
- envisager l'installation de toits au-dessus des rampes de chargement ;
- installer des bordures pour contenir les déversements accidentels ;

- envisager l'installation d'équipements de surveillance pour éviter le débordement des camions-citernes ;
- éviter les pertes de produit pendant la vidange de l'eau des fonds de réservoir ;
- envisager l'installation de systèmes de détection d'interface fiables ;
- envisager le raclage des conduites plutôt que leur rinçage et l'évacuation des eaux de rinçage, dans la mesure du possible ;
- aspirer les déversements plutôt que de les évacuer vers le réseau d'assainissement en utilisant de la vapeur ou un jet d'eau ;
- laisser couler les tuyaux d'eau uniquement en présence de personnel, ce qui constitue une bonne pratique de gestion/fabrication.

Par ailleurs, la conservation de l'eau grâce à des mesures intégrées aux procédés ou autres conduit à des flux d'eau beaucoup plus concentrés, ce qui permet de les recycler ou de les réutiliser de manière plus profitable, c'est-à-dire avec de meilleurs rendements, ou de les traiter plus efficacement. C'est pourquoi les moyens de réduction de la consommation d'eau, quels qu'ils soient, aboutissent à une réduction de la quantité de polluants à évacuer dans le réseau d'assainissement.

Les **arrêts programmés et autres activités de maintenance** génèrent souvent une pollution importante de l'eau. La minimisation de cette pollution nécessite une planification minutieuse très en amont, par exemple :

- définir une zone spécifique dédiée au nettoyage des équipements, équipée des installations appropriées pour récupérer les hydrocarbures et les déchets solides ; l'utilisation de cette zone doit être, autant que possible, obligatoire lorsque des équipements sont à nettoyer (par exemple, nettoyage des faisceaux d'échangeur) ;
- planifier minutieusement la purge des équipements afin d'éviter des rejets indésirables dans le réseau d'assainissement ;
- évaluer avec soin les méthodes et les besoins relatifs au nettoyage des équipements ;
- définir un parcours d'évacuation pour chaque effluent de nettoyage.

Les **rejets dus aux dysfonctionnements des équipements** sont par nature imprévisibles. La maintenance préventive des équipements et la mise en place d'un programme de surveillance permettent de les minimiser :

- éviter dans la mesure du possible une rupture des joints des pompes ;
- envisager l'installation de pompes étanches, d'un système de surveillance des vibrations ou d'alarmes en cas de fuite sur les joints ;
- détecter les fuites dans les eaux de refroidissement qui risquent de provoquer une panne de l'échangeur en vérifiant régulièrement la teneur en hydrocarbures, le pH et la conductivité électrique du retour d'eau de refroidissement ;
- réparer au plus tôt les fuites détectées ;
- analyser les systèmes qui fuient régulièrement pour déterminer le type d'équipement, de garniture d'étanchéité, de joint, etc. le plus adapté.

La **pollution due aux réseaux d'assainissement encrassés** peut être minimisée notamment :

- en inspectant régulièrement les puits de visite des réseaux d'assainissement afin de détecter la présence d'hydrocarbures, par exemple, et de les évacuer à l'aide d'une pompe à vide vers les décanteurs ;
- en nettoyant les réseaux d'assainissements sales pouvant entraîner un niveau important de pollution.

- **Sélection des systèmes de collecte (voir la section 2.2.2.4.1)**

- **Installation d'une capacité de tampon**

L'installation d'une capacité de tampon est un avantage en cas de dysfonctionnement, autant pour les effluents spécifiques issus des installations de production que pour les flux collectés en amont d'une station d'épuration centrale. Pour plus de détails, se reporter à la section 3.3.3.

- **Méthodes de traitement**

Les méthodes de traitement à envisager sont les suivantes :

- prétraitement d'un effluent spécifique avec traitement biologique central en aval ; par exemple prétraitement d'un flux contenant des métaux lourds ou de la DCO réfractaire pour réduire les polluants à la source, ce qui empêche une dilution indésirable et la dispersion dans un milieu récepteur des polluants qui seraient sinon rejetés sans être détectés ni traités ;
- traitement final d'un effluent avec déversement direct dans les eaux réceptrices ;
- traitement de plusieurs flux d'effluents en tant que prétraitement ou traitement final ;
- traitement central pour l'ensemble du site ; par exemple, installation de traitement biologique/mécanique (station d'épuration biologique centrale), installation de précipitation/floculation/décantation ou installation de traitement des eaux pluviales polluées ;
- pas de traitement des flux d'eaux usées faiblement pollués ni des eaux pluviales non polluées.

Les diverses techniques de traitement sont décrites au chapitre 3.

2.2.2.3.2 Sélection d'un système de contrôle des effluents gazeux

La procédure de sélection suit les étapes mentionnées à la section 2.2.2.3. Lors de la planification des modifications entraînées par la réduction à la source ou le traitement en aval, il convient de ne pas perdre de vue que toute modification a des répercussions importantes sur la sécurité, en particulier lorsque des substances inflammables sont concernées. C'est pourquoi il est absolument nécessaire d'évaluer minutieusement les répercussions de toute modification sur la sécurité de l'installation.

- **Réduction à la source**

Le contrôle économique des émissions nécessite tout d'abord d'examiner les possibilités de réduction à la source. Une planification minutieuse permet d'optimiser la récupération des polluants et, par conséquent, les coûts de capital et les coûts d'exploitation associés.

Cet examen peut révéler des possibilités de réduction des émissions à la source supplémentaires. Dans la plupart des cas, l'investissement associé est inférieur à celui d'un traitement en aval. Un examen minutieux des possibilités de réduction à la source est donc fortement recommandé. Il doit se baser sur les causes des émissions. C'est pourquoi il est essentiel de posséder une bonne connaissance de l'importance relative de chaque cause pour permettre de hiérarchiser les objectifs. Une fois toutes les possibilités de réduction à la source passées en revue, un traitement en aval peut quand même s'avérer nécessaire.

- **Collecte des émissions (voir la section 2.2.2.4.2)**

- **Sélection des technologies de traitement**

Lorsque les mesures de réduction à la source ne permettent pas de réduire suffisamment les émissions, un traitement en aval est nécessaire. Les dispositifs de traitement ne peuvent traiter que les émissions captées à la source. C'est pourquoi, si des émissions non captées doivent être réduites par des moyens autres que la réduction à la source, des hottes collectrices et un système de ventilation (avec les dispositifs de sécurités nécessaires) doivent être installés en amont du système de réduction de la

pollution. Les coûts d'installation de ces systèmes de ventilation peuvent être élevés. C'est pourquoi ils doivent être conçus en gardant à l'esprit le rapport coût/efficacité. L'investissement requis pour le traitement en aval lui-même est généralement fonction du débit total du gaz à traiter, c'est pourquoi il est intéressant de réduire ce débit. Pour finir, la sélection d'une technologie de traitement adaptée aura un impact non négligeable sur les coûts d'exploitation et les coûts de capital requis.

Les considérations principales pour la conception des systèmes de traitement des effluents gazeux sont le débit de l'effluent, ses concentrations en polluants et, outre les valeurs maximales, leur degré de variabilité. La nature, ou la chimie, des polluants est de première importance puisque tous les systèmes de traitement sont limités à cet égard, par exemple :

- seules les vapeurs inflammables peuvent être incinérées ;
- les polluants contenant des halogènes et/ou du soufre peuvent nécessiter de subir un traitement des gaz de combustion en aval de l'oxydation thermique et catalytique ;
- l'efficacité de la condensation dépend de la tension de vapeur des polluants à la température de condensation, c'est pourquoi les substances dont la tension de vapeur est élevée sont moins adaptées à la condensation ;
- seuls les composés de taille moléculaire faible peuvent être adsorbés ou désorbés efficacement ;
- la biofiltration de composés non biodégradables n'est pas efficace ;
- les membranes sont plus efficaces pour certains composés que pour d'autres ;
- l'efficacité du lavage humide dépend de la solubilité et de la tension de vapeur des polluants.

La valeur des produits émis détermine l'intérêt de leur récupération à partir des effluents gazeux. En d'autres termes, plus la valeur des produits est élevée, plus l'utilisation de techniques de récupération (par exemple l'adsorption, la condensation, la séparation par membrane) est préférable aux techniques destructives (par exemple, oxydation catalytique et thermique, biofiltration).

La présence d'impuretés dans l'effluent gazeux a un impact sur la conception du système. Ces impuretés doivent parfois être éliminées au cours d'une étape de prétraitement, par exemple :

- la vapeur d'eau, qui affecte l'efficacité de l'adsorption ainsi que les systèmes de condensation, en particulier les systèmes réfrigérés ou cryogéniques, ou les systèmes filtrants ;
- les poussières, qui peuvent perturber l'adsorption, l'absorption ou l'oxydation catalytique en colmatant le garnissage ou le lit d'adsorbant ;
- les poisons catalytiques, qui rendent inefficaces les incinérateurs catalytiques et les filtres catalytiques ;
- les acides, qui affectent le fonctionnement des biofiltres et des biolaveurs.

La concentration autorisée en sortie doit être prise en compte. La plupart des technologies ont une capacité dépollution limitée. En particulier, la condensation, l'absorption et la biofiltration présente une capacité de dépollution nettement inférieure à 100 %. Les systèmes d'oxydation thermique et catalytique présentent l'avantage d'une capacité de destruction très élevée, proche de 99 %. Par ailleurs, la consommation d'énergie et de combustible supplémentaires, ainsi que le rejet de gaz de combustion de ces systèmes doivent être pris en compte. Les systèmes d'adsorption sont également très efficaces, tant que l'on évite de saturer l'adsorbant.

Les problèmes de sécurité sont particulièrement importants dans le cas des systèmes d'oxydation catalytique et thermique. La plupart des mélanges COV/air sont inflammables à une concentration en COV supérieure à 40 g/m³, à une température de 20 °C et à pression atmosphérique. Pour éviter les retours de flammes, c'est-à-dire la propagation d'une flamme dans les conduites d'alimentation d'un incinérateur, il faut s'assurer que la concentration d'alimentation est toujours nettement inférieure à la

LIE. Dans le cas contraire, c'est-à-dire une concentration en COV nettement supérieure à la LSE, il convient de s'assurer que la concentration en COV ne passe en aucun cas en dessous de cette limite. Un dispositif d'arrêt de détonation ou un réservoir d'étanchéité peuvent empêcher le retour de flammes en cas de concentration élevée imprévue. De plus, l'incinérateur doit être installé à un endroit où le risque de présence de vapeurs inflammables est nul. Une analyse détaillée est par ailleurs nécessaire pour garantir la sécurité de l'installation. La sécurité des systèmes basés sur d'autres technologies doit également être analysée en détail. De nombreux systèmes (adsorption, membranes) produisent des effluents plus concentrés, ces concentrations pouvant se trouver dans la zone d'explosivité. En ce qui concerne les systèmes d'adsorption, le risque d'incendie du lit doit être évalué. De nombreux systèmes utilisent des compresseurs ou des ventilateurs, ce qui peut avoir des répercussions en matière de sécurité. De manière générale, un examen détaillé de la sécurité est requis pour chaque installation. L'impact sur le choix du système peut être importante. Ainsi, les questions de sécurité sont primordiales dans le cas des électrofiltres (le dépoussiérage des gaz inflammables doit être évité) et des filtres en tissu (départ de feu possible par gaz chauds, poudres pyrophoriques et étincelles).

L'investissement requis pour le système revêt bien sûr une importance capitale. Lors de son évaluation, il faut faire attention de bien prendre en compte les coûts de toutes les installations nécessaires. En particulier, l'alimentation en utilités, les systèmes de collecte et de raccordement à l'installation de dépollution et les besoins en équipements auxiliaires (par exemple, réservoir d'étanchéité pour un incinérateur, unité de traitement de l'eau pour un condenseur) peuvent avoir de sérieuses répercussions sur les coûts.

Bien que l'investissement initial soit important, les coûts d'exploitation peuvent l'être encore plus. Ces frais regroupent la consommation en utilités, le remplacement du catalyseur, le support ou membrane d'adsorption, les coûts des produits chimiques, les coûts de fonctionnement et de maintenance, l'évacuation des produits dérivés, le prétraitement et le post-traitement, etc. Lors de l'évaluation de ces frais, il est très important de quantifier les coûts associés à chaque étape du fonctionnement (fonctionnement normal, régénération, période de veille). Par exemple, les oxydateurs thermiques sont généralement chemisés d'un revêtement réfractaire. Ce revêtement est sensible à l'humidité et doit donc être maintenu à une température relativement chaude en permanence. La quantité de combustible nécessaire pour le maintenir à cette température pendant les périodes de veille est un paramètre important à prendre en compte pour les systèmes qui ne sont pas utilisés 24 h/24, 7 j/7. Maintenir à température un système régénératif ou sans flammes nécessite une fraction du combustible nécessaire aux oxydateurs thermiques simples.

Les contraintes liées à l'agencement peuvent jouer un grand rôle. Les systèmes d'incinération doivent être situés loin des installations où des vapeurs inflammables pourraient être présentes. L'installation d'un système au sein d'une zone dangereuse nécessite de concevoir les systèmes électriques et de surveillance en conséquence, ce qui peut se répercuter sur le coût de l'unité de façon significative. L'accès à l'unité ne doit pas être omis.

La disponibilité des utilités est un autre aspect clé du choix de la technologie de dépollution la plus adaptée. La disponibilité d'un combustible adapté est nécessaire aux systèmes d'incinération, et les coûts en combustible peuvent avoir un énorme impact sur les coûts d'exploitation. Les systèmes d'adsorption à lit fixe utilisent généralement de la vapeur pour la phase de désorption ; cependant, lorsque l'on ne dispose pas de suffisamment de vapeur, la conception doit être modifiée en conséquence. Les systèmes de condensation nécessitent une alimentation électrique suffisante et les systèmes de lavage par voie humide, une alimentation en eau suffisante.

Les systèmes de traitement sont traités au chapitre 3.

2.2.2.4 Choix d'un système de collecte

Le choix d'un système de collecte adéquat dépend des systèmes de traitement choisis, et donc du but du traitement des effluents gazeux et des eaux usées. La méthode de sélection est décrite dans les sections suivantes pour l'évacuation des eaux usées et des effluents gazeux.

2.2.2.4.1 Sélection d'un système de séparation et de collecte des eaux usées

Le choix d'un système de collecte adapté prenant en compte les résultats de l'inventaire des effluents garantit un déversement optimal des eaux usées, c'est-à-dire avec un impact minimal sur l'environnement. Selon les exigences des traitements en aval, il peut être nécessaire d'installer un système de collecte satisfaisant aux besoins relatifs à :

- l'évacuation des eaux pluviales ;
- l'évacuation des eaux de refroidissement, selon le niveau de pollution ;
- l'évacuation des eaux usées pouvant être déversées directement dans traitement ;
- l'évacuation des eaux usées sanitaires ;
- l'évacuation des eaux de procédé selon leur origine ;
- l'évacuation des installations de traitement décentralisées ou centralisées (sur site ou hors site) ;
- l'évacuation séparée des eaux usées organiques et des inorganiques sans charge organique importante, ce qui évite la dilution de ces deux flux, qui entraînerait une diminution de l'efficacité du traitement.

Ces prérequis, ainsi que les facteurs économiques, nécessitent la mise en place de systèmes de séparation des eaux usées, qu'il faut par ailleurs entretenir. Les eaux usées qui ne doivent pas être traitées (par exemple, les eaux pluviales ou de refroidissement non polluées) sont séparées des eaux usées à traiter, ce qui réduit la charge hydraulique pour les systèmes d'évacuation et de traitement.

Les flux d'eaux usées qui ne satisfont pas aux exigences en matière de qualité pour un traitement central doivent subir un prétraitement spécifique. Ainsi, pour chaque flux d'eaux usées, le diagramme décisionnel illustré à la figure 2.5 doit être suivi et le système d'assainissement conçu en conséquence.

Les eaux usées peuvent être collectées dans des réseaux de surface ou souterrains. Les installations existantes sont souvent équipées de systèmes souterrains de type gravitaires, ce qui économise l'énergie du pompage. De plus, les conduites sont à l'écart des installations de procédé. Les collecteurs de surface présentent l'avantage de faciliter la détection des fuites avant que les dégâts sur les nappes d'eaux souterraines soient trop importants. Si le niveau des nappes sur un site industriel est proche de zéro, comme dans le cas des sites proches de berges, d'estuaires ou de zones côtières, il n'y a généralement pas d'autre choix que d'utiliser un réseau d'assainissement de surface. Les techniques actuelles utilisent des réseaux d'assainissement de surface car leur maintenance, leur intégration à des installations existantes et leur réparation sont plus simples, et donc leur exploitation plus économique. Ils présentent toutefois l'inconvénient de nécessiter des conduites sous pression ainsi qu'un risque de formation d'émulsions dues au pompage. Par ailleurs, il est à noter que les conditions climatiques peuvent présenter des problèmes pour les réseaux d'assainissement de surface (par exemple dans les régions avec de longues périodes de gel).

2.2.2.4.2 Choix des systèmes de collecte des effluents gazeux

Les systèmes de collecte des effluents gazeux sont bien moins complexes que les systèmes de collecte des eaux usées. Ils sont principalement installés dans les cas suivants :

- comme systèmes de collecte des circuits d'aération, acheminant plusieurs circuits d'aération vers un système de traitement commun ;

- pour capturer les émissions diffuses et/ou fugitives grâce à des hottes aspirantes, et les acheminer vers une unité de traitement ;
- comme systèmes de combustion en torchère, principalement installés pour évacuer en toute sécurité les effluents gazeux en cas d'urgence.

Pour minimiser le débit d'air dans l'unité de contrôle, il est conseillé de confiner les sources d'émission autant que possible en utilisant des cloisons pour séparer ces sources de leur milieu environnant. Toutefois, cette solution présente des inconvénients au niveau de l'exploitabilité (accès à l'équipement), de la sécurité (nécessité d'éviter des concentrations trop proches de la LIE) et de l'hygiène (lorsque le personnel doit accéder à l'intérieur de la zone confinée). Le confinement doit être conçu de sorte que les vapeurs ne puissent pas s'échapper en assurant une vitesse de l'écoulement d'air suffisante à travers les ouvertures (débit minimal recommandé : 0,5 m/s). Le débit total doit être suffisant pour permettre la dilution des vapeurs jusqu'à une valeur nettement inférieure à la LIE. Lorsqu'il est probable que cette concentration soit dépassée, un détecteur asservi à la LIE du gaz doit être installé à l'intérieur du confinement, ainsi que les équipements de contrôle appropriés.

Dans la plupart des cas, le système de traitement des émissions est installé sur les exutoires existants des émissions canalisées ou les systèmes de collecte des circuits d'aération existants. Un examen critique des systèmes existants doit être réalisé avant de déterminer le débit total du système de traitement. Cet examen est nécessaire pour deux raisons principales :

- Les débits réels fournis par les ventilateurs peuvent être très différents des débits prévus, à cause de la chute de pression en amont et en aval. Il n'est pas rare de constater des débits réels inférieurs à 50 % du débit prévu par la conception du ventilateur. C'est pourquoi calculer le débit du système de traitement comme étant la somme des débits théoriques des ventilateurs dans l'unité de contrôle peut aboutir à une surestimation de la taille de l'unité de traitement en aval. Pour cette raison, il est conseillé de mesurer les débits réels. Au niveau de la conception finale du système, il faut également prendre en compte les changements de débit (augmentations ou diminutions) qui peuvent être dus à l'installation de l'unité de traitement. Dans le cas d'une diminution du débit, il faut également analyser les répercussions sur la sécurité.
- Les circuits d'aération existants ainsi que les systèmes d'extraction des fumées ne sont pas forcément conçus dans une optique de minimisation du débit. Des modifications mineures de la conception peuvent se traduire par des réductions importantes du débit, et donc par des économies importantes en matière de coût du traitement en aval.

En ce qui concerne les systèmes de collecte des COV, les points essentiels sont la sécurité du personnel et l'hygiène. Les dispositifs à installer pour empêcher l'inflammation des mélanges gaz/oxygène ou pour en minimiser les effets en empêchant les explosions sont notamment :

- les dispositifs d'arrêt de détonation
- les réservoirs d'étanchéité
- les joints hydrauliques

La concentration dans les systèmes de collecte des COV doit être en permanence nettement inférieure ou nettement supérieure à la zone d'explosivité, ce qui signifie que le mélange correct des effluents gazeux est fondamental.

2.2.2.5 Mise en place des solutions de contrôle des émissions retenues

Une fois les mesures de contrôle des émissions choisies, leur mise en place doit être planifiée en détail, que ce soit au niveau organisationnel ou matériel. Lorsque des problèmes qui n'avaient pas été envisagés sont identifiés au cours de la planification et/ou de l'examen détaillés, il peut être nécessaire de revoir le choix des options de contrôle des émissions. Il faut bien comprendre que la réussite de la

mise en place des techniques de contrôle nécessite une phase de conception rigoureuse. Sinon, les performances de la solution de contrôle présenteraient des résultats médiocres en matière environnementale ainsi qu'un ratio avantages/coûts faible pour l'investissement environnemental.

Le temps nécessaire à la mise en place des mesures de contrôle des émissions dépend fortement de la nature des mesures et du type d'installation dans lesquelles elles doivent être intégrées :

- les mesures organisationnelles, par exemple la révision des procédures d'exploitation ou des pratiques de planification, sont généralement mises en œuvre assez rapidement ;
- le développement et le test sur le terrain des mesures de contrôle, par exemple des opérations d'optimisation du contrôle par ordinateur, peuvent prendre plusieurs mois (voire plus) ;
- les mesures matérielles, par exemple la mise en place des dispositifs de contrôle ou des modifications de procédé visant la réduction à la source des émissions, peuvent prendre plusieurs mois, voire plusieurs années, selon l'envergure des projets et la possibilité de les intégrer à un environnement industriel en fonctionnement. Cette durée regroupe la conception des installations, la délivrance des autorisations, l'étude détaillée, l'achat des équipements, l'installation et le démarrage. Dans de nombreux cas, un arrêt complet de l'usine est nécessaire pour réaliser les modifications, ce qui ne peut avoir lieu dans les grands sites chimiques et pétrochimiques que certaines années.

2.2.2.6 Méthodes de contrôle de la qualité

Les méthodes de contrôle de la qualité sont des outils utilisés pour « dépanner » un procédé de traitement défaillant ou qui ne permet pas de satisfaire aux exigences fixées dans l'autorisation accordée. Les rejets d'une installation de traitement dépendent des caractéristiques du flux entrant et de la capacité du traitement. Pour vérifier qu'un procédé de traitement fonctionne correctement, la qualité de l'effluent de sortie est comparée à un ensemble de normes. Si l'effluent n'est pas conforme à ces normes, il est nécessaire d'intervenir immédiatement pour obtenir à nouveau des performances conformes aux normes en [cww/tm/129] :

- détectant le problème
- identifiant la cause du problème
- mettant en œuvre des actions correctives pour que le système retrouve son état de fonctionnement normal

La résolution du problème et l'amélioration du système nécessitent une vérification complète de l'installation ou du site. Les actions correctives nécessitent la coopération de plusieurs services. Dans les paragraphes suivants, ces méthodes sont illustrées pour le traitement des eaux usées, la méthode de contrôle du traitement des effluents gazeux étant appropriée.

Réalisation du contrôle [cww/tm/129]

Certaines variables peuvent être contrôlées par un opérateur d'une station d'épuration, notamment la purge des clarificateurs et l'alimentation en oxygène dissous ou en produits chimiques, qui peuvent être ajustées en fonction des circonstances. D'autres paramètres ne sont pas contrôlables par l'opérateur, par exemple le débit des eaux usées et leurs caractéristiques. Ces variables peuvent avoir une grande incidence sur le fonctionnement de la station d'épuration et au final sur la qualité des eaux déversées.

Les aspects contrôlables sont tous modifiés en réaction à un changement dans le système. L'adaptation aux conditions de fonctionnement est un mécanisme de rétroaction qui vise à générer une qualité constante en sortie quelles que soient les variations en entrée. Les variables qui ne peuvent pas être contrôlées sont gérées de façon prédictive ou anticipée. Le contrôle et le test en continu permettent à la station de détecter précocement des modifications en entrée.

Contrôle/amélioration [cww/tm/129]

Le mode d'exploitation courant d'une station d'épuration se fait par contrôle de processus. Seules les opérations nécessaires pour atteindre les exigences en matière de qualité de l'effluent et pour garder cette qualité "sous contrôle" sont effectuées, perdant ainsi une part de la maîtrise du système. Les étapes en cas de dérive sont les méthodes bien connues de détection, d'identification du problème et d'actions correctives (voir ci-dessus). La solution de facilité qui consiste à laisser les choses en l'état est tout bonnement inacceptable dans la plupart des cas.

En langage qualitatif, "sous contrôle" signifie ici que le système gère les fluctuations du mieux qu'il peut, mais le procédé n'est peut-être pas capable d'être statistiquement conforme aux exigences relatives aux effluents, soit parce que les exigences sont nouvelles, soit parce que le flux entrant a changé. Un nouvel ensemble d'exigences nécessite de mettre en place des mesures d'amélioration, déterminées par une série de mesures curatives destinées à atteindre la nouvelle zone de contrôle conforme aux nouvelles exigences.

Outils d'amélioration de la qualité [cww/tm/129]

L'amélioration de la qualité a pour but d'aller au delà des exigences standards et d'atteindre un niveau de performances jamais atteint auparavant, élargissant le champ d'application de la résolution des problèmes au-delà de la correction des problèmes évidents. Il est certes important que le système fonctionne, mais il est peut-être encore plus important de revoir la totalité du système et d'identifier les zones pouvant être améliorées. Pour cela, il suffit de suivre un processus en trois étapes :

- identification des causes des problèmes potentiels
- acquisition des données et analyse
- contrôle statistique du processus

La première étape de la résolution des problèmes et de l'amélioration de la qualité consiste à se concentrer sur un nombre restreint de problèmes potentiels et de tenter d'identifier leurs causes. Un **diagramme des causes-effets** sous la forme d'un diagramme en arêtes de poisson d'Ishikawa (voir la figure 2.6) fournit un moyen efficace d'organiser et de présenter les diverses hypothèses concernant les causes du problème.

L'**analyse de Pareto** est un autre outil qui peut être utilisé. Il consiste à comparer de façon ordonnée les facteurs liés à un problème. C'est un moyen graphique d'identifier et de se concentrer sur les facteurs ou problèmes fondamentaux.

Un **diagramme des flux** fournit les étapes nécessaires à l'obtention d'un résultat souhaité et peut servir à clarifier les procédures utilisées et à donner une vision commune du procédé global.

La deuxième étape de la résolution des problèmes et de l'amélioration de la qualité consiste à acquérir des données précises et fiables, puis à les analyser, en rassemblant les informations requises et en préparant les données pour une utilisation optimale, par exemple à l'aide d'histogrammes et/ou de graphiques de tendance. Ces représentations graphiques permettent de visualiser l'importance de la variation des procédés et l'identification de problèmes particuliers.

La troisième étape du processus d'amélioration des performances d'une station d'épuration consiste à utiliser la **Maîtrise Statistique des procédés (MSP)**. La MSP étudie, analyse et contrôle, au moyen de méthodes statistiques, les variations au sein d'un procédé. Elle permet d'extraire des informations significatives sur un procédé afin de pouvoir mettre en place les actions correctives nécessaires. La MSP est utilisée pour quantifier la variation des données et déterminer mathématiquement si un procédé est stable ou instable, prévisible ou non. Une carte MSP est un outil permettant de répondre aux questions suivantes :

- Les résultats de la station d'épuration sont-ils les mêmes qu'auparavant ?

- Est-elle statistiquement sous contrôle ou des causes particulières de non-conformité sont-elles évidentes ?
- Fonctionne-t-elle aussi bien qu'escompté compte-tenu des contraintes physiques ?
- À quel moment précis est-il fait appel à l'action corrective et à quel moment le système est-il laissé sans surveillance ?
- L'action corrective est-elle menée en changeant le procédé ou les procédures ?

METHODS	MÉTHODES
PEOPLE	PERSONNEL
MATERIALS	MATIÈRES
MEASUREMENTS	MESURES
MACHINES	MACHINES
Poor maintenance	Mauvais entretien
Lack of attention	Manque d'attention
Lack of training	Formation insuffisante
Insufficient staff	Manque de personnel
Insufficient mixing	Mélange insuffisant
Wrong product	Mauvais produit
Wrong feed rate	Mauvais débit d'alimentation
Wrong feed point	Mauvais point d'alimentation
Poor influent	Influent de mauvaise qualité
Wrong equipment settings	Mauvais paramétrage des équipements
Improper product makedown	Préparation incorrecte des produits
Incorrect procedures	Procédures incorrectes
Wrong equipment readings	Erreur de lecture des équipements
Insufficiently dissolved oxygen	Oxygène insuffisamment dissous
Insufficient waste/recycle	Recyclage des effluents insuffisant
Excessive hydraulic loading	Charge hydraulique excessive
Not enough nutrients	Pas assez de nutriments
Poor control	Contrôle inadapté
Poor SVI	Mauvais IM
Effect	Effet
Poor quality effluent (permit violations)	Mauvaise qualité de l'effluent (non-conformité aux autorisations)
SVI: Sludge Volume Index	IM : Indice de Mohlmann

Figure 2.6 : Diagramme des causes-effets de la mauvaise qualité d'un effluent

Lors de l'élaboration de la carte MSP, les limites statistiques inférieure et supérieure sont calculées à partir des données. Ces limites sont fixées par le procédé et sont basées sur les performances antérieures. Il ne faut pas les confondre avec les limites de contrôle opérationnelles, c'est-à-dire les limites utilisées pour l'exploitation de la station d'épuration ou pour satisfaire aux exigences de l'autorisation. Les limites de contrôle opérationnelles doivent se trouver entre les limites statistiques (supérieure et inférieure).

Il est nécessaire de se pencher sur la question ou d'agir immédiatement lorsque :

- des données se trouvent en dehors des limites statistiques, et donc sont considérées comme une cause particulière de variation, par exemple une procédure d'échantillonnage, un renversement de liqueur ou un instrument nécessitant un étalonnage ;
- les limites statistiques sont trop éloignées et les valeurs réelles se retrouvent à un moment donné en dehors des limites de contrôle ou des limites autorisées.

Lorsque les limites statistiques définies par le procédé se trouvent en dehors des normes ou des exigences de fonctionnement, cela signifie que l'exploitant réagit probablement correctement face aux changements qu'il remarque dans le procédé. Mais il est confronté à un système censé fonctionner dans une certaine plage dans laquelle il n'est pas capable statistiquement de fonctionner de manière constante. Les données indiquent qu'il y a trop de variations pour exploiter la station d'épuration de manière constante et que le système doit être modifié pour reprendre le contrôle.

2.2.3 Outils de gestion stratégique

La description des outils de gestion stratégique concerne uniquement leur application à l'organisation et à la mise en œuvre de la gestion des rejets. Leur application à la gestion des procédés peut relever du champ d'application des BREF verticaux respectifs ou du BREF sur les aspects économiques et les impacts croisés. Les outils d'évaluation des solutions environnementales et économiques sont par exemple :

- l'évaluation des risques
- l'évaluation comparative
- l'analyse du cycle de vie (ACV)

2.2.3.1 Évaluation des risques

L'évaluation des risques est une méthode courante de calcul des risques écologiques et pour l'homme posés par les activités des procédés de production. Elle peut prendre en compte les émissions continues et discontinues, les fuites et les émissions accidentelles. C'est un processus à étapes et itératif, comportant au moins la première des cinq étapes suivantes [cww/tm/132] :

- l'identification du danger, c'est-à-dire l'identification de la capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes ;
- l'évaluation de la relation dose-effet, c'est-à-dire de la relation entre le niveau d'exposition à une substance, et l'impact et la gravité de ses effets ;
- l'évaluation de l'exposition, c'est-à-dire des concentrations ou des doses auxquelles les divers éléments de l'environnement (y compris l'homme) peuvent être exposés ;
- la caractérisation du risque, c'est-à-dire l'évaluation de l'impact et de la gravité des effets néfastes qui peuvent survenir ;
- l'évaluation du risque, c'est-à-dire la quantification de la probabilité estimée dans le cadre de la caractérisation du risque.

Lorsqu'aucun danger au niveau de l'effluent rejeté n'est identifié au cours de la première étape, l'application d'un processus itératif devient caduque.

Le processus itératif mentionné précédemment caractérise le risque, identifie sur qui ou sur quoi porte le risque, ainsi que les niveaux, les sources et les voies d'exposition. La phase qui suit le processus d'évaluation des risques consiste à réduire le risque et à pallier les conséquences d'un événement indésirable [cww/tm/132]. L'évaluation des risques permet donc d'établir des recommandations importantes concernant les exigences relatives aux installations de traitement, et le développement de mesures préventives et de limitation des effets. L'évaluation des risques peut dégager les points suivants :

- un effluent émis présente des propriétés toxiques qui en interdisent totalement l'exposition de l'environnement. Il doit donc être complètement supprimé ou recyclé.
- l'installation d'un procédé peut ne pas être possible car le milieu récepteur est déjà pollué au point qu'une pollution supplémentaire se traduirait par une exposition dangereuse ;
- un type de traitement différent peut être avantageux par rapport à un autre plus courant ;

- un changement dans le procédé de production peut être requis pour satisfaire aux exigences environnementale.

Le processus décisionnel de choix des mesures les plus appropriées n'entre pas dans le cadre de l'évaluation des risques. Les aspects socioéconomiques et politiques peuvent influencer ces décisions. C'est pourquoi il est important de séparer l'évaluation des risques basée uniquement sur les données techniques de ce processus politique [cww/tm/132] qui inclut généralement des considérations risques/avantages, y compris la répartition des coûts, et qui entraîne souvent des jugements subjectifs. Ces aspects sont traités dans le BREF sur les aspects économiques et les impacts croisés.

Des programmes informatiques permettent d'appliquer les processus d'évaluation des risques [cww/tm/84].

2.2.3.2 Evaluation comparative (benchmarking)

L'évaluation comparative est un processus de comparaison des performances atteintes par une installation ou un site à celles d'autres installations ou sites. Il s'agit d'un outil permettant à l'exploitant d'évaluer ses méthodes de fonctionnement, par exemple sa manière de gérer ou de traiter les eaux usées et les effluents gazeux, en les comparant à celles d'activités similaires situées autre part. Les éléments centraux sont la méthode de calcul du classement et la vérification des performances obtenues. L'évaluation comparative peut servir à l'amélioration de la performance environnementale d'un site.

2.2.3.3 Analyse du cycle de vie (ACV)

L'ACV implique la comparaison des effets éventuels sur l'environnement de différentes méthodes de fonctionnement. Les principaux éléments examinés sont les produits et les services, mais elle peut également être transposée aux installations et aux voies d'élimination, c'est pourquoi elle rentre dans le cadre du présent document. L'ACV comporte les phases suivantes [cww/tm/132] :

- définition et portée des objectifs ;
- analyse des inventaires, y compris des flux d'énergie et de matière comme données d'entrée et de sortie sur la totalité du cycle de vie ;
- évaluation des impacts, notamment sur l'environnement ;
- interprétation des résultats, lesquels sont utilisés dans le choix des solutions les plus favorables pour l'environnement.

L'ACV est toujours actuellement en phase de développement, l'analyse des inventaires étant la partie la plus avancée et l'interprétation la partie la moins avancée. Malgré la méthode d'évaluation partiellement subjective, l'ACV est un outil décisionnel performant car les relations complexes peuvent être systématiquement réduites à un nombre de données relativement réduit. L'ACV est réalisée conformément à des normes reconnues, notamment [cww/tm/132] :

- ISO 14040 : Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre
- ISO 14041 : Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire
- ISO 14042 : Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Évaluation de l'impact du cycle de vie
- ISO 14043 : Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Interprétation du cycle de vie

L'ACV ne prend en compte que les aspects environnementaux, c'est-à-dire un seul élément de la prise de décision. Les aspects économiques et sociaux sont traités de manière additionnelle plutôt qu'intégrée, et basés sur les résultats de l'ACV. Grâce à celle-ci, la pertinence en matière

d'environnement des éléments de l'examen, par exemple les lignes de production et les services de traitement, peut être déterminée de façon claire et reproductible, ce qui est la base de l'optimisation écologique, c'est-à-dire de la sélection de solutions « plus écologiques ». L'ACV peut servir à déterminer les éléments suivants :

- les voies d'élimination les plus écologiques ;
- le seuil de rentabilité écologique du recyclage et d'autres pratiques de protection de l'environnement ;
- les points faibles du cycle de vie de l'élément examiné ;
- l'ordre de priorité des actions nécessaires [cww/tm/132].

Du fait de la méthodologie sous-jacente à l'ACV, il existe des limites, par exemple [cww/tm/132] :

- l'impact environnemental d'un élément examiné ne peut être déterminé de manière absolue mais seulement de manière relative car l'impact réel sur l'environnement n'est pas connu ;
- aucune déduction généralement valide ne peut être faite sur la compatibilité environnementale des matières, des produits auxiliaires et des milieux, car ni leur utilisation future ni leur avantage prévus ne sont connus ;
- les affirmations d'ordre général sur les voies d'élimination ne peuvent être déduites que lorsque les valeurs de référence des déchets émis sont connues (ce qui est rarement le cas).

L'ACV ne dicte pas les décisions à prendre, elle aide seulement à les prendre. C'est pourquoi il est insuffisant de fonder des décisions relatives à l'environnement uniquement sur les résultats de l'ACV si la façon dont les résultats sont atteints n'est pas prise en compte.

2.2.4 Outils de sécurité et d'intervention en cas d'urgence

Étant donné le risque que présente tout site industriel chimique pour l'environnement, les ressources en eau et la santé publique, des mesures doivent être prises pour éviter autant que possible les risques ou pour réagir efficacement en cas d'accident et en limiter les effets. Bien qu'il relève du travail des ingénieurs de concevoir des équipements fiables et de faire fonctionner une installation de sorte qu'aucun accident ne se produise, le risque zéro n'existe pas.

Les déversements de produits chimiques et d'huile sont des accidents classiques sur un site chimique. Toutefois, des matières qui ne présentent pas de danger pour l'homme peuvent en présenter pour l'environnement. C'est le cas par exemple des eaux d'extinction en cas d'incendie. Les atteintes à l'environnement peuvent être à long terme et, dans le cas des nappes phréatiques, peuvent durer des décennies, voire plus. Les rivières, les réseaux d'assainissement, les galeries, les drains, les systèmes de distribution d'eau et autres constituent des voies d'évacuation pour les polluants hors du site, les effets du rejet pouvant être constatés un peu plus loin. Dans de nombreux cas, les incidents de pollution majeurs peuvent être évités si des mesures de prévention adéquates sont instaurées ou applicables immédiatement. L'élaboration de plans d'opérations est la clé du succès, et les outils de gestion que sont les mesures préventive et les stratégies de réponse en cas d'incident doivent être traitées avec soin [cww/tm/147].

Les rejets accidentels de gaz dans l'atmosphère doivent être évités grâce à des dispositifs de sécurité appropriés et au fonctionnement correct des installations car, dans la plupart des cas, les rejets gazeux ne peuvent pas être contenus. Les gaz qui peuvent se mélanger à l'eau tels que les acides ou l'ammoniac sont une exception à la règle car ils peuvent être mis en solution par un rideau d'eau et le flux d'eaux usées ainsi produit peut être traité dans une station d'épuration.

Les polluants peuvent s'échapper du site et se retrouver dans le compartiment de le milieu aqueux en empruntant de nombreux chemins, par exemple [cww/tm/147] :

- le système de collecte de surface du site, directement ou via les réseaux d'assainissement de surface hors site ;
- par ruissellement direct dans des cours d'eau environnants ou dans le sol, avec un risque potentiel pour les nappes phréatiques ;
- via le système de drainage des eaux boueuses. Les polluants traversent intacts les stations d'épuration des eaux usées ou affectent les performances des stations, impliquant des atteintes supplémentaires pour l'environnement ;
- via des dépôts atmosphériques telles que des panaches de vapeur.

2.2.4.1 Gestion des eaux d'incendie et des eaux provenant de déversements accidentels importants

La gestion des eaux d'incendie et des eaux provenant de déversements accidentels se concentre sur les stratégies de confinement et sur les équipements utiles pour gérer ces déversements. Toutefois, d'autres outils de gestion tels que les outils opérationnels et stratégiques doivent aussi être envisagés et étayés par des plans d'opérations et des plans d'urgence en cas de pollution involontaire (voir la section 2.2.4.2) pour réduire l'impact de tout incident involontaire [cww/tm/147].

La première étape consiste à considérer les stratégies en cas d'incendie et les méthodes applicables pour réduire la quantité des eaux d'extinction d'incendie, par exemple en utilisant de préférence des systèmes de pulvérisation plutôt que lances, un brûlage dirigé et un recyclage éventuel des eaux d'incendie, lorsque cela est techniquement possible et que cela ne présente aucun danger [cww/tm/147].

Systèmes de confinement

Les sites chimiques peuvent présenter un ou plusieurs niveaux de confinement. Pour décider du niveau de confinement approprié, une évaluation des risques s'avère utile (voir la section 2.2.3.1).

L'exploitant doit prendre en compte les matières dangereuses présentes sur le site, les risques posés par les accidents, les incendies, les inondations et le vandalisme, une possible défaillance du système de confinement primaire (c'est-à-dire le réservoir ou la cuve de stockage de la matière considérée), la fragilité du milieu récepteur et l'importance d'empêcher tout déversement résultant dans ce milieu.

Dans de nombreux cas, un confinement primaire et local (cuvette de rétention) empêchera qu'un incident n'engendre une pollution. Cependant, lorsqu'il n'y a pas de confinement local ou que l'évaluation des risques indique que des mesures de sécurité supplémentaires doivent être prises, par exemple pour contenir le ruissellement des eaux d'incendie qui peut représenter des milliers de mètres cubes, des systèmes de confinement à distance doivent être utilisés. Ils peuvent être utilisés seuls ou associés à un confinement local, aussi bien pour une zone restreinte couvrant une partie d'un site que pour un certain nombre de grandes installations individuelles. Ils peuvent permettre de protéger le système de collecte des eaux des pluies et celui des eaux usées [cww/tm/147].

La capacité nécessaire pour les systèmes de confinement à distance doit prendre en compte :

- la dangerosité des eaux d'incendie polluées (les méthodes d'évaluation basées sur les phrases R peuvent être employées, ainsi que des systèmes tels que celui du VCI allemand qui porte sur la capacité de rétention des eaux d'incendie et qui définit des classes de dangers) ;
- la capacité primaire (c'est-à-dire la capacité de la cuve où la matière concernée est stockée ou mise en œuvre) ;
- le volume possible des précipitations au cours de l'intervention d'urgence ;
- les eaux de refroidissement et d'incendie ;
- la mousse (comme moyen de lutte contre l'incendie) ;
- les effets dynamiques, tels que la pression initiale du liquide ou les vagues causées par le vent.

Les systèmes de confinement à distance peuvent se composer des éléments suivants :

- des lagunes de confinement (ou bassins de confinement à digue en terre), si la topographie du site et les conditions du sol sont adaptées, les lagunes étant substantiellement imperméables ;
- des réservoirs, construits afin de recueillir les eaux d'incendie, dont la taille, les normes de conception et les finitions protectrices dépendent du classement du site en matière de risque, du temps de rétention, et de la quantité et de la nature des matières stockées ;
- des vannes d'isolement et des conduites forcées à fonctionnement manuel ou à déclenchement automatique par capteurs, pour isoler tout ou partie d'un site ;
- des séparateurs d'hydrocarbures.

Bien que dans de nombreux sites il est nécessaire d'installer des installations de confinement permanentes, dans certains cas, celles-ci s'avèrent parfaitement inutiles pour confiner un déversement, par exemple lorsque celui-ci se produit en dehors d'une zone confinée. Dans d'autres cas, en particulier dans les petits sites, les installations de confinement des eaux d'incendie sont inenvisageables à cause de leur coût ou de leur encombrement. Dans ces cas-là, des systèmes de confinement temporaire ou des matériaux de contrôle de la pollution sont des solutions envisageables [cww/tm/147].

Exemples de mesures de confinement d'urgence [cww/tm/147] :

- les zones "sacrificielles", conçues pour permettre l'infiltration et empêcher le ruissellement, équipées d'un revêtement imperméable pour empêcher la dispersion dans d'autres strates ou dans les nappes phréatiques ;
- les cuvettes de rétention pour les parkings et autres zones imperméabilisés ;
- les puits et les tranchées, chemisés d'un revêtement, en particulier dans les zones présentant un grand risque pour les nappes phréatiques ;
- les citernes mobiles, les surcuves et les camions-citernes.

Matériaux et équipements pour les interventions d'urgence

De nombreux produits permettent de faire face à des déversements ou de les contenir dans les zones de confinement d'urgence. Les matériaux et les équipements utilisés doivent être parfaitement entretenus et placés de manière stratégique dans des endroits accessibles marqués de manière visible et avec les instructions d'utilisation. Le plan d'urgence en cas de pollution involontaire (voir la section 2.2.4.2) doit permettre d'identifier les équipements et les matières de prévention de la pollution ainsi que leur emplacement. Les matières et les équipements sont [cww/tm/147] :

- le sable et la terre pour absorber les déversements d'huile et de produit chimique, et pour les sacs de sable ;
- les absorbants universels ;
- les dispositifs et produits d'étanchéité pour les conteneurs endommagés ;
- les joints d'étanchéité pour les conduites ;
- les barrières de pollution.

Les mesures doivent être mises en place pour évacuer au plus tôt les déversements accidentels, les matières polluées ou les eaux d'incendie. Lorsqu'il est possible de réutiliser les matières déversées, elles doivent être réacheminées vers un réservoir de stockage situé sur le site. Si l'évacuation doit se faire en dehors du site, elle peut se faire [cww/tm/147] :

- par un transporteur de déchets traditionnel ;
- par rejet dans un réseau d'assainissement des eaux usées avec accord de l'exploitant concerné ;

- par traitement des eaux contenant des hydrocarbures en utilisant des séparateurs d'huile sur site.

2.2.4.2 Plan d'urgence en cas de pollution involontaire

Un plan d'urgence en cas de pollution involontaire, plan mentionné à plusieurs reprises dans la section 2.2.4.1, est essentiellement une stratégie de communication la plus efficace possible de toutes les informations nécessaires à toutes les personnes concernées. La méthode générale de mise en place d'un tel plan est la suivante [cww/tm/148] :

- fournir les détails du site et le nom des personnes concernées par le plan ;
- répertorier sur une liste les numéros importants à appeler, par exemple les services d'urgence, les autorités environnementales compétentes, les compagnies locales chargées de l'alimentation en eau et des réseaux d'assainissement, le responsable HSE, le personnel d'astreinte et l'équipe à contacter, les consultants ;
- avoir à disposition un plan des réseaux de collecte du site, contenant un diagramme clair du site précisant la disposition et les informations d'accès, les points de déversements hors site des eaux de surface et des effluents non industriels, etc.
- fournir un inventaire des produits, produits chimiques et hydrocarbures du site stockés sur le site et précisant la quantité maximale qui peut être stockée, avec des données techniques en annexe ;
- détailler les procédures d'urgence, définir le champ d'application des actions concernées, les responsabilités du personnel et les procédures pour faire face à des incidents tels que des déversements accidentels et des fuites de conteneurs ;
- donner des règles concernant la formation du personnel et les exercices à réaliser régulièrement.

L'ensemble du personnel et des prestataires travaillant sur le site doit connaître le plan et leur rôle en cas d'incident.

Un exemple de plan d'urgence en cas de pollution involontaire est donné en annexe 7.5.

3 TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT

Ce chapitre présente en détail les problèmes abordés aux sections 1.3 et 2.2.2.3, décrit les techniques de traitement des eaux usées et des effluents gazeux selon leurs performances et leurs impacts sur l'environnement, et indique leur viabilité économique. Toutefois, les variantes des technologies connues qui ne présentent que de légères différences sont mentionnées simultanément.

Les bases physico-chimiques sur lesquelles reposent les techniques de traitement peuvent être facilement consultées dans les ouvrages disponibles, c'est pourquoi elles ne sont pas reprises dans le présent document. Les méthodes et procédés traités dans ce chapitre sont des techniques de traitement en aval couramment utilisées dans l'industrie chimique. Les techniques de traitement classiques des rejets des centrales électriques et du traitement des déchets sont donc incluses, puisque les grands sites chimiques sont généralement équipés de leur propre système de production d'énergie (électricité, vapeur) et d'incinération des déchets. Cependant, pour plus de détails, se reporter aux BREF correspondants sur les grandes installations de combustion et l'incinération des déchets. Les mesures intégrées aux procédés décrites dans le présent chapitre sont applicables à l'ensemble du secteur chimique et ne sont pas spécifiques à des procédés de production.

Les techniques sont présentées dans ce chapitre en suivant le trajet des polluants et en fonction de leur application sur un site chimique. Pour plus de détails, se reporter aux sections 3.3.4 et 3.5.

3.1 Informations présentées dans ce chapitre

La description des techniques de traitement suit un ordre précis afin de fournir les informations nécessaires permettant aux personnes chargées de délivrer les autorisations de mettre en œuvre les MTD dans une installation du secteur de la chimie. Les informations visent également à aider un exploitant à satisfaire aux exigences des MTD et ainsi à établir au mieux sa demande d'autorisation. Cette structure a été choisie pour s'assurer que pour toutes les méthodes et les procédés de traitement le même type d'informations a été rassemblé et présenté, et qu'une comparaison entre les différentes solutions de traitement est faisable.

La description des méthodes et des procédés de traitement est divisée en plusieurs paragraphes :

- description
- application
- avantages/inconvénients
- niveaux d'émission pouvant être atteints/taux de performance
- impacts croisés
- surveillance
- aspects économiques

Le premier paragraphe, intitulé **description**, met en avant les caractéristiques fondamentales d'une technique de traitement sans entrer dans les détails. Les concepts physico-chimiques qui sous-tendent cette technique sont volontairement laissés de côté. Les informations correspondantes sont facilement accessibles dans bon nombre d'excellents ouvrages. L'utilisation de formules et d'équations chimiques et mathématiques est évitée lorsque cela est possible et que cela n'entraîne pas de perte d'informations. Ce paragraphe donne également un aperçu des équipements nécessaires à l'application de la technique considérée et de son fonctionnement. Lorsque des informations graphiques sont disponibles, que ce soit un schéma ou synoptique de procédé, elles sont utilisées à la place d'un texte explicatif, si toutefois cela n'entraîne aucune perte d'informations.

Le deuxième paragraphe, intitulé **application**, décrit où et comment la technique considérée peut être appliquée, en prenant également en compte son utilisation dans les secteurs associés, si cela présente aussi un intérêt pour le secteur chimique. Les polluants correspondants à traiter sont également

abordés dans ce paragraphe. Une partie de ce paragraphe traite des limites d'application éventuelles de la technique.

Le troisième paragraphe, intitulé **avantages/inconvénients**, souligne certains des bénéfices et des problèmes associés à chaque technique, compte tenu du fait que certaines lois fondamentales de conservation de la masse et de l'énergie empêchent que l'on contrôle ou réduise quoi que ce soit sans laisser de trace dans l'environnement.

Le quatrième paragraphe, intitulé **niveaux d'émission pouvant être atteints/taux de performance**, présente les performances de la technique considérée. Il répertorie les niveaux d'émission pouvant être atteints et/ou le taux d'épuration. Les valeurs répertoriées sont celles susceptibles d'être obtenues dans des conditions de fonctionnement correctes. Toutefois, ces valeurs ne peuvent pas forcément être atteintes dans toutes les conditions et pour toutes les applications. La définition du concept de « niveaux d'émission pouvant être atteints » est donnée à la section 4.1. Les taux de performance sont donnés en fonction de la charge d'alimentation. Il en résulte qu'une alimentation faible implique des taux de performance faibles (pourcentage), alors qu'une alimentation élevée présente des taux de performance élevés, bien que la concentration résiduelle puisse quand même être élevée.

Le cinquième paragraphe, intitulé **impacts croisés**, présente les impacts sur l'environnement de la technique considérée, par exemple la production de boues, de chaleur perdue, d'effluents gazeux, de bruit, d'odeurs, etc., ainsi que les consommations nécessaires telles que l'eau, l'énergie et les produits auxiliaires.

Le sixième paragraphe, intitulé **surveillance**, décrit l'étude des flux entrants et sortants et du fonctionnement normal des dispositifs techniques conformément aux meilleures pratiques de surveillance.

Le septième paragraphe traite des **considérations économiques**. Il donne des informations sur les coûts de la technique concernée, pour autant que de telles informations soient disponibles. Pour clarifier la notion de coûts utilisée dans ce document horizontal, se reporter à la section 3.2 qui donne quelques explications, sans pour autant présenter de problèmes économiques spécifiques, pour lesquels il convient de se référer au BREF sur les aspects économiques et les impacts croisés.

3.2 Informations sur les coûts dans le présent document

Les coûts de mise en place d'une nouvelle technologie de surveillance des émissions, de la modernisation de technologies existantes ou de la mise en place de mesures intégrées aux procédés sont fortement dépendants des conditions spécifiques du site et de la production. C'est pourquoi le coût dans l'absolu de la mise en place d'une technologie de traitement n'a pas de réelle valeur informative dans une approche horizontale, car il n'y a aucun élément de comparaison. Les coûts de mise en œuvre de l'infrastructure appropriée et nécessaire ne sont pas inclus. Un autre facteur important qui intervient lors du choix de la technique de traitement appropriée est le délai de retour sur investissement d'une mesure intégrée aux procédés. Puisque les coûts entraînés sont dépendants du procédé ou de l'unité de traitement, ce document horizontal ne peut pas prendre en compte ces coûts comme il conviendrait. Cependant, ce paragraphe présente les coûts-fournisseur des équipements fournisseurs ramenés à la capacité de production et au flux d'eaux usées / d'effluents gazeux ou à la charge en polluants (c'est-à-dire les coûts par tonne de produit, par m³ d'eaux usées, pour 1 000 Nm³ d'effluents gazeux ou par kg de polluants). Les éléments à prendre en compte lors de l'étude des coûts et qui ne sont généralement pas inclus dans ce document du fait qu'ils dépendent du site et du procédé sont traités dans les paragraphes suivants [cww/tm/48].

3.2.1 Coûts d'installation totaux par rapport aux coûts-fournisseur des équipements

Lors de la détermination du coût des techniques de surveillance des émissions, il est souvent considéré plus simple de sélectionner une technique qui semble convenir aux besoins et de demander ensuite un

devis à un fournisseur. Bien que cette approche soit rapide et pratique, elle peut mener à une estimation complètement erronée du coût réel de la technique de surveillance des émissions considérée. Et ceci tant d'un point de vue absolu (coût par tonne d'émission réduite) que relatif (comparaison entre différentes technologies). Des techniques différentes ont souvent un éventail de prix individuels très large pour les différents éléments qui les composent, et qui, une fois additionnés, donnent le montant total du coût d'installation. Typiquement, 20 à 30 % du coût total de l'installation concernent l'achat des équipements principaux ; néanmoins, ce ratio peut tomber à 10 %.

Les coûts d'exploitation doivent également être considérés de façon critique lors de la comparaison des coûts absolus et/ou relatifs des différentes techniques de surveillance. Ils risquent d'être négligés si la technologie de surveillance est envisagée uniquement du point de vue du matériel qu'elle nécessite, comme c'est souvent le cas lors de la mise en place de techniques. Il est également important de prendre en compte la grande variabilité des coûts d'exploitation d'une technologie à une autre, en fonction de l'emploi d'utilités, de la consommation en produits chimiques auxiliaires, des exigences de la main d'œuvre, de la production potentielle de déchets et du coût de leur évacuation, etc.

En général, les coûts-fournisseur incluent seulement le coût des équipements spécifiques fournis. Ce n'est bien souvent qu'une petite partie du coût total d'un projet. Les coûts d'ingénierie liés à la conception et à la supervision d'un projet sont souvent ignorés, bien que leur montant puisse être égal au coût des équipements vendus par les fournisseurs. Les dépenses, souvent omises lors de l'estimation du coût d'un projet, incluent les éléments suivant :

- le changement d'emplacement des unités existantes
- l'arrêt de la production durant la modernisation des installations existantes
- l'agrandissement et/ou le déplacement des réseaux d'assainissement
- la réalisation d'analyses de sol
- la création de nouveaux plans de récolement et de nouveaux schémas de procédé et d'instrumentation
- la modification des canalisations et installations existantes telles que les ventilations, les pompes, etc.

Un exemple est donné dans le tableau 3.1 [cww/tm/48]. Il s'agit des coûts totaux d'installation d'une unité de nettoyage de gaz résiduels dans une raffinerie. Les prix datent de 1997 et sont donnés en euros. Les coûts directs des équipements, ou coûts-fournisseur, sont de 7,9 millions d'euros, pour un coût total est de 29,4 millions d'euros, soit environ 27 % du coût total de l'installation.

Description	Millions d'euros
Coûts des équipements (coûts- fournisseur)	
Équipements	7,3
Catalyseurs et produits chimiques	0,6
Sous-total	7,9
Coûts indirects	
Ingénierie	8,0
Supervision sur le terrain	1,6
Propriétaire	2,4
Sous-total	12,0
Coûts directs – hors équipement	
Sous-traitance	8,6
Construction temporaire et consommables	0,4
Sous-total	9,0

Investissement total	28,9
Frais	
Dossier de demande d'autorisation	0,5
Sous-total	0,5
Total	29,4

Tableau 3.1 : exemple de coût d'un projet réel**3.2.2 Coûts d'installations entièrement nouvelles par rapport aux coûts de modernisation**

Les installations nouvelles et les installations et unités existantes requièrent la même technologie pour améliorer les performances environnementales (par exemple surveiller certains polluants et atteindre des valeurs limites d'émission prédéfinies). Les différences entre ces deux types d'installations résident essentiellement dans le fait que, sur un site entièrement nouveau, il est possible de garantir que toutes les exigences fondamentales sont prises en compte de manière explicite lors de la conception de l'usine. Dans le cas d'une modernisation d'installation existante (réaménagement), il est possible que les choix de conception d'origine limitent voire empêchent l'application des techniques de surveillance appropriées.

Une étude spécifique de la possibilité d'introduction d'une technique à des installations existantes est donc nécessaire. Néanmoins, nombre des techniques mentionnées dans les sections suivantes de ce chapitre ont déjà été introduites avec succès dans le cadre de la modernisation d'installations chimiques et présentent des performances environnementales équivalentes à celles que l'on peut atteindre dans de nouvelles usines. Les projets de réaménagement d'installations ou de sites existants doivent faire face à de nombreux problèmes techniques et de gestion. Les problèmes les plus fréquents sont exposés ci-dessous. Ces problèmes ne peuvent servir à justifier le refus d'adopter des techniques d'amélioration des performances environnementales mais sont quelques uns des facteurs à prendre en compte lors d'un réaménagement :

- une phase de définition du projet plus complexe et plus longue
- des essais de fonctionnement ou des études pilotes pour évaluer les incidences d'une modification sur l'ensemble du procédé
- la prise en compte lors de la phase de conception des incidences sur toutes les unités existantes
- une phase d'étude détaillée des unités existantes pour définir le lieu exact de tous les interfaces. La place disponible peut être une contrainte (équipement sur une structure élevée, cheminement des conduites, obligation de déplacer certains équipements existants, construction d'aménagements provisoires, par exemple)
- des précautions spéciales afin que le travail puisse être effectué en toute sécurité, sans risque d'endommagement quelconque, même si l'usine continue de fonctionner
- profiter d'un arrêt programmé pour effectuer des travaux de construction qui ne peuvent pas être réalisés pendant le fonctionnement normal de l'usine. Ces événements pluriannuels peuvent dicter le rythme des aménagements
- un arrêt plus long, ou plus tôt, que prévu (avec des implications commerciales et financières)
- le déclassement et le démontage des équipements obsolètes ou inutiles
- la formation du personnel au fonctionnement des nouveaux équipements
- la révision de la documentation de l'usine (instructions de fonctionnement, révision des autorisations, manuels de maintenance, d'inspection et de sécurité)

Outre l'objectif principal d'amélioration des performances environnementales, la modernisation d'installations chimiques présente d'autres avantages non négligeables. Certaines techniques (par exemple les techniques de prétraitement avec possibilité de récupération, les mesures intégrées aux

procédés) présentent des répercussions économiques majeures sous la forme, par exemple, d'une amélioration de l'efficacité et d'une augmentation du rendement, ou sous la forme d'une réduction des coûts associée à des économies d'eau et d'énergie (ou une réduction des coûts relatifs aux rejets, s'il y a lieu), qui peuvent modifier l'investissement et les coûts d'exploitation de l'aménagement. La modernisation d'installations existantes peut également avoir des répercussions positives en matière de compétitivité, car cela prouve aux clients et aux parties prenantes (actionnaires, voisinage, autorités, associations de protection de l'environnement) que la société est à la pointe de la technologie.

Le choix de la technique la plus appropriée à appliquer dans le cas d'une modernisation se base avant tout sur la possibilité pour l'installation existante de s'adapter aux exigences de fonctionnement, physiques et structurelles de l'équipement de surveillance. Cette distinction quant à la possibilité d'appliquer une technologie à des installations nouvelles et existantes est un point crucial à inclure lors du choix des techniques. Lorsque des informations sur la possibilité d'introduction d'une technique à des installations existantes sont disponibles, ce chapitre les présente.

3.2.3 Coûts de capital par rapport aux coûts d'exploitation

Des techniques de surveillance différentes (surveillance automatisée et surveillance associée à un mode opératoire) peuvent être très différentes quant à la répartition des coûts entre les coûts d'exploitation et d'investissement. Certains équipements chers ont des coûts de fonctionnement faibles alors que certains équipements bon marché impliquent une augmentation considérable des coûts d'exploitation tels que la main-d'œuvre, les utilités ou les produits chimiques consommables. Il est généralement plus facile de quantifier le coût du matériel que l'ensemble des implications des frais probables entraînés par la mise en place d'une technique. Par ailleurs, les équipements vont devenir de plus en plus chers à cause de l'inflation, etc.

Les coûts de la main-d'œuvre constituent un élément important des coûts d'exploitation et leurs conséquences sur l'adoption ou non d'une technique peuvent être différentes selon les salaires pratiqués au sein de l'État membre. Ainsi, lorsqu'il est fait référence au coût de la main-d'œuvre dans le présent document, le nombre d'heures de travail est également précisé lorsqu'il est disponible.

3.2.4 Coûts initiaux par rapport aux coûts différentiels de la surveillance des émissions

Il est également important de prendre en compte, lors de l'estimation du coût d'une technique, les variations du coût/efficacité de la technique considérée en fonction de résultats des contrôles initiaux pris en compte pour le calcul du Rentabilité. En général, le coût et l'efficacité (en pourcentage de réduction des émissions ou en tonnes d'émissions réduites) de l'installation ou de la mise en place d'une technique sont présentés en fonction d'une évaluation de la performance initiale non contrôlée. Dans un tel cas, le Rentabilité est calculé en divisant simplement le coût par le taux de réduction des émissions atteint.

Certains niveaux de contrôles existent déjà dans de nombreux sites industriels spécifiques. Dans de tels cas, le coût pour atteindre un niveau de réduction des émissions donné augmente de manière significative par rapport au Rentabilité initial pour une évaluation de la performance de base non contrôlée. Ceci ne doit pas être omis lors de la détermination du Rentabilité d'une technique.

Ainsi, en ce qui concerne le coût différentiel de la surveillance, le Rentabilité Keff [réduction en kg /unité monétaire] peut être calculé de la manière suivante :

$$K_{eff} = (B - A)/C$$

B : réduction des émissions pour la technique considérée [en kg]

A : réduction des émissions pour la technique préalablement existante [en kg]

C : coût de la technique considérée

3.3 Techniques de traitement des eaux usées

3.3.1 Mesures intégrées aux procédés

Certaines importantes mesures intégrées aux procédés – et normalement facilement applicables dans le cadre de la modernisation d'installations existantes - relatives aux eaux usées sont décrites ci-dessous.. Des exemples sont donnés à la section 3.3.1.3. Toutefois, leur introduction, par exemple comme mesure d'économie d'eau, doit être soigneusement évaluée. Bien que leur impact sur l'environnement soit le plus souvent positif, il est possible, dans certaines circonstances particulières, que leur impact soit négatif pour d'autres cibles environnementales et que cet impact négatif éclipse les avantages de la conservation des eaux ou de la réduction des polluants.

3.3.1.1 Exemple de procédé permettant l'économie d'eau : l'extraction à contre-courant

Les procédés traditionnels de lavage de produit consistent en de multiples extractions en discontinu traitant la phase contenant le produit avec de l'eau afin d'extraire les sels et autres composants solubles mineurs. La quantité d'eau utilisée est généralement équivalente à plusieurs fois la quantité de produit à laver. À chaque étape d'extraction, des pertes inévitables de produit ont lieu à cause de la solubilité du produit, de la formation d'émulsions et de couches solides en surface de phase, etc.

En optimisant le procédé d'extraction et/ou en introduisant des procédés d'extraction avancés (extraction à contre courant, par exemple), il est possible de réduire fortement la quantité d'eaux usées et de déchets. L'augmentation de la concentration en polluant peut permettre un traitement plus facile et/ou plus efficace, ou, dans certaines circonstances particulières, un recyclage de matière. Le degré et la méthode d'optimisation dépendent de la capacité de production et de la fréquence des cycles de production. L'extraction à contre-courant est économique, surtout dans le cas de grandes usines. Dans ce cas là, elle peut être adaptée à un procédé de production particulier. Pour les usines dont le volume de production est plus faible, les unités pilotes ou les campagnes de productions ponctuelles, il existe d'autres procédés plus appropriés.

3.3.1.2 Utilisations multiples et recyclage

Il est nécessaire de distinguer :

- les eaux usées provenant directement de la production (effluents de réactions, distillats, eaux de lavage, filtrats)
- les eaux usées provenant du nettoyage des équipements (au cours de la maintenance, du rinçage des bouchons ou des agglomérats de produit, du nettoyage des équipements multi-usages avant la fabrication d'un autre produit, etc.).

Les étapes spécifiques du traitement visant à extraire les substances gênantes permettent d'améliorer l'efficacité d'un recyclage. Ainsi, par exemple, la neutralisation, le stripping ou la filtration des flux d'eaux de procédé permettent la réutilisation de l'eau, par exemple comme eau brute ou pour les utilités. La réutilisation des eaux de procédé (eau d'appoint, liqueurs mères) est possible lorsque les substances telles que les produits dérivés ou les sels n'ont pas d'effets négatifs sur la qualité de la production en aval. En fait, dans le lavage des produits en plusieurs étapes, les flux d'eaux de lavage peuvent souvent être réutilisés comme eau d'appoint ou comme alimentation d'une étape de lavage précédente.

Outre la réduction de la charge d'eaux usées, la réutilisation des eaux provenant du lavage, du rinçage et du nettoyage des équipements présente l'avantage de permettre la récupération de produit et l'augmentation du rendement, à condition que l'eau soit recyclée au sein même du procédé de

production. Des unités de collecte, de tamponnement ou de stockage des eaux usées sont donc nécessaires, ce qui peut être un facteur limitant.

3.3.1.3 Refroidissement indirect par phases vapeur

L'injection d'eau dans une phase gazeuse est utilisée pour refroidir ou condenser des vapeurs. Cependant, le contact direct de l'eau avec une phase vapeur produit de grandes quantités d'eaux usées polluées par les polluants issus de la phase gaz. L'utilisation d'échangeurs de chaleur par surface au lieu de condenseurs/refroidisseurs par injection permet d'éviter la production de flux d'eaux de refroidissement pollués, les polluants restant dans le condensat. Ainsi, le refroidissement et la condensation indirects permettent de réaliser des économies d'eau. Pour donner un ordre d'idée des économies potentielles, il faut environ 27 m³ d'eau pour refroidir une tonne de vapeur jusqu'à 35 °C (température généralement admise comme limite maximale avant rejet). Grâce au refroidissement indirect, cette quantité circule en circuit fermé [cww/tm/82] et seule l'eau évaporée est remplacée.

L'économie d'eau décroît à mesure que des particules entraînées, des matières sublimées, des cristaux ou des substances durcies enduisent les surfaces de l'échangeur de chaleur ou bouchent les interstices entre les surfaces d'échange. C'est pourquoi un entretien régulier est nécessaire.

Il existe cependant des procédés pour lesquels le refroidissement indirect ne convient pas [cww/tm/82] :

- Pour permettre la cristallisation, il peut être nécessaire de mélanger vigoureusement une phase organique liquide avec de l'eau chaude ou bouillante, puis d'abaisser la température rapidement en dessous de la température de solidification en ajoutant de la glace ou de l'eau froide (choc thermique). L'objectif de cette procédure est d'obtenir une suspension filtrable sans grumeaux.
- La diazotation des amines constitue un autre exemple. Dans ce procédé, la température est constamment maintenue à un niveau faible grâce à de la glace afin d'empêcher la décomposition thermique du composé de diazonium ainsi que son dépôt sur les équipements, ce qui aurait sinon pour effet d'augmenter considérablement le risque d'explosion.
- Un exemple supplémentaire est le "quenching" des flux gazeux brûlants. Dans ce procédé, de l'eau froide est injectée dans le flux gazeux afin d'en abaisser rapidement et efficacement la température, empêchant ainsi toute réaction des composants présents dans les flux gazeux (par exemple, les réactions de recombinaison dans les gaz de combustion provenant de procédés de combustion avec production de DDPC et de DFPC) tout en réduisant la concentration de l'un des polluants (HCl, par exemple).

3.3.1.4 Procédés sans production d'eaux usées pour la génération du vide

Grâce à leur fonctionnement quasi sans problème, leur entretien minimal et leur coût faible, les pompes à vide à éjecteur d'eau ou de vapeur sont mondialement utilisées.

La génération du vide sans production d'eaux usées peut être réalisée au moyen de systèmes de pompage mécaniques en circuit fermé rejetant une toute petite quantité d'eau sous forme de purge, ou au moyen de pompes sèches. Ce rejet équivaut à moins de 5 % du rejet d'un système à éjecteur [cww/tm/82]. Dans certains cas, la génération du vide sans production d'eaux usées peut être réalisée en utilisant le produit comme barrière liquide dans une pompe à vide mécanique ou en utilisant un flux gazeux provenant du procédé de production.

La possibilité de générer le vide sans production d'eaux usées doit être déterminée au cas par cas. Il est nécessaire de prendre en compte les problèmes éventuels dans le choix du procédé, notamment la

corrosion, le risque d'agglomérats, le risque d'explosion, la sécurité de l'usine et la fiabilité opérationnelle. Les limites appropriées doivent être envisagées, notamment dans le cas de pompes à vide mécaniques en circuit fermé telles que les pompes à anneau liquide, les pompes rotative à palettes coulissantes ou les pompes à vide à membrane. Dans ce cas, par exemple, les vapeurs peuvent diminuer le pouvoir lubrifiant de l'huile.

À condition d'empêcher la condensation du gaz dans la pompe au moyen, par exemple, d'une température de sortie de gaz élevée, les pompes sèches constituent une solution intéressante pour la récupération des solvants ou lorsqu'un vide important est nécessaire. Ces pompes ne peuvent pas être utilisées si de grandes quantités de matières condensables, susceptibles de former de la poussière ou un dépôt sont présentes dans le flux gazeux.

3.3.1.5 Procédés sans production d'eaux usées pour le nettoyage de l'air extrait

Environ un tiers des systèmes de nettoyage de l'air extrait employés dans l'industrie chimique utilisent un procédé de lavage aqueux ou alcalin (caustique). Ce procédé capture en particulier les composés inorganiques comme le chlorure d'hydrogène, le dioxyde de soufre et les substances organiques solubles dans l'eau.

Les technologies sans production d'eaux usées pour le nettoyage de l'air d'extraction sont essentiellement utilisées lorsque des substances dangereuses ou des matières organiques non dégradables risquent d'entrer dans une station d'épuration biologique et d'y provoquer des dysfonctionnements, ou qu'ils sont susceptibles d'être rejetés sans traitement dans les eaux réceptrices.

Voici quelques exemples de techniques de nettoyage de l'air extrait sans production d'eaux usées :

- la collecte suivie de l'oxydation thermique ou catalytique des effluents gazeux calorifiques avec récupération d'énergie, si possible
- l'utilisation d'équipements de dépoussiérage appropriés (dévésiculeurs, cyclones, électrofiltres, filtres à manche) pour séparer les particules et les aérosols
- l'utilisation de traitements par voie sèche ou semi-sèche (adsorption sur charbon actif, injection de chaux ou de bicarbonate de soude, par exemple) dans le cas d'effluents gazeux chargés en polluants inorganiques ou organiques
- l'utilisation de solvants (ou d'huiles) organiques recyclables plutôt que d'eau comme liquide de lavage de polluants gazeux particuliers.

3.3.1.6 Récupération ou rétention de substances des liqueurs mères ou par procédés optimisés

La récupération de composés à partir des eaux usées à des coûts raisonnables n'est généralement possible que dans le cas de flux d'eaux usées concentrés. Elle est donc en principe limitée aux liqueurs mères. Selon la méthode de synthèse, les liqueurs mères sont en général des solutions aqueuses conservées après la séparation des produits ou des eaux de lavage. La récupération comprend notamment :

- l'extraction des composés utilisables (matières premières, produits, solvants ou catalyseurs)
- la conversion des matières grâce à une technique de récupération, par exemple l'oxydation thermique ou catalytique avec récupération du chlore (provenant des chlorures organiques) sous forme d'acide chlorhydrique.

La récupération de substances est une technique viable pour les concentrations d'eaux usées élevées (supérieures à 10 g/l, par exemple). Si des composants facilement séparables sont présents, par exemple des composés volatils, solides, précipitables ou extractibles, les procédés de récupération sont viables, même si la concentration est plus faible.

La rétention de substances par des procédés optimisés englobe la modification des étapes de procédés ainsi que les mesures supplémentaires telles que l'amélioration de la préparation des liqueurs mères.

À part en évitant la présence de polluants par une modification de formulation ou une amélioration du rendement de production, la rétention de substances peut être réalisée par séparation de polluants (adsorption ou extraction) ou par conversion (oxydation ou incinération).

3.3.1.7 Utilisation de matières brutes et de produits auxiliaires faiblement pollués

Les matières brutes et/ou les produits auxiliaires pollués risquent d'introduire des polluants dans la chaîne de production et donc dans les eaux usées. Par exemple :

- métaux provenant des graisses végétales brutes
- composés organochlorés (AOX/EOX) et autres impuretés dus à de l'acide chlorhydrique de qualité technique
- pollution au mercure dans l'hydroxyde de sodium due à une électrolyse chloroalcaline utilisant un procédé amalgame
- polluants des produits intermédiaires et des précurseurs provenant de l'extérieur.

La possibilité d'agir sur cette situation est limitée par :

- un manque d'informations de la part des fournisseurs
- l'augmentation de l'introduction de polluants à cause du recyclage
- le transfert des problèmes d'émission vers d'autres endroits par la préparation des matières brutes.

Les fabricants disposant d'unités techniques de réduction et d'évacuation des polluants extraits (échangeurs à résines pour l'acide chlorhydrique ou filtration/adsorption pour l'hydroxyde de sodium brut) peuvent mettre en place un système de purification des matières brutes.

3.3.2 Régulation des flux

De manière générale, le fonctionnement des stations d'épuration est optimal lorsque la charge hydraulique (ou débit) et la charge de polluants sont relativement constants. Cependant, dans la pratique, le débit et la charge de polluants peuvent varier grandement, notamment à cause des facteurs suivants :

- conditions du procédé
- utilisation d'eau pour le lavage
- traitement des eaux de lest
- périodes de maintenance
- précipitations

Pour lisser la production par rapport aux variations à court terme (quotidiennes, par exemple) et à long terme (hebdomadaires, par exemple), l'introduction d'installations d'égalisation doit être envisagée, qu'elles soient décentralisées dans les divers sites de production ou centralisées dans ou à proximité de la station d'épuration. Elles peuvent parfois être installées en aval d'une station d'épuration. La capacité requise du bassin tampon dépend des variations attendues [cww/tm/132]. Le bassin tampon peut être installé en ligne ou en dérivation, auquel cas le flux est dévié vers le bassin lors des périodes de pic ou en cas de dysfonctionnement de la production, et vidangé à un débit contrôlé lorsque le flux est redevenu normal. En ce qui concerne les eaux de procédé qui présentent un risque d'émission dans

l'environnement, des réservoirs sont utilisés à cette fin, tandis que pour la collecte des eaux de surface des lagune ouvertes ou des bassins de rétention sont utilisés (voir section 3.3.4.4.1) [cww/tm/48].

Le tamponnement et l'égalisation permettent :

- d'égaliser les charges, notamment :
 - la charge organique
 - les concentrations en sels
 - la charge en azote, par exemple comme préalable, en même temps que la charge en COT pour optimiser la dénitrification
- l'ajustage du rapport C : N : P nécessaire
- la neutralisation des flux d'eaux usées acides et alcalins
- la régulation du débit des flux d'eaux usées
- le respect des exigences légales en évitant les pics d'évacuation des eaux usées.

La régulation ou le tamponnement des flux peut également servir à contrôler les afflux d'eau anormaux dans la station d'épuration. La capacité du bassin tampon doit donc être déterminée non seulement en fonction des variations, comme mentionné ci-dessus, mais également en fonction du potentiel de dangers. Pour plus de détails, se reporter à la section 3.3.3.

3.3.3 Capacité de stockage ou de rétention en cas de défaillances

Les défaillances d'exploitation, les fuites des équipements, les contaminations accidentelles des eaux de refroidissement ou autres problèmes dans les unités de production ou de stockage peuvent provoquer une augmentation du rejet de polluants dans les eaux réceptrices via la station d'épuration ou le mauvais fonctionnement de celle-ci. À cause de la probabilité de ces événements, il peut être nécessaire d'installer des unités réceptrices (ou tampon) centralisées ou décentralisées. Le bon fonctionnement d'un système de barrière ou de tampon nécessite impérativement la détection de la défaillance au plus vite. Cette détection peut être réalisée de manière analytique ou organisationnelle [cww/tm/132].

Il existe plusieurs dispositifs tampon utilisés dans ce but. Leur capacité doit être suffisante pour stocker la totalité des eaux usées, ainsi sans doute que les eaux pluviales, rejetées lors de la défaillance. Ils peuvent être associés à des réservoirs de régulation des flux.

L'un des dispositifs (voir figure 3.1), le bassin tampon autonome, est constitué de deux bassins tampons qui reçoivent en alternance le flux d'eaux usées. Lorsque l'un des réservoirs se remplit, le contenu de l'autre est analysé et dirigé vers le système de traitement des eaux usées ou la station d'épuration en aval, ou bien évacué en tant que déchet, en fonction des résultats des analyses. La capacité de chaque bassin doit être suffisante pour que tout le volume d'eaux usées émis pendant la période d'analyse et de vidange de l'autre bassin puisse être recueilli. Dans le cas de sites chimiques vastes et complexes avec d'importantes quantités d'eaux usées, ce système est fréquemment utilisé pour des flux d'eaux usées bien précis, sinon le volume nécessaire du bassin serait immense. Plus le bassin est grand, plus le temps de vidange est long et réciproquement, d'où un cercle vicieux.

Un autre dispositif utilisé est le bassin tampon raccordé, rempli en discontinu (voir figure 3.2) ou en continu (voir figure 3.3). Le bassin tampon utilisé en discontinu est déconnecté lorsqu'il n'est pas utilisé, c'est-à-dire lorsqu'aucune défaillance n'est signalée par le système d'alarme et de contrôle. Pendant le fonctionnement normal, les eaux usées contournent le système tampon, et ce n'est que lorsque le système de contrôle détecte une défaillance que le bassin de tamponnement est rempli. La capacité nécessaire équivaut à la quantité d'eaux usées émises pendant la durée de la défaillance. Ce dispositif est utilisé dans les installations à production unique, pour un ensemble de flux d'eaux usées

particuliers et avec la quantité totale d'eaux usées. Le volume nécessaire est généralement bien inférieur à celui nécessaire dans le cas d'un bassin tampon autonome décrit précédemment.

Process water	Eaux de procédé
Sewer system	Système d'assainissement
Disposal pathway	Évacuation des déchets
No segregation	Pas de séparation
Alternate filling	Remplissage en alternance
Discharge after Check	Évacuation après analyses
Waste water pathway	Flux d'eaux usées

Figure 3.1 : bassin tampon autonome avec remplissage en alternance

Process water	Eaux de procédé
Sewer system	Système d'assainissement
Disposal pathway	Évacuation des déchets
Discharge after Check	Évacuation après analyses
Waste water pathway	Flux d'eaux usées

Figure 3.2 : bassin tampon raccordé, remplissage continu

Le bassin tampon raccordé à remplissage continu peut également être utilisé comme bassin d'égalisation ou de régulation. Un système d'alarme et de contrôle doit garantir que la sortie vers la station d'épuration est immédiatement fermée en cas de défaillance. La capacité du réservoir doit être suffisante pour recueillir la totalité des eaux usées entrantes jusqu'à ce que l'anomalie soit résolue. C'est pourquoi ce système est conseillé uniquement pour les flux secondaires. Avant que le fonctionnement puisse se poursuivre avec l'alimentation habituelle en eaux usées, le réservoir doit être vidangé.

Process water	Eaux de procédé
Sewer system	Système d'assainissement
Disposal pathway	Évacuation des déchets
Waste water pathway	Flux d'eaux usées

Figure 3.3 : bassin tampon raccordé, remplissage continu

Un autre type de système (voir figure 3.4) est destiné à recevoir et réguler les pertes dues aux fuites lorsque celles-ci sont collectées dans un système d'assainissement séparé. Un tel système sert de système de collecte pour les zones extérieures présentant un risque de pollution, par exemple les installations de production ou les parcs à réservoirs. La capacité du réservoir doit correspondre à la somme de la plus grande perte possible due à des fuites et de la quantité probable d'eaux pluviales. Ce système tampon s'applique à des installations avec des réseaux d'assainissement différents pour les eaux de procédé et le drainage des zones à risque. Les défaillances ayant un impact sur le flux d'eaux de procédé ne peuvent pas être contrôlées. Ce système présente l'avantage de pouvoir collecter les pertes dues à des fuites de façon concentrée pour permettre le recyclage.

Process water	Eaux de procédé
---------------	-----------------

Sewer system	Système d'assainissement
Disposal pathway	Évacuation des déchets
Sewer system (only process water)	Système d'assainissement (eaux de procédé uniquement)
Discharge after Check	Évacuation après inspection
Waste water pathway	Flux d'eaux usées

Figure 3.4 : système de tamponnement des fuites 

3.3.4 Techniques en aval

Pour présenter dans un ordre logique les techniques de traitement, le lien entre le polluant et la technique de traitement correspondante sert de référence, comme nous l'avons vu à la section 1.3.2.1 et comme l'illustre la figure 3.5.

La première étape de traitement des eaux usées et des eaux pluviales, et également généralement la dernière étape, est la séparation des solides en suspension et des liquides non miscibles (dans l'eau) du flux d'eaux usées principal. Les techniques de séparation ou de clarification sont les suivantes :

- la séparation par gravité (pour le dessablage, voir section 3.3.4.1.1, pour la décantation, voir section 3.3.4.1.2, pour la séparation huile/eau, voir section 3.3.4.1.6)
- l'aérofloculation (voir section 3.3.4.1.3)
- la filtration (pour la filtration, voir section 3.3.4.1.4, pour la filtration sur membrane, voir section 3.3.4.1.5).

Ces techniques sont principalement appliquées en combinaison avec d'autres techniques comme étape de clarification initiale ou finale. Utilisées comme étape initiale, elles permettent notamment de protéger les autres unités de traitement de tout endommagement, colmatage ou encrassement par des matières solides. Utilisées comme étape finale, elles permettent d'éliminer les solides qui se sont formés au cours d'un traitement précédent ou d'éliminer l'huile avant un traitement biologique. Ces techniques suivent généralement des techniques de traitement appliquées à des polluants solubles lorsque ceux-ci sont transférés dans des matières solides. Des exemples sont donnés plus loin dans ce chapitre.

Waste water release	Rejet d'eaux usées
Suspended solids and insoluble liquids	Solides en suspension et liquides non solubles
Grit separation	Dessablage
Sedimentation (incl. coagulation/flocculation)	Décantation (y compris coagulation/floculation)
Air flotation	Aérofloculation
Filtration	Filtration
Membrane filtration (MF, UF)	Filtration sur membrane (MF, UF)
Oil-water separation	Séparation huile/eau
Inorganic / non-biodegradable / poorly degradable soluble content	Contenu soluble inorganique/non biodégradable/faiblement dégradé
Precipitation	Précipitation
Crystallisation	Cristallisation
Chemical oxidation	Oxydation chimique
Wet air oxidation	Oxydation à l'air humide
Supercritical water oxidation	Oxydation par l'eau supercritique
Chemical reduction	Réduction chimique
Chemical hydrolysis	Hydrolyse chimique
Nanofiltration/reverse osmosis	Nanofiltration/osmose inverse

Adsorption	Adsorption
Ion exchange	Échange d'ions
Extraction	Extraction
Distillation / rectification	Distillation/rectification
Evaporation	Évaporation
Stripping	Stripping
Incineration	Incinération
Biodegradable soluble content	Contenu soluble biodégradable
Anaerobic treatment	Traitement anaérobie
- Anaerobic contact process	- Procédé par contact anaérobie
- UASB process	- Procédé UASB
- Fixed bed (or filter) process	- Procédé (ou filtre) à lit fixe
- Expanded bed process	- Procédé à lit fluidisé
Biological removal of sulphur and heavy metals	Élimination biologique du soufre et des métaux lourds
Aerobic treatment	Traitement aérobie
- Complete-mix activated sludge process	- Procédé par boues activées en mélange intégral
- Trickling (percolating) filter process	- lit bactérien (percolateur)
- Expanded bed process	- Procédé à lit fluidisé
- Biofilter fixed-bed process	- Biofiltre à lit fixe
Biological nitrogen elimination	Élimination biologique de l'azote
Sludge treatment	Traitement des boues
Thickening	Épaississement
Dewatering	Déshydratation
Stabilisation	Stabilisation
Conditioning	Conditionnement
Thermal reduction	Réduction thermique
RECIPIENT	MILIEU RÉCEPTEUR

Figure 3.5 : Techniques de traitement des eaux usées existantes en fonction du type de uant

Les eaux usées qui ne contiennent pas de particules solides peuvent être séparées en un flux d'eaux usées biodégradables et un flux d'eaux usées non biodégradables, ou bien les polluants responsables de la non-biodégradabilité peuvent être séparés avant traitement. Les techniques de traitement des eaux usées non biodégradables utilisent des méthodes physiques et/ou chimiques telles que :

- Précipitation/décantation/filtration (voir section 3.3.4.2.1)
- Cristallisation (voir section 3.3.4.2.2)
- Réactions chimiques (pour l'oxydation chimique, voir section 3.3.4.2.3, pour l'oxydation à l'air humide, voir la section 3.3.4.2.4, pour l'oxydation par l'eau supercritique, voir section 3.3.4.2.5, pour la réduction chimique, voir la section 3.3.4.2.6, pour l'hydrolyse chimique, voir la section 3.3.4.2.7)
- Filtration par membrane (nanofiltration et osmose inverse, voir la section 3.3.4.2.8)
- Adsorption (voir la section 3.3.4.2.9)
- Échange d'ions (voir la section 3.3.4.2.10)
- Extraction (voir la section 3.3.4.2.11)
- Distillation/rectification (voir la section 0)
- Évaporation (voir la section 3.3.4.2.13)
- Stripping (voir la section 3.3.4.2.14)
- Incinération (voir la section 3.3.4.2.15)

Après avoir reçu le traitement adéquat, les flux d'eaux usées peuvent être rejetés dans les eaux réceptrices, dans une station d'épuration centrale biologique ou dans une station d'épuration municipale.

Les eaux usées biodégradables, ou la fraction d'eaux usées restante après élimination des polluants responsables de la non-biodégradabilité, sont traitées par des techniques, centralisées ou non, utilisant des procédés biologiques. Par exemple :

- la digestion anaérobie : procédé par contact anaérobie (PCA), procédé UASB, procédé à lit fixe, procédé à lit fluidisé (voir section 3.3.4.3.1), élimination biologique du soufre et des métaux lourds (voir section 3.3.4.3.2)
- la digestion aérobie : procédé par boues activées en mélange intégral, procédé par bioréacteur à membrane, lit bactérien, procédé à lit fluidisé, biofiltre à lit fixe (voir section 3.3.4.3.3)
- Nitrification/dénitrification (voir section 3.3.4.3.4)
- Traitement biologique central des eaux usées (voir section 3.3.4.3.5)

Les eaux usées dégradées quittent l'unité de traitement biologique pour être ensuite clarifiées.

De nombreuses techniques de traitement des eaux usées nécessitent – ou utilisent facultativement - des adjuvants (le plus souvent chimiques) ou bien le milieu de traitement ou les équipements utilisés nécessitent une étape de régénération, ce qui peut engendrer le rejet de produits chimiques. Ces adjuvants ou ces étapes de procédé peuvent entraîner (en général selon les conditions locales) une pollution à prendre en compte lors du choix d'une technique de traitement. Ainsi, dans certains cas, il peut être nécessaire d'étudier les adjuvants et les produits chimiques rejetés par les unités de régénération et leur devenir au cours de l'ensemble du procédé.

La plupart des techniques de traitement des eaux usées ont un point commun : la production de matières solides au cours du procédé, ce qui permet de séparer le polluant du milieu aqueux, par exemple des boues activées excédentaires, ou des résidus filtrés ou sédimentés provenant des étapes de filtration ou de décantation. Si les boues ne sont pas recyclées, elles doivent être évacuées (c'est-à-dire traitement externe puis destruction) ou traitées sur le site. Les techniques de traitement des boues sont :

- l'épaississement (voir section 3.4.1)
- la déshydratation (voir section 3.4.1)
- la stabilisation (voir section 3.4.2)
- le conditionnement (voir section 3.4.2)
- la réduction thermique des boues (voir section 3.4.3).

3.3.4.1 Polluants insolubles/séparation mécanique

Les matières insolubles des eaux usées de l'industrie chimique sont constituées de substances inertes telles que les poussières issues du ruissellement des eaux pluviales ou le sable (sous forme de gravier dans les matières brutes telles que la chaux). Elles peuvent aussi être constituées de matières dangereuses comme les métaux lourds et leurs composés provenant des procédés de précipitation des étapes de traitement en amont ou des procédés de production utilisant des catalyseurs. Même les dioxines peuvent être adsorbées sur des matières solides (par exemple, catalyseur pour la production de chlorure de vinyle par oxychloration). Cependant, les polluants insolubles ne sont pas forcément des particules solides. Les liquides non miscibles dans l'eau (huile ou substances de même consistance, graisse, colloïdes) font également partie de cette catégorie. Pour pouvoir se débarrasser des polluants insolubles contenus dans les eaux usées, des procédés de séparation tels que ceux décrits ci-dessous doivent être appliqués.

3.3.4.1.1 Dessablage

Description

Le déssablage se définit comme l'extraction du sable présent dans les eaux pluviales. Pour cela, on utilise des dessableurs, faute de quoi le sable risquerait de se déposer dans des endroits pouvant gêner le procédé de traitement et entraîner une abrasion rapide des pompes [cww/tm/132].

Les dessableurs font partie de la station d'épuration et sont en principe situées juste après le tamis de protection contre les matières fibreuses et grossières. Ils sont conçus pour supporter le débit horizontal nécessaire (environ 0,3 m/s), c'est pourquoi seul le sable est séparé, les matières solides plus légères étant entraînées par le flux d'eaux usées.

Il existe trois types de dessableurs [cww/tm/132] :

- le dessableur couloir qui, associé à un canal Venturi, assure le maintien du débit nécessaire. Il convient parfaitement pour les flux d'eaux usées à forte variation.

Influent	Influent
Effluent	Effluent

Figure 3.6 : dessableur couloir

- le dessableur circulaire dans laquelle l'eau arrive tangentiellement, ce qui a pour effet de faire tourner le contenu et d'envoyer le sable vers le centre où il est extrait par jet d'air ; ce type de dessableur est nettement moins approprié lorsque le débit est très variable (figure 3.7) [cww/tm/132].

Compressed air	Air comprimé
Influent	Influent
Effluent	Effluent

Figure 3.7 : dessableur circulaire

- le dessableur aéré dans laquelle la circulation du contenu est provoquée par l'injection d'air de telle sorte que le débit nécessaire est atteint au fond de la chambre ; ce type de chambre peut convenir si le débit est variable (figure 3.8) [cww/tm/132].

Compressed air	Air comprimé
Sand	Sable

Figure 3.8 : dessableur aéré

Des unités de stockage du sable ainsi séparé sont nécessaires jusqu'à son évacuation.

Application

Les dessableurs sont utilisés lorsque la station d'épuration doit traiter des eaux pluviales qui généralement contiennent de grandes quantités de sable [cww/tm/132].

Limites et restrictions d'application:

	Limites /restrictions
--	------------------------------

Débit	Débit d'environ 0,3 m/s nécessaire pour s'assurer que seul le sable est séparé
Variation du débit	Restrictions en fonction du débit, selon le type de dessableur

Avantages et inconvénients

Sans objet, équipement essentiel.

Niveaux d'émission /taux de performance pouvant être atteints

Les dessableurs ne sont pas installés dans le but de protéger l'environnement mais pour protéger les équipements en aval.

Impacts croisés

Le sable séparé doit être évacué ou utilisé, en fonction du niveau de pollution.

Consommables : énergie électrique nécessaire aux pompes et au jet d'air.

Le dessableur, faisant partie de la station d'épuration, contribue à l'émission de bruit et d'odeurs de la station, en fonction du type d'eaux usées traitées. Il peut être nécessaire de capoter les équipements.

Surveillance

Le débit des eaux usées nécessaire (0,3 m/s) doit être contrôlé.

3.3.4.1.2 Décantation des matières solides

Description

La décantation (ou clarification) se définit comme la séparation des particules en suspension et des matières flottantes par décantation gravitaire. Les matières solides sédimentées sont extraites par le fond sous forme de boues et les matières flottantes sont retirées de la surface de l'eau. Lorsqu'il n'est pas possible de séparer les particules simplement par gravité, par exemple quand elles sont trop fines, que leur densité est trop proche de celle de l'eau ou qu'elles forment des colloïdes, l'ajout de produits chimiques permet de provoquer leur décantation. Ces produits chimiques sont notamment :

- le sulfate d'aluminium (alun)
- le sulfate ferrique
- le chlorure ferrique
- la chaux
- le polychlorure d'aluminium
- le polysulfate d'aluminium
- les polymères organiques cationiques

Ces produits chimiques provoquent la déstabilisation des colloïdes et des particules fines en suspension (argile, silice, fer, métaux lourds, colorants, matières solides organiques, huile présente dans les eaux usées), la production d'émulsions qui capturent les matières solides (coagulation) et/ou l'agglomération de ces particules en flocs suffisamment volumineux pour sédimenter (floculation). Dans le cas de la floculation, des polymères anioniques et non ioniques peuvent être utilisés.

Les effets de la coagulation sont indiqués à titre d'exemple dans le tableau 3.2 [cww/tm/27]. Toutefois, les taux d'épuration indiqués dans ce tableau ne doivent pas être confondus avec les taux de performance de la technique de traitement pouvant être atteints.

Substance	Taux d'épuration [%]
Mercure inorganique	70
Cadmium et ses composés	98
DDT [1,1,1-trichloro-2,2-bis-(p-chlorophényl) éthane]	75-80
HCB (hexachlorobenzène)	59
Aldrine	100
Dieldrine	50
Endrine	43
PCB (Poly-Chloro-Biphényles)	30-40
Composés de tributylétain	>90
Trichloroéthylène	36
Perchloroéthylène	30

Tableau 3.2 : Taux d'épuration des polluants des eaux usées par coagulation

Les bassins de décantation (ou décanteurs) couramment utilisés sont les suivants :

- bassins de décantation ou réservoir plats, ayant une forme rectangulaire ou circulaire, équipés d'un racleur approprié et dont la taille est calculée pour que le temps de séjour nécessaire de 1 heure 30 à 2 heures 30 soit respecté (voir l'exemple d'un bassin circulaire à la figure 3.9 [cww/tm/4])

Scum through	Évacuation de l'écume
Scum pipe	Tuyau d'évacuation de l'écume
Scum pit	Puisard à écume
Bridge	Pont
Handrailing	Rampe
Supports	Supports
Pier cap with outlet ports	Sommet de la colonne avec orifices de sortie
Center pipe and influent riser pipe	Conduite centrale et conduite ascensionnelle de l'influent
Drive unit	Mécanisme d'entraînement
Turntable	Plate-forme pivotante
Influent baffle	Chicane de l'influent
Drive cage	Cage d'entraînement
Maximum water surface	Surface d'eau maximale
Scraper blades	Lames du racleur
Influent pipe	Conduite de l'influent
Surface skimmer	Racleur de surface
Top of tank	Haut du bassin
Skimmer supports	Supports du racleur
Adjustable squeegees	Racleurs réglables
Swinging skimmer blade	Lames oscillantes du racleur
Scum baffle	Chicane de rétention de l'écume
Effluent weir	Déversoir de sortie
Effluent launder	Goulotte de l'effluent
Sludge draw-off pipe	Tuyau de vidange des boues

Figure 3.9 : bassin de décantation ou décanteur

- bassin à fond conique, avec flux vertical, en principe sans système mécanique d'extraction des boues (voir figure 3.10 [cww/tm/132])

Sludge	Boues
Effluent	Effluent
Influent	Influent

Figure 3.10 : bassin à fond nique

- décanteur laminaire ou à tubes, dans lequel des plaques sont utilisées pour augmenter la surface de décantation (voir figure 3.11 [cww/tm/91]).

Les équipements relatifs à la coagulation et/ou à la floculation sont intégrés au bassin. Les actions suivantes permettent de réaliser un mélange rapide, condition nécessaire pour la coagulation :

Un dosage simultané des coagulants via plusieurs points d'injection

Le choix de préférence de systèmes à courant continu, lorsque cela est possible

L'utilisation d'un mélangeur rapide pour mélanger à l'endroit de l'ajout du coagulant, avant ou au niveau du mélangeur rapide, des mélangeurs statiques ou des orifices.

Une chambre de mélange est ajoutée pour la floculation. Une **herse** ou des mélangeurs à faible vitesse sont utilisés, ce qui provoque un mélange hydraulique à l'intérieur du fluide pendant qu'il circule dans le bassin. Le recyclage partiel du floc dans le flocculateur peut améliorer la structure du floc et optimiser l'utilisation du flocculant.

Pour assurer une décantation optimale, une étape de séparation de l'huile ou de décomposition des émulsions, etc., est généralement réalisée en amont pour éliminer les substances gênantes.

L'équipement des unités de décantation doit être tel que le risque de transfert des eaux usées vers le sol est nul, au moins lorsque le bassin risque de contenir des substances dangereuses pour les nappes phréatiques. Les unités de stockage des agents coagulants/flocculants ainsi que des boues sédimentées doivent être équipées en fonction des caractéristiques des boues.

Flow distribution orifices	Orifices de répartition du flux
Overflow box	Surverse
Discharge flumes	Canaux de déversement
Feed box	Alimentation
Flocculation tank	Bassin de floculation
Flash mix tank	Bassin de mélange rapide
Overflox (effluent)	Surverse (effluent)
Coagulant aid	Adjuvant de coagulation
Feed (influent)	Alimentation (influent)
Lamella plates	Plaques lamellaires
Vibrator pack	Vibrateur
Sludge hopper (removable)	Concentrateur de boues (amovible)
Underflow (sludge)	Sous-écoulement (boues)

Figure 3.11 : décanteur à tube ou inaire

Application

La décantation est une technique de séparation très répandue, utilisée pour de nombreuses applications et en général utilisée en complément d'autres techniques. Principaux exemples d'application :

- clarification des eaux pluviales collectées par élimination des matières solides telles que le sable ou les poussières dans un bassin de décantation ;
- procédé de clarification des eaux usées par élimination des substances inertes telles que le sable ou particules similaires ;
- procédé de clarification des eaux usées par élimination des matières provenant de réactions telles que les composés de métaux émulsifiés, les polymères et leurs monomères, renforcé par l'ajout de produits chimiques appropriés ;
- séparation des métaux lourds ou autres composants dissous après une phase de précipitation (voir section 3.3.4.2.1), souvent avec l'aide d'adjuvants chimiques, et complété au final par des procédés de filtration (voir sections 3.3.4.1.4 et 3.3.4.1.5) ;
- extraction des boues activées dans le clarificateur primaire ou secondaire d'une station d'épuration biologique (voir section 3.3.4.3.5), souvent avec l'aide d'adjuvants chimiques.

Limites et restrictions d'application :

	Limites/restrictions
Taille des particules	Les particules doivent être suffisamment grosses pour sédimenter, sinon l'ajout d'agents coagulants et/ou floculants est nécessaire
Présence de substances volatiles	La présence de substances volatiles doit être évitée à cause du temps de séjour élevé dans le bassin (et à cause de la phase de mélange nécessaire à la coagulation et/ou la floculation) et donc du rejet éventuel de COV
Concentration des matières solides	Pas de limites, à condition que la phase aqueuse reste séparable
pH (pour la coagulation/floculation)	Durant le fonctionnement, il est essentiel de contrôler le pH, faute de quoi les performances de la clarification sont faibles
Émulsions	Les émulsions stables ne peuvent pas être séparées ni cassées par coagulation/floculation ; une étape préliminaire de cassage des émulsions est nécessaire

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Installation simple, d'où un risque de dysfonctionnement limité. • La capacité d'épuration peut être améliorée par ajout d'agents coagulants et/ou floculants 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne convient pas pour les matières fines ni pour les émulsions stables, même avec ajout de coagulants et de floculants. • Le floc peut contenir certains polluants qui risquent de poser des problèmes lors de l'évacuation des boues.

Niveaux d'émission /taux de performance pouvant être atteints

Lorsque la décantation est utilisée en amont de procédés de traitement, elle permet de protéger les unités de traitement, c'est pourquoi sa capacité d'épuration doit être assez élevée pour atteindre cet objectif. Lorsque elle est utilisée comme traitement final, ses performances dépendent des propriétés des particules à éliminer.

Les niveaux d'émission pouvant être atteints sont les suivants :

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/l]	Remarques
MES	60-90		
		<10 ¹	En sortie d'un clarificateur final d'une station d'épuration centrale
Matières solides décantables	90-95		
Métaux lourds			Sous forme de particules, voir section 3.3.4.2.1
¹ [cww/tm/67c]			

Les MES peuvent également contenir des particules organiques, ce qui fait que la décantation réduira également le COT et la DCO, pour autant que ceux-ci soient sous forme de matières solides insolubles. Cependant, le rendement d'épuration dépend de la proportion de COT solide par rapport à la quantité de COT totale.

Impacts croisés

Les boues sédimentées et l'écume récupérée doivent être évacuées en tant que déchet si elles ne peuvent pas être recyclées ou utilisées d'une autre manière. Selon l'origine des eaux usées, ce déchet peut contenir des composés dangereux qui doivent être traités en conséquence. Ces composés sont, par exemple, des carbonates, des fluorures, des sulfures ou des hydroxydes (ou oxydes) de métaux lourds, de l'écume de type huileuse, etc., et dans certaines circonstances des dioxines.

Les sources d'émission de bruit sont : les pompes qui peuvent être capotées et le système d'extraction des boues et de l'écume.

Lorsque les eaux usées contiennent des substances odorantes, il peut être nécessaire de fermer le bassin de décantation, ou au moins l'unité de coagulation ou de floculation, et d'acheminer les effluents gazeux émis vers un système de traitement. Les équipements nécessaires (les conduites et les circuits d'aération) doivent être équipés d'un système de sécurité approprié, par exemple un système de circulation d'azote gazeux sous pression pour éviter le risque d'explosion.

Les consommables peuvent être :

Consommable	Quantité
Produits chimiques (coagulant/floculant) ^a	53-93 [kg/t d'huile, de solide] ¹
	0,5-100 [g/m ³ d'eaux usées] ²
Énergie électrique [kW] ^b	0,5-1,5
Azote pour atmosphère inerte	
^a polymère organique ^b pour un réservoir de 25-35 m de diamètre ¹ [cww/tm/96] ² [cww/tm/128]	

Surveillance

L'effluent doit être contrôlé de manière régulière en ce qui concerne les matières solides (solides en suspension, matières solides décantables, turbidité). Lorsque des produits chimiques (coagulants ou floculants, par exemple) sont utilisés pour améliorer le procédé de décantation, le pH est alors le paramètre d'exploitation principal et doit être à ce titre contrôlé.

Aspects économiques

	Coûts de capital [million]	Coûts d'exploitation
Bassin de décantation	1,2 EUR ^a	
	4,8 BEF ^{b 1}	
Décanteur à tube ou laminaire ¹	4 BEF ^c	20-100 BEF par m ³
^a pour un bassin de 1 000 m ³ ^b capacité de 100 m ³ /h ^c capacité de 25 m ³ /h ¹ [cmm/tm/128]		

3.3.4.1.3 Aéroflottation

Description

La flottation est un procédé au cours duquel les particules solides ou liquides sont séparées des eaux usées en s'accrochant à des bulles d'air. Les particules flottantes s'accumulent à la surface de l'eau et sont collectées grâce à des racleurs de surface [cww/tm/4].

Les adjuvants de floculation (sels d'aluminium et ferriques, silice activée et divers polymères organiques, par exemple) sont fréquemment utilisés pour faciliter la flottation. Leur rôle, outre celui de coagulation et de floculation, est de créer une surface ou une structure capable d'absorber ou de piéger les bulles d'air.

Il existe trois méthodes de flottation qui se différencient par la façon dont l'air est ajouté :

la flottation par le vide, technique dans laquelle l'air est dissous à pression atmosphérique, puis une chute de pression est appliquée pour favoriser la formation de bulles

la flottation à air induit (FAI), technique dans laquelle de fines bulles sont injectées dans les eaux usées au moyen d'un dispositif à induction de type Venturi ou un diaphragme à orifice


la flottation à air dissous (FAD), technique dans laquelle de l'air sous pression (0,4-0,8 MPa ou 1,0-1,2 MPa dans le cas de composés d'aluminium) est dissous dans les eaux usées, ou dans une fraction de celles-ci, puis libéré pour favoriser la formation de petites bulles.

Un dispositif classique de FAD est présenté à la figure 3.12 [cww/tm/4].

Selon le contenu des eaux usées, il peut être nécessaire de recouvrir le réservoir de flottation et d'acheminer l'air d'extraction vers un dispositif de réduction des gaz. Il est nécessaire de disposer d'installations de stockage des agents floculants/coagulants et des matières récupérées.

Chemicals	Produits chimiques
Chemical mix tank	Réservoir de mélange des produits chimiques
Influent feed line	Conduite d'alimentation de l'influent
Chemical feed pump	Pompe d'alimentation en produits chimiques
Thickened overflow	Surverse épaissie
Mixing	Mélange
Pressure control valve	Soupape de régulation de pression

Skimmer mechanism	Mécanisme du racleur
Flotation tank	Réservoir de flottation
Bottom sludge collector	Collecteur de boues inférieur
Settled solids drawoff	Vidange des matières solides décantées
Air	Air
Pressure tank	Réservoir sous pression
Pressurizing pump	Pompe à pression
Baffle	Chicane
Subnatant effluent	Effluent sous-nageant
Recycled subnatant	Recyclage du sous-nageant
Auxiliary recycle connection (Primary tank or plant effluent)	Connexion au recyclage auxiliaire (réservoir primaire ou effluent de l'usine)

Figure 3.12 : dispositif de  :
a) avec recyclage, b) sans recyclage

Application


La flottation est employée lorsque la décantation ne peut pas être utilisée, par exemple lorsque :

- les particules ont de mauvaises caractéristiques de décantation (cependant, dans le cas d'un indice de Mohlmann faible, cette technique n'est pas plus avantageuse que la décantation)
- la différence de densité entre les particules en suspension et les eaux usées est trop faible
- l'espace disponible sur le site est limité
- de l'huile et des graisses doivent être éliminées

Exemples d'application :

- dans les raffineries et les sites pétrochimiques comme traitement en aval d'un procédé de séparation des huiles et en amont d'une station d'épuration biologique
- élimination des colorants et des pigments des eaux usées de production correspondantes
- récupération de produits ou de matières brutes, par exemple le toluène des émulsions toluène/eau [cww/tm/132], les halogénures d'argent de la production de produits chimiques pour la photographie, le **butylthion** ou le **polysilane** des flux d'eaux usées
- la séparation des métaux lourds des eaux usées
- la séparation des boues activées issues du traitement biologique des eaux usées après clarification finale [cww/tm/67b] ou en remplacement de celle-ci
- l'épaississement des boues activées d'une station d'épuration biologique

Limites et restrictions d'application :


	Limites / restrictions
Présence de substances	Les détergents moussants doivent être exclus
Huile	Bien que très efficace pour éliminer l'huile  eaux usées, cette technique ne peut pas traiter l'huile brute

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Moins de volume donc coûts de capital inférieurs à ceux nécessaires pour la décantation. • Pas d'incidence de la variation du débit 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de colmatage des vannes. • Risque d'émission d'odeurs élevé, il est donc nécessaire de recouvrir le dispositif. • Coûts d'exploitation plus élevés que pour

<p>sur la capacité d'épuration, qui est donc supérieure à celle de la décantation, voir figure 3.13 [cww/tm/132]</p> <ul style="list-style-type: none"> • Récupération de matière possible. • Haute capacité de séparation, teneur en matière sèche plus élevée que pour la décantation. 	la décantation.
--	-----------------

Flotation	Flottation
Sedimentation	Décantation
Solids removal efficiency (%)	Capacité d'épuration des matières solides (%)
Waste water hydraulic loading rate (m/h)	Taux de charge hydraulique des eaux usées (m/h)

Figure 3.13 : comparaison entre la capacité de séparation de la FAD et la décantation  ^{29]}

¹¹ teneur en insolubles 90-450 mg/l, ajout d'eau sous pression pour la flottation de 20 %

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Performance [%]	Niveau d'émission [mg/l]	Remarques
MES	90-98		Voir figure 3.13
	85-96 ¹	10-20 ¹	Boues activées après clarificateur final, alimentation 20-250 mg/l
Huile		10-20 ppm ²	Raffinerie, traitement FAI et FAD
		2-10 ³	Production de produits chimiques, après plusieurs séparateurs API (American Petroleum Institut)
Sulfures de métal	95 ²		Raffinerie, traitement FAI et FAD
¹ [cww/tm/67b] ² [cww/tm/131] ³ [cww/tm/93]			

Le COT et la DCO sont éliminés à condition qu'ils soient présents sous forme de solides ou de suspension de gouttelettes.

Impacts croisés

Si elles ne peuvent être recyclées, les matières séparées doivent être évacuées en tant que déchets. Leur quantité est fonction de la matière à éliminer et de la quantité d'agents coagulants et floculants. Ces quantités sont très variables selon le type de flottation employé.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Traitement FAD des boues activées ¹	Aéroflottation pour les eaux usées de raffinerie ²
Air comprimé ^a	0,53-0,55	
Quantité de floculant mg/l ^b kg/t ^c	0,6-1,2 2,4-4,7	3,7 53-93
Énergie [kWh/1 000 m ³]	20,6	
^a exprimé en volume d'air comprimé rapporté au volume d'eau sous pression [m ³ /m ³] ^b concentration de floculant dans les eaux usées ^c quantité de floculant par rapport à la masse de solides en suspension dans les eaux usées ¹ [cww/tm/67b] ² [cww/tm/96]		

Les sources de bruit sont les pompes, le mélangeur et le compresseur. Ils doivent être équipés de systèmes de confinement du bruit appropriés.

L'émission éventuelle de substances odorantes ou volatiles peut être évitée en couvrant la cuve, ou en utilisant un réservoir fermé et en acheminant l'air extrait jusqu'à un système d'épuration des gaz.

Surveillance

Pour un fonctionnement fiable, il est nécessaire de détecter toute perturbation de la turbidité de l'effluent. L'apparition de mousse doit être détectée rapidement. La détection de DCO, de COT et de MES est obligatoire.

Aspects économiques

Le coût d'une unité de flottation est très variable selon le but de son utilisation :

	Débit [m³/h]	Coûts de capital [million]	Coûts d'exploitation annuels [milliers]
FAD/boues activées ¹	1 200	5 DEM	800 DEM
FAD/raffinerie ²	300-800	1,6-1,8 EUR	20-130 EUR
FAI/raffinerie ²	400-820	0,5-2,1 EUR	55-130 EUR
FAD/comme traitement final décentralisé ³	50		4 500 DEM
FAD ⁴	100 m ³ /h 100 m ³ /jour	40 BEF 4 BEF	
¹ [cww/tm/67b] inclus : coûts de capital, conception technique, travaux de génie civil, préparation du site, etc.			
² [cww/tm/48]			
³ [cww/tm/132] coûts d'exploitation totaux (produits chimiques de neutralisation, de précipitation et de floculation, déshydratation des substances flottantes, incinération des boues) ⁴ [cww/tm/128]			

Les coûts indicatifs de capital et d'exploitation d'une unité FAD sont indiqués en fonction du débit. Bien que ces valeurs soient loin des valeurs réelles, elles donnent une estimation de l'augmentation des coûts en fonction de l'augmentation de la taille de l'usine [cww/tm/92] :

Débit [m³/h]	Coûts de capital [en million de GBP]	Coûts d'exploitation annuels [en milliers de GBP]
10	0,1	10
100	0,1	20-30
1 000	0,5	50-80
10 000	1,0	500-800

Le coût de la flottation, la technique de séparation solides/liquide la plus répandue dans les stations d'épuration décentralisées, est inférieur à celui de l'évaporation ou de l'incinération (d'un facteur de 10 environ). Cependant, les avantages de l'évaporation ou de l'incinération sont bien supérieurs étant donné que ces méthodes aboutissent à une élimination totale d'effluents extrêmement pollués, tandis que la précipitation et la flottation ne permettent qu'un traitement partiel d'un flux moyennement pollué. Puisque la valeur de ce traitement partiel est également l'objet de débats, la question de savoir s'il est intéressant de dépenser 10 DEM par mètre cube d'eaux usées (ou 4,5 millions de DEM par an pour un flux d'eaux usées secondaire d'un débit de 50 m³/h) en coûts d'exploitation pour le prétraitement d'un flux qui ne représente qu'une petite partie de la quantité totale d'eaux usées d'une grande usine chimique reste en suspens [cww/tm/132].

Par rapport à la décantation, la flottation présente de nombreux avantages dans bien des cas, non seulement en ce qui concerne le traitement des eaux et la récupération de matières valorisables, mais également en ce qui concerne la séparation et l'épaississement des boues. En règle générale, cette technique conduit à une plus grande teneur en matière sèche dans le concentré résultant. Du fait de taux de charge hydraulique plus élevés et de temps de séjour plus courts, les volumes nécessaires pour les équipements sont plus faibles. Ceci implique en général des coûts de capital plus faibles, aux dépens de coûts d'exploitation soient plus élevés. Pour la décantation, l'encombrement est 50 fois plus important que pour la flottation. D'autre part, les dépenses en énergie pour la floculation dans le cadre de la flottation peuvent être environ 50 fois plus élevées que pour la floculation dans le cadre de la décantation. La flottation présente de meilleures possibilités que la décantation en matière de contrôle et d'adaptation aux variations des conditions de fonctionnement, bien que pour mettre en œuvre ces possibilités, il faille du personnel qualifié [cww/tm/132].

3.3.4.1.4 Filtration

Description

La filtration se définit comme la séparation de matières solides des eaux usées traversant un milieu poreux. Les filtres nécessitent généralement un nettoyage, le lavage à contre-courant, qui se fait par circulation inverse d'un flux d'eau propre qui envoie les matières accumulées vers le bassin de décantation (section 3.3.4.1.2).

Les types de filtres couramment utilisés sont :

- Le filtre granulaire ou filtre à sable, très répandu comme dispositif de traitement des eaux usées (le milieu poreux des filtres à sable n'est pas forcément du sable) et principalement utilisé lorsque la teneur en matières solides est faible.
- Le filtre à tambour par gravité, utilisé pour le traitement des eaux usées et l'épuration des floes de boues activées. Son efficacité dépend du tamis.
- Le filtre rotatif sous vide, qui convient parfaitement pour la filtration sur précouche et qui est utilisé pour la déshydratation des boues huileuses et la désémulsification slops.
- Le filtre à membrane (voir section 3.3.4.1.5).
- Le filtre à bande presseuse, couramment utilisé pour la déshydratation des boues et pour les opérations de séparation solide/liquide.
- Le filtre-pressé, généralement utilisé pour la déshydratation des boues et pour les opérations de séparation solide/ liquide ; ce type de filtre convient pour les teneurs en matières solides élevées.

Les filtres à sable sont constitués d'un lit filtrant granulaire pour flux ascendant ou descendant. Le lit filtrant peut être mono-milieu ou multi-milieus. Le fonctionnement peut être semi-continu (la filtration et le lavage à contre-courant se produisent en alternance), ou continu (la filtration et le lavage à contre-courant se produisent simultanément). La différence principale entre les deux modes opératoires est la suivante :

- les filtres à sable qui fonctionnent en semi-continu peuvent donner lieu à des crevaisons de filtre avec augmentation de turbidité, lorsque la teneur en matières solides de l'effluent commence à augmenter, ou à des pertes de charge
- les filtres à sable à fonctionnement continu ne donnent pas lieu à des crevaisons avec montées de turbidité ni à des pertes de charge.

Les filtres à sable fonctionnent soit par gravité, soit par mise sous pression. Un exemple de filtre conventionnel gravitaire multi-milieus à flux descendant est donné à la figure 3.14 [cww/tm/4] et un exemple de filtre à pression est donné à la figure 3.15 [cww/tm/4].

Les filtres à tambour sont constitués d'un cylindre sur lequel la surface de filtration est fixée. Ils fonctionnent soit comme un filtre à tambour par gravité qui peut être chargé par l'intérieur ou par l'extérieur, soit comme un filtre rotatif sous vide dont l'intérieur ou l'extérieur du tambour est confiné et relié à une pompe à vide. Le gâteau de filtration est retiré du tambour par différents moyens. Un exemple est donné à la figure 3.16 [cww/tm/132].

Les filtres à bande presseuse et les filtres-presses utilisés comme système de déshydratation des boues sont décrits à la section 3.4.1.

Plusieurs critères permettent de caractériser un milieu filtrant [cww/tm/132] :

- la taille des particules pouvant passer à travers le milieu filtrant
- la perméabilité, une perméabilité élevée étant caractérisée par une chute de pression faible
- la stabilité chimique par rapport au filtrat
- le risque de blocage, en particulier pour les tissus dans le cas d'une filtration sur gâteau
- la force mécanique en relation avec les charges imposées lors du décolmatage ou le mouvement du tissu du filtre
- une surface lisse pour favoriser l'extraction du gâteau

Effluent level during filtering	Niveau d'effluent pendant la filtration
Water level during backwashing	Niveau d'eau pendant le lavage à contre-courant
Washwater trough	Goulotte d'eau de lavage
Sand	Sable
Gravel	Gravier
Influent	Influent
Drain Effluent	Évacuation de l'effluent
Drain	Évacuation
Controller	Régulateur
Air	Air
Underdrain system	Drains de sortie
Backwash water (usually filtered and chlorinated secondary effluent)	Eau de lavage à contre-courant (en général, effluent secondaire chloré et filtré)

Figure 3.14 : filtre à sable conventionnel multi-milieus à flux  pendant^[H30]

Influent	Influent
Effluent	Effluent
Sample faucet	Robinet d'échantillonnage
Baffle plate	Chicane
Filtering surface	Surface de filtration
Filter medium	Milieu filtrant
Manifold and laterals	Collecteur et canalisations secondaires
Gravel	Gravier
Concrete fill	Remplissage de béton

Figure 3.15 : filtre à  ssion^[H31]

Filtrate	Filtrat
Cake discharge	Évacuation du gâteau
Slurry	Boue

Figure 3.16 : filtre rotatif sous vide**a) zone de déshydratation, b) valve rotative, c) zone de décantation, d) zone d'aspiration**

Les suspensions constituées de solides relativement fins, mous ou compressibles, ont tendance à remplir ou colmater le milieu filtrant, sauf si ce colmatage est empêché au moyen d'adjuvants de filtration, c'est-à-dire de matières granulaires inertes facilement filtrables. Ces adjuvants de filtration forment une couche perméable au filtrat et qui remplit le rôle de gâteau de filtration peu compact. Les particules retenues se déposent sur l'adjuvant de filtration.

Voici quelques exemples d'adjuvants de filtration [cww/tm/132] :

- terres de diatomées
- perlites
- terres à foulon
- verre en poudre
- préparations de charbon
- fibres de cellulose
- pâte de bois
- pâte à papier
- bagasse
- talc
- plastiques

Les adjuvants de filtration sont utilisés comme précouche, c'est-à-dire qu'une couche d'adjuvant est déposée sur le milieu filtrant avant que la filtration commence. L'adjuvant est ajouté aux boues en continu pendant la filtration afin de conserver la proportion nécessaire à une filtration efficace.

Application

Dans le traitement des eaux usées, la filtration est fréquemment utilisée comme étape de séparation finale après les procédés de décantation (voir section 3.3.4.1.2) ou de flottation (voir section 3.3.4.1.3), si l'on souhaite de faibles émissions de particule. Par exemple :

- séparation de floccs, d'hydroxydes de métaux lourds, etc. après décantation pour satisfaire aux exigences en matière de rejets
- élimination des boues activées en amont d'une station d'épuration centrale, en complément de la décantation, pour améliorer la qualité des eaux usées traitées biologiquement
- déshydratation des boues, des **matières flottantes** (flotate), etc.
- récupération de l'huile au moyen de filtres rotatifs à tambour et avec ajout de polymères

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Colloïdes, émulsions	Séparation impossible sans traitement chimique supplémentaire
Matières solides finement dispersées ou visqueuses	Risque de colmatage du milieu filtrant en l'absence d'adjuvant de filtration

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de séparation élevée. • Les polluants autres que les matières 	<ul style="list-style-type: none"> • Colmatage et encrassement possibles dans le cas de filtres à sable à fonctionnement

solides en suspension, l'huile notamment, peuvent être éliminés dans certaines conditions.	semi-continu.
<ul style="list-style-type: none"> Fonctionne dans de très nombreuses conditions. 	<ul style="list-style-type: none"> Une crevaison de filtre risque de provoquer une pollution supplémentaire de l'effluent.

Niveaux d'émission pouvant être atteints/taux de performance

Paramètre	Performance [%]	Niveau d'émission [mg/l]	Remarques
MES		<10 mg/l	floc de boues activées
	50-99,99 ¹		filtre à sable, en fonction des adjuvants de filtration
Huile		<5 mg/l	
Métaux lourds			après précipitation, voir section 3.3.4.2.1
¹ [cww/tm/128]			

Impacts croisés

Si un filtre granulaire, par exemple un filtre à sable, est utilisé, les matières libérées par le lavage à contre-courant sont généralement renvoyées vers le procédé qui les a produites, c'est-à-dire vers le bassin de décantation ou le bassin de boues activées d'une station d'épuration biologique, par exemple. Le résidu des autres types de filtre (filtre à tambour, filtre à bandes, etc.) peut être recyclé, évacué en tant que déchet ou subir un traitement supplémentaire.

La filtration en profondeur (filtration par sable, par exemple) nécessite un lavage à contre-courant moins fréquent que la filtration sur gâteau (filtration à tambour ou à bandes) et donc une quantité moindre d'eau de lavage. C'est pour cette raison que la filtration sur gâteau est employée de manière exceptionnelle dans le traitement des eaux usées (voir les exemples précédemment cités dans ce chapitre) [cww/tm/132].

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Filtre à sable	Filtre à tambour
Eau de lavage à contre-courant		-
Eau pour la production de vide	-	
Adjuvants de filtration		
Énergie [kWh/1 000 m ³]		
Chute de pression		

L'unité peut être une source de bruit non négligeable qu'il est possible de maîtriser en confinant les sources d'émission principales.

En cas de risque d'émission de substances odorantes, il peut être nécessaire d'utiliser des dispositifs fermés. Les filtres sous pression et les filtres-presses sont placés dans des cuves fermées et l'air extrait est acheminé vers un système d'épuration des gaz.

Surveillance

Pour assurer la fiabilité du fonctionnement, la turbidité de l'effluent de filtration doit être contrôlée afin de détecter toute perturbation ou une crevaison du filtre si un filtre à sable à fonctionnement semi-continu est utilisé. La chute de pression doit être relevée afin de détecter tout colmatage ou blocage.

Aspects économiques

	Débit [m ³ /h]	Coûts de capital [million]	Coûts d'exploitation n
Filtre à sable ¹	100	4 BEF	2 BEF/m ³
¹ [cww/tm/128]			

3.3.4.1.5 Microfiltration et ultrafiltration**Description**

La microfiltration (MF) et l'ultrafiltration (UF) sont des procédés à membrane qui séparent un liquide passant à travers une membrane en un perméat, qui traverse la membrane, et un concentré, qui est retenu par la membrane. La différence de pression entre chaque côté de la membrane constitue la force d'entraînement du procédé. Il s'agit de deux techniques de filtration spéciales et élaborées, déjà mentionnées dans le chapitre précédent.

Les membranes utilisées pour la MF et l'UF sont des membranes « à pores » qui fonctionnent comme des tamis. Les solvants et les particules de taille moléculaire peuvent passer à travers les pores, tandis que les particules en suspension, les particules colloïdales, les bactéries, les virus et les macromolécules plus grosses sont retenues par la membrane.

Les caractéristiques typiques sont indiquées dans le tableau 3.3.

Paramètre	Microfiltration	Ultrafiltration
Diamètre des pores [μm] ¹	0,1-1	0,001-0,1
Pression de fonctionnement [MPa] ²	0,02-0,5	0,2-1
Seuil de coupure [nm]	>100, bactéries incluses	10-100, macromolécules, virus, particules colloïdales incluses 1 000-100 000 g/mol pour les solutions
Flux du perméat [l m ⁻² h ⁻¹]	50-1 000	<100
Vitesse du flux traversant [m/s] ²	2-6	1-6
Type de membrane ³	polymérique ou céramique symétrique, 10-150 μm d'épaisseur	polymérique ou céramique asymétrique
Configuration de la membrane ³	en spirale à fibre creuse tubulaire	en spirale à fibre creuse tubulaire
¹ [cww/tm/27] ² [cww/tm/132] ³ [cww/tm/93]		

Tableau 3.3 : caractéristiques de la microfiltration (MF) et de l'ultrafiltration (UF)

Les membranes de MF et d'UF sont disponibles en plusieurs matières et configurations. Le meilleur choix pour une application précise dépend de la nature des eaux usées, étant donné que les différents

matériaux ont des résistances aux substances dissoutes variables. La membrane de la MF peut être réalisée dans les matériaux suivants :

- fibre de verre
- polycarbonate
- PVDF (polyfluorure de vinylidène)
- acétate de cellulose
- polyamide

En ce qui concerne l'UF, les matières employées sont généralement des polymères organiques, par exemple :

- acétate de cellulose
- polyamide.
- polyimide
- polycarbonate
- polychlorure de vinyle
- polysulfone
- polyéthersulfone
- polyacétal
- copolymères d'acrylonitrile et de chlorure de vinyle
- complexes de polyélectrolytes
- alcool de polyvinyle réticulé ou polyacrylates

Les membranes en PVDF présentent l'avantage de pouvoir être nettoyées avec des acides forts, de la soude caustique et de l'eau de Javel.

La filtration à membrane est généralement à écoulement transversal, c'est-à-dire que le flux de perméat est perpendiculaire au flux d'alimentation. Les impuretés restent dans l'alimentation qui, son volume diminuant, quitte le système sous forme d'effluent concentré.

Des unités de stockage du concentré doivent être disponibles.

Application

La filtration à membrane (MF et UF) est employée pour obtenir des eaux usées libres de toute matière solide pour les procédés en aval (osmose inverse, par exemple), ou pour éliminer complètement les polluants dangereux tels que les métaux lourds. Le choix entre la MF et l'UF dépend de la taille des particules.

Applications courantes de la MF [cww/tm/93 ; cww/tm/67a] :

- procédés de dégraissage
- récupération des particules métalliques
- traitement des eaux usées issues de procédés de revêtement métallique
- séparation des boues après un procédé par boues activées dans une station d'épuration biologique centrale, à la place d'un clarificateur secondaire (procédé à membrane activée), bien que l'UF puisse également être utilisée.

Applications courantes de l'UF :

- élimination de polluants dégradables non toxiques tels que les protéines et autres composés macromoléculaires, et de composants non dégradables toxiques tels que les colorants et les peintures, et de masse moléculaire supérieure à 1 000
- séparation des émulsions huile/eau
- séparation des métaux lourds après complexation ou précipitation
- séparation des composants non dégradables facilement dans les effluents de traitement des eaux usées, avant recyclage vers une étape biologique
- étape de prétraitement préalable aux techniques d'osmose inverse ou d'échange d'ions.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restriction d'application
Matériau de la membrane	Vulnérable aux attaques chimiques, selon le contenu des eaux usées

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de séparation élevée. • Systèmes modulaires, c'est à dire d'usage flexible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de colmatage, d'obturation et d'encrassement. • Compactage en présence d'agents d'adoucissement. • Pression de fonctionnement élevée, d'où grande consommation d'énergie par la pompe. • Pas de stabilité mécanique.

Niveaux d'émission /taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Performance [%]	Niveau d'émission [mg/l]	Remarques
MES	environ 100	proche de 0	
DCO			
Métaux lourds			Voir section 3.3.4.2.1

Impacts croisés

Les techniques de traitement à membrane produisent un résidu (le concentré) d'un volume égal à environ 10 % du volume d'alimentation et dans lequel les substances cibles sont présentes en concentration d'environ 10 fois celle de l'alimentation. Une étude doit être menée afin de décider si ce résidu peut être éliminé.

Pour les substances organiques en suspension, l'augmentation de la concentration peut améliorer les conditions pour la destruction par oxydation en aval. Pour les substances inorganiques en suspension, l'étape de concentration peut faire partie d'un procédé de récupération. Dans les deux cas, le perméat d'un procédé à membrane peut éventuellement être réutilisé ou recyclé dans le procédé industriel, réduisant ainsi l'alimentation en eau et le rejet.

Les consommables sont les suivants :

Consommables	MF	UF
Matériau de la membrane		-

Produits chimiques (antitartre, antidépôt, lavage à contre-courant, etc.)	-	
Énergie [kWh/m ³]	2-20 ¹	1-10 ¹
Chute de pression	Voir tableau 3.3	Voir tableau 3.3
¹ Il est étonnant de constater que la MF, le procédé avec la plus faible chute de pression, consomme plus d'énergie que les procédés à chute de pression élevée. Les raisons en sont l'occurrence de concentration de polarisation et d'encrassement. Dans la MF, et dans une moindre mesure dans l'UF, ce phénomène est très important et conduit à une diminution considérable du flux [cww/tm/161].		

La consommation d'énergie est directement liée au débit du flux transverse et aux exigences en matière de pression. Elle sert généralement à maintenir la vitesse minimale d'environ 2 m/s à travers la surface membranaire.

L'équipement de pompage est une source d'émission de bruit et peut nécessiter d'être confinée.

Surveillance

Pour assurer la fiabilité du fonctionnement, la différence de pression entre chaque côté de la membrane doit être contrôlée en permanence.

Aspects économiques

	Débit [m ³ /h]	Coûts de capital	Coûts d'exploitation	Coûts de remplacement
MF		400-1 500 GBP ¹ par m ² de membrane ^a		80-350 GBP ¹ par m ² de membrane ^a
		40 000 BEF ² par m ² de membrane	2-200 BEF ² par m ³ d'eaux usées	
UF		400-1 500 GBP ¹ par m ² de membrane ^a		80-350 GBP ¹ par m ² de membrane ^a
		60 000-200 000 BEF ² par m ² de membrane ^b		
^a pour membranes à fibres creuses, en spirale et en céramique ^b La valeur inférieure se rapporte aux membranes organiques, la valeur supérieure, aux membranes inorganiques ¹ [cww/tm/93] ² [cww/tm/128]				

Les coûts de capital, y compris les unités de nettoyage automatisées, se répartissent approximativement de la manière suivante [cww/tm/93] :

pompes	30 %
composants jetables de la membrane	20 %
modules de la membrane (carters)	10 %
canalisations, vannes, cadres	20 %
système de contrôle	15 %
divers	5 %

Les coûts d'exploitation [cww/tm/93] sont engendrés par :

Traitement des eaux usées et effluents gazeux

- le coût énergétique nécessaire au maintien de la pression hydrostatique et du débit des systèmes
- la durée de vie de la membrane
- la fréquence de nettoyage requise
- des facteurs propres au site, par exemple relatifs à la main-d'œuvre

Ils se répartissent approximativement comme suit [cww/tm/93] :

composants jetables de la membrane	35-50 %
nettoyage	12-35 %
énergie	15-20 %
main-d'œuvre	15-18 %

3.3.4.1.6 Séparation huile/eau

Description

La séparation de l'huile et de l'eau suivie de l'élimination de l'huile se divise en trois étapes :

- la séparation par gravité de l'huile au moyen de systèmes de séparation
- la cassage des émulsions grâce à des produits chimiques adéquats tels que :
 - les sels de métaux polyvalents comme l'alun, le trichlorure d'aluminium, le chlorure ferreux, le sulfate ferreux
 - les acides minéraux comme l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique
 - les adsorbants comme l'argile pulvérisée ou la chaux
 - les polymères organiques comme les polyamines et les polyacrylates
- la séparation de l'huile désémulsifiée par coagulation/floculation et aéroflottation (voir section 3.3.4.1.3)

Les séparateurs huile/eau couramment utilisés sont les suivants :

- le séparateur API (American Petroleum Institute), le séparateur le plus simple, constitué d'un bassin rectangulaire ouvert et d'un racleur qui amène les boues jusqu'à une fosse de collecte et l'huile jusqu'à un dispositif d'écumage capable de récupérer de grandes poches d'huile (voir figure 3.17 [cww/tm/91])
- le séparateur à plaques parallèles (SPP), équipé de plaques parallèles au courant qui visent à accroître de façon significative la surface active et d'un dispositif d'écumage de l'huile. Celui-ci ne convient pas pour les grandes poches d'huile (voir figure 3.18 [cww/tm/91])
- le séparateur à plaques ondulées (SPO), équipés de groupes de plaques ondulées disposées à contre courant et d'un dispositif d'écumage de l'huile. Celui-ci ne convient pas pour les grandes poches d'huile mais sa capacité de séparation est assez élevée (voir figure 3.19 [cww/tm/91])

Adjustable weir	Déversoir réglable
Effluent	Effluent
Revolving scum skimmer	Racleur de boues rotatif
Rigid flights	Racleurs rigides
Water depth available	Profondeur d'eau disponible
Rail	Rail
Collector travel	Sens du collecteur
Water level	Niveau d'eau

Drive unit	Unité d'entraînement
Influent	Influent
Baffle	Chicane
Sludge pipe	Conduite des boues
Sludge hopper	Trémis d'aspiration des boues

Figure 3.17 : séparateur API (American Petroleum Institute)

Pour collecter l'huile et l'éliminer, pour récupération ou traitement ultérieur, plusieurs types de récupérateur sont utilisés, notamment :

- les écrémeurs à conduite fixe
- les écrémeurs à goulotte rotative
- les écrémeurs à disque rotatif ou à tambour

Il est nécessaire de disposer d'installations de stockage de l'huile récupérées et des boues, si l'huile ne peut pas être recyclée immédiatement.

Influent oil/water mixture	Mélange huile/eau (influent)
Drain	Évacuation
Oil skimmer	Récupérateur d'huile
Inlet weir	Déversoir d'entrée
Separated oil	Huile séparée
Oil dam	Barrage de retenue de l'huile
Outlet weir	Déversoir de sortie
Clean water effluent	Effluent d'eau propre
Coalescing plate assembly	Assemblage de plaques coalescentes

Figure 3.18 : séparateur à plaques parallèles (SPP)

Adjustable outlet weir	Déversoir de sortie réglable
Outlet	Evacuation
Clean water outlet channel	Canal d'évacuation des eaux propres
Concrete	Béton
Sludge	Boues
Sludge pit	Puisard à boues
Oil skimmer	Récupérateur d'huile
Oil globules	Globules d'huile
Oil layer	Couche d'huile
Ajustable inlet water	Alimentation d'eau réglable
Inlet	Alimentation
Sediment	Sédiment
Sediment trap	Bassin de décantation
Plate assembly consisting of 24 or 28 corrugated parallel plates	Assemblage de plaques constitué de 24 ou 48 plaques ondulées parallèles

Figure 3.19 : séparateur à plaques ondulées (SPO)

Application

La séparation huile/eau est employée pour éliminer l'huile, les graisses et les autres liquides non solubles plus légers que la phase aqueuse des eaux usées, principalement dans les raffineries et les sites pétrochimiques. Ce n'est généralement pas un procédé autonome, il est en principe suivi d'un

procédé de flottation (FAI ou FAD) associé à un procédé de coagulation/floculation (voir section 3.3.4.1.3). L'API est également utilisé comme dispositif de contrôle destiné à protéger les équipements en aval de toute poche d'huile volumineuse provenant, par exemple, d'une défaillance technique, alors que le SPP et le SPO sont plus efficaces pour éliminer les petites gouttelettes d'huile.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> L'huile peut être récupérée et recyclée dans des unités de procédé. L'efficacité des séparateurs concernant l'élimination des petites gouttelettes d'huile et le rapport surface active/surface au sol augmente de l'API, au DPP, puis au DPO. 	<ul style="list-style-type: none"> Seul l'API peut intercepter des poches volumineuses d'huile et de matières solides (en cas d'urgence, par exemple). Pour le SPP et le SPO, les plaques sont susceptibles de s'encrasser, d'où la nécessité d'un entretien plus important. Séparation des substances solubles impossible.

Niveaux d'émission /taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Performance [%]	Niveau d'émission [mg/l]	Remarques
Huile	90-95		
		6-90 mg/l ¹	API, raffineries
		40-70 mg/l ²	API, industrie chimique
Solide	90-95		
¹ [information confidentielle]			
² [cww/tm/93]			

Impacts croisés

L'huile récupérée est généralement renvoyée dans les unités de procédé, où elle est réutilisée après des opérations de nettoyage mineures. Si elle n'est pas réutilisée, elle est traitée comme déchet chimique et doit donc être évacuée en conséquence, en même temps que les matières solides séparées.

Lorsqu'ils ne sont pas couverts, les séparateurs huile/eau constituent la source principale d'émission de COV dans les systèmes de traitement des eaux usées auxquels ils appartiennent. Ils sont donc la cause principale de risques en matière d'odeur et de santé. En recouvrant la surface, il est possible de réduire l'émission de COV d'environ 95 % [cww/tm/48]. Cependant, cela peut poser des problèmes pour l'écémage et pour la surveillance du fonctionnement des équipements. Les conditions locales détermineront la solution à retenir. Si le séparateur est couvert, les effluents gazeux doivent être acheminés vers un système d'épuration comportant un système de sécurité approprié (système à azote gazeux sous pression, par exemple) pour éviter tout risque d'explosion.

L'émission de bruit provient des pompes (généralement confinées) et le dispositif d'écémage. Si besoin est, des actions de surveillance peuvent être mises en œuvre.

Les consommables sont les suivants :

Consommables	API	SPP	SPO
Azote pour le système sous pression (dispositif de sécurité) ^a	0,05 m/h		

Énergie [kWh/m ³]			
^a flux d'azote gazeux par rapport à la surface [m ³ /(m ² h)]			

Surveillance

Pour un fonctionnement correct, l'évacuation doit être contrôlée visuellement à intervalles réguliers, par exemple en vérifiant l'accumulation d'huile. Le dispositif d'écumage et le barrage de retenue d'huile doivent être entretenus régulièrement.

Aspects économiques

	Débit [m ³ /h]	Coûts de capital [million]	Coûts d'exploitation	Remarques
API	1 200	2,0 EUR ¹		
SPP				
SPO	100	2-10 BEF ²	2-4 BEF/m ³ ² _a	
^a Coût de la main d'œuvre pour 3 h/jour ¹ [cww/tm/48] ² [cww/tm/128]				

3.3.4.2 Traitement physico-chimique des polluants inhibiteurs ou non biodégradables solubles

Les polluants inhibiteurs ou non biodégradables solubles présents dans les eaux usées peuvent être répartis en trois classes de composés :

- les composés inorganiques comme les sels ou les composés de métaux lourds
- les composés organiques comme source de COT réfractaire
- les composés inhibiteurs, organiques ou non, qui perturbent le procédé biologique d'une station d'épuration biologique

Un traitement biologique n'a aucun effet sur les composés inorganiques qui risquent, tout comme le COT réfractaire, de perturber le fonctionnement d'un procédé biologique d'une station d'épuration. Tous deux nécessitent un prétraitement spécial en amont d'une station d'épuration centrale. Les opérations de prétraitement sont les suivantes :

- transformations chimiques pour former des produits solides séparés dans un procédé complémentaire comme décrit en section 3.3.4.1 (voir sections 3.3.4.2.1 et 3.3.4.2.2)
- procédés de dégradation chimique pour former des polluants biodégradables (voir sections 3.3.4.2.3 à 3.3.4.2.7)
- procédés d'élimination physiques (voir sections 3.3.4.2.9 à 3.3.4.2.14)
- procédés d'incinération pour former des résidus gazeux et solides qui peuvent être séparés du flux d'eaux usées (voir section 3.3.4.2.15)

En Allemagne, sur les nouveaux sites chimiques, il est courant d'utiliser ces techniques de prétraitement (ou des mesures intégrées aux procédés) avec des flux secondaires transportant une charge non biodégradable adéquate (par exemple, taux d'élimination du COT inférieurs à 80 % et charge en COT rémanent d'environ 20 kg/j, 300 kg/an et 1 kg/tonne de produit, indépendamment des conditions locales). Dans les sites existants, ces mesures sont prises pour atteindre des performances optimales en prenant en compte le rapport entre les bénéfices pour l'environnement et les coûts. Pour plus de détails, se reporter à la section 2.2.1.2.

3.3.4.2.1 Précipitation

Description

La précipitation est une méthode chimique qui permet de former des particules pouvant être séparées lors d'un procédé complémentaire, par exemple la décantation (section 3.3.4.1.2), l'aéroflottation (section 3.3.4.1.3) ou la filtration (section 3.3.4.1.4), et suivie éventuellement d'une MF ou d'une UF (section 3.3.4.1.5). Il peut être nécessaire d'employer une technique de séparation fine par membrane pour protéger les installations en aval ou pour empêcher le rejet de particules dangereuses. Cette technique peut également s'avérer utile pour éliminer les précipités colloïdaux (sulfures de métaux lourds, par exemple).

Une installation destinée à la précipitation est généralement constituée d'un ou deux réservoirs de mélange agités dans lesquels les agents et autres produits chimiques éventuels sont ajoutés, d'un réservoir de décantation et de réservoirs de stockage pour les agents chimiques. Comme nous l'avons vu précédemment, des équipements pour un traitement supplémentaire peuvent être ajoutés. Le réservoir de décantation peut être remplacé en aval par d'autres systèmes de collecte des boues.

Les agents de précipitation les plus courants sont :

- la chaux (avec le lait de chaux, les dispositifs de préparation sont inclus dans l'unité de traitement), pour les métaux lourds
- la dolomie, pour les métaux lourds
- l'hydroxyde de sodium, pour les métaux lourds
- le carbonate de sodium, pour les métaux lourds
- les sels de calcium autres que la chaux, pour les sulfates et les fluorures
- le sulfure de sodium, pour le mercure
- les polysulfures organiques, pour le mercure

Ces produits sont souvent associés à des flocculants pour faciliter la séparation. Par exemple :

- les sels ferreux et ferriques
- le sulfate d'aluminium
- les polymères
- les polysulfures organiques

Application

La précipitation peut être réalisée à différentes étapes du traitement du flux d'eaux usées, par exemple :

- directement à la source pour éliminer le plus efficacement possible les métaux lourds afin d'éviter une dilution par des flux non contaminés ;
- comme technique de traitement centrale pour l'élimination des phosphates, des sulfates et des fluorures, à condition qu'aucune dilution non appropriée ne se produise ;
- pour éliminer les phosphates après l'étape biologique dans une station d'épuration centrale, dans laquelle les boues sont collectées dans le clarificateur final.

La performance d'une séparation liquide/solide additionnelle dépend de facteurs tels que le pH, la qualité du mélange, la température ou le temps de séjour pour l'étape de précipitation, les conditions réelles devant être déterminées au cas par cas.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Réglage du pH	Gamme de pH optimale pour les métaux lourds, les phosphates, les fluorures : pH 9-12, Si des sulfures sont utilisés, du sulfure d'hydrogène est produit si le milieu est acide
Substances formant des complexes	Peuvent empêcher la précipitation des métaux lourds tels que le cuivre et le nickel

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<p>Avec la chaux comme agent</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prévention de l'augmentation de la teneur en sel dans les eaux usées. • Augmentation de la capacité de tamponnage de la station d'épuration centrale biologique. • Amélioration de la décantation des boues. • Épaississement des boues. • Amélioration de la déshydratation mécanique des boues. • Réduction de la durée de déshydratation. • Coût faible. 	<p>Avec la chaux comme agent</p> <ul style="list-style-type: none"> • Difficultés opérationnelles liées à la manipulation, au stockage et à l'alimentation de la chaux [cww/tm/4]. • Augmentation de la quantité de boues du fait de l'excès d'hydroxyde de calcium • Problèmes de maintenance [cww/tm/4].
<p><u>Pour le sulfure de sodium</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la quantité de boues d'environ 30 % en volume par rapport au traitement avec de la chaux. • Diminution de la quantité de produits chimiques utilisée d'environ 40 % par rapport au traitement avec de la chaux. • Production de taux de métaux dans l'effluent traité plus faibles. • Prétraitement et post-traitement non nécessaires. • Très efficace pour éliminer les métaux en suspension et dissous des flux d'eaux usées. 	<p><u>Pour le sulfure de sodium</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Production de sulfure d'hydrogène lorsque le milieu devient accidentellement acide. • Problèmes d'odeurs dus au sulfure de sodium.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Niveaux d'émission [mg/l]	Agent	Remarques
Mercure			
Cadmium			
Cuivre			
Nickel			
Plomb			
Chrome (III)			
Chrome (VI)			
Zinc			
Étain			
Aluminium			
Fer (III)			
Fer (II)			

Sulfate			
Phosphate			
Fluorure			

Les niveaux d'émission des métaux lourds pouvant être atteints varient fortement en fonction de chaque situation, par exemple :

- élimination d'un seul type de métal lourd de la matrice inorganique des eaux usées
- élimination d'un mélange de métaux lourds de la matrice inorganique des eaux usées
- élimination de métaux lourds de la matrice organique des eaux usées avec risque de formation de complexes métalliques (exemple : agents colorants).

Lors de la rédaction du présent document, les informations nécessaires pour compléter le tableau ci-dessus n'étaient pas disponibles.

Impacts croisés

Les précipitants doivent généralement être évacués sous forme de boues. Ces boues sont le plus souvent des déchets chimiques, du moins en cas de présence de métaux lourds. Ces déchets peuvent contenir des carbonates, des fluorures, des hydroxydes (ou oxydes), des phosphates, des sulfates, et des sulfures de métaux lourds.

L'émission de bruit provient des pompes et des unités d'extraction des boues. Des actions appropriées de contrôle du bruit doivent être mises en œuvre.

Dans l'éventualité d'un rejet de substances volatiles et odorantes, la précipitation doit être réalisée dans des réservoirs fermés ou dans des bassins couverts, et l'air extrait doit être acheminé vers des systèmes d'épuration des gaz.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Agent de précipitation (chaux, dolomie, sels ferreux et ferriques, sulfate ferreux/sulfure de sodium, sulfate d'aluminium, polymères, polysulfures organiques)	Selon la charge en polluant
Énergie [kWh/m ³]	

Surveillance

Pendant le processus de précipitation, la valeur du pH et le dosage des agents, des flocculants et/ou des coagulants doivent être soigneusement réglés.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Débit [m ³ /h]	Remarques
Coûts de capital			
Coûts d'exploitation			

3.3.4.2.2 Cristallisation

Description

La cristallisation est étroitement liée à la précipitation. Contrairement à la précipitation, le précipité n'est pas produit grâce à une réaction chimique dans les eaux usées mais sur des matériaux amorceurs (germes) de cristallisation, tels que le sable ou des minéraux, dans un procédé à lit fluidisé (réacteur à pastilles). Les pastilles croissent et migrent vers le fond du réacteur. Le dosage du réactif et le réglage du pH conditionnent la force d'entraînement du procédé. Aucune boue résiduaire n'est produite. Le principe d'un dispositif de cristallisation est illustré à la figure 3.20 [cww/tm/97].

Diameter 0.5-4m	Diamètre 0,5-4 m
Height +/- 6m	Hauteur +/- 6 m
Effluent	Effluent
Fluidized bed grains (0.2-2mm)	Grains du lit fluidisé (0,2-2 mm)
Injection nozzles	Buses d'injection
Periodic injection of seeding grains (0.2 – 0.6 mm)	Injection périodique de germes (0,2-0,6 mm)
Periodic release of pellets (1-2 mm)	Rejet périodique de pastilles (1-2 mm)
Chemicals	Produits chimiques
influent	Influent

Figure 3.20 : principe d'un procédé de cristallisation

Le dispositif de cristallisation est composé des éléments suivants :

- un réacteur cylindrique avec alimentation de l'influent par le bas et sortie de l'effluent par le haut
- des germes cristallins, c'est-à-dire des pastilles de sable ou de minéraux filtrants, sous forme de lit fluidisé
- un système de circulation avec pompe de recirculation.

La vitesse de l'influent d'eaux usées (40-120 m/h) maintient les pastilles dans un état fluidisé [cww/tm/97]. Les conditions du procédé au fond du réacteur sont déterminées de telle sorte qu'une sursaturation relativement élevée des sels voulus se produit. Le lit fluidisé fournit une surface de cristallisation très grande (5 000-10 000 m²/m³) de sorte que, dans une réaction contrôlée et rapide, la quasi totalité des anions ou des métaux se cristallise sur les pastilles. Régulièrement, une partie des pastilles est évacuée et remplacée par de nouveaux germes. En général, cette action a lieu une fois par jour.

Le système de circulation sert à mélanger l'influent d'eaux usées avec un flux dont la concentration en anions ou en métal est plus faible. Grâce au système de circulation, le réacteur peut fonctionner de manière plus flexible :

- les variations du flux de l'influent et de sa composition sont facilement compensées
- tous les types d'eaux usées dont la concentration en polluant est comprise entre 10 et 100 000 ppm peuvent être traités en ajustant simplement le rapport de circulation (les eaux usées plus concentrées nécessitent un rapport de circulation plus grand)
- la fluidisation des pastilles est également maintenue s'il n'y a pas d'alimentation en eaux usées

Pour satisfaire à des exigences très strictes, il est possible de purifier l'effluent au moyen de techniques de filtration classiques ou en continu, à sable ou à membrane. Cette étape de filtration peut avoir lieu à l'intérieur de la boucle de circulation ou au niveau de l'effluent. L'effluent est utilisé pour le lavage à contre-courant des filtres à sable classiques. Le **primage** éliminé par le filtre est redissous par mélange avec l'alimentation acide ou acidifiée, et renvoyée au réacteur. Un exemple de procédé de cristallisation dans un site de production chimique est illustré à la figure 3.21 [cww/tm/97].

Rubber additives	Additifs pour caoutchouc
Pesticides	Pesticides
Waste water	Eaux usées
Containing	contenant : .
Only zinc	seulement du zinc
Only nickel	seulement du nickel
Only tellurium	seulement du tellure
Crystallisation device	Dispositif de cristallisation
Pellet bunkers	Unités de stockage des pastilles

Figure 3.21 : application polyvalente du procédé de cristallisation dans un site de production chimique

Application

Dans la plupart des cas, la cristallisation est utilisée pour éliminer les métaux lourds des flux d'eaux usées et pour les récupérer pour un usage ultérieur ; les fluorures, les phosphates et les sulfates peuvent également être traités. Voici quelques exemples d'utilisation dans l'industrie chimique [cww/tm/97] :

- récupération du zinc, du nickel et/ou du tellure dans la production d'additifs pour caoutchouc, avec des concentrations d'alimentation comprises entre 50 et 250 ppm
- récupération du nickel et de l'aluminium dans la production d'élastomères, l'unité de cristallisation fonctionnant en amont d'une station d'épuration biologique centrale, avec des concentrations d'alimentation comprises entre 50 et 400 ppm pour le nickel et l'aluminium, respectivement

En théorie, pratiquement tous les métaux lourds, les métalloïdes et les anions peuvent être éliminés par cristallisation de n'importe quel type d'eaux usées. La formation de pastilles de sels est possible lorsque la solubilité du sel produit est faible, et que le métal ou l'anion forme rapidement un réseau cristallin stable. Les métaux sont généralement extraits sous forme de carbonates, d'hydroxy carbonates, d'hydroxydes, de sulfure, de phosphates, de sulfates, de fluorures, etc., alors que les anions sont généralement extraits sous forme de sels de calcium [cww/tm/97].

Limites d'application et restrictions :

	Limites d'application
Débit	0,1-10 000 m ³ /h
Teneur en polluants	10 mg/l - 100 g/l
Capacité d'épuration	Jusqu'à 100 kg de métal ou d'anions par heure et par unité

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Unités compactes et flexibles, d'où un montage modulaire et un choix sur mesure des matières. • Pas de production de boues. • Pastilles exemptes d'eau d'une grande pureté ce qui permet le recyclage ou la réutilisation des métaux dans d'autres secteurs. • Récupération/recyclage de matière brute. • Procédé ne produisant presque pas de 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne s'applique qu'aux constituants ioniques qui forment des sels non solubles ou difficilement solubles. • Limitation des réactifs à des substances non dangereuses. • Pas de réduction de la teneur totale en sels des eaux usées.

déchets.	
----------	--

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

La cristallisation vise avant tout à éliminer ou récupérer les métaux lourds. Les niveaux d'émission pouvant être atteints sont les suivants :

Paramètre	Niveaux d'émission [mg/l]	Agent	Remarques
Zinc	1 ¹	carbonnate de sodium, soude caustique	Alimentation 50-250 mg/l, pH 10
Nickel	1 ¹	carbonnate de sodium, soude caustique	Alimentation 50-250 mg/l ou 1 000 mg/l, pH 10
Tellure	1 ¹	manganèse, sulfate, soude caustique	pH 9, après filtration
Aluminium	20 ¹	sulfate, soude caustique	Alimentation 50-400 mg/l
¹ [cww/tm/97]			

Impacts croisés

Pour obtenir de bonnes performances en matière d'épuration, les réactifs nécessaires à la formation des précipités sont en général ajoutés en surdosage. Il résulte donc de l'extraction d'une substance l'ajout d'une autre, absente du flux d'eaux usées d'origine.

En principe, il n'y a pas de production de déchets ou de boues puisque les sels précipités sont fixés aux pastilles. Ils sont pratiquement dépourvus de toute impureté et leur degré d'humidité n'est que de 5 à 10 % après séchage atmosphérique [cww/tm/97]. Les pastilles peuvent alors être utilisées pour récupérer les polluants qu'elles contiennent.

L'émission de bruit provient des pompes qui peuvent être confinées afin de réduire le bruit.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Agents de cristallisation	
Énergie [kWh/m ³]	

Surveillance

Les paramètres importants à contrôler sont :

- le flux d'eau, afin que le lit fluidisé fonctionne continuellement
- la concentration/charge de métal ou d'anion considéré dans l'influent
- le dosage du réactif, afin de maintenir les conditions optimales nécessaires à la cristallisation
- le pH, pour la même raison
- la concentration de métal ou d'anion dans l'effluent

Aspects économiques

La situation économique est la suivante [cww/tm/97] :

Type de coûts	Coûts ^a [USD/kg]	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation :		
Amortissement	3-25	Selon la capacité
Produits chimiques	0,50-2,50	Selon la concentration
Énergie	0,25	
Personnel		1 heure par jour
Maintenance		3-5 % de l'investissement
Avantages :		
Recyclage	0-14,50	Selon l'anion ou le métal
Réduction des déchets chimiques	28	Selon la concentration dans les boues
Réduction des coûts d'exploitation pour la précipitation	0,50-3	Dans le cas d'un prétraitement
Économies sur l'investissement pour une installation de précipitation	3-12	Dans le cas d'un traitement final
Réduction des taxes sur le rejet	30-40	Dans le cas d'un traitement final
^a par kg d'anion ou de métal récupéré		

3.3.4.2.3 Oxydation chimique

Description

L'oxydation chimique se définit comme la conversion de polluants par des agents d'oxydation chimiques autres que l'oxygène de l'air ou les bactéries en des composés similaires mais moins dangereux et/ou en des composants organiques à chaîne courte et facilement biodégradables. Les agents d'oxydation chimiques sont notamment :

- le chlore
- l'hypochlorite de sodium ou de calcium
- le dioxyde de chlore
- l'ozone (avec ou sans irradiation UV)
- le peroxyde d'hydrogène avec irradiation UV
- le peroxyde d'hydrogène avec sels ferreux (réactif de Fenton)

Les méthodes courantes d'oxydation chimique sont les suivantes :

- oxydation à l'ozone
- oxydation au peroxyde d'hydrogène
- oxydation par irradiation UV et ozone
- oxydation par irradiation UV et peroxyde d'hydrogène
- oxydation par irradiation UV, ozone et peroxyde d'hydrogène
- oxydation au chlore ou à l'hypochlorite

La conception d'un réacteur d'oxydation dépend de son utilisation :

- Les procédés d'oxydation sont généralement réalisés à des pressions pouvant aller jusqu'à 0,5 MPa [cww/tm/82]. Selon l'utilisation ou non de l'irradiation UV comme accélérateur du processus, le réacteur doit inclure la source de radiation, par exemple une lampe à mercure faible pression. Dans ce cas, le réacteur est généralement constitué de tubes de quartz, transparents aux rayons UV, qui enferment les eaux usées, et de lampes UV à l'extérieur, ou de tubes à quartz entourés par les eaux usées et à l'intérieur desquels se trouvent des lampes UV.
- Si le procédé fonctionne avec de l'ozone, un ozoneur est inclus dans l'équipement. En effet, l'ozone étant un composant instable, il ne peut pas être transporté et doit être produit sur place. Après traitement, l'excès d'ozone doit être éliminé. Les exigences en matière de sécurité relative à la manipulation de l'ozone sont strictes.
- Si le peroxyde d'hydrogène est utilisé comme agent d'oxydation, un adsorbant au charbon actif en grain (CAG) (voir section 3.3.4.2.9) est nécessaire pour éliminer l'excès d'agent.
- L'utilisation de chlore nécessite des équipements particuliers tels que des cuves en titane. Des installations supplémentaires sont nécessaires pour l'élimination de l'excès de chlore ou d'hypochlorite par du sulfite, par exemple.

Des installations de stockage doivent être prévues pour les agents d'oxydation, en tenant compte de la dangerosité de ces substances.

Application

L'oxydation chimique est généralement employée lorsque les eaux usées contiennent des polluants qui ne sont pas encore biodégradables, voire pas du tout biodégradables (composants inorganiques, par exemple), qui risquent de perturber le procédé biologique ou physico-chimique d'une station d'épuration centrale, ou qui sont trop dangereux pour être rejetés dans un réseau d'assainissement. Voici quelques exemples de ces polluants :

- l'huile et les graisses
- les phénols
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- les halogénures organiques
- les colorants (avec réactif de Fenton)
- les pesticides
- les cyanures
- les sulfures
- les sulfites
- les complexes de métaux lourds

Certains de ces polluants sont partiellement biodégradables et peuvent éventuellement être traités au moyen de micro-organismes particuliers. Dans ce cas, le choix entre l'oxydation chimique et l'oxydation biologique est fonction des conditions locales. Lorsque la quantité d'eaux usées est faible ou lorsqu'il n'y a pas de traitement biologique disponible sur le site, il est préférable d'utiliser l'oxydation chimique plutôt que d'installer une station d'épuration centrale biologique.

Les réactions d'oxydation à l'oxygène actif (ozone, peroxyde d'hydrogène), souvent associées à une irradiation UV, sont notamment employées pour traiter les lixiviats des décharges ou pour extraire la DCO réfractaire, les composants odorants ou les pigments colorés.

L'oxydation par le chlore ou le chlorure de sodium peut être utilisée dans certaines circonstances pour éliminer les polluants organiques, y compris les halogénures organiques. Le procédé SOLOX[®] pour éliminer (à pression et température élevées) la DCO, le COT et les AOX des eaux usées provenant de la production d'épichlorhydrine en est un exemple. Toutefois, l'utilisation de chlore, d'hypochlorite et de chlorure (ou leurs composés halogénés respectifs) doit être soigneusement étudiée pour chaque cas, à cause du risque de production d'halogénures organiques à partir du contenu organique du flux d'eaux usées.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Irradiation UV	<p>Faible transmission des UV si la turbidité est élevée</p> <p>La teneur en ammoniacale doit être faible, car elle fait concurrence aux composés organiques consommant des radicaux [cww/tm/27]</p> <p>Diminution de l'efficacité si présence de substances présentant un risque de dépôt</p> <p>Risque de diminution de l'efficacité du procédé en cas d'oxydation incomplète ou de formation de polluants intermédiaires</p>

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Traitement possible des eaux usées dont la concentration en DCO réfractaire est comprise entre quelques g/l et moins d'1 µg/l [cww/tm/77]. Traitement possible des substances inorganiques. Gestion possible des grandes variations. Temps de séjour court d'où un volume de réservoir faible (l'oxydation par H₂O₂ à pression atmosphérique et à température ambiante dure de 60 à 90 minutes [cww/tm/132]) Le procédé peut être associé à n'importe quel autre afin d'atteindre des résultats optimaux (adsorption au CAG, stripping, traitement par boues activées). 	<ul style="list-style-type: none"> Forte consommation d'énergie : production d'ozone, production d'UV, pression et chaleur pour l'oxydation par le chlore. La qualité de l'alimentation doit être excellente. Production éventuelle d'halogénures organiques lorsque des composés halogénés sont utilisés comme agents d'oxydation.

Niveaux d'émission /taux de performance pouvant être atteints

L'élimination de la DCO de diverses substances organiques en fonction de l'utilisation de peroxyde d'hydrogène employé comme agent d'oxydation est illustrée dans le tableau 3.4.

Substance	Dosage H ₂ O ₂ /DCO [%] ^a	Élimination de la DCO [%] ^b	Utilisation de H ₂ O ₂ [%]
Morpholine	100	20	20
2-aminoéthanol	100	37	37

Diéthylène glycol	100	45	45
Polyéthylèneglycol	100	35	35
Hexaméthylène tétramine	100	32	32
2,4-Difluoro-5-chloro-6-méthyl-pyrimidine	100	30	30
Phényl-trifluoro-éthyl-urée	80	75	94
Trifluoro-éthyl-dithio-carbamate d'ammonium	80	79	99
^a en pourcentage de quantité stœchiométrique			
^b en pourcentage de la valeur initiale			

Tableau 3.4 : élimination de la DCO de diverses substances en fonction de l'utilisation d'H₂O₂ [cww/tm/132]

Autres taux de performance pouvant être atteints :

Paramètre	Taux de performance [%]	Agent d'oxydation	Remarques
COT	>90 ¹	chlore/hypochlorite	Alimentation environ 1 g/l de COT
AOX	80 ¹	chlore/hypochlorite	Alimentation environ 40 mg/l d'AOX
Huile			
Phénols			
HAP			
Cyanure			
Sulfure			
Sulfite			
¹ [cww/tm/82], procédé SOLOX			

Dans le traitement des eaux usées contenant des substances organiques réfractaires, la tâche principale consiste à casser ces composants en composés moins dangereux ou plus facilement biodégradables. Compte tenu de cet élément, la preuve de l'efficacité du procédé la plus intéressante n'est pas seulement la capacité d'épuration du procédé d'oxydation, mais plutôt la réduction globale des polluants obtenue grâce à l'association de cette technique et des traitements en amont et en aval de celle-ci.

Impacts croisés

Alors que l'oxydation par l'ozone et/ou le peroxyde d'hydrogène ne pose généralement pas de problèmes de transfert de polluants de l'eau vers l'air et/ou les déchets, l'utilisation de chlore ou d'hypochlorite doit être validée objectivement pour chaque application. Comme nous l'avons déjà mentionné, le chlore et l'hypochlorite peuvent, contrairement à ce qui a été vu dans l'exemple de procédé SOLOX, produire des composés organiques chlorés faiblement dégradables et/ou toxiques. Ce phénomène peut également être observé lorsque des eaux usées chargées en composés organiques sont mélangées à d'autres flux contenant un excès d'hypochlorite provenant des étapes d'oxydation précédentes. Les eaux usées traitées par oxydation au chlore doivent être débarrassées du surplus de chlore ou d'hypochlorite avant d'être rejetées dans le système d'assainissement général.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Agent d'oxydation	
Agent pour détruire l'excès d'oxydant	
Énergie [kWh/m ³]	
Pour la production d'ozone [kWh/kg O ₃]	9-12 (1-3 wt-% d'ozone à partir d'oxygène ; la valeur double avec de l'air sec)

Surveillance

Au cours de l'oxydation, un contrôle minutieux des paramètres de fonctionnement est fondamental, notamment pour :

- le pH
- le potentiel rédox
- la concentration en ozone (l'ozone à des concentrations de 15-20 % dans l'air est très instable et a tendance à se décomposer [cww/tm/27])
- la concentration en oxygène (pour des raisons de sécurité)
- la présence d'un excès d'oxydant dans l'effluent
- la présence d'AOX dans l'effluent, si des agents à base de chlore sont utilisés

Aspects économiques

L'oxydation chimique n'est pas un procédé économique si les concentrations en polluant sont élevées, car dans ce cas de grandes quantités d'agents sont nécessaires. Les procédés d'oxydation avancés tels que :

- l'oxydation par irradiation UV et peroxyde d'hydrogène
- l'oxydation par irradiation UV et ozone
- l'oxydation par irradiation UV, ozone et peroxyde d'hydrogène

entraînent des coûts de capital et des coûts d'exploitation élevés, et nécessitent un prétraitement des eaux usées plus complet que les procédés sans irradiation.

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.3.4.2.4 Oxydation à l'air humide

Description

L'oxydation à l'air humide se définit comme la réaction avec de l'oxygène, en phase aqueuse, à pression et température élevées. La réaction est souvent réalisée en présence de catalyseurs. Les produits de réaction sont, selon la teneur en polluants des eaux usées :

- le monoxyde de carbone, à partir de polluants organiques
- le dioxyde de carbone, à partir de polluants organiques
- l'eau, à partir de polluants organiques
- l'azote, à partir d'hydrazine, ou d'ammoniaque/d'ammonium et de composés organiques azotés quand un catalyseur est utilisé
- le nitrate, à partir de nitrites et de composés organiques azotés
-

- l'ion ammonium, en l'absence de catalyseur
- le chlorure d'hydrogène, à partir de chlorures organiques
- le sulfate, à partir de sulfures, de sulfites et de thiocyanates
- le phosphate, à partir de composés phosphorés

Pour une meilleure évaluation de la gamme d'applications potentielles de l'oxydation à l'air humide, il a été démontré l'avantage de développer deux variantes du procédé avec des conditions de réaction différentes :

- l'oxydation humide à basse pression
- l'oxydation humide à haute pression

Les différences en matière de température et de pression sont également associées à des différences majeures entre les facteurs de conception des procédés, les considérations matérielles et les exigences en matière de sécurité [cww/tm/132].

Les propriétés spécifiques de ces deux variantes sont :

	Basse pression	Haute pression
Gamme de température [°C]	30-200	150-340
Gamme de pression [MPa]	0,5-2	>2
Temps de séjour [h]	0,5-3	0,5-3

Le procédé d'oxydation à l'air humide à basse pression comporte les éléments suivants [cww/tm/51] :

- la cuve du réacteur conçue en fonction de la température et de la pression appliquée, par exemple :
 - une colonne à bulles verticale mélangée sans mélange mécanique
 - un réacteur horizontal avec compartiments agités en série
 - un réacteur à puits profond (voir figure 3.44)
 - un réacteur à lit à garnissage avec catalyseur
- la pompe à haute pression pour le transport des boues ou des eaux usées
- le compresseur pour l'alimentation en air ou en oxygène
- le séparateur gaz/liquide
- les détendeurs de pression
- l'échangeur de chaleur avec unités de préchauffage pour l'alimentation en eaux usées

Les exigences relatives aux matériaux des parties chaudes de l'installation sont très strictes. Pour des températures inférieures à 160 °C, le matériel doit être émaillé ou recouvert de PTFE, et les pièces métalliques dont la température de fonctionnement atteint 200 °C doivent être fabriquées en titane ou l'un de ses alliages au palladium. Les exigences relatives à la version haute pression sont : alliages spéciaux de titane pour les parties chaudes et acier inoxydable résistant au chlore pour les parties froides [cww/tm/132].

Un exemple de procédé d'oxydation à l'air humide à basse pression est illustré à la figure 3.22.

Raw waste water	Eaux usées brutes
Auxiliaries (catalysts, acid)	Produits auxiliaires (catalyseurs, acides)
Off-gas	Effluents gazeux
Steam	Vapeur
Treated water to biological clarification	Eaux traitées pour clarification biologique

Figure 3.22 : diagramme des flux d'une installation Loprox fonctionnant à 120-200 °C et à 0,3-2,0 MPa, avec un temps de séjour <3 h [cww/tm/132]

Application

L'oxydation à l'air humide est utilisée pour les eaux usées contenant des polluants qui ne sont pas facilement biodégradables, qui risquent de perturber le procédé biologique d'une station d'épuration biologique située en aval, ou trop dangereux pour être rejetés dans un réseau d'assainissement usuel. Elle est également utilisée pour le traitement des boues (voir section 3.4). Les substances les mieux adaptées pour cette technique sont notamment :

- le nitrite converti en nitrate par un procédé en une étape à 30-50 °C
- le sulfite provenant de la fabrication de colorants qui est converti en sulfate dans un procédé à deux étapes à catalyse homogène, à une température de 120-140 °C et une pression de 0,6 MPa [cww/tm/132]
- les dérivés du phénol et du naphène convertis à 120-150 °C
- les produits aromatiques chlorés convertis par un procédé catalysé à une température de 120-190 °C,

dans le cas où la variante à haute pression est utilisée,

et :

- les composés organiques nitrés convertis en azote
- les composés organiques aminés ou aromatiques contenant des hétéroatomes d'azote convertis en ammoniac
- les composés organiques soufrés convertis en sulfate
- les composés organiques phosphorés convertis en phosphate
- les composés organiques chlorés convertis en acide chlorhydrique,

dans le cas où la variante à basse pression est utilisée.

Voici quelques exemples de procédés de production où l'oxydation à l'air humide est employée [cww/tm/160] :

- la production de colorants et de produits intermédiaires
- l'oxydation de sulfonates aromatiques
- la production de dérivés du phénol ou du naphthol
- la production d'hydrocarbures aromatiques

Par ailleurs, l'oxydation à l'air humide peut remplacer une station d'épuration biologique centrale lorsque la quantité d'eaux usées est trop faible pour justifier une telle installation ou en l'absence de traitement biologique sur le site.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Concentration en polluant	<p>Aucun avantage pour les faibles DCO; conseillé pour les DCO comprises entre 5 000 et 50 000 mg/l [cww/tm/160], pour les concentrations comprises entre 6 000 et 8 000 mg/l l'oxydation est adiabatique [cww/tm/132]</p> <p>Les concentrations supérieures à 100 000 mg/l nécessitent d'être diluées [cww/tm/27]</p> <p>Pour la variante à haute pression, les DCO supérieures à 50 000 mg/l doivent être égales à la demande totale en énergie du procédé [cww/tm/132]</p> <p>Concentrations en fluorure inférieures à 10 mg/l (variante basse pression) [cww/tm/160], les concentrations supérieures doivent être prétraitées, par</p>

	<p>précipitation avec sel de calcium suivie d'une filtration, par exemple ; concentrations en fluorure inférieures à 5 mg/l pour la variante à haute pression [cww/tm/160]</p> <p>Des concentrations en fluorure en accord avec le produit de solubilité du fluorure de calcium suffisent à démarrer un phénomène de corrosion lorsque le pH est inférieur à 5 (variante à haute pression) [cww/tm/132]</p> <p>Les charges en sels doivent être aussi faibles que possible, au moins pour la variante à haute pression, à cause du risque de corrosion [cww/tm/82], par exemple [cww/tm/160] :</p> <p>sel <150 g/l chlorure <50 g/l phosphate <400 mg/l NH₄-N <2,5 mg/l Ca, Fe, Al, Cu <100 mg/l</p>
Variations des eaux usées	Les eaux usées doivent être collectées et égalisées en amont des unités d'oxydation

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<p>Les eaux usées avec une concentration en DCO réfractaire relativement élevée peuvent être traitées.</p> <p>Les composés inorganiques peuvent être éliminés ou transférés dans des substances moins dangereuses.</p> <p>Association possible à d'autres techniques de traitement.</p>	Production possible de dioxines [cww/tm/82].

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Lorsque l'objectif principal est l'élimination des contenus organiques réfractaires et/ou des inhibiteurs pour un traitement biologique en aval, cela se fait usuellement en deux phases :

- cassage des composants réfractaires en composés à chaîne courte ou facilement dégradables
- envoi de cet effluent vers une station d'épuration biologique centrale en aval

C'est pourquoi il ne suffit pas d'évaluer l'efficacité du procédé d'oxydation pour juger de la performance de la technique, il faut également prendre en compte l'efficacité du procédé biologique en aval.

Pour la variante à basse pression, les données rapportées sont les suivants :

Paramètre	Performance	Remarques
DCO	60-90 % ¹	Exemple : réduction de 85 % par oxydation à l'air humide (190 °C, 2 MPa), puis réduction de 90 % après à une étape de clarification biologique, soit au total une réduction de 98 % de la DCO ³
	50 % ²	90 % après traitement biologique
AOX	60 à 90 ^{1,3}	Température de la réaction : 190 °C
DBO/DCO	Augmentation de 0,1 à 0,5 ³	Température de la réaction : 190 °C

Sulfure de sodium	<1 mg/l ⁴	Concentration initiale de 30 g/l, 160 °C, 0,9 MPa
¹ [cww/tm/82] ² [cww/tm/160] ³ [cww/tm/132] ⁴ [cww/tm/149]		

Pour la variante à haute pression, les données rapportées sont les suivants :

Paramètre	Taux de performance [%]	Remarques
DCO	99 ¹	Concentration initiale de 30 g/l, 250 °C, 7 MPa
COT	95 ²	280 °C, 12 MPa
AOX	80 ²	280 °C, 12 MPa
Amines aromatiques	76-83 ³	COT initial 14,6 g/l, pH 1,1-10, 280-300 °C
Hétérocycles azotés	77-92 ³	COT initial 1,1-14,3 g/l, pH 1,1-10, 280-300 °C
Composés azotés	97-99 ³	COT initial 13,1 g/l, pH 1,5-10, 280-300 °C
Acides nitrosulfoniques	76-84 ³	COT initial 14,0 g/l, pH 1,5-10, 280-300 °C
Hétérocycles oxygénés	80-87 ³	COT initial 52 g/l, pH 11,5, 280-300 °C
Acides sulfoniques contenant du chlore	90-93 ³	COT initial 3,5 g/l, pH 1,6, 280-300 °C
Acides aminosulfoniques	80-88 ³	COT initial 20-24 g/l, pH 1,4-2,2, 280-300 °C
Acides aminopolysulfoniques	64-65 ³	COT initial 47,6 g/l, pH 0,5, 280-300 °C
Composés nitrés	93-94 ³	COT initial 6 g/l, pH 9,3, 280-300 °C
Composés oxygénés	75-81 ³	COT initial 9,2 g/l, pH 2,2, 280-300 °C
Mélange d'eaux usées	77-81 ³	COT initial 11,4 g/l, pH 1,9, 280-300 °C
¹ [cww/tm/149] ² [cww/tm/160] ³ [cww/tm/132]		

Pour illustrer l'application de l'oxydation à l'air humide à haute pression sur des concentrations en COT faibles, le niveau d'épuration des pesticides est indiqué ci-dessous [cww/tm/27] :

Polluant	Concentration dans l'influent [g/l]	Concentration dans l'effluent [g/l]	Remarques
Aldrine	500	<50	
DDT	21 000	<300	
Endosulfane	18 400	291	
Endrine	3 600	<100	

2,4-dichlorophénol	180	<3,1	
--------------------	-----	------	--

Impacts croisés

Dans certaines conditions défavorables, la production ou la régénération de dioxines peut se produire, ce qui nécessite un traitement supplémentaire des résidus. Les effluents de ce procédé, aqueux et gazeux (monoxyde de carbone, hydrocarbures à chaînes plus courtes), doivent subir un traitement en aval, par exemple traitement biologique, adsorption ou stripping pour les eaux usées, et lavage, biofiltration, ou oxydation catalytique ou thermique pour les effluents gazeux.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Air, oxygène	
Énergie [kWh/m ³]	

La consommation d'énergie dépend de la charge en COT. Lorsque la teneur en COT dépasse la plage de concentrations pour lesquelles la réaction est autothermique, la chaleur produite peut être utilisée au moyen d'échangeurs de chaleur.

Surveillance

Durant tout le procédé, un contrôle minutieux des paramètres de fonctionnement tels que la pression, la température et la teneur en oxygène est fondamental pour garantir un fonctionnement optimal.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation	5 DEM/m ³ ¹	à 100 °C
	20-40 DEM/m ³ ¹	à 200 °C
	1,5 EUR /kg de COT ²	
¹ [cww/tm/132] ² [cww/tm/160]		

3.3.4.2.5 Oxydation dans l'eau supercritique (SCWO)

Description

La technique SCWO est une application particulière de la variante d'oxydation à l'air humide à haute pression (voir chapitre 3.3.4.2.4). La réaction d'oxydation se produit dans les conditions pour lesquelles l'eau est supercritique, c'est-à-dire à des températures supérieures à 374 °C et des pressions supérieures à 22,1 MPa. Le procédé est illustré à la figure 3.23.

Les eaux usées sont portées à la pression supercritique par une pompe haute pression avant d'entrer dans l'économiseur, où l'alimentation est préchauffée par l'effluent du réacteur. Au démarrage, ou si la concentration organique dans les eaux usées est inférieure à 4 %, l'alimentation doit être chauffée jusqu'à atteindre la gamme de températures supercritiques. Lorsque de l'oxygène est ajouté à l'alimentation, la température du réacteur monte jusqu'à environ 600 °C.

Steam 1 MPa	Vapeur à 1 MPa
Waste water	Eaux usées
High-pressure pump	Pompe haute pression
27.5 MPa	27,5 MPa
Steam boiler	Chaudière à vapeur
Cooler	Refroidisseur
Pressure release	Détente de pression
CO ₂ , O ₂ , N ₂	CO ₂ , O ₂ , N ₂
Gas/liquid separator	Séparateur gaz/liquide
Pure Water	Eau pure
Gas-fired heater	Réchauffeur au gaz
Gas	Gaz
Oxygen	Oxygène
Oxygen vaporiser	Vaporiseur d'oxygène
Reactor	Réacteur
400 °C	400 °C
600 °C	600 °C
Feed Water	Alimentation en eau
Feed water pump	Pompe d'alimentation en eau
Economiser	Économiseur
Tank	Réservoir
Oxygen pump	Pompe d'oxygène

Figure 3.23 : diagramme des flux simplifié du procédé SCWO

L'effluent du réacteur circule dans l'économiseur, puis dans un générateur de vapeur à récupération de chaleur et ensuite dans un refroidisseur. Enfin, une soupape de régulation permet de diminuer la pression de l'effluent jusqu'à la pression atmosphérique, et les phases liquide et gazeuse sont séparées.

Le contenu organique des eaux usées est réduit en dioxyde de carbone, eau et en azote.

Les caractéristiques de la technique SCWO sont les suivantes :

- solubilité complète des composés organiques dans l'eau supercritique
- précipitation complète des solides inorganiques tels que les sels
- temps de réaction jusqu'à destruction complète compris entre 30 et 60 secondes. Ce temps dépend fortement de la température de réaction.
- réaction à une pression d'environ 25 MPa et une température de 400-600 °C
- conversion complète du contenu organique, c'est-à-dire :
 - le carbone organique est converti en dioxyde de carbone
 - l'azote organique et inorganique est converti en azote gazeux
 - les halogènes organiques et inorganiques sont convertis en acides correspondants
 - le soufre organique et inorganique est converti en acide sulfurique
- destruction des solides volatils
- oxydation des métaux lourds jusqu'à leur état d'oxydation le plus élevé
- séparation de toutes les substances inertes en cendres fines et non lixiviables

Application

La technique SCWO est employée avec les polluants à faible biodégradabilité et/ou toxicité élevée dans l'industrie chimique, pétrochimique et pharmaceutique. Cette technique permet également de

détruire les dioxines et les PCB, et la relativement faible gamme de températures de 400 à 600°C rend peu probable la production de NO_x (c'est-à-dire des oxydes d'azote, à l'exception du N₂O).

Un autre champ d'application de la technique SCWO est le traitement des boues industrielles et municipales dans le but de détruire les composés organiques toxiques, y compris les dioxines.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Tout le contenu organique, quelles que soient ses propriétés, est détruit. • Très forte capacité de destruction pour des températures relativement faibles, d'où l'absence d'émissions de NO_x. • Pas de production de dioxines. • Temps de réaction nécessaire très court, d'où un temps de séjour court et donc un volume de réacteur faible. • Peut être combiné à d'autres traitements en aval. 	<ul style="list-style-type: none"> • Éventuellement, traces d'oxyde nitreux (N₂O) et d'acide acétique. • Précipitation des solides inorganiques risquant de provoquer une corrosion.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Remarques
Composés organiques	>99	
1,2,4-trichlorobenzène	99,99 ¹	495 °C, 3,6 min
4,4-dichlorobiphényle	>99,99 ¹	500 °C, 4,4 min
DDT	>99,99 ¹	505 °C, 3,7 min
PCB 1234	99,99 ¹	510 °C, 3,7 min
PCB 1254	99,99 ¹	510 °C, 3,7 min
Dioxine	>99,99 ¹	574 °C, 3,7 min
¹ [cww/tm/27]		

Impacts croisés

Selon l'influent d'eaux usées, l'effluent gazeux peut contenir des traces d'oxyde nitreux et d'acide acétique produits par le procédé, mais également des halogénures d'hydrogène produits par la dégradation des halogénures organiques, qui doivent être traités dans des installations de traitement des effluents gazeux en aval. Les solides inorganiques doivent être évacués s'ils ne peuvent pas être recyclés ou réutilisés.

L'installation est une source de bruit, du fait de la production de pression. Pour réduire le bruit, il est nécessaire de confiner l'équipement.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Air, oxygène	
Énergie [kWh/m ³]	

Surveillance

Durant tout le procédé, un contrôle minutieux des paramètres de fonctionnement tels que la pression, la température et la teneur en oxygène permet de détecter toute défaillance.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.3.4.2.6 Réduction chimique**Description**

La réduction chimique se définit comme la conversion de polluants par des agents de réduction chimique en composés similaires mais moins dangereux. Les agents de réduction chimique communs sont notamment :

- le dioxyde de soufre
- le sulfite/métabisulfite d'hydrogène de sodium
- le sulfate ferreux
- le sulfure de sodium et le sulfure d'hydrogène de sodium
- l'urée ou l'acide amidosulfonique (à pH faible)

Ils sont mis en contact avec les polluants contenus dans les effluents dans des conditions adéquates de pH et de concentration. La réduction chimique permet d'obtenir des produits généralement plus faciles à traiter pour les installations en aval, par exemple de précipitation chimique.

La conception du réacteur dépend de son utilisation. L'installation de base est un réacteur agité en continu (R), réalisé sur mesure en fonction des exigences particulières du procédé, par exemple en matériaux spéciaux résistants à la corrosion et à la pression, ou fermé et équipé de conduites d'évacuation des gaz émis. Des installations supplémentaires doivent être installées afin d'éliminer l'excès d'agent réducteur, par exemple l'hypochlorite ou le peroxyde d'hydrogène nécessaire à l'oxydation du sulfite en sulfate. Des modifications de la conception et des réglages des paramètres de fonctionnement, par exemple en contrôlant le pH et le potentiel redox (Eh), peuvent diminuer ce problème. Les installations de réduction chimique ne sont pas forcément spécialement sophistiquées et coûteuses. Lorsque l'utilisation d'un procédé continu ou automatique est adaptée, le coût de capital est plus élevé, mais il est en général compensé par des coûts d'exploitation plus faibles. Le procédé est réalisé dans des unités entièrement automatiques fonctionnant par contrôle d'un paramètre particulier, le potentiel redox le plus souvent.

Des installations de stockage doivent être prévues pour les agents réducteurs, en tenant compte de la dangerosité de ces substances.

Application

La réduction chimique est employée pour des eaux usées contenant des polluants qui ne peuvent pas être éliminés facilement ou trop dangereux pour être rejetés dans un réseau d'assainissement commun. Les polluants visés par cette technique sont les composés inorganiques ; elle est en effet moins efficace avec les composés organiques.

Quelques exemples de polluants traités :

- le chrome (VI), réduit en chrome (III)
- le chlore ou l'hypochlorite, réduits en chlorure
- le peroxyde d'hydrogène, réduit en eau et oxygène
- les nitrites, en utilisant de l'urée ou de l'acide amidosulfonique à pH faible

La technique de traitement couramment utilisée en aval d'une réduction chimique est la précipitation chimique.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Substances	Le nombre de substances inorganiques pouvant être traitées est limité
pH, Eh	Les performances sont fortement dépendantes du pH et du Eh, c'est pourquoi un contrôle strict de ces paramètres est fondamental
Conditions de réaction	L'agitation doit être excellente

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Traitement possible des eaux usées pour une large gamme de concentrations (de quelques g/l à moins d' 1 mg/l). 	<ul style="list-style-type: none"> • La formation de gaz est courante ; avec des sulfures, possibilité de production de sulfure d'hydrogène.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Les capacités d'épuration annoncées sont très élevées.

Paramètre	Taux de performance [%]	Agent réducteur	Remarques
Chrome (VI)			
Chlore			
Hypochlorite			
Peroxyde d'hydrogène			

Impacts croisés

Pas de problèmes environnementaux particuliers. Les gaz émis sont captés et acheminés vers des installations de traitement des effluents gazeux en aval.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Agent réducteur	
Agent chimique pour détruire l'excès d'agents réducteurs	
Énergie [kWh/m ³]	

La consommation en agents réducteurs est fonction de la charge de polluants. La consommation de produits chimiques destinés à détruire l'excès de réactifs est fonction de la qualité du procédé.

Surveillance

La réaction est contrôlée par des boucles de régulation indépendantes :

- ajout d'acide ou d'agent caustique par contrôle du pH
- ajout d'agents de réduction par contrôle du potentiel rédox

L'excès d'agents réducteurs dans l'effluent doit être contrôlé.

Aspects économiques

Lorsque la concentration en polluant est élevée, la quantité d'agents réducteurs nécessaire est importante. Dans ce cas, il peut y avoir d'autres techniques de traitement économiquement plus intéressantes.

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.3.4.2.7 Hydrolyse chimique

Description

L'hydrolyse est une technique destructive. Il s'agit d'une réaction chimique au cours de laquelle les composés organiques et inorganiques réagissent avec l'eau et sont cassés en des composés plus petits. Dans certains cas, la réaction se poursuit et d'autres produits, généralement à chaîne courte et facilement biodégradables, se forment. Un traitement en aval de l'hydrolyse chimique est très souvent nécessaire, par exemple dans une station d'épuration biologique centrale.

La conception du réacteur d'hydrolyse dépend de son utilisation. En règle générale, l'hydrolyse se fait à pression atmosphérique et température ambiante. Lorsqu'une température élevée est requise, le réacteur doit être équipé d'un échangeur de chaleur et d'unités de préchauffage pour l'alimentation en eaux usées. Dans certains cas, des autoclaves peuvent être nécessaires afin d'atteindre des températures bien au-dessus de 100 °C et des pressions jusqu'à 0,5-1 MPa. Le procédé est discontinu et requiert donc du personnel pour charger et vider la cuve. Si la dégradation chimique des polluants produits des composés à point d'ébullition bas, il est nécessaire d'ajouter des installations de production de vide pour extraire les liquides et les vapeurs polluées, et ainsi permettre la mise en œuvre de plusieurs cycles de pression et de température sans avoir besoin d'ouvrir la cuve.

Puisque l'excès d'acide ou de base doit être neutralisé après le traitement, des installations supplémentaires doivent être mises en place. Les exigences en matière de sécurité relatives à la manipulation des bases et des acides forts sont très strictes. Leur utilisation requiert des équipements résistants à la corrosion.

Des installations de stockage doivent être prévues pour les acides et les bases, en tenant compte de la dangerosité de ces substances.

Application

L'hydrolyse chimique est employée avec des eaux usées contenant des polluants qui ne sont pas facilement biodégradables, ou qui risquent de perturber le procédé biologique d'une station d'épuration en aval, ou trop dangereux pour être rejetés dans un réseau d'assainissement commun.

Quelques exemples de ce type de polluants :

- les halogénures organiques
- les pesticides

- les cyanures organiques
- les sulfures organiques
- les phosphates organiques
- les carbamates
- les esters
- les amides

Les techniques couramment associées à l'hydrolyse chimique sont les suivantes :

- la neutralisation chimique
- l'oxydation chimique
- la précipitation

La réaction dépend fortement de la structure chimique, du pH et de la température :

- l'augmentation de la température entraîne l'augmentation du taux d'hydrolyse
- un pH élevé ou faible peut augmenter la vitesse de réaction, selon le réactif. Par exemple, l'hydrolyse des esters d'acide phosphorique et des chlorures organiques est meilleure dans des conditions alcalines
- l'utilisation de catalyseurs peut augmenter la vitesse de réaction

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
pH	Acide ou basique
Température	15-80 °C, jusqu'à 120 °C sous pression
Gamme de concentrations	1 mg/l-100 g/l
Propriétés des substances	Ne convient pas pour les substances dont les conditions de réaction sont extrêmes
Solubilité dans l'eau	Une solubilité faible en milieu aqueux limite l'applicabilité

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Traitement possible des eaux usées pour une grande étendue de concentrations en DCO réfractaire • Le procédé peut être combiné à de nombreuses techniques de traitement en aval, par exemple l'adsorption sur CAG, le stripping à l'air ou à la vapeur, le traitement par boues activées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le flux hydrolysé doit souvent être neutralisé chimiquement ce qui entraîne une charge en sel supplémentaire dans les eaux réceptrices et/ou une quantité supplémentaire de boues à évacuer. • Possibilité d'émission de gaz et de vapeurs. • Il est souvent nécessaire d'appliquer une forte pression et de chauffer, d'où une consommation d'énergie très importante

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

La capacité d'épuration dépend fortement de la structure chimique des composés, du pH et de la température. Il est possible de quantifier les niveaux de dégradation, mais des études pilotes doivent être menées pour déterminer les conditions de traitement individuelles.

Paramètre	Taux de performance [%]	Conditions de réaction	Remarques
-----------	-------------------------	------------------------	-----------

DCO			
AOX			

Puisque le but principal est l'élimination des composés organiques réfractaires et/ou des inhibiteurs pour un traitement biologique en aval, il ne suffit pas d'évaluer l'efficacité du procédé d'hydrolyse pour juger de la performance de la technique, il faut également prendre en compte l'efficacité du procédé biologique en aval.

Impacts croisés

L'hydrolyse chimique avec des alcalis forts (NaOH et $\text{Ca}(\text{OH})_2$) ou des acides forts (H_2SO_4) n'entraîne en principe pas de transfert d'impacts d'un milieu à un autre, par exemple de l'eau vers l'air et/ou vers des déchets, et qu'il faudrait éliminer.

Les éventuelles émissions de substances odorantes et/ou volatiles sont évitées en recouvrant la cuve, ou en utilisant un réservoir fermé et en acheminant l'air extrait jusqu'à un système d'épuration des effluents gazeux.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Produits chimiques	
Vapeur/eau chaude pour chauffer	
Énergie [kWh/m^3]	

Surveillance

Durant tout le procédé d'hydrolyse, un contrôle minutieux des paramètres de fonctionnement tels que :

la température,
le pH,
la pression,
le temps de séjour,

est essentiel. Il faut également vérifier la présence de certains composés dégradés et l'excès d'agents acides/basiques.

Aspects économiques

Les coûts sont les suivants :

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.3.4.2.8 Nanofiltration (NF) et osmose inverse (OI)

Description

Un procédé à membrane se définit comme la perméation d'un liquide à travers une membrane et sa séparation en un perméat qui passe à travers la membrane et un concentré qui est retenu par celle-ci. La différence de pression entre chaque côté de la membrane est la force d'entraînement du procédé.

Les membranes de NF et d'OI peuvent retenir toutes les particules, même aussi petites que des molécules organiques ou des ions. Ces membranes sont principalement utilisées lorsque l'on souhaite recycler complètement le perméat et/ou le concentré, à condition toutefois qu'il n'y ait pas de particules dans l'alimentation.

Les caractéristiques typiques des membranes de NF et d'OI sont récapitulées dans le tableau 3.5.

Paramètre	Nanofiltration	Osmose inverse
Diamètre des pores [m] ¹	0,01-0,001	<0,001
Pression de fonctionnement [MPa]	0,5-3 ²	2-100 ³
Seuil de coupure [nm] ²	>1 200-1 000 g/mol	<1 000 g/mol
Flux du perméat [l m ⁻² h ⁻¹]	<100	10-35
Vitesse du flux traversant [m/s] ²	1-2	<2
Type de membrane	polymérique asymétrique ou composite	polymérique asymétrique ou composite
Configuration de la membrane	en spirale tubulaire	en spirale tubulaire
¹ [cww/tm/27] ² [cww/tm/132] ³ [cww/tm/159]		

Tableau 3.5 : caractéristiques de la nanofiltration (NF) et de l'osmose inverse (OI)

Il existe plusieurs types de matériaux et de configuration pour les membranes. Le meilleur choix pour une application donnée dépend de la nature des eaux usées, étant donné que les différents matériaux ont des résistances aux substances dissoutes variables. Pour la NF, la membrane peut être en :

- acétate de cellulose
- polyamide

Pour l'OI, la membrane est réalisée en polymères organiques, par exemple :

- acétate de cellulose
- polyamide
- polyimide
- polycarbonate
- polychlorure de vinyle
- polysulfone
- polyéthersulfone
- polyacétal
- copolymères d'acrylonitrile et de chlorure de vinyle
- complexes de polyélectrolytes
- alcool polyvinylique réticulé
- polyacrylates

Les membranes en polyamide sont en général plus efficaces pour éliminer les molécules organiques à l'état de trace que les membranes en acétate de cellulose.

Les procédés de NF et d'OI sont généralement à écoulement transversal, c'est-à-dire que le flux de perméat est perpendiculaire au flux d'alimentation. Les impuretés restent dans l'alimentation qui, son volume diminuant, quitte le système sous forme d'effluent concentré.

Même avec le meilleur prétraitement possible, les membranes s'encrassent et leurs performances diminuent, si elles ne sont pas nettoyées. Les systèmes à membrane doivent donc être conçus de sorte que les modules puissent être retirés pour être nettoyés chimiquement ou mécaniquement.

Une installation à membrane industrielle est généralement constituée de trois parties distinctes :

- la partie prétraitement dans laquelle l'alimentation subit une clarification chimique (précipitation, coagulation/floculation ou flottation) puis une filtration, ou une filtration suivie d'une UF ;
- la partie membrane où une pression élevée est appliquée et où les eaux usées traversent la membrane ;
- la partie post-traitement dans laquelle le perméat est traité pour pouvoir être réutilisé ou évacué, et dans laquelle la saumure concentrée est collectée pour subir un traitement supplémentaire ou pour être évacuée.

Un exemple type d'installation d'OI est illustré à la figure 3.24 [cww/tm/4].

Les modules des membranes sont disposés soit en parallèle pour pouvoir fournir la capacité hydraulique nécessaire, soit en série pour augmenter l'efficacité.

Feed solution	Alimentation
Feed sump	Fosse de collecte de l'alimentation
Chlorination	Chloration
Acid injection	Injection d'acides
Filter pump	Pompe filtrante
Filter assembly	Assemblage de filtres
pH control	Contrôle du pH
Deaerator	Dégazeur
Main pump	Pompe principale
Product	Produit
To storage	Vers stockage
Product-water holdup tank	Cuve de rétention du produit
RO membrane units	Modules des membranes d'OI
Brine	Saumure
Recovery turbine	Turbine de reprise
Brine holdup tank	Cuve de rétention de la saumure
Brine to discharge	Saumure à évacuer

Figure 3.24 : installation d'OI

Application

Les applications de la NF et de l'OI sont différentes du fait que leurs propriétés relatives à la migration des particules moléculaires à travers leur surface sont différentes.

La NF est employée pour éliminer les molécules organiques les plus grandes et les ions polyvalents afin de recycler et réutiliser les eaux usées ou pour en réduire le volume, et pour augmenter simultanément la concentration de polluant de telle sorte qu'il soit possible d'appliquer par la suite des procédés de destruction.

L'OI est un procédé destiné à séparer l'eau et les constituants dissous, même aussi petits que des ions. Elle est employée pour obtenir un très haut niveau de pureté. La phase aqueuse séparée est recyclée et réutilisée.

Exemples d'application :

- la désalinisation
- l'épuration finale de, par exemple :
 - des composants dégradables si aucun traitement biologique n'est disponible
 - des métaux lourds
 - des composés toxiques
- la séparation des polluants dans le but de les concentrer ou de les traiter

La NF et l'OI sont fréquemment utilisées en association avec des techniques de post-traitement du perméat, par exemple les techniques d'échange d'ions et d'adsorption sur CAG.

Limites et restrictions d'application :

		Limites / restrictions
NF	Taille des particules	Capacité limitée en ce qui concerne la rétention des particules en suspension d'une masse moléculaire <200
OI	Concentration	Solutions concentrées avec pression osmotique si haute qu'elle dépasse la pression de fonctionnement disponible ou que la technique n'est pas viable économiquement
	Solubilité des sels	Les solutions de sels à faible solubilité ont tendance à précipiter, ce qui provoque un encrassement du système
	Polymérisation des monomères	Les polluants qui risquent de polymériser encrassent le système
NF et OI	Matériau de la membrane	La faible résistance chimique et thermique limite l'application à une gamme de pH et de température étroite (18-30 °C)

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Capacité de séparation élevée. • Systèmes modulaires, d'où une grande flexibilité d'utilisation. • Recyclage du perméat et du concentré possible. • Températures de fonctionnement faibles. • Fonctionnement entièrement automatisé possible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de colmatage, d'obturation et d'encrassement. • Compactage en présence d'agents d'adoucissage. • Pressions élevées requises. Flux de perméat faibles.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]		Remarques
	NF	OI	
Mercure inorganique	>90 ¹		
Mercure organique	>90 ¹		

Composés du cadmium	>90 ¹		
Tétrachlorométhane	96 ¹		
1,2-dichloroéthane	71 ¹		
Trichlorobenzène	96 ¹		
Perchloroéthène	90-92 ¹		
Atrazine	>70 ¹	84-97 ¹	
γ-Hexachlorocyclohexane		99 ¹	
DDT		100 ¹	
Aldrine		100 ¹	
Dieldrine		100 ¹	
Dichlorvos		98 ¹	
Simazine		95 ¹	
Trifluraline		99 ¹	
Fenitrothion		99 ¹	
Azinphos-méthyle		98 ¹	
Malathion		99 ¹	
COT	80-90 ²		
¹ [cww/tm/27]			
² [cww/tm/160]			

Impacts croisés

Les techniques de traitement à membrane produisent un effluent (le concentré) d'un volume égal à environ 10 % du volume d'alimentation et dans lequel la concentration en substances cibles est environ 10 fois celle des eaux usées. Il convient d'examiner si ce résidu peut être recyclé, évacué ou nécessite un traitement supplémentaire (par exemple, oxydation à l'air humide dans le cas d'un concentré provenant de la production de colorants [cww/tm/132]).

Pour les substances organiques, l'augmentation de la concentration peut améliorer les conditions nécessaires à des procédés de destruction par oxydation en aval. Pour les substances inorganiques, l'étape de concentration peut faire partie d'un procédé de récupération. Dans les deux cas, le perméat d'un procédé à membrane peut éventuellement être réutilisé ou recyclé dans le procédé industriel, réduisant ainsi la consommation en eau et la quantité de rejets.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	
	NF	OI
Matériau de la membrane		
Agents de nettoyage		
Énergie [kWh/m ³]	1-3 ^{a 1}	1-3 ^{a 1}
^a application à faible pression (<2,5 MPa)		
¹ [cww/tm/161]		

La consommation d'énergie est directement liée aux exigences en matière de pression et de débit. Elle sert généralement principalement à maintenir une vitesse minimale d'environ 2 m/s à travers la surface membranaire.

Surveillance

Pour assurer la fiabilité du fonctionnement, la différence de pression et le flux à travers la membrane doivent être contrôlés en continu.

Aspects économiques

	Débit [m ³ /h]	Coûts de capital	Coûts d'exploitation	Coûts de remplacement
NF		350-1 100 GBP ¹ par m ² de membrane ^a		60-140 GBP ¹ par m ² de membrane ^a
			3,3 EUR/kg de COT ²	
OI		350-1 100 GBP ¹ par m ² de membrane ^a		60-140 GBP ¹ par m ² de membrane ^a
		10-12 millions d'euros par 1 000 m ³ /h d'eaux usées		
^a pour les membranes en spirale et tubulaires ¹ [cww/tm/93] ² [cww/tm/160]				

Les coûts de capital, y compris les unités de nettoyage automatisées, se répartissent approximativement de la manière suivante [cww/tm/93] :

pompes	30 %
composants jetables de la membrane	20 %
modules de la membrane (carters)	10 %
canalisation, vannes, cadre	20 %
système de contrôle	15 %
divers	5 %

Les coûts d'exploitation [cww/tm/93] sont engendrés par :

- le coût énergétique nécessaire au maintien de la pression hydrostatique et du débit des systèmes
- la durée de vie de la membrane
- la fréquence de nettoyage requise
- des facteurs propres au site, par exemple relatifs à la main-d'œuvre

Ils se répartissent approximativement comme suit [cww/tm/93] :

composants jetables de la membrane	35-50 %
nettoyage	12-35 %
énergie	15-20 %
main-d'œuvre	15-18 %

3.3.4.2.9 Adsorption

Description

L'adsorption se définit comme le transfert de substances solubles (les solutés) de la phase aqueuse polluée vers la surface de particules solides et très poreuses (l'adsorbant). L'adsorbant a une capacité limitée pour chaque composé à éliminer. Lorsque cette capacité arrive à saturation, l'adsorbant est épuisé et doit être remplacé par un nouvel adsorbant. L'adsorbant épuisé doit être régénéré ou incinéré.

Les adsorbants utilisables pour la purification par adsorption des eaux usées sont répertoriés dans le tableau 3.6 [cww/tm/132].

Adsorbant	Forme	Surface spécifique [m ² /g]	Porosité [cm ³ /g]	Densité apparente [g/l]
Charbon actif	En grains	500-1 000	0,3-0,8	300-550
	En poudre	600-1 500	0,3-1,0	
Coke de lignite	En grains, en poudre	200-250	<0,1	Environ 500
γ-oxyde d'aluminium	En grain, en poudre	300-350	0,4-0,5	700-800
Résines adsorbantes	En granules	400-1 500	porosité 35-65 v-%	650-700

Tableau 3.6 : adsorbants couramment utilisés et leurs propriétés

Les procédés d'adsorption se divisent en trois étapes [cww/tm/132] :

- le mélange, principalement dans le cas d'un traitement en discontinu
- la percolation, applicable aux traitements continus, généralement avec un adsorbeur à lit fixe à deux colonnes utilisées en alternance (adsorption et lavage à contre-courant en alternance)
- un procédé à lit pulsé ou à lit mobile, utilisé comme procédé de percolation continue, les eaux usées et l'adsorbant circulant à contre-courant dans la colonne

La surface active de l'adsorbant étant susceptible de se boucher, les eaux usées doivent être débarrassées autant que possible de toute substance solide. Une étape de filtration en amont est donc souvent nécessaire.

Un exemple des étapes du fonctionnement d'un adsorbeur à lit fixe à deux colonnes connectées en série est illustré à la figure 3.25 [cww/tm/132].

Les cuves d'un adsorbeur sont généralement construites avec un matériau anti-corrosion, par exemple revêtues d'acier au carboné, d'acier inoxydable ou de plastique renforcé de fibre de verre (FRP).

Des unités de stockage de l'adsorbant sont nécessaires.

Figure 3.25 : fonctionnement de deux colonnes d'adsorption connectées en série

- A) Séquence I → II, au début du procédé
 B) Séquence I → II, lorsque le filtre I doit être remplacé
 C) Séquence II → I', juste après le remplacement de I
 D) Séquence II → I', lorsque le filtre II doit être remplacé



Application

L'adsorbant le plus fréquemment utilisé dans le secteur chimique est le charbon actif. Il est utilisé sous forme de grains (CAG) en colonnes ou sous forme de poudre (CAP) dosée pour un réservoir ou un bassin de traitement. Les autres adsorbants fréquemment utilisés sont la coke de lignite, l'oxyde d'aluminium activé, les résines d'adsorbant et les zéolites.

- L'adsorption sur CAG est employée pour éliminer les polluants organiques, principalement les polluants réfractaires, toxiques, colorés et/ou odorants, et les quantités résiduelles de polluants inorganiques tels que les composés d'azote, les sulfures et les métaux lourds. Les filtres granulaires (filtres à sable, par exemple), sont couramment utilisés en amont d'un adsorbant sur CAG afin d'éliminer les solides en suspension présents dans l'effluent.

Les applications courantes sont [cww/tm/92] :

- textiles et colorants : élimination du COT, des teintures et des colorants
- raffinerie et pétrochimie : élimination de la DBO et de la DCO
- détergents, résines, produits chimiques : élimination du COT, de la DCO, du xylène, des alcools, des phénols, des produits intermédiaires des résines, du résorcinol, des produits aromatiques nitrés, des polyols
- herbicides, insecticides : élimination des chlorophénols, du crésol
- produits pharmaceutiques : élimination du phénol
- explosifs : élimination des phénols nitrés

Le CAG est en général régénéré par réactivation thermique à une température d'environ 900-1 000 °C.

- L'adsorption sur CAP est employée avec les mêmes polluants que l'adsorption sur CAG. L'adsorbant est ajouté aux eaux usées à traiter sous forme de barbotine, puis extrait par des procédés de séparation tels que la décantation et la filtration. Le CAP peut également être ajouté aux eaux usées en même temps que les coagulants inorganiques, puis extrait par les dispositifs de décantation et de filtration existants. Il est souvent préféré lorsque l'extraction par adsorption des composés organiques est nécessaire de façon intermittente ou variable. Il peut être ajouté ponctuellement, lorsque le besoin s'en fait sentir. Il peut aussi être utilisé en cas d'urgence pour éliminer les substances réfractaires, dangereuses ou toxiques qui se sont répandues dans un bassin de décantation, un bassin à boues activées ou tout autre cuve. Le CAP peut également être ajouté dans le bassin d'aération d'un système à boues activées, le procédé d'adsorption améliorant le procédé microbiologique. Le CAP est couramment employé dans un dispositif comprenant un mélangeur-décanteur ou un adsorbant à boue associé à des agents de coagulation/floculation, où il est ajouté à l'étape de floculation, de décantation ou de filtration.

En règle générale, le CAP n'est pas régénéré mais fait partie des boues à évacuer.

- La coke de lignite est employée comme le CAG et peut le remplacer si un nettoyage moins poussé est acceptable. Son coût est inférieur mais son efficacité en matière d'adsorption aussi, c'est pourquoi de plus grandes quantités d'adsorbant ou une plus grande fréquence des cycles de régénération sont nécessaires.
- L'oxyde d'aluminium activé est utilisé pour adsorber les substances hydrophiles, notamment les fluorures et les phosphates. Lorsque les polluants adsorbés sont organiques, il doit être thermiquement régénéré à une température d'environ 750 °C. Si les polluants adsorbés sont inorganiques, il est régénéré chimiquement.
- Les résines adsorbantes sont employées pour éliminer les substances organiques hydrophiles et hydrophobes, par exemple pour faciliter la récupération des composés organiques. Les

résines ont tendance à gonfler avec le temps en retenant les composés organiques.

Elles sont régénérées chimiquement au moyen de solvants tels que le méthanol ou l'acétone.

- Les zéolites sont employées pour éliminer l'ammoniaque ou les métaux lourds, par exemple le cadmium. Dans le cas de l'élimination de l'ammoniaque, elles ne sont efficaces que pour des flux très peu pollués (jusqu'à 40 mg/l). Elles sont régénérées par élution avec des solutions de chlorure de sodium avec de la soude caustique ou de la chaux.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
MES	<20 mg/l avec adsorbants à lit fixe ¹ <10 mg/l avec adsorbants à lit mobile ²
Concentration en polluant	<100 g/l (sans récupération de l'adsorbant) ² <500 g/l (avec récupération de l'adsorbant) ²
Masse moléculaire	Plus la masse moléculaire est faible, moins le procédé est efficace
Longueur de la chaîne de carbone	Plus la chaîne est longue, moins le procédé est efficace
Ramification des chaînes de carbone	Plus les ramifications sont nombreuses, moins le procédé est efficace
Polarité	Plus la polarité est élevée, moins le procédé est efficace
Solubilité dans l'eau	Plus la solubilité est élevée, moins le procédé est efficace
Degré de dissociation	Plus le degré de dissociation est élevé, moins le procédé est efficace
Macromolécules	Diminution de l'efficacité avec les structures macromoléculaires
¹ [cww/tm/4]	
² [cww/tm/51]	

L'influence de la polarité est démontrée dans le tableau 3.7 [cww/tm/91]

Substance	Élimination [%]	Capacité [mg/g]
Benzène	95	80
Éthylbenzène	84	19
Acétate de butyle	84	169
Acétate d'éthyle	51	100
Phénol	81	161
Méthyléthylcétone (MEC)	47	94
Acétone	22	43
Pyridine	47	95
Diéthanolamine	28	57
Monoéthanolamine	7	15
Acétaldéhyde	12	22
Formaldéhyde	9	18
Alcool isopropylique	22	24
Alcool méthylique	4	7

Tableau 3.7 : caractéristiques de la performance spécifique de l'adsorption sur CAG avec des concentrations d'alimentation d'environ 1 000 mg/l

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
-----------	---------------

<ul style="list-style-type: none"> • Capacité d'épuration élevée (sauf pour la coke de lignite). • Permet d'éliminer les composés organiques réfractaires et/ou toxiques (CAG, CAP, coke de lignite, résines). • En général, faible encombrement supplémentaire. • Systèmes automatisés. • Récupération des composés possible (de préférence avec les zéolites). 	<ul style="list-style-type: none"> • Les mélanges de composés organiques risquent de réduire de manière significative la capacité d'adsorption. • Une teneur élevée en composés macromoléculaires diminue l'efficacité et risque de provoquer un blocage irréversible des sites actifs. • Effet de décapage dans l'unité à boues activées provoquant de sérieux problèmes d'érosion (CAP). • L'adsorbant épuisé doit être régénéré (consommation d'énergie élevée) ou évacué (d'où production de déchets à incinérer).
---	--

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

L'efficacité des procédés d'adsorption est très variable selon la composition des eaux usées et la concentration d'alimentation. Ceci ne doit pas être oublié lorsqu'il est fait référence dans le présent document à des niveaux d'émission pouvant être atteints ou des capacités d'épuration.

Taux de performance pouvant être atteints :

Paramètre	Taux de performance [%]						Remarques
	CAG	CAP	Lignite	Al ₂ O ₃	Résine	Zéolite	
Hg inorganique	80 ¹						Alimentation 29 µg/l
Hg organique	80 ¹						Alimentation faible
γ-Hexa-chloro-cyclo-hexane	93 ¹						Alimentation 7,7 µg/l
		99 ¹					Alimentation 10 µg/l CAP 85 mg/l
DDT	97 ¹ - 99,9						
Aldrine	88-93 ¹						
		90-99 ¹					CAP 5-20 mg/l
Dieldrine	86-98 ¹						
		99 ¹ [0,1 g/l]					Alimentation 10 µg/l, CAP 126 mg/l
Atrazine	84 ¹						Alimentation 0,61 µg/l

Paramètre	Taux de performance [%]						Remarques
	CAG	CAP	Lignite	Al ₂ O ₃	Résine	Zéolite	
Endrine		<0,1 µg/l ¹					Alimentation 10 µg/l, CAP 70 mg/l
Dichlorvos		99 ¹					
Trichlorobenzène		70-93 ¹					Alimentation 200 µg/l CAP 20 mg/l
Fenitrothion		99 ¹					

Azinphos-méthyle		99 ¹					
Ammoniaque						98 ¹ [0,5 mg/l]	Alimentation 25 mg/l
DCO	50 ²						Lit mobile, alimentation 5 g/l
	67-75 ³ [<100 mg/l]						concentration d'alimentation 300-400 mg/l
Phénols	75 ²						lit mobile, alimentation 70 mg/l
	60-80 ³ [1-2 mg/l]						Concentration d'alimentation 5 mg/l
AOX	>90 ²						Lit mobile, alimentation 60 mg/l
¹ [cww/tm/27] ² [cww/tm/82] ³ [cww/tm/96]							

Il est rapporté [cww/tm/77] que les systèmes de traitement au CAP traitent des eaux usées dont la concentration en DCO est supérieure à 60 000 mg/l, y compris des composés organiques volatils toxiques de concentration supérieure à 1 000 mg/l, avec une réduction de produits chimiques organiques toxiques particuliers inférieure à la limite de détection, c'est-à-dire une réduction de près de 100 %.

Impacts croisés

Lorsque l'adsorbant arrive à saturation, il est remplacé, puis régénéré (à l'exception du CAP qui est évacué avec les autres boues résiduelles). Comme indiqué précédemment, chaque adsorbant a sa propre méthode de régénération. Cependant, toutes ces méthodes ont un point commun : leur consommation en énergie et/ou en produits chimiques.

Le CAG, le lignite et l'oxyde d'aluminium activé (s'ils portent une charge organique) sont régénérés thermiquement à des températures allant jusqu'à 750-1 000 °C. Les résines, les zéolites et l'oxyde d'aluminium activé qui portent une charge inorganique sont élués par des produits chimiques qui sont soit des solvants organiques, soit des solutions inorganiques.

Par exemple, la régénération du CAG rejette des effluents gazeux qui contiennent les produits de la décomposition chimique et thermique des composés adsorbés. Dans chaque régénération, environ 10 % d'adsorbant sont perdus [cww/tm/27] et doivent être remplacés par du CAG neuf. Ce remplacement continu doit être tel que la qualité globale du CAG dans le lit soit constante. La régénération du CAG est en principe réalisée par des entreprises spécialisées équipées de fours de régénération. Ces entreprises se chargent de transporter le CAG de l'usine de traitement utilisatrice aux fours de régénération et vice-versa. La régénération coûtant relativement chère, les installations sont généralement conçues pour des périodes d'au moins six mois entre deux cycles de régénération.

Les effluents gazeux produits lors de la régénération doivent être traités sur le site chimique ou sur le site de la société en charge de la régénération.

Si le CAG ne peut pas être régénéré, il doit être évacué en tant que déchet chimique et incinéré. Ce peut être le cas si le CAG contient des PCB, des dioxines, des métaux lourds ou du dichlorobromopropane (DCBP) [cww/tm/77].

La régénération des zéolites produit un flux concentré d'ammoniaque, acheminé vers une station d'épuration classique afin de subir un traitement biologique, ou une combinaison de stripping à l'air pour récupérer l'ammoniac suivi d'une adsorption dans un acide dilué afin de produire un engrais qui peut être vendu.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	CAG	CAP	Lignite	Al ₂ O ₃	Résine	Zéolite
Adsorbant	10 % de perte par régénération	0,5-1,0 kg/m ³ d'eaux usées ¹				
Agents de régénération						NaCl/NaOH ou chaux 10-30 volumes du lit ²
Énergie [kWh/m ³]						
¹ [cww/tm/128]						
² [cww/tm/27]						

Autres impacts sur l'environnement :

- le transport du CAG épuisé de et vers l'unité de régénération
- la régénération sur le site d'une société spécialisée
- la consommation d'énergie de la régénération
- le rejet de polluants dans l'eau et/ou l'air au cours de la régénération
- le bruit émis par exemple par les pompes (qui peuvent être confinées)

Surveillance

Le contrôle des flux d'entrée et de sortie de l'adsorbeur doit être réalisé en fonction des composés concernés. En règle générale, les anomalies éventuelles sont détectées en mesurant le COT pour les polluants organiques ou la conductivité pour les polluants inorganiques.

Aspects économiques

Coûts	CAG	CAP	Lignite	Al ₂ O ₃	Résine	Zéolite
Coûts de capital	30 000 GBP ¹ [14 m ³ /h]					
	75 000 GBP ¹ [60 m ³ /h]					
	110 000 GBP ¹ [120 m ³ /h]					
	20-30 millions FIM ³ [350 m ³ /h]					
Coûts d'exploitation	1 000-2 000 GBP ¹ par tonne de CAG ^a					
	200 000 BEF ² par tonne de CAG ^b					
	0,7 FIM/m ³ d'eaux usées ³					

^a coût de régénération du CAG
^b coût du CAG, régénération comprise
¹ [cww/tm/92]
² [cww/tm/128]
³ [cww/tm/96]

3.3.4.2.10 Échange d'ions

Description

L'échange d'ions se définit comme l'extraction de constituants ioniques dangereux ou indésirables des eaux usées et leur remplacement par des ions plus « acceptables » provenant d'une résine échangeuse d'ions dans laquelle ils sont retenus temporairement avant d'être rejetés dans une liquide de rinçage ou de régénération.

Un échangeur d'ions est généralement constitué des éléments suivants :

- une cuve verticale cylindrique sous pression, avec un revêtement anti-corrosion, qui contient la résine, le plus souvent sous forme de colonne à garnissage avec plusieurs configurations possibles
- un système de conduites et de vannes de contrôle permettant d'acheminer le flux d'eaux usées et la solution de régénération jusqu'à l'installation adéquate
- un système de régénération de la résine, constitué d'un dispositif de dissolution des sels et de contrôle de la dilution

Un système d'injection se situe en haut ou en bas de la cuve et fournit une alimentation uniforme de l'influent d'eaux usées pour empêcher que des canaux d'écoulement ne se creusent dans le lit de la résine. Il sert également de collecteur des eaux de lavage à contre-courant.

Les échangeurs d'ions couramment utilisés sont des résines granulaires macroporeuses avec des groupes fonctionnels anioniques ou cationiques, par exemple :

- l'échangeur de cations fortement acide (SAC) qui neutralise les bases fortes et convertit les sels neutres en leurs acides correspondants
- l'échangeur de cations faiblement acide (WAC) qui neutralise les bases fortes et est utilisé pour la désalcalinisation
- l'échangeur d'anions fortement basique (SBA) qui neutralise les acides forts et convertit les sels neutres en leurs bases correspondantes
- l'échangeur d'anions fortement basique (WBA) qui neutralise les acides forts et est utilisé pour la déminéralisation partielle

Les étapes du cycle d'échange d'ions sont les suivantes :

- l'échange d'ions proprement dit
- l'étape de lavage à contre-courant, qui comprend l'extraction des particules accumulées et le reconditionnement du lit de la résine échangeuse d'ions
- l'étape de régénération à l'aide d'une solution très concentrée et de volume faible, au cours de laquelle la résine échangeuse d'ions est rechargée avec les ions correspondants et les ions indésirables sont rejetés dans la solution de régénération
- le rinçage lent au moyen d'un flux d'eaux lent qui permet de faire circuler la solution de régénération à travers le lit
- le rinçage rapide, qui permet d'éliminer du lit de la résine les traces restantes de la solution de régénération, y compris toute dureté résiduelle

Des unités de stockage des agents de régénération sont nécessaires.

Application

L'échange d'ions est employé pour éliminer les espèces ioniques et ionisables des eaux usées, par exemple :

- les ions de métaux lourds, cationiques ou anioniques, par exemple Cr^{3+} ou le cadmium et ses composés avec des concentrations d'alimentation faibles, et CrO_4^{2-} avec des concentrations d'alimentation élevées ;
- les composés organiques ionisables tels que H_3BO_3 ;
- les composés organiques solubles ioniques ou ionisables. Les acides carboxyliques, les acides sulfoniques, certains phénols, les amines sous forme de sel acide, les amines quaternaires, les alkylsulfates et le mercure organique, peuvent notamment être éliminés.

L'échange d'ions peut être utilisé comme traitement en aval, mais son intérêt réside dans sa potentiel de récupération des produits. Il est fréquemment utilisé comme méthode intégrée au traitement des eaux usées, par exemple pour récupérer les produits chimiques des procédés et des eaux de rinçage. Les concentrations typiques de l'influent se situent entre 10 et 1 000 mg/l. La concentration des particules en suspension dans l'alimentation doit être inférieure à 50 mg/l pour empêcher le colmatage, c'est pourquoi les procédés de filtration par gravité ou par membrane représentent des méthodes de prétraitement appropriées.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Concentration en ions	Une force ionique élevée peut provoquer le gonflement des particules de la résine
Température	Limites thermiques des résines à anions aux alentours de 60 °C
Agents corrosifs	L'acide nitrique, l'acide chromique, le peroxyde d'hydrogène, le fer, le manganèse et le cuivre peuvent endommager les résines
Composés gênants	Les composés inorganiques tels que les précipités de fer ou les composés organiques tels que les aromatiques peuvent provoquer une adsorption irréversible de la résine

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • En principe, tous les ions et les espèces ionisables peuvent être éliminés des liquides aqueux. • Fonctionnement selon les besoins, relativement peu sensible aux variations de flux. • L'efficacité peut être élevée. • Récupération des espèces utiles possible. • Récupération de l'eau possible. • Large gamme de résines spécifiques disponible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'une préfiltration. • Croissance de bactéries sur la surface de la résine et encrassement causé par précipitation ou adsorption. • Interférence des ions concurrents dans les eaux usées. • Attrition des particules de la résine due à la régénération ou à des impacts mécaniques. • La saumure et les boues produites par la régénération doivent être traitées ou évacuées.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Les concentrations en ions de l'effluent qui peuvent être atteintes sont typiquement de l'ordre de 0,1-10 mg/l avec des concentrations dans l'influent de 10-1 000 mg/l.

Paramètre	Concentration [mg/l]	Taux de performance [%]	Remarques
Ions dans l'effluent	0,1-10	80-99 ¹	Concentrations dans l'influent de 10-1 000 mg/l
Cuivre			
Nickel			
Cobalt			
Zinc			
Chrome (III)			
Chrome (VI)			
Fer			
Sulfate			
Nitrate			
¹ [cww/tm/128]			

Impacts croisés

La régénération des résines échangeuses d'ions produit une petite quantité de solution concentrée acide ou saline contenant les ions éliminés provenant de la résine. Ce liquide enrichi doit être traité à part pour éliminer ces ions (exemple : métaux lourds par précipitation).

Les eaux de rinçage de la régénération contiennent les mêmes ions que la saumure mais en concentrations relativement faibles. Selon la concentration, ces eaux peuvent être évacuées directement ou bien subir un traitement supplémentaire.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Résine échangeuse d'ions	
Liquide de régénération (acide chlorhydrique, acide sulfurique, chlorure de sodium, hydroxyde de sodium, etc.)	Selon la quantité de résine
Produits chimiques, par exemple anti-salissures bactéricide	
Eaux de rinçage et de lavage à contre-courant	
Énergie [kWh/m ³]	

L'émission de bruit provient des pompes (qui peuvent être confinées).

Surveillance

L'influent et l'effluent de l'échangeur d'ions doivent être soigneusement contrôlés afin de détecter toute anomalie. Les paramètres à contrôler sont les suivants :

- la chute de pression
- la conductivité électrique
- le pH
- la concentration des ions à contrôler dans l'effluent

Aspects économiques

Les coûts de capital et les coûts d'exploitation dépendent de la nature du flux d'alimentation.

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital	60 000 GBP ¹	Hauteur compacte d'1 m, diamètre d'1 m, cuve, vannes et résine inclus ;
	+ 20 000 GBP ¹	pour 0,5 m de diamètre supplémentaire
	80 000 BEF/m ³ ²	Échangeur d'ions cationique
	200 000 BEF/m ³ ²	Échangeur d'ions anionique
Coûts d'exploitation	200 BEF/m ³ ²	
¹ [cww/tm/92]		
² [cww/tm/128]		

3.3.4.2.11 Extraction

Description

L'extraction se définit comme le transfert de polluants solubles des eaux usées vers un solvant. Les propriétés recherchées pour un solvant sont les suivantes :

- faible solubilité et miscibilité dans l'eau ; exemples : huile brute légère, toluène, pentane et hexane
- capacité de dissolution du polluant supérieure à celle de l'eau
- facilité de séparation du solvant et de l'eau, par exemple grâce à une grande différence entre les densités
- facilité de séparation des polluants, grâce à une chaleur d'évaporation faible lorsque la distillation est employée
- toxicité faible
- stabilité thermique

L'extraction est réalisée dans des colonnes dans lesquelles les eaux usées entrent en contact avec le solvant organique de différentes manières :

- cascades à contre-courant
- mélangeur-décanteur
- colonnes à plateaux perforés
- colonnes à garnissage
- tours à pulvérisation
- contacteurs à disque rotatif
- contacteurs centrifuges pour des différences de densité faibles

Les installations en aval sont utilisées pour la séparation liquide/liquide et la distillation de la fraction de solvant. La phase d'eaux usées restante doit être débarrassée du solvant d'extraction dissous, par stripping ou adsorption sur CAG, par exemple.

Des installations de stockage doivent être prévues pour le solvant d'extraction et le résidu. Elles doivent être équipées des systèmes de sécurité appropriés pour empêcher les émissions dans l'air ou le sol.

Application

L'extraction par solvant est employée pour une grande variété de polluants organiques et de complexes métalliques, à condition qu'il existe un solvant adapté et que la concentration en polluant

ne soit pas trop faible. Pour les concentrations faibles, l'extraction n'est pas compatible avec l'adsorption ou le traitement biologique. Elle est souvent utilisée comme prétraitement à l'adsorption et/ou au traitement biologique.

Exemples d'utilisation [cww/tm/82] :

- extraction du phénol (procédé Phenosolvan)
- recyclage des métaux (zinc par exemple)
- recyclage des substances provenant de liqueurs mères
- extraction des esters d'acide phosphorique
- extraction des produits aromatiques chlorés
- prétraitement permettant la concentration d'acides sulfoniques aromatiques

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Solides en suspension	Les eaux usées doivent être débarrassées autant que possible des solides en suspension et/ou des émulsions
Solvant	Nécessité de disposer d'un solvant adapté (voir ci-dessus) ; La perte de solvant a des répercussions environnementales et économiques ; la régénération du solvant peut être très complexe et très coûteuse

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Permet l'élimination et le recyclage des composés organiques réfractaires et/ou toxiques, et de certains métaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les résidus doivent être évacués ou incinérés. • Application limitée à cause des caractéristiques des solvants.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveau d'émission [mg/l]	Remarques
Phénols	99	<1	Alimentation 10 g/l,
DCO			
AOX			
Zinc			
Esters d'acide phosphorique			

Impacts croisés

La perte de solvants organiques en cours de procédé provoque l'émission de gaz résiduels ou de résidus de solvant dans les eaux usées. Celles-ci nécessitent en général un traitement supplémentaire, stripping, par exemple. Quant aux gaz résiduels, ils nécessitent d'être canalisés vers un traitement comme par exemple l'oxydation catalytique ou thermique, ou l'adsorption.

Après récupération du solvant (par distillation ou rectification), le résidu inférieur restant et qui contient les polluants extraits doit être évacué en tant que déchet chimique, par incinération en général.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Solvant, remplacement des pertes	
Énergie [kWh/m ³]	
Énergie pour le traitement supplémentaire [kWh/m ³]	

Surveillance

La présence de matières solides indésirables en entrée de l'unité d'extraction doit être détectée, car elles peuvent provoquer des perturbations du procédé ou la destruction de l'installation. Un entretien régulier est nécessaire afin d'empêcher ou de détecter toute perte de solvant dans l'environnement.

Aspects économiques

Les coûts sont les suivants :

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.3.4.2.12 Distillation/Rectification

Description

La distillation ou la rectification se définit comme la séparation des eaux usées de ses polluants par transfert de ceux-ci dans la phase vapeur. La phase vapeur enrichie est ensuite condensée.

Réaliser le procédé sous vide permet d'abaisser la température d'ébullition et de séparer les substances vulnérables.

La distillation et la rectification sont effectuées en colonnes, équipées de plateaux ou d'un garnissage, et d'un condenseur en aval. Une injection directe de vapeur permet de chauffer le procédé tout en évitant une surchauffe locale.

Des installations de stockage équipées de systèmes de sécurité appropriés doivent être prévues pour le distillat et le résidu.

Application

L'application de la distillation ou la rectification des eaux usées est limitée. Elle est souvent employée comme mesure intégrée aux procédés pour récupérer les matières premières et/ou les produits des liqueurs mères. Dans le traitement des eaux usées, elle est appliquée :

- pour récupérer le solvant après une phase d'extraction
- pour récupérer le solvant des eaux usées (par exemple : séparation des alcools issus de la production de méthylcellulose)
- pour traiter les émulsions d'huile
- comme prétraitement pour éliminer la teneur en polluant principal du flux d'eaux usées afin de le récupérer, et pour évacuer ensuite les eaux usées vers un traitement supplémentaire en aval
- pour récupérer des substances organiques des liqueurs de lavage.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Concentration d'alimentation	Elle doit être suffisamment élevée pour que la distillation soit économiquement viable.
Température d'ébullition	La différence entre les températures d'ébullition des polluants et des eaux usées doit être suffisamment grande ; les mélanges azéotropiques nécessitent des produits auxiliaires, sinon la séparation par distillation est impossible.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Récupération de matière possible. • Permet l'élimination des composés organiques réfractaires et/ou toxiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les résidus doivent être évacués, en principe par incinération. • Forte consommation d'énergie

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/l]	Remarques
Phénols	96 ¹	2 000	Alimentation 50 g/l,
Méthanol	97,5 ¹	2 000	Alimentation 80 g/l
Épichlorohydrine (ECH)	90 ¹	700	Alimentation 7 g/l
Aniline	97,5 ¹	100	Alimentation 4 g/l
Chlorobenzène	90 ¹	10	Alimentation 100 mg/l
¹ [cww/tm/82]			

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Vapeur (pour chauffer)	
Énergie [kWh/m ³]	
Énergie pour le traitement supplémentaire [kWh/m ³]	

Contrôle

La présence de matières solides indésirables en entrée de l'unité de distillation/rectification doit être détectée, car elles peuvent provoquer des perturbations du procédé ou endommager l'installation. Un entretien régulier est nécessaire afin d'éviter les pertes de solvant dans l'environnement ou de les détecter à temps.

Aspects économiques

Les coûts sont les suivants :

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.3.4.2.13 Évaporation

Description

L'évaporation des eaux usées est un procédé de distillation dans lequel l'eau est la substance volatile et qui laisse un résidu devant être évacué. Ce procédé vise à réduire le volume des eaux usées ou à concentrer des liqueurs mères. Le flux volatil est collecté dans un condenseur et l'eau condensée est recyclée, après traitement éventuel.

Réaliser le procédé sous vide permet de réduire la température d'ébullition et de recycler les substances qui sinon se décomposeraient.

Il existe de nombreux types d'évaporateurs. Leur applicabilité est propre à chaque cas.

Quelques exemples d'évaporateurs :

- les évaporateurs à circulation naturelle, qui conviennent pour les matières qui résistent à la chaleur
- les évaporateurs à tubes verticaux courts, qui conviennent pour les liqueurs non corrosives ou non cristallisantes
- les évaporateurs à panier, dont l'application est identique aux évaporateurs à tubes verticaux courts
- les évaporateurs à film tombant, utilisés dans l'industrie des engrais pour concentrer l'urée, l'acide phosphorique, le nitrate d'ammonium, etc.
- les évaporateurs à couche mince agités, utilisés pour la concentration, le fractionnement, la désodorisation et le stripping dans la production de produits pharmaceutiques, de polymères, et de produits chimiques organiques et inorganiques

Les évaporateurs sont généralement utilisés en série, ce qui permet de la chaleur de condensation d'une étape donnée de chauffer le condensat (c'est-à-dire les eaux usées) de l'étape précédente. Réaliser le procédé sous vide minimise la consommation d'énergie. Les conditions normales de fonctionnement sont de 12-20 kPa et de 50-60 °C.

Des installations de stockage doivent être prévues pour les résidus avant leur évacuation ou leur recyclage.

Application

L'évaporation est employée lorsque des flux d'eaux usées concentrés sont nécessaires ou recommandés, par exemple :

- pour concentrer des liqueurs mères et les liqueurs provenant du lavage des effluents gazeux afin de recycler des substances utiles
- pour évaporer et cristalliser des solides, pour les récupérer ou les éliminer des eaux usées
- comme prétraitement afin de concentrer le flux résiduaire avant utilisation thermique, incinération ou évacuation en tant que déchet dangereux

Le fonctionnement des unités d'évaporation doit être tel que l'énergie thermique nécessaire est issue de l'exploitation de la chaleur résiduaire des procédés de production [cww/tm/82].

Lorsque la récupération est le but du procédé, une étape de prétraitement est nécessaire avant de pouvoir démarrer le procédé d'évaporation. Quelques exemples de prétraitement :

- ajout d'acides, de bases, etc. pour diminuer la volatilité des composés moléculaires

- séparation des phases liquides libres insolubles, par exemple l'huile
- procédés physicochimiques de séparation des métaux lourds et/ou autres solides

Dans le cas où le concentré n'est pas recyclé, un traitement supplémentaire après l'évaporation (incinération, par exemple) est nécessaire.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Encrassement	Les échangeurs de chaleur ont tendance à s'encrasser.
Corrosion	Le corps de l'évaporateur et le(s) échangeur(s) de chaleur sont vulnérables aux substances corrosives.
Substances	Les substances moussantes et les particules en suspension et colloïdales perturbent le procédé ; les substances organiques/inorganiques volatiles s'évaporent aussi.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Récupération de matière possible. • Permet l'élimination des composés organiques réfractaires et/ou toxiques des eaux usées. • Réduit la quantité d'eaux usées. • Réduit la quantité et le volume de déchets dangereux. 	<ul style="list-style-type: none"> • S'ils ne peuvent pas être recyclés, les résidus doivent être évacués, par incinération le plus souvent. • Des polluants volatils polluent le condensat (ce qui entraîne un traitement supplémentaire) ou sont émis sous forme d'effluent gazeux. • Procédé sensible à l'encrassement, à la corrosion et à la présence de mousse. • Forte consommation d'énergie.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Remarques
Polluants	99 ¹	Condensat non recyclé
¹ [cww/tm/128]		

Impacts croisés

L'évaporation est en principe un procédé sans eaux résiduelles, car le condensat est recyclé, avec ou sans traitement supplémentaire, et le concentré est recyclé ou évacué en tant que déchet, par incinération par exemple.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Produits chimiques pour le prétraitement	
Vapeur (pour chauffer)	5-16 kg d'eau/kg de vapeur
Énergie [kWh/m ³]	

Surveillance

L'entretien correct des échangeurs de chaleur est un point fondamental. L'entartrage, l'encrassement et la corrosion perturbent le transfert de chaleur vers le liquide et diminuent le rendement énergétique.

La concentration des polluants, ou d'autres paramètres (COT, pH, conductivité, etc.), dans le condensat doivent être contrôlés en continu afin d'empêcher le transfert de polluants.

Aspects économiques

Les coûts sont les suivants :

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation	100-2 000 BEF par m ³ de condensat ¹	
¹ [cww/tm/128]		

3.3.4.2.14 Stripping

Description

Le stripping des eaux usées est une opération qui consiste à mettre en contact les eaux usées avec un important flux de gaz afin de transférer les polluants volatils de la phase aqueuse vers la phase gazeuse. Les polluants sont extraits du gaz de stripping pour les recycler dans le procédé et les réutiliser. Les composés organiques et inorganiques volatils sont transférés des eaux usées vers l'effluent gazeux, par une augmentation significative de la surface d'eaux polluées exposée. Toutefois, l'évaporation de l'eau abaisse la température des eaux usées, diminuant ainsi la volatilité des polluants.

Les gaz utilisés sont l'air et la vapeur :

- le stripping à l'air peut être réalisé avec ou sans chauffage de la colonne de stripping, laquelle est utilisée pour les composés très volatils ou vulnérables. L'énergie nécessaire au chauffage est généralement fournie en utilisant la chaleur produite par les procédés.
- le stripping à la vapeur constitue une alternative au stripping à l'air ; il est employé avec les composés moins volatils et/ou moins vulnérables. La vapeur est généralement fournie par un système de production de vapeur déjà existant sur le site ou en utilisant de la chaleur résiduaire. S'il n'y a pas de système de production de vapeur sur le site, le stripping à la vapeur n'est peut être pas une solution économiquement intéressante.

Les installations de stripping les plus courantes sont :

- la tour à garnissage, avec des gicleurs au sommet afin de distribuer les eaux usées sur le garnissage à travers lequel le gaz de stripping circule à contre-courant ; un puisard se trouve à la base pour collecter les eaux dépolluées. Il peut être équipé d'un réchauffeur d'air (pour le stripping à l'air), d'un système de contrôle automatisé et d'un système de contrôle des émissions atmosphériques (unité à CAG, unité d'oxydation catalytique ou incinérateur).
- le bassin de stripping, dans lequel les composés volatils sont rectifiés par un gaz bouillonnant (air ou vapeur) dans un réservoir d'acheminement des eaux usées.

L'unité est composée des éléments suivants :

- un bassin de tampon pour les eaux usées
- un bassin de prétraitement pour le réglage du pH
- une ou plusieurs colonnes de stripping, qui fonctionnent à contre-courant
- un préchauffeur pour l'alimentation, qui récupère la chaleur du condenseur de vapeur de stripping en aval

- un condenseur à refroidissement par air ou par eau
- des installations en aval pour le traitement des gaz

Les strippeurs peuvent fonctionner en continu ou en discontinu, ce dernier mode de fonctionnement permettant de garantir des performances constantes et un plus grand rendement énergétique que le mode de fonctionnement continu.

L'élimination des polluants volatils de la phase gazeuse qui s'ensuit peut être réalisée par :

- adsorption sur CAG, zéolites ou résines synthétiques
- absorption par solvant non aqueux puis désorption
- absorption par solutions aqueuses, par exemple des acides forts (pour absorber l'ammoniac)
- condensation ou condensation partielle, puis traitement supplémentaire
- oxydation thermique ou catalytique

Un exemple de procédé de stripping, le stripping à l'air et à la vapeur de l'ammoniac, est illustré à la figure 3.26 [cww/tm/78].

Ammonia Stripping	Stripping de l'ammoniac
Stripping column	Colonne de stripping
Steam, air	Vapeur, air
NaOH, Ca(OH) ₂	NaOH, Ca(OH) ₂
Influent stream	Influent
Buffer tank	Bassin tampon
Alkalisisation	Alcalinisation
Stripped water	Eau traitée
Hiflow-rings	Anneaux Hiflow
NH ₃ -Incineration	NH ₃ -Incinération
NH ₃ -Concentration	NH ₃ -Concentration
NH ₃ -Adsorption	NH ₃ -Adsorption

Figure 3.26 : stripping de l'ammoniac, stripping à l'air et à la vapeur

Application

Le stripping est employé pour séparer les polluants volatils de l'eau, par exemple :

- les hydrocarbures chlorés comme le trichloroéthène, le tétrachloroéthène, le trichlorométhane, le dichloroéthane, le trichloroéthane
- l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène ; leur volatilité étant fortement dépendante de la température et du pH, le contrôle du pH est fondamental (pH >9,5 avec l'ammoniac, pH 2-3 avec le sulfure d'hydrogène).
- l'ammoniac et le sulfure d'hydrogène simultanément, dans une unité de stripping à deux étages [cww/tm/149]
- les solvants organiques, l'essence, le diesel, les aromatiques légers, le phénol, les mercaptanes

Le choix entre le stripping à l'air ou à la vapeur dépend :

- de la vulnérabilité des polluants
- de la nécessité de récupérer ou non les polluants
- de la disponibilité de vapeur sur le site
- des conditions de sécurité (le problème ne se pose que pour les charges de COV élevées), etc.

Limites et restrictions d'application :

	Limites d'application
Encrassement	Les échangeurs de chaleur ont tendance à s'encrasser
Solides en suspension	<5 ppm

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Capacité d'épuration élevée. Récupération de matière possible. Faible chute de pression. Faible consommation d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> Dans certaines conditions (fer >5 mg/l, dureté de l'eau >800 mg/l), forte propension à l'encrassement (strippers d'eaux acides dans les raffineries, par exemple), d'où injection d'agents antidépôt nécessaire. Le gaz de stripping doit être traité. Nettoyage fréquent de la colonne obligatoire.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]		Niveaux d'émission [mg/l]		Remarques
	Air	Vapeur	Air	Vapeur	
Ammoniac			<5 ¹		Raffineries : concentrations d'alimentation faibles et conditions optimales (exemple : stripping des eaux acides)
		99 ²		<50 ²	Alimentation 10 g/l
	>92 ⁴		70 ⁴		Filtrat du traitement des boues activées, alimentation 500-1 200 mg/l, vitesse d'alimentation 19-24 m ³ /h
NH ₄ -N				5 ³	Raffineries : procédé à deux étages, alimentation 1 372 mg/l de NH ₄ -N ^a
N inorganique total				7 ³	Raffineries : procédé à deux étages, alimentation 1 373 mg/l N inorg. total .
Composés organiques volatils	99 ¹				Vitesse d'alimentation 1 m ³ /h, concentration 2 g/l (dichlorométhane, trichlorométhane, benzène, toluène, xylène, esters, éthers)
Méthanol		97			Vitesse d'alimentation 3,4 m ³ /h, concentration 36 g/l
Chlorométhane				<1 ¹	Vitesse d'alimentation 6 m ³ /h, concentration >200 mg/l
Dichlorométhane		99 ¹			Vitesse d'alimentation 4 m ³ /h, concentration 5 g/l
Tétrachlorométhane	90-98 ²				Tour à garnissage, air/eau 5-35:1
1,2-dichloroéthane	65 ²				Tour à garnissage, air/eau 35:1
Trichloroéthène	69-92 ²				Tour à garnissage, air/eau 4-30:1
	90 ²				Aération par pulvérisation
Tétrachloroéthène	95 ²				Tour à garnissage, air/eau 5:1
	90 ²				Aération par pulvérisation
Méthylal		99 ¹			Vitesse d'alimentation 4 m ³ /h, concentration 30 g/l
Hydrocarbures				1,1 ³	Raffineries : procédé à deux étages,

					alimentation 98 mg/l d'hydrocarbures
BTX		>99 ¹			Vitesse d'alimentation 400 m ³ /h, concentration 500-1 000 mg/l de BTX
Sulfure d'hydrogène			<20		Raffineries : stripping des gaz acides
Mercaptanes			<20		Raffineries : stripping des gaz acides
Phénols		99-99,6 ⁵		50-200 ⁵	Alimentation 7-8 m ³ /h, concentration 20-40 g/l
				0,1 ³	Raffineries : procédé à deux étages, alimentation 182 mg/l de phénols
Sulfure				0,5 ³	Raffineries : procédé à deux étages, alimentation 1 323 mg/l de sulfure
DCO				37 ³	Raffineries : procédé à deux étages, alimentation 14 400 mg/l de DCO
^a solution d'ammoniacale à 10 % issue du stripping et utilisée pour l'élimination des NO _x dans une autre installation ¹ [cww/tm/82] ² [cww/tm/27] ³ [cww/tm/149] ⁴ [cww/tm/146] ⁵ [cww/tm/96]					

Impacts croisés

Le stripping n'est pas utilisé seul. Il nécessite au moins un traitement des gaz en aval. Les substances volatiles extraites sont soit recyclées dans un procédé de production, soit traitées (lavage, adsorption, oxydation thermique ou catalytique). De manière générale, le traitement des gaz de stripping est une étape essentielle qui se révèle être parfois plus compliquée que le stripping lui-même. Pour obtenir un traitement global efficace, il est nécessaire que l'étape de stripping et l'étape de traitement des gaz de stripping soient soigneusement ajustées l'une par rapport à l'autre.

Si les niveaux d'émission atteints pour les eaux usées ne sont pas satisfaisant (voir les niveaux d'émission pouvant être atteints), un traitement supplémentaire en aval doit être effectué.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	
	Stripping à l'air	Stripping à la vapeur
Produits chimiques pour régler le pH (acide, soude caustique, chaux)	stœchiométrique	stœchiométrique
Agents antidépôt		
Vapeur		0,1-0,3 tonne/m ³ 1,2
Énergie [kWh/m ³]		680 ^{3b}
électricité	1,8 ^{4a}	
gaz (chauffage) [m ³ de gaz/m ³ d'eau]	0,5 ⁴	
^a équipements à moteur (pompes et circuits d'aération) ^b production de vapeur comprise ¹ [cww/tm/27] ² [cww/tm/82] ³ [cww/tm/96] ⁴ [cww/tm/146]		

Surveillance

Les paramètres à contrôler sont :

- le pH, en particulier en présence d'ammoniac ou de sulfure d'hydrogène
- l'alimentation
- la pression
- la température
- le niveau de liquide
- le taux de reflux de la colonne

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts		Remarques
	Air	Vapeur	
Coûts de capital	4 millions BEF ¹		100 m ³ /h
		80 millions BEF ¹	50 m ³ /h
	4,0-5,3 millions EUR ²		Raffineries : strippeur d'eaux acides, 30-32 m ³ /h
		200 000-300 000 GBP ³	50 m ³ /h
Coûts d'exploitation	200 BEF/m ³ ¹	200 BEF/m ³ ¹	
¹ [cww/tm/128] ² [cww/tm/48] ³ [cww/tm/92]			

3.3.4.2.15 Incinération des eaux usées

Description

L'incinération des eaux usées se définit comme l'oxydation par l'air des polluants organiques et inorganiques des eaux usées, et l'évaporation simultanée de la phase aqueuse, à pression atmosphérique et avec une température comprise entre 730 et 1 200°C. La température peut être inférieure si des catalyseurs sont utilisés. Dans l'industrie chimique, l'incinération des eaux usées est souvent réalisée de façon centrale ou comme co-incinération dans des installations de combustion des déchets. Les produits de la réaction sont le dioxyde de carbone, l'eau et d'autres composés inorganiques (oxydes d'azote, oxydes de soufre, halogénures d'hydrogène, phosphates, composés de métaux lourds) en fonction des polluants présents.

L'incinération des eaux usées n'est auto-entretenu que si la charge organique est suffisante pour assurer l'apport énergétique nécessaire à la vaporisation et au chauffage de l'eau (DCO >50 g/l). Si la charge organique est faible, l'installation d'incinération nécessite l'utilisation de combustible complémentaire pour fonctionner. Il est possible de réduire la quantité d'énergie supplémentaire en réduisant la teneur en eau, par exemple grâce à un procédé d'évaporation en amont (voir section 3.3.4.2.13) en utilisant la chaleur résiduaire. L'installation d'une chaudière est une solution pratique pour générer de la vapeur à partir de la chaleur de la combustion, laquelle peut être utilisée pour le procédé d'évaporation [cww/tm/132].

Les installations d'incinération des eaux usées sont soit des chambres de combustion classiques, soit des incinérateurs à lit fluidisé. Les matériaux de fabrication de l'installation doivent être extrêmement résistants à la corrosion et avoir une très grande stabilité. Les chambres de combustion sont généralement en céramique.

L'incinération des eaux usées peut aussi se faire dans une installation de combustion des déchets traditionnelle, les eaux usées étant considérées comme une alimentation additionnelle. Un

prétraitement peut être requis afin d'éliminer les particules dépassant une certaine taille pour éviter que l'obstruction du gicleur.

Application

L'oxydation est utilisée pour les eaux usées contenant des composés difficilement biodégradables, qui risquent de perturber le procédé biologique d'une station d'épuration située en aval, ou trop dangereux pour être rejetés dans un réseau d'assainissement normal. Ces composés peuvent être :

- des résidus aqueux de la production de colorants
- des résidus aqueux de la production de caoutchouc, contenant de très grandes charges de sel
- des extraits aqueux de la production de pesticides
- des résidus aqueux de la production de polyester

L'incinération des eaux usées est préférée aux autres techniques de traitement dont le but est le même, lorsque celles-ci ne fonctionnent pas ou ne sont pas économiquement viables. Cette technique convient particulièrement dans les cas suivants [cww/tm/132] :

- les constituants organiques ne peuvent pas être réutilisés ou leur recyclage n'est pas rentable
- les polluants constituent un mélange de composés dont à la fois la concentration et les proportions varient constamment
- outre le contenu organique, il y a une quantité très élevée de composés inorganiques
- les eaux usées sont faiblement biodégradables ou toxiques
- la teneur en sel est trop élevée pour un traitement biologique ou ce procédé peut être envisagé seulement après une très grande dilution
- l'incinération permet le recyclage de substances de base indestructibles, par exemple les sels, ou elle génère des produits utiles

Le débit des flux d'eaux usées qui peuvent être incinérés est compris entre 2 et 30 m³/h avec des concentrations en DCO comprises entre 50 000 et 100 000 mg/l. Les concentrations inférieures nécessitent l'ajout de combustible complémentaire.

Les eaux usées dont la chaleur de combustion est faible peuvent être injectées dans des fours rotatifs pour co-combustion avec des déchets.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Halogènes, soufre	La présence d'halogènes et de soufre nécessite un traitement particulier des gaz de combustion.
Température de combustion	La quantité d'oxydes d'azote augmente avec la température de combustion.
Matières solides et sels	Peuvent obstruer les injecteurs, c'est pourquoi un équipement approprié est nécessaire.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Élimination de presque tout le contenu organique, même si la teneur est élevée. • Élimination des polluants également possible si la concentration en sels est élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les concentrations organiques faibles nécessitent d'ajouter du combustible. • Les déchets solides (mâchefers et cendres volantes) doivent être évacués. • L'incinération des composés soufrés ou

<ul style="list-style-type: none"> La chaleur résiduaire peut être utilisée. 	halogénés peut nécessiter un traitement des gaz de combustion produisant des eaux usées et des déchets solides.
---	---

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/l]	Remarques
COT	>99 ¹		
COV	92 ²	30 ²	Alimentation 375 mg/l, incinération catalytique
¹ [cww/tm/82]			
² [cww/tm/96]			

Les niveaux d'émission et les taux de performance pouvant être atteints indiqués dans le tableau se rapportent à un flux d'eaux usées traité par incinération. Les émissions atmosphériques et les rejets d'eaux usées provenant du lavage des gaz extraits sont réglementés par la directive 2000/76/CE sur l'incinération des déchets [cww/tm/155] aux annexes II, IV et V. D'autres informations sont disponibles dans le BREF sur l'incinération des déchets.

Impacts croisés

L'incinération des eaux usées produit des effluents gazeux (gaz de combustion pouvant contenir du HCl, des SO_x, des NO_x, etc.) qui, en fonction de leurs compositions, peuvent nécessiter un traitement supplémentaire, ce qui génère des eaux usées et des déchets solides supplémentaires. Lorsque le procédé n'est pas autothermique, il est nécessaire d'ajouter du carburant. Par ailleurs, lorsque la chaleur résiduaire ne peut pas être récupérée ou réutilisée, de la chaleur est rejetée dans l'environnement.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Combustible additionnel (teneur en COT faible) ^a	4,5 kg/m ³ d'eaux usées 12,5 kg/kg de COV ¹
Énergie [kWh/m ³] ^b	0,09 ¹
^a mazout domestique, teneur organique 375 mg/l, incinération catalytique	
^b énergie électrique pour les pompes, les brûleurs, etc.	
¹ [cww/tm/96]	

Surveillance

Tout au long du procédé, un contrôle rigoureux des paramètres de fonctionnement est nécessaire, notamment de la teneur en oxygène, de la température, ainsi que de la teneur en oxyde de soufre, en oxyde d'azote, en halogénures d'hydrogène et en poussières, pour garantir un fonctionnement optimal.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation	2,4 FIM/m ³ 6,6 FIM/kg de COV ¹	8 m ³ /h, concentration de VOC 375 mg/l, incinération catalytique

¹ [cww/tm/96]

3.3.4.3 Traitement biologique des polluants biodégradables solubles

Dans l'industrie chimique, la production et le traitement des substances organiques constituent la chaîne de production principale. C'est pourquoi la majeure partie des eaux usées de l'industrie chimique est chargée en polluants organiques plus ou moins biodégradables et plus ou moins adaptés aux techniques de traitement biologique. Les substances qui risquent de perturber la dégradation biologique doivent être éliminées en amont (voir section 3.3.4.2).

Le traitement biologique se définit comme la dégradation des substances organiques dissoutes par des micro-organismes (bactéries) utilisés comme agents d'oxydation. L'azote et le phosphore organiques se transforment respectivement en ion ammonium et en phosphate. La biodégradabilité d'un flux d'eaux usées peut être évaluée empiriquement au moyen du rapport DBO/DCO (avant traitement) :

- DBO/DCO <0,2 : eaux usées peu dégradables
- DBO/DCO compris entre 0,2 et 0,4 : moyennement à plutôt dégradables
- DBO/DCO >0,4 : dégradables

Il existe trois types de procédés métaboliques :

- les procédés aérobies, utilisant de l'oxygène dissous
- les procédés anoxiques, utilisant la réduction biologique de donneurs d'oxygène
- les procédés anaérobies, sans apport d'oxygène

Les principales caractéristiques de ces procédés métaboliques, dans le cadre du traitement des eaux usées, sont répertoriées dans le tableau 3.8 [cww/tm/132].

Paramètre	Anaérobie	Anoxique	Aérobie
Oxygène dissous (OD) [mg/l]	0	0	>0
Consommation d'énergie	faible	faible	élevée
Production de boues	faible	élevée	élevée
Sensibilité aux substances toxiques	élevée	faible	faible
Rendement d'épuration de la DCO	<85 % ^a	variable, en fonction de la dénitrification	>85 %
Rendement d'épuration de l'azote	0	45-90 % (nitrification préalable nécessaire)	0
Applicabilité comme prétraitement	oui	oui	oui
Applicabilité comme traitement final	non	non	oui
^a valeur usuelle ; peut être supérieure pour certaines applications (voir section 3.3.4.3.1, Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteint)			

Tableau 3.8 : paramètres spécifiques des procédés anaérobies, anoxiques et aérobies

La comparaison du bilan carbone des procédés aérobie et anaérobie est illustrée à la figure 3.27 [cww/tm/132].

Org. carbon in raw effluent 100%	Carbone organique dans l'effluent brut : 100 %
Carbon in CO ₂ ~50%	Carbone dans le CO ₂ : environ 50 %
Carbon in sludge ~50%	Carbone dans les boues : environ 50 %
Carbon in biogas 90-95%	Carbone dans le biogaz : 90-95 %
Residual org. carbon in treated effluent 1-5%	Carbone organique résiduel dans l'effluent traité : 1-5 %

Residual org. carbon in excess sludge 1-5%	Carbone organique résiduel dans les boues excédentaires : 1-5 %
--	---

Figure 3.27: bilans carbone de la dégradation microbologique aérobie (A) et anaérobie (B) des composés organiques

L'un des avantages du traitement biologique des eaux usées, quel que soit le procédé métabolique employé, est l'adaptabilité plus ou moins rapide des micro-organismes à une grande variété de nutriments.

Les techniques de traitement biologique courantes dans l'industrie chimique sont développées dans les sections suivantes.

3.3.4.3.1 Traitement anaérobie

Description

Le traitement anaérobie des eaux usées convertit le contenu organique, au moyen de micro-organismes et sans apport d'air, en divers produits tels que le méthane, le dioxyde de carbone, le sulfure, etc. Le biogaz est constitué d'environ 70 % de méthane, 30 % de dioxyde de carbone ainsi que d'autres gaz comme l'hydrogène et le sulfure d'hydrogène [cww/tm/128]. Le procédé est réalisé dans un réacteur agité hermétique où les micro-organismes sont retenus sous forme de biomasse (boues).

Il existe plusieurs types de réacteur. Les plus utilisés sont les suivants :

- le réacteur de contact anaérobie (RCA)
- le réacteur anaérobie à par lit de boues en flux ascendant (UASB)
- le réacteur à lit fixe
- le réacteur à lit fluidisé

Dans le procédé par contact anaérobie (PCA), les eaux usées sont mélangées aux boues recyclées, puis digérées dans un réacteur hermétique. Le mélange eaux usées/boues est séparé à l'extérieur (par décantation, voir section 3.3.4.1.2, ou par flottation par le vide, voir section 3.3.4.1.3) et le surnageant est évacué pour subir un traitement supplémentaire. La boue anaérobie est recyclée dans le réacteur [cww/tm/4].

Un schéma synoptique est présenté à la figure 3.28.

Gas	gaz
Feed	alimentation
Sludge settling	boues décantées

Figure 3.28 : procédé par contact anaérobie

Dans le **procédé UASB**, les eaux usées sont introduites par le fond du réacteur et remontent à travers un lit de boues composé de particules ou de granules biologiques. Les gaz produits provoquent le mélange du volume d'eaux usées. La phase contenant les eaux usées passe dans un décanteur dans lequel le contenu solide est séparé ; les gaz sont collectés par des dômes au sommet du réacteur [cww/tm/4]. Le principe est illustré à la figure 3.29 [cww/tm/132].

Influent	Influent
Effluent	Effluent
Gas	Gaz
Settler	Décanteur

Sludge bed	Lit de boues granuleuses
Sludge blanket	Lit de boues granuleuses fluidisées

Figure 3.29 : représentation schématique du procédé UASB

- a) arrivée boues-liquide
- b) écrans d'acheminement des gaz
- c) ouverture de retour des boues décantées

Dans le **procédé par filtre anaérobie** ou **à lit fixe**, les eaux usées s'écoulent vers le haut ou vers le bas (selon la teneur en solides de l'influent) à travers une colonne contenant divers types de matériaux solides qui retiennent les micro-organismes anaérobies et sur lesquelles ils croissent [cww/tm/4].

Dans le **procédé à lit fluidisé**, les eaux usées sont pompées vers le haut à travers un lit composé d'un milieu approprié (sable, charbon, polyéthylène, etc.) et sur lequel une croissance biologique a été développée dans un biofilm. L'effluent est recyclé pour diluer l'influent d'eaux usées et pour fournir un flux approprié pour maintenir le lit dans des conditions de fluidisation [cww/tm/4].

L'excès de biomasse est éliminé de la surface et traité après le bioréacteur. La recirculation des boues est inutile étant donné que le support du biofilm assure une concentration élevée de la biomasse à l'intérieur du réacteur. L'avantage de ce traitement anaérobie est son encombrement réduit pour des performances équivalentes. Le système est plus résistant aux pics de charge provisoires, ce qui risquerait autrement d'engendrer des rejets toxiques.

Pour améliorer l'efficacité du traitement anaérobie, une variante à deux étapes est utilisée, comme illustré à la figure 3.30.

Fatty acids	Acides gras
Sugar	Sucre
Amino acids	Acides aminés
Alcohols	Alcools
Lactic acid	Acide lactique
Small fatty acids	Acides gras à chaînes courtes
Outlet	Sortie
CH ₄ , CO ₂	CH ₄ , CO ₂
Acidogeni bacteria	Bactéries acidogènes
Acetogenic, methanogenic bacteria	Bactéries acétogènes et méthanogènes
pH 4-7	pH 4-7
pH 6.5-7	pH 6,5-7

Figure 3.30 : présentation schématique d'un traitement anaérobie à deux étapes

Application

Le traitement anaérobie des eaux usées est principalement utilisé comme prétraitement des eaux usées caractérisées par une charge organique élevée (>2 g/l) et une qualité plus ou moins constante [cww/tm/132]. Elle s'applique surtout dans les secteurs avec des effluents homogènes présentant des charges de DBO élevées.

Le traitement anaérobie des eaux usées industrielles a pris beaucoup d'importance ces dernières années du fait de l'augmentation des coûts énergétiques et des problèmes relatifs à l'évacuation des boues excédentaires que les procédés aérobies produisent. Les efforts portent actuellement sur une épuration maximale des polluants organiques sans avoir recours à des sources d'énergie externes, en profitant du biogaz produit. Dans ce cas, le niveau de pureté recherché est obtenu au final avec l'aide d'une clarification biologique aérobie supplémentaire [cww/tm/132].

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Température	20-40 °C
pH	6,5-7,5, un pH supérieur à 8 arrête le procédé de formation du méthane.
Substances toxiques	Éviter les substances toxiques car procédé fragile.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Faible consommation d'énergie par rapport au procédé aérobie. Production de gaz très énergétique, pouvant convenir pour une utilisation locale comme combustible de faible qualité. Par rapport au procédé aérobie, la quantité de boues de clarification est faible (un dixième du procédé aérobie) ; voir figure 3.27. En présence de sulfate ou de composés organiques soufrés, les composés de métaux lourds sont convertis en sulfures, puis précipitent. Pas de formation d'aérosols ni de stripping des substances volatiles (contrairement au procédé aérobie). 	<ul style="list-style-type: none"> Très sensible aux substances toxiques. La présence de telles substances peut augmenter la quantité de boues activées à rejeter. Production possible d'effluents gazeux toxiques, inflammables et odorants. Démarrage très lent. Le taux de performance n'est pas suffisant pour que ce procédé soit utilisé comme traitement final (épuration de DCO généralement <85 %), c'est pourquoi un traitement supplémentaire est nécessaire.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Procédé	DCO en entrée [g/l]	Temps de séjour [h]	Charge organique [kg/(m ³ j)]	Epuration de la DCO [%]
PCA ¹	1,5-5	2-10	0,48-2,40	75-90
UASB ¹	5-15	4-12	4,00-12,0	75-85
Lit fixe ¹	10-20	24-48	0,96-4,81	75-85
Lit fluidisé ¹	5-10	5-10	4,81-9,62	80-85
¹ [cww/tm/4]				

Le taux de performance d'épuration de la DCO est fortement dépendant de la biodégradabilité des substances organiques à l'origine de la teneur en DCO. C'est pourquoi il est essentiel pour un traitement anaérobie, ainsi que pour tous les traitements biologiques, d'éviter autant que possible l'introduction d'eaux usées non dégradables.

Associé à un traitement aérobie en aval, on obtient les taux de performance globale suivants :

Paramètre	Taux de performance [%]
DBO	99-99,8
DCO	95-97

Impacts croisés

En règle générale, les procédés anaérobies sont utilisés comme étapes préliminaires biologiques pour les fortes charges avant un traitement biologique (aérobie). L'avantage d'un prétraitement anaérobie est la faible quantité de boues activées excédentaires produite au cours du procédé (environ 10 % par rapport à la quantité de boues activées produite par un procédé aérobie). Ainsi, la majeure partie de la charge organique dégradable (75-85 %) est éliminée en produisant seulement 10 % de la quantité de boues excédentaires produite normalement (c'est-à-dire avec un procédé aérobie). En d'autres termes, par rapport à un procédé aérobie, seulement 10 % de déchets sont à évacuer.

Le procédé de dégradation anaérobie produit un mélange de méthane et de dioxyde de carbone selon un ratio 1-3 / 1, c'est-à-dire un gaz combustible à pouvoir calorifique élevé et qui est généralement utilisé à la place du combustible ou dans d'autres installations de production d'énergie. Par rapport aux procédés aérobies, la consommation en énergie est beaucoup plus faible, car il n'y a pas besoin d'énergie pour l'alimentation en air ou en oxygène du réacteur, mais seulement pour assurer une agitation efficace. De manière globale, cela contribue à la réduction des émissions de dioxyde de carbone.

À cause de l'émission de gaz combustible et de la formation de métabolites tels que les acides carboxyliques à chaîne courte, il est nécessaire d'utiliser un équipement hermétique afin d'éviter les odeurs. Le traitement en aval des odeurs est fondamental.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Produits auxiliaires (pour la décantation, la flottation, etc.)	
Énergie [kWh/m ³]	

Surveillance

La surveillance d'une station d'épuration biologique est illustré à l'annexe 7.3.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital	120 millions BEF ¹	Réacteur UASB, 25 m ³ /h, DCO brute 30 g/l
	3,5 millions NLG ²	206 m ³ /j, charge de DCO brute 7 300 kg/j ou 35 g/l
Coûts d'exploitation	40 BEF/m ³ ¹	Réacteur UASB, 25 m ³ /h, DCO brute 30 g/l
	0,3 NLG/m ³ ² [20 000 NLG/an]	206 m ³ /j, charge de DCO brute 7 300 kg/j ou 35 g/l
Avantages (biogaz)	210 000 NLG/an ²	206 m ³ /j, charge de DCO brute 7 300 kg/j ou 35 g/l
	1,5 million NLG/an ²	Comparé à l'incinération des boues excédentaires
¹ [cww/tm/128]		
² [cww/tm/100]		

La réduction des polluants organiques va de pair avec la production de biogaz, utilisable comme combustible, et la réduction importante de la quantité de boues excédentaires. À condition que le biogaz puisse être utilisé, les aspects économiques et écologiques deviennent interdépendants, c'est-à-dire que ces deux domaines sont gagnants à long terme, pour l'association traitement anaérobie et traitement aérobie final d'une charge faible si on la compare à un traitement aérobie final d'une charge élevée avec les coûts qui lui sont liés (incinération des boues ou rejet dans des décharges).

3.3.4.3.2 Élimination biologique des composés soufrés et des métaux lourds

Description

L'élimination biologique des métaux lourds et des composés du soufre est une application particulière du traitement anaérobie. C'est un procédé en trois étapes. Celles-ci sont :

- la réaction biologique du sulfate, ou autres composés du soufre oxydé, en sulfure, au moyen de bactéries sulfatoréductrices,
- la réaction des ions de métaux lourds avec le sulfure, puis la précipitation des sulfures de métaux lourds formés,
- une deuxième réaction biologique destinée à éliminer l'excès de sulfure et à le convertir en soufre.

Le procédé se base sur la solubilité plus faible des sulfures de métaux lourds par rapport à celle des hydroxydes correspondants.

Un exemple d'une unité de traitement est illustré à la figure 3.31.

UASB reactor	Réacteur UASB
FFR	RFF
TPS	DPO
Influent	Influent
Bio-gas handling	Captation du biogaz
Ventilation air handling	Captation de l'air de ventilation
SF	FS
Air	Air
Zinc sulphide	Sulfure de zinc
Sulphur	Soufre
Solids to zinc plant	Acheminement des solides vers l'installation destinées au zinc
Effluent	Effluent
Ethanol	Éthanol
Nutrients	Nutriments
Flocculant	Floculant

UASB : procédé anaérobie par lit de boues en flux ascendant

RFF : réacteur à film fixe

DPO : décanteur à plaques ondulées

FS : filtre à sable

Figure 3.31 : schéma de procédé d'une installation de réduction biologique du sulfate et des métaux lourds

Les principaux éléments sont les suivants :

- le réacteur UASB, dans lequel se produit la réduction biologique du sulfate en sulfure,
- le système de captation du biogaz, pour utiliser ou contrôler les effluents gazeux provenant du réacteur UASB,
- le réacteur à film fixe, dans lequel le sulfure est converti, en aérobie, en soufre, les bactéries étant fixées sur un support,
- le décanteur à plaques ondulées, pour séparer le soufre,
- l'installation de traitement finale, par exemple un filtre à sable en continu.

Le procédé biologique nécessite des électrodonneurs, en général fournis par la DCO des eaux usées. Si cela ne suffit pas, des électrodonneurs doivent être ajoutés. Ces électrodonneurs peuvent être :

- de l'hydrogène

- de l'amidon
- de l'éthanol
- de l'acide formique
- des esters ou des sels d'acétate
- des esters ou des sels de propionate
- du lactate

Outre ces substances chimiques, des résidus peuvent servir d'électrodonneurs, notamment :

- la poussière de bois
- la mélasse

S'il est nécessaire de neutraliser l'influent, il est possible de faire recirculer une partie des eaux résiduaires en sortie du décanteur à plaques ondulées ou du filtre à sable puisque la conversion du sulfure en soufre augmente l'alcalinité.

La captation du biogaz issu du réacteur UASB et de l'air de ventilation du réacteur à film fixe évite l'émission d'odeurs.

Application

Ce traitement biologique peut être appliqué à tous les flux d'eaux usées contenant une grande quantité de sulfate. S'il est tout à fait possible d'éliminer le sulfate en l'absence de composés de métaux lourds, à l'inverse, l'élimination des métaux lourds nécessite la présence suffisante de sulfate pour fournir la quantité de sulfure nécessaire à la précipitation. La présence de suffisamment de DCO permet d'améliorer les performances. Cette technique peut notamment être appliquée aux eaux usées issues de la production de viscose, où le zinc, le sulfate et le sulfure sont les principaux polluants.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Temps de séjour	6 h pour un réacteur UASB ¹
Taux DCO/sulfate	1 : 1 ; si la teneur en DCO est trop faible, des électrodonneurs doivent être ajoutés
Dosage du floculant dans le décanteur à plaques ondulées (élimination du soufre)	Le dosage du floculant doit être parfaitement adapté au décanteur pour que le fonctionnement soit stable
¹ [cww/tm/101]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Traitement du sulfate sans ajout d'additifs de précipitation. • Élimination simultanée des métaux lourds et du sulfate possible. • Les métaux lourds sont séparés des eaux usées sous forme de sulfures qui peuvent être réutilisés. • La solubilité des sulfures métalliques est inférieure à celle des hydroxydes correspondants, ce qui permet de satisfaire à des exigences plus élevées quant à la qualité de l'effluent. • Le procédé produit en fin de chaîne du soufre qui peut être utilisé comme matière première en production (par 	<ul style="list-style-type: none"> • Il est souvent nécessaire d'ajouter de la DCO pour servir d'électrodonneur, ce qui augmente les coûts d'exploitation. • Les sulfures métalliques se mélangent aux boues biologiques dans le réacteur UASB. • L'élimination des métaux lourds sans présence de sulfate est impossible.

<p>exemple, production d'acide sulfurique) ou récupéré.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La DCO et le nitrate peuvent également être éliminés. • Le procédé est stable, c'est pourquoi les variations et les perturbations du flux d'eaux usées n'ont qu'une faible incidence sur son efficacité. 	
---	--

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/l]	Remarques
Zinc	99,8 ¹	0,05-0,15	Influent 100 mg/l
Cadmium	>99 ¹	<0,01	Influent 1 mg/l
Sulfate	94 ²	75	Influent 1 170 mg/l, présence de métaux lourds
¹ [cww/tm/102]			
² [cww/tm/101]			

Impacts croisés

Les résidus du traitement sont les suivants :

- les sulfures de métaux lourds, si des métaux lourds sont présents dans les eaux usées, mélangés aux boues excédentaires provenant du réacteur UASB
- le soufre, souvent mélangé à des matières solides, provenant du décanteur à plaques ondulées

Selon le type de métal, les sulfures peuvent être réutilisés pour récupérer ledit métal. La fraction de soufre, lorsqu'elle est récupérée séparément, est produite sous forme de gâteau de soufre, constitué de 60 % de solides secs et d'une pureté allant jusqu'à 95 %. Le soufre peut être utilisé pour la production d'acide sulfurique dans des installations de production spécialisées avec des unités destinées à brûler l'acide usé ou les boues.

Grâce à la captation du biogaz et de l'air de ventilation, qui est nécessaire pour des raisons de sécurité, le procédé fonctionne sans émettre d'odeurs. En ce qui concerne l'émission de bruit, les sources d'émissions habituelles sont les pompes et les circuits d'aération qui sont confinés.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Agents de neutralisation	
Électrodonneur	
Floculant	
Énergie [kWh/m ³]	

Surveillance

Une alcalinité correcte et un rapport DCO/sulfate optimal (minimum 1 : 1) ont une incidence sur l'efficacité du procédé de traitement, c'est pourquoi le contrôle du pH et de la teneur en DCO de l'influent d'eaux usées est fondamental. Il est également essentiel que l'influent soit dépourvu de toute substance risquant de détruire les sulfobactéries ou d'inhiber leur croissance. L'influent doit donc être protégé de telles substances. La présence dans l'effluent des polluants traités tels que les métaux lourds, le sulfate, la DCO, etc., doit également être contrôlée.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.3.4.3.3 Traitement aérobie

Description

Le traitement aérobie se définit comme l'oxydation biologique de substances organiques dissoutes, en présence d'oxygène, en utilisant le métabolisme de micro-organismes. En présence d'oxygène dissous, injecté sous forme d'air ou d'oxygène pur, les composants organiques sont convertis (minéralisés) en dioxyde de carbone, en eau ou autre métabolite, et en biomasse (boues activées).

Un contenu toxique dans les eaux usées peut inhiber le procédé biologique. Certaines de ces substances toxiques sont répertoriées dans le tableau 3.9 [cww/tm/132].

Substance	Concentration inhibitrice [mg/l]
Cadmium (Cd^{2+})	2-5
Bichromate (CrO_4^{2-})	3-10
Cuivre (Cu^{2+})	1-5
Nickel (Ni^{2+})	2-10
Zinc (Zn^{2+})	5-20
Chlore (Cl_2)	0,2-1
Cyanure (CN^-)	0,3-2
Huiles minérales	>25
Phénols	200-1 000
Sulfure d'hydrogène/sulfure	5-30

Tableau 3.9 : concentration seuil des substances toxiques pour les boues activées

La toxicité éventuelle d'une substance pour une station d'épuration biologique n'est pas une constante prédéterminée mais fonction des conditions d'exposition et des organismes utilisés. Le terme toxicité fait référence à une interaction entre une substance et un organisme. Avec une alimentation continue en substances toxiques à basses concentrations, l'effet inhibiteur diminue rapidement grâce à un phénomène d'adaptation des micro-organismes, ce qui aboutit à la croissance de micro-organismes présentant une résistance accrue et un potentiel de dégradation plus important [cww/tm/132].

Les techniques de traitement biologique aérobie courantes sont les suivantes :

- le procédé à boues activées en mélange intégral
- le procédé à bioréacteur à membrane
- le procédé à lit bactérien/percolateur
- le procédé à lit fluidisé
- le procédé à biofiltre à lit fixe

Actuellement, le **procédé à boues activées en mélange intégral** est une méthode très utilisée dans l'industrie chimique et donc la technique de traitement des eaux usées biodégradables la plus répandue. Les micro-organismes sont maintenus sous forme de suspension dans les eaux usées et la totalité du mélange est aérée mécaniquement. Le mélange de boues activées est acheminé jusqu'à une unité de séparation à partir de laquelle les boues sont recyclées dans le bassin d'aération. L'unité de séparation peut être :

- un bassin de décantation
- une installation d'aéroflottation
- un dispositif à membrane MF ou UF (pour le bioréacteur à membrane, voir le paragraphe ci-dessous)

Il existe plusieurs variantes du procédé en mélange intégral en fonction de la quantité d'eaux usées, de l'espace disponible, des exigences en matière d'émissions atmosphériques, etc. En voici quelques exemples :

- l'agent oxydant : de l'air ou de l'oxygène pur, ce dernier présentant l'avantage de diminuer les effets de stripping et les émissions d'odeurs, car la quantité de gaz insufflé à travers les eaux usées est moindre, et l'avantage d'offrir une réaction biologique plus rapide et plus efficace
- la chambre d'aération : un procédé biologique à bassin plus ou moins plat ou un procédé biologique à tour, ce dernier utilisant la capacité de dégradation supérieure des bulles d'air plus petites qui remontent le long d'une grande colonne d'eaux usées, ce qui a pour effet d'augmenter considérablement le transfert de masse air/eaux usées (voir figure 3.32 [cww/tm/132])
- l'étape de clarification : décantation ou filtration membranaire (pour le bioréacteur à membrane, voir ci-dessous), cette deuxième méthode ayant un encombrement plus réduit, alors que la décantation nécessite en général une étape finale de flottation

Off-gas	Effluent gazeux
Effluent	Effluent
Excess sludge	Boues excédentaires
Recycled sludge	Boues recyclées
Air	Air
Waste water	Eaux usées
Activation	Activation
Postclarification	Post-clarification

Figure 3.32 : exemple de procédé biologique à tour

Le **bioréacteur à membrane** associe le traitement biologique par boues activées et la séparation par membrane. Ce procédé de traitement biologique est utilisé pour les eaux usées industrielles et urbaines. Les différentes versions de ce procédé sont :

- la boucle de recirculation externe entre le bassin de boues activées et le module membranaire
- l'immersion du module membranaire dans le bassin aéré de boues activées, dans lequel l'effluent est filtré à travers la membrane à fibres creuses, la biomasse restant dans le bassin ; cette version consomme moins d'énergie et les installations sont moins volumineuses.

Ces variantes, ainsi que le procédé à boues activées classique, sont illustrées à la figure 3.33.

L'encrassement, un problème majeur des membranes, est réduit grâce à :

- l'aération
- le lavage à contre-courant de la membrane,

les conditions étant adaptées à chaque installation de traitement

Les membranes étant une barrière physique, elles permettent à la biomasse de rester dans le bassin, ce qui conduit à :

- des concentrations de boues élevées (MES 10-20 g/l)
- des âges de boues élevés (temps de séjour des boues, MCRT)

Un bioréacteur à membrane est une installation compacte (jusqu'à 5 fois plus petite qu'une installation à boues activées usuelle, car le module membranaire remplace le bassin de clarification) qui produit une quantité de boues excédentaires bien moindre. Toutefois, la consommation d'énergie due aux pompes peut être bien plus importante que celle d'un procédé par boues activées traditionnel.

Dans le cas du **procédé à lit bactérien ou percolateur**, les micro-organismes sont fixés à un milieu très perméable à travers lequel les eaux usées ruissellent ou percolent. Le milieu filtrant est généralement composé de roche ou de différents types de plastique. Le schéma de fonctionnement est présenté à la figure 3.34 [cww/tm/132].

Le liquide est collecté par un système de drain souterrain et envoyé dans un bassin de décantation. Une partie du liquide est recyclée pour diluer le flux des eaux usées entrantes.

Le **procédé à lit fluidisé** fonctionne comme dans le cas d'un traitement anaérobie (voir section 3.3.4.3.1). La seule différence réside dans le fait que de l'air ou de l'oxygène est injecté et que des bactéries aérobies et non anaérobies sont fixées sur le biofilm. L'avantage de cette variante du traitement aérobie est l'encombrement réduit pour des performances identiques.

Membrane Bioreactor: external loop	Bioréacteur à membrane : boucle externe
Recycled sludge	Boues recyclées
MF or UF modules	Modules MF ou UF
Effluent	Effluent
Aeration tank	Bassin d'aération
Waste water	Eaux usées
Membrane bioreactor : immersed membranes	Bioréacteur à membrane : membranes immergées
Excess sludge	Boues excédentaires
Clarifier	Clarificateur
Conventional activated sludge	Procédé à boues activées traditionnel

Figure 3.33 : variantes du bioréacteur à membrane comparées au procédé à boues activées traditionnel

Growth surface	Surface de croissance
Biofilm	Biofilm
Aqueous film	Film aqueux
Air	Air
Excess sludge	Boues excédentaires

Figure 3.34 : schéma de fonctionnement d'un lit bactérien

Q : eaux usées

Q_R : eaux recyclées

Dans le **biofiltre à lit fixe**, le biofilm est maintenu à la surface du support. Le flux d'eaux usées est traité lorsqu'il passe à travers ce biofilm ; les matières en suspension sont retenues dans le filtre, qui subit régulièrement un lavage à contre-courant afin de le débarrasser de ces matières. Cette technologie a été développée comme alternative au procédé à boues activées traditionnel, à la fois

compacte (taux de renouvellement par volume élevé, pas de deuxième clarificateur) et sans émission d'odeurs (voir figure 3.35).

Conventional activated sludge process	Procédé à boues activées traditionnel
Primary settling	Décantation primaire
Activated sludge process	Procédé à boues activées
Clarification	Clarification
Waste water	Eaux usées
Treated waste water	Eaux usées traitées
Biofilter process	Procédé par biofiltre
Biofilter	Biofiltre

Figure 3.35 : comparaison entre le procédé par biofiltre et le procédé à boues activées traditionnel

La plupart des biofiltres immergés ne sont constitués que d'un seul milieu filtrant. Le flux d'eaux dans un filtre est ascendant ou descendant, et le milieu filtrant est soit immergé, soit flottant. Les biofiltres peuvent être monocouches ou multicouches. Alors que les biofiltres multicouches sont alimentés avec des eaux brutes sans décantation primaire, les biofiltres monocouches sont généralement utilisés après un traitement préliminaire destiné à éliminer les matières en suspension.

La fréquence du lavage à contre-courant dépend des caractéristiques de l'effluent. La fréquence normale est d'un lavage par jour pour une grande quantité d'eaux usées, mais cette fréquence doit être ajustée au cas par cas. Le lavage à contre-courant peut se faire :

- à l'eau uniquement
- à l'air uniquement
- à l'eau et à l'air

Le support peut également être en coke de lignite. Cette matière présente l'avantage d'adsorber les polluants organiques, l'oxygène et la matière bactérienne dans ses pores, ce qui augmente le temps de réaction bien au-delà du temps de séjour normal. Ainsi, grâce à l'amélioration de la biodégradation et à l'adsorption par le matériau du support, la réduction de la DCO réfractaire est plus importante qu'avec un procédé à boues activées en mélange intégral. La coke de lignite recouvre la surface du bassin et sert de filtre pour l'air extrait, ce qui réduit de façon importante l'émission d'odeurs.

Application

Le traitement aérobie des eaux usées représente généralement la dernière étape biologique. Il présente l'avantage d'avoir un taux de croissance des boues élevé, ce qui permet non seulement de traiter les divers composants des eaux usées toxiques, mais aussi d'avoir un rendement d'épuration de la DCO normalement supérieur à celui d'un traitement anaérobie.

En général, le **procédé à boues activées en mélange intégral** peut s'appliquer à tous les flux d'eaux usées biodégradables, que se soit comme prétraitement des charges élevées de flux secondaires ou comme procédé principal d'une station d'épuration centrale.

Le **bioréacteur à membrane** est employé pour traiter les eaux usées municipales et industrielles, ces dernières pouvant être issues, par exemple, de l'industrie chimique, de l'industrie agro-alimentaire ou de l'industrie des pâtes et papiers, ainsi que du lixiviat des décharges. Ce procédé est particulièrement adapté :

- pour les effluents à charges élevées en DCO et/ou en ammonium
- pour le recyclage des eaux usées

- aux exigences réglementaire strictes en matière de rejets
- pour les milieux récepteurs fragiles
- pour les boues difficilement décantables
- pour l'amélioration des installations existantes
- pour les installations compactes
- pour les problèmes de nuisance (odeurs, par exemple)
- pour la désinfection des eaux

Dans l'industrie chimique, les **lits bactériens** sont intégrés à la station d'épuration centrale afin de réduire les polluants les plus facilement dégradables et d'améliorer la qualité des boues pour l'étape suivante d'aération.

Les **biofiltres** sont utilisés dans le traitement des eaux usées urbaines et de certaines eaux usées industrielles (par exemple dans l'industrie des pâtes et papiers pour traiter les effluents à forte charge en DCO), mais également dans le cadre d'une amélioration d'une installation par boues activées existante (ce qui est également le cas pour les réacteurs à lit fluidisé). L'avantage d'un biofilm fixe par rapport à un matériau support est la vulnérabilité plus faible aux teneurs en sels élevées et les meilleures conditions pour les bactéries à croissance lente, grâce à un temps de rétention long dans le système. Les biofiltres sont également employés comme prétraitement direct ou comme étape de finalisation d'un procédé par boues activées.

Les biofiltres acceptent une charge 2 à 3 fois supérieure à celle acceptée par les installations à boues activées fortement chargées, tout en éliminant 90 % de la DCO [cww/tm/164]. Une comparaison entre les charges traitées par différents biosystèmes est détaillée dans le tableau 3.10 [cww/tm/164]. La biofiltration réalise les même performances avec nitrification/dénitrification, mais avec une charge plus élevée.

	DCO [kg/(m ³ /j)]	DBO [kg/(m ³ /j)]	NH ₄ -N [kg/(m ³ /j)]	NO ₃ -N [kg/(m ³ /j)]
Boues activées	0,4-6	0,35-3 ^a	0,04-0,1	0,24-0,72
Boues activées avec aération enrichie en oxygène		2-5 ^b		
Biofiltre	3-25	1,3-10 ^a	0,4-1,5	0,7-6
Lit bactérien (avec support en plastique)		1-5 ^b		
Bioréacteur à membrane ^c	2-3 ^{d 1}		0,9 ^{e 1}	
^a DBO ₅ ^b DBO ₇ ^c concentration des boues 11-25 g/l ¹ ^d pics entre 1,6 et 8,5 kg de DCO/(m ³ /j) ^e issu du traitement thermique des liqueurs ¹ [cww/tm/163]				

Table 3.10 : comparaison des charges volumétriques traitées par différents procédés aérobies

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Nutriments	Le rapport DBO/N/P doit être 100/5/1 ; Rapports critiques ne devant pas être dépassés pour garantir un fonctionnement correct : DBO/N : 32/1 et DBO/P : 150/1.
Concentration	Les concentrations élevées (même de substances non toxiques) doivent être évitées.

Inhibiteurs	Voir tableau 3.9.
Température	Une température des eaux usées >35 °C peut s'avérer dangereuse pour les micro-organismes.
Charge en sels	Les charges en sels élevées (>30 g/l) peuvent perturber le procédé biologique en altérant les micro-organismes ; les techniques à film fixe sont moins vulnérables.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Traitement économique des polluants organiques. • Impact sur l'environnement moindre qu'avec d'autres procédés de traitement. • De grandes quantités d'eaux usées peuvent être traitées. • Rendement énergétique relativement élevé par rapport aux systèmes de traitement non biologiques. L'énergie est principalement produite par des méthodes durables (métabolisme de micro-organismes avec de l'air et de l'eau). • Dégradation essentiellement en composés sans danger. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte consommation d'énergie pour l'approvisionnement d'oxygène dans l'eau. • Production d'une quantité importante de boues de clarification (sauf dans le cas d'un bioréacteur à membrane ou d'un biofiltre à lit fixe). • Le procédé d'aération produit des effets de stripping des composés volatils, ce qui provoque des émissions fugitives qui sont souvent à l'origine d'odeurs et d'aérosols. • Le procédé en mélange intégral peut causer une expansion, d'où un rejet excessif de floccs activés. • Les procédés biologiques peuvent être inhibés par les polluants. • Pour les bioréacteurs à membrane : l'encrassement des membranes peut causer des problèmes. • Forte chute de pression, équivalente à l'augmentation de la consommation d'énergie électrique.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

La DBO est le paramètre essentiel permettant d'analyser le taux de performance ou l'efficacité d'un traitement biologique, tandis que la dégradation de la DCO dépend du traitement en aval et de la teneur en polluants difficilement dégradables. Étant donné que la DCO réfractaire (ou les concentrations en polluants qui se comportent comme de la DCO réfractaire) n'est pas adaptée à un traitement biologique et doit donc être évitée, dans la mesure du possible, dans une station d'épuration biologique, il est logique de répertorier les niveaux de DCO pouvant être atteints.

Paramètre	Taux de performance [%]				
	Boues activées en mélange intégral	Bioréacteur à membrane	Lit bactérien	Lit fluidisé	Biofiltre à lit fixe
MES		99 ⁵			
Turbidité		99 ⁵			
DBO	97-99,5 ¹	97 ⁵	40-90 ² 85-95 ^{a2}	>98 ¹	
DCO (COT)	76-96 ^{c1}	>90-96 ⁵		90 ^{b1}	26-68 ^{d3}
Indice phénol	>99 ^{e4}				75-98 ³
AOX					55-98 ³
N inorganique total		82 ⁵			4-50 ³
NH4-N		96-98 ⁵			

^a deux étapes

^b 3 bioréacteurs en série consécutifs à une adsorption sur CAG, la réduction du COT est de 98 % et celle de la DCO de 99 %

^c 96 % avec de l'oxygène pur

^d dégradation de la DCO réfractaire ; l'installation est utilisée comme étape finale après une station d'épuration par boues activées

^e concentration de phénol en entrée : 30 mg/l ; 2 200 m³/j d'eaux usées

¹ [cww/tm/132]

² [cww/tm/4]

³ [cww/tm/151]

⁴ [cww/tm/96]

⁵ [cww/tm/163]

Impacts croisés

Les principaux problèmes des traitements biologiques en matière environnementale sont les suivants :

- l'introduction d'oxygène dans le système et ses incidences
- la production de boues activées comme résultat du procédé biologique

L'oxygène est introduit par aération, ce qui nécessite de fournir beaucoup d'énergie et cause le stripping des composés volatils des eaux usées dans l'atmosphère, ce qui génère des odeurs. Cet impact peut être contrôlé de différentes manières :

- en remplaçant l'air par de l'oxygène pur ou de l'air enrichi en oxygène. L'injection de ce gaz est réduite à environ 20 % de l'injection d'air nécessaire, ce qui permet de réduire l'effet de stripping ainsi que les besoins en énergie ; toutefois, les bénéfices de cette variante doivent être étudiés avec soin en les comparant aux impacts de la production d'oxygène, comme par exemple la consommation d'énergie, les problèmes de sécurité, les difficultés pour extraire le CO₂, etc.
- en recouvrant les bassins d'aération et en acheminant l'air extrait capturé jusqu'à un système d'épuration en aval (adsorbeur sur CAG, incinérateur, biofiltre ou laveur par voie humide).
- en utilisant des techniques de traitement biologique avec support (biofiltre à lit fixe), l'équipement étant recouvert ou le matériau support (coke de lignite) servant d'adsorbant au gaz.

Le traitement biologique aérobie produit une quantité de boues activées excédentaires à évacuer relativement importante. Les techniques de traitement biologique aérobie des eaux usées impliquent un traitement des boues activées particulier, sur le site ou hors site, détaillé à la section 3.4.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Boues activées en mélange intégral	Bioréacteur à membrane	Lit bactérien	Lit fluidisé	Biofiltre à lit fixe
Oxygène (air ou oxygène pur)					
Agents de neutralisation					
Floculants	300-550 kg/tonne de DCO ^{a 1}				
Nutriments	23-42 kg/tonne de DCO ^{b 1}				
Support					
Énergie [kWh/m ³]	9,5 ^{c 1} 0,1 kWh par e.h. ²				

- ^a flocculant : sulfate ferreux
^b acide o-phosphorique
^c incinération des boues comprise
¹ [cww/tm/96]
² [cww/tm/128]

Surveillance

Le contrôle d'une station d'épuration biologique est illustré à l'annexe 7.3.

Aspects économiques

	Coûts				
	Boues activées en mélange intégral	Bioréacteur à membrane	Lit bactérien	Lit fluidisé	Biofiltre à lit fixe
Coûts de capital	15-20 millions FIM ^{a 1}				
Coûts d'exploitation	environ 2 % des coûts de capital ²				0,2 DEM/m ^{3 3}
	0,60 FIM/m ^{3 a 1}				
^a environ 90 m ³ /h, DCO 500-900 mg/l ¹ [cww/tm/96] ² [cww/tm/128] ³ [cww/tm/151]					

Les coûts de capital et les coûts d'exploitation dépendent fortement de la charge hydraulique et de la charge de polluant, et de la mise en place des installations nécessaires (par exemple API, étape de neutralisation, unité de séparation des boues, etc.). C'est pourquoi, à ce stade, les informations relatives aux coûts ne sont que des indications grossières qui doivent être affinées en fonction de l'équipement et de la charge de l'installation considérée.

3.3.4.3.4 Élimination biologique de l'azote

Description

L'azote, plus précisément l'ion ammonium, est éliminé par un traitement biologique spécial en deux étapes :

- la nitrification aérobie, où des micro-organismes spéciaux oxydent l'ion ammonium (NH₄⁺) en un produit intermédiaire, l'ion nitrite (NO₂⁻), qui est ensuite converti en nitrate (NO₃⁻).
- la dénitrification anoxique, où les micro-organismes convertissent le nitrate en azote gazeux.

Comme tous les procédés biologiques, la nitrification/dénitrification est vulnérable aux substances toxiques ou inhibitrices. Cependant, comme indiqué précédemment, une introduction avec précautions de faibles concentrations de ces substances toxiques peut aboutir à l'adaptation des micro-organismes et ainsi à la disparition totale des effets inhibiteurs, à condition que la concentration n'augmente pas de manière trop importante. Les substances ayant un effet inhibiteur sont répertoriées dans le tableau 3.11 [cww/tm/27].

Composé	Concentration d'inhibition dissoute [mg/l]	Taux de réduction [%]
Thiourée	1	50
Thiosemicarbazide	1	50
N-Méthyldithiocarbamate de sodium	1	50

Isocyanate de méthyle	1	50
Isothiocyanate d'allyle	1	50
1,1-dichloroéthane	125	Point de départ
1,1-dichloroéthylène	75	
Trans-1,2-dichloroéthylène	75	
1-naphthylamine	15	50
2,2-bipyridine	16/20	50
N-Ammoniaque	200	50
Benzène	500	
Dichlorhydrate de benzidine	20-100	50
Benzocaïne	>100	50
Benzylamine	>100	50
Tétrachlorométhane	50	
Chlorobenzène	100	
Trichlorométhane	18	75
Butanedione-dioxime	>100	50
Phtalate de diméthyle	100	
Dodécylamine	<1	50
Éthylènediamine	17	50
Hexaméthylènediamine	85	50
Monoéthanolamine	>100	50
Méthylamine	<1	50
Sulfate de méthylthiuronium	10	50
3-méthylindole	10	50
Diméthyldithiocarbamate de sodium	20	50
Cyclopentaméthylènedithiocarbamate de sodium	20	50
Carbonate de guanidine	20	50
Alcool allylique	20	50
Chlorure de benzylthiuronium	20-100	50
Diguanide	20-100	50
Thiourée allylique	1	50
Thioacétamide	1	50
Dithiooxamide	1	50
Mercaptobenzothiazole	1	50
N-méthylalanine	1	50
Naphtalène	50	
Dihydrochlorure de naphthyléthylène diamine	23	50
Ninhydrine	>100	50
Para-aminopropiophénone	43	50
p-nitroaniline	31	50
p-nitrobenzaldéhyde	87	50
p-phénylazoaniline	72	50
Phénol	3	30
Acide tannique	>100	50
Toluène	350	Point de départ
Triéthylamine	127	50
Zinc	0,08-0,5	
Cuivre	0,005-0,5	Point de départ
Cyanure	0,34	Point de départ
Chrome (VI)	0,25	Point de départ
Plomb	0,5	Point de départ
Mercur	1	Point de départ

Quinoléine	10	50
p-benzoquinone	10	50
Tétraméthyle thiurame thiocarbamate	20	50
Pyridine	20	50
Crésol	20	50
Cétyl triméthyl ammonium	20	50
Disulfure de tétraméthyle thiurame	20-100	50
Hydrazine	20-100	50
8-Hydroxy-quinoléine	20-100	50
Éther diallylique	20-100	50
Sulfure de carbone	20-100	50
Dicyandiamide	>100	50
Hypochlorure de strychnine	>100	50
Thiocyanate de potassium	300	50
EDTA (éthylène-diamine-tétra-acétate)	350	50
Hydrochlorure de N-méthylalanine	550	
Chlorure de cétyl pyridinium	20-100	50
Acide de sodium	20-100	50
Dichlorophène	20-100	50
Hypochlorure de triméthylamine	>100	50
2,4,6-tribromophénol	>100	50
Bleu de méthylène	100	50
Streptomycine	400	50

Tableau 3.11 : principaux inhibiteurs de la nitrification

Lorsque la nitrification/dénitrification est utilisée, elle peut être intégrée à une station d'épuration biologique centrale. Un facteur essentiel de la dénitrification est le rapport d'azote oxygéné (nitrate/nitrite) et de DBO (comme agent de réduction). Il existe deux principaux types d'agencement pour le procédé :

- la phase de nitrification est intégrée à la partie aérée ; si nécessaire, le rapport N/DBO peut être amélioré en ajoutant du COT facilement biodégradable (méthanol, par exemple) dans la phase de dénitrification qui suit (voir figure 3.36).
- la dénitrification comme première étape, en utilisant les eaux usées non traitées riches en DBO pour fournir de l'énergie, suivie de la phase d'aération (nitrification), une grande partie des eaux usées nitrées étant recyclée dans la zone de dénitrification (voir figure 3.37).

Lorsque seul un flux secondaire doit subir la nitrification/dénitrification, il est préférable d'effectuer ce traitement séparément du traitement central.

La nitrification/dénitrification peut être introduite dans une station d'épuration biologique existante par des modifications constructives telles que :

- installation de murs de séparation
- installation de canalisations de retour pour les eaux usées contenant du nitrate
- réutilisation du volume de bassins existants
- utilisation de clarificateur existant
- adaptation du contrôle du procédé

Méthanol	Méthanol
Oxygène	Oxygène
Nitrification bassin	Bassin de nitrification

Denitrification basin	Bassin de dénitrification
Intermediate aeration	Aération intermédiaire
Entry	Alimentation
Recycle	Recyclage
Excess sludge	Boues excédentaires
Final clarifier	Clarificateur final
Discharge	Rejet

Figure 3.36 : nitrification/dénitrification en série

Recirculation	Recirculation
Oxygen	Oxygène
Nitrification basin	Bassin de nitrification
Denitrification basin	Bassin de dénitrification
Entry	Alimentation
Recycle	Recyclage
Excess sludge	Boues excédentaires
Final clarifier	Clarificateur final
Discharge	Rejet

Figure 3.37 : nitrification/dénitrification avec dénitrification comme première étape

Application

La nitrification/dénitrification est employée pour les flux d'eaux usées contenant de grandes quantités de composés azotés, en particulier les composés aminés et d'ammonium. Le contrôle du rejet d'ion ammonium est une mesure importante de protection de la qualité des eaux de surface (rivières, par exemple), car la conversion d'ion ammonium en ammoniaque, selon le pH, est toxique pour les poissons.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Température	>12-15 °C ; des températures inférieures ralentissent la croissance des bactéries dans la phase de nitrification
Substances toxiques	Certaines substances sont inhibitrices (voir tableau 3.11)
Rapport DBO/N	Environ 12 : 1 ¹
Rapport COT/N	Environ 10 : 1 ¹
Concentration en chlorure	<5 g/l ¹
¹ [cww/tm/160]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Élimination efficace des composés azotés. Le procédé peut être intégré à un traitement biologique existant, par exemple dans une station d'épuration centrale. Les installations existantes peuvent facilement être aménagées. 	<ul style="list-style-type: none"> Fonctionnement sensible aux variations de conditions opératoires : pH, température, présence d'inhibiteurs (voir table 3.11), contenu des eaux usées. Émissions gazeuses dans l'air.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/l]	Remarques
N inorganique total	70-80 ¹	10-20 ²	
¹ [cww/tm/128]			
² [cww/tm/160]			

Impacts croisés

Lorsque la nitrification/dénitrification est intégrée à la station d'épuration centrale, elle contribue à l'émission de substances odorantes et volatiles. Les autres émissions sont celles auxquelles on peut logiquement s'attendre dans une installation de traitement biologique, ce qui implique qu'il peut être nécessaire de recouvrir l'équipement, si le procédé n'est pas réalisé dans des cuves fermées, et d'épurer les gaz émis.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Alimentation en carbone	
Énergie [kWh/m ³]	

Les sources de bruits courantes telles que les pompes, les injecteurs et les mélangeurs doivent être prises en compte et des mesures adéquates doivent être prises (confinement de l'équipement, par exemple).

Surveillance

Le contrôle d'une station d'épuration biologique est illustré à l'annexe 7.3.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts		Remarque
	nitrification/dénitrification en série	dénitrification/nitrification en série	
Coûts de capital			
Coûts d'exploitation			

3.3.4.3.5 Traitement biologique central des eaux usées**Description**

Le procédé biologique aérobie par boues activées constitue la partie principale de la station d'épuration centrale (voir la section 3.3.4.3.3). Autour de cette installation sont regroupées différentes installations de séparation en amont et en aval. La station d'épuration centrale est généralement équipée des éléments suivants :

- des bassins tampon ou d'égalisation, si d'autres installations en amont n'en sont pas déjà pourvues.
- une station de mélange, dans laquelle des agents de neutralisation et de floculation sont ajoutés et mélangés (en général, du lait de chaux et/ou des acides minéraux, du sulfate ferreux) ; elle peut être confinée ou recouverte, si nécessaire, pour empêcher les émissions de substances odorantes ; l'air extrait est canalisé vers un système d'épuration.

- un clarificateur primaire, dans lequel le floc est éliminé ; il peut être confiné ou recouvert, si nécessaire, pour empêcher les émissions fugitives de substances odorantes ; l'air extrait est canalisé vers un système d'épuration.
- la partie contenant les boues activées, par exemple :
 - un bassin d'aération avec une alimentation en nutriments en entrée, confiné ou recouvert si nécessaire ; l'air extrait est canalisé vers un système d'épuration.
 - un réservoir de réaction fermé (procédé biologique à tour, par exemple) avec une conduite de gaz connectée à un système d'épuration des gaz.
 - une étape de nitrification/dénitrification (éventuellement) et d'élimination du phosphate.
- éventuellement, un clarificateur intermédiaire, dans le cas où une deuxième étape biologique aérobie est utilisée, avec recyclage des boues.
- éventuellement, une deuxième partie boues activées, pour une faible charge biologique.
- un clarificateur final avec recyclage des boues et transfert vers une installation de traitement des boues ; en option, un filtre à sable, un dispositif MF ou UF.
- éventuellement, d'autres installations de traitements spécifiques pour éliminer la DCO réfractaire restante, par exemple un biofiltre (voir la section 3.3.4.3.3).
- éventuellement, d'autres installations de traitement après le clarificateur final, par exemple un système d'aéroflottation (voir la section 3.3.4.1.3).
- éventuellement, des installations de traitement des boues telles que :
 - des digesteurs (voir la section 3.4.2),
 - des épaisseurs de boues (voir la section 3.4.1),
 - des déshydrateurs de boues (voir la section 3.4.1),
 - des incinérateurs de boues (voir la section 3.4.3).
- des installations d'épuration des effluents gazeux (air extrait) telles que :
 - des adsorbants sur CAG (voir la section 3.5.1.3),
 - des oxydateurs thermiques ou catalytiques (voir les sections 3.5.2.4 et 3.5.2.5),
 - des torchères (voir la section 3.5.2.6).

Un exemple est illustré à la figure 3.38 [cww/tm/81].

Application

Le traitement biologique central des eaux usées est employé pour les eaux usées complexes provenant de la production et du traitement des produits chimiques organiques, à condition que le contenu soit biodégradable. C'est pourquoi une station d'épuration centrale est souvent utilisée comme installation finale dans l'industrie chimique. Quelques exemples sont donnés à titre d'illustration à l'annexe 7.6.1.

Comme le suggère la description ci-dessus, une station d'épuration centrale biologique permet d'éliminer deux types de polluants :

- les matières en suspension
- les composés biodégradables

Les eaux usées contenant une grande quantité de polluants ne faisant pas partie de ces groupes doivent être prétraitées avant d'entrer dans la station centrale, ou subir un traitement particulier (voir la section 3.3.4.2) et contourner la station d'épuration. Les eaux usées contenant une charge biodégradable extrêmement élevée sont en général prétraitées (voir les sections 3.3.4.3.1 à 3.3.4.3.4).

Pour les limites et restrictions d'application, se reporter aux sections 3.3.4.3.3 et 3.3.4.3.4:

Waste water treatment	Traitement des eaux usées
Pretreatment in production	Prétraitement au cours de la production
Neutralisation and flocculation tank	Bassin de neutralisation et de floculation

Sewer	Système de collecte
Lime milk	Lait de chaux
Iron sulphate	Sulfate de fer
Stirrer	Agitateur
Pump station	Station de pompage
Primary clarifier	Clarificateur primaire
Sludge scraper	Racleur des boues
Water recirculation	Recirculation de l'eau
Aeration tank	Bassin d'aération
Nutrients	Nutriments
Return sludge	Retour des boues
Primary sludge	Boues primaires
Waste sludge	Boues résiduelles
Secondary clarifier	Clarificateur secondaire
Detection shaft	Puits de contrôle
Receiving water	Eaux réceptrices
Sludge treatment	Traitement des boues
Container	Conteneur
Chamber filter press	Filtre-presse
Filter cake	Gâteau de filtration
Vacuum rotary filter	Filtre rotatif sous vide
Filtration auxiliaries	Auxiliaires de filtration
Lime	Chaux
Filtrate	Filtrat
Decantate	Décantat
Sludge thickener	Épaississeur de boues
Thickened sludge discharge	Rejet des boues épaissies
Incineration	Incinération

Figure 3.38 : exemple d'une station d'épuration centrale (mécanique-biologique-chimique)

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traitement de grandes quantités d'eaux usées. ▪ Les effets synergétiques peuvent augmenter l'efficacité. ▪ Rendement énergétique élevé par rapport à des procédés tels que l'adsorption sur CAG, l'incinération ou l'oxydation à l'air humide. L'énergie est principalement fournie par des méthodes durables (métabolisme de micro-organismes avec de l'air et de l'eau) ▪ Dégradation en général en composés moins dangereux (des exceptions sont connues dans la production pharmaceutique et des pesticides, où des produits de réaction réagissent avec de nouveaux composés). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les procédés biologiques peuvent être inhibés par des polluants ou lorsque la température est trop élevée (>35 °C) ou trop basse (<12 °C). ▪ De grandes quantités de boues excédentaires sont à évacuer. ▪ Le procédé d'aération provoque des effets de stripping des composés volatils, ce qui engendre des émissions fugitives d'odeurs et/ou d'aérosols.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

La DBO est le paramètre essentiel pour analyser le taux de performance ou l'efficacité d'un traitement biologique, car la dégradation de la DCO dépend du traitement en aval et de la teneur en polluants

difficilement dégradables. Étant donné que la DCO réfractaire (ou les concentrations en polluants qui se comportent comme de la DCO réfractaire) n'est pas adaptée à un traitement biologique et doit donc être évitée autant que possible dans une station d'épuration biologique, il est logique de répertorier les niveaux de DCO pouvant être atteints.

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/l]	Remarques
MES		10 ⁴	
DBO	97-99,5 ^{1,4}	7-10 ⁴	
	99-99,8		Prétraitement anaérobie
DCO (COT) ^a	60-98 ^{1,2,4}		98 % avec de l'oxygène gazeux
	95-97		Prétraitement anaérobie
AOX		<1 ⁴	
N inorganique total	70-80 ³	10-20 ⁴	
Phénol	>99 ⁵		Débit d'eaux usées 2 200 m ³ /j, concentration d'alimentation 30 mg/l de phénol
T _P		2-3 ^{b6}	Mesures réalisées en Allemagne ^c (observations aberrantes jusqu'à 24)
T _D		2-4 ^{b6}	Mesures réalisées en Allemagne ^c (observations aberrantes jusqu'à 768)
T _A		1-16 ^{b6}	Mesures réalisées en Allemagne ^c (observations aberrantes jusqu'à 1 024)
T _L		2-12 ^{b6}	Mesures réalisées en Allemagne ^c (observations aberrantes jusqu'à 1 024)
T _M		1,5 ^b	Mesures réalisées en Allemagne
^a en considérant que la DCO réfractaire est éliminée en amont ^b nombres sans dimension ^c la valeur la plus élevée est 90 percentile ¹ [cww/tm/132] ² [cww/tm/105] ³ [cww/tm/128] ⁴ [cww/tm/160] ⁵ [cww/tm/96] ² [cww/tm/162, 165]			

Impacts croisés

Comme mentionné à la section 3.3.4.3.3, les principaux impacts du traitement biologique aérobie sont le besoin énergétique pour l'aération et le mélange dans le bassin d'aération, l'émission d'une très grande quantité de boues excédentaires à évacuer et à traiter, l'effet de stripping de l'aération provoquant l'émission d'aérosols et de substances odorantes volatiles, et le bruit généré par les installations de traitement. Pour éviter les émissions, les zones à risque doivent être confinées ou couvertes, notamment la station de mélange, le clarificateur primaire et le bassin d'aération. L'air extrait doit également être canalisé vers un système d'épuration des gaz. Pour éviter l'émission de bruit, il est nécessaire de confiner les équipements tels que les pompes.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
-------------	----------

Traitement des eaux usées et effluents gazeux

Air ou oxygène	
Agents de neutralisation	
Floculants	300-550 kg/tonne de DCO ^{a 1} 0,5-1,9 kg/tonne de DCO ^{b 2}
Nutriments	23-42 kg/tonne de DCO ^{c 1} 3-5 kg/tonne de DCO ^{c 2}
Énergie [kWh/m ³]	9,5 ^{d 1} 0,7-4,0 ² 0,1 kWh par e.h. ³
^a floculant : sulfate ferreux ^b seulement pour la partie traitement des eaux usées ^c acide o-phosphorique ^d incinération des boues comprise ¹ [cww/tm/96] ² [cww/tm/105] ³ [cww/tm/128]	

La quantité de boues produite au cours du traitement dans la station d'épuration centrale est difficile à quantifier en fonction de la charge de polluant. Elle englobe des valeurs allant de 34 à 2 000 kg de matière sèche par tonne de DCO éliminée, avec une moyenne comprise entre 250 et 720 kg de matière sèche par tonne de DCO éliminée [cww/tm/105].

Surveillance

Le contrôle d'une station d'épuration biologique est illustré à l'annexe 7.3.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital par m ³		
Coûts d'exploitation par m ³		

Les coûts de capital et les coûts d'exploitation sont fortement dépendants des installations connexes à l'installation biologique.

3.3.4.4 Contrôle des eaux d'incendie et des eaux pluviales

Un point fondamental des activités industrielles est la prévention des effluents non contrôlés du site. Afin d'y parvenir, le système de drainage d'un site industriel peut être divisé en une partie relative à la production, par exemple :

- les surfaces non couvertes des unités de production,
- les zones des bassins de stockage,
- les toits exposés aux retombées des effluents,

et une partie relative aux zones non susceptibles d'être polluées, par exemple :

- les routes sur le site,
- les bâtiments administratifs,
- les surfaces des toits non polluées,
- **les parkings.**

Les eaux pluviales provenant des zones de production et les eaux d'incendies sont collectées dans des puisards ou dans d'autres installations centrales pour pouvoir les inspecter et décider si elles peuvent

être rejetées directement dans les eaux réceptrices ou dans une installation de traitement des eaux. Lors de la collecte des eaux d'incendie, il faut faire attention que cela ne propage pas l'incendie.

Le système de drainage des zones de trafic normal est relié, si besoin est, à des installations de rejet installées, par exemple, pour :

- protéger les rivières réceptrices contre la charge hydraulique des fortes chutes de pluie provenant de larges zones imperméabilisées.
- éliminer les retombées de polluants accumulées au cours des périodes sèches.
- empêcher le rejet involontaire de déversements accidentels sur les routes ou les parkings.

Ces installations intègrent souvent un compartiment pour la retenue des premiers flots des eaux pluviales, destiné à recevoir l'effluent qui résulte des premières pluies après une période relativement sèche, et d'autres compartiments pour les précipitations suivantes.

3.3.4.4.1 Bassins de retenue

Description

Un bassin de rétention est destiné à contenir une réserve d'eau permanente à l'intérieur d'une zone précise. Les polluants provenant du ruissellement des eaux pluviales sont éliminés grâce aux procédés physiques, biologiques et chimiques. En outre, ils contrôlent le flux d'eaux pluviales pour éviter des contraintes en aval sur les rivières réceptrices. Les eaux pluviales qui rentrent dans un bassin déjà plein ont pour effet de déplacer le contenu existant. La taille du bassin dépend du temps de séjour hydraulique nécessaire. Selon le type de polluant et le temps de séjour hydraulique, une eutrophisation peut se produire. Il est nécessaire d'extraire régulièrement les sédiments.

Les eaux du bassin sont rejetées grâce à une colonne montante verticale fixée à une conduite horizontale qui achemine le flux d'eaux pluviales sous les berges jusqu'au milieu récepteur. Ce système est conçu pour que l'excès d'eau puisse s'écouler tout en conservant la réserve permanente. Les colonnes montantes sont généralement situées dans les berges ou sur le bord de celles-ci, et sont fermées par une grille pour empêcher le colmatage.

Pour empêcher la pollution diffuse due au ruissellement de surface ou à des déversements accidentels, les bassins de rétention sont équipés d'unités de séparation/interception des hydrocarbures.

Application

Un bassin de rétention est utilisé pour éviter la surcharge hydraulique des installations en aval et pour séparer les polluants solides des eaux pluviales. Ces polluants peuvent contenir des sédiments, de la matière organique et, dans certaines circonstances, des composés de métaux dissous et des nutriments. Il peut être employé dans des sites industriels avec des surfaces peu polluées.

Il n'y a pas de limites d'application ou de restrictions.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dans le cas de rejets dans des milieux récepteurs fragiles, les bassins de rétention permettent de diminuer le risque de crue et d'érosion des berges. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les systèmes de premier flot ne permettent pas de contenir les déversements, c'est pourquoi le volume du bassin doit être suffisamment important.

Niveaux d'émission pouvant être atteints/taux de performance

Les niveaux d'extraction de polluants pouvant être atteints dépendent de conditions particulières telles que le temps de séjour hydraulique (TSH) et le type de polluant. C'est pourquoi, dans une certaine mesure, la décantation et la dégradation biologique peuvent se produire dans le bassin.

Impacts croisés

Les boues sédimentées doivent être évacuées. Les substances facilement biodégradables collectées dans le bassin de rétention peuvent être à l'origine d'émissions d'odeurs.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Énergie [kWh/m ³]	

Contrôle

Un entretien correct permet de garantir le bon fonctionnement du bassin de rétention. Cet entretien comprend les actions suivantes [cww/tm/77] :

- le nettoyage des détritiques et des débris
- la réalisation d'inspections régulières des berges et du déversoir afin de contrôler l'intégrité structurelle et de détecter les signes d'érosion ou de présence d'animaux
- la réalisation de réparations périodiques des berges, du déversoir d'urgence, de l'entrée et de la sortie
- l'extraction des sédiments et des algues
- l'élimination de la végétation boisée ou des arbres sur les berges qui risqueraient de les affaiblir
- l'entretien de la zone de l'exutoire

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		Main-d'œuvre 3 h/mois

3.3.4.4.2 Filtres à sable

Description

Une application particulière du filtre à sable est son utilisation pour le traitement du ruissellement des eaux pluviales et l'élimination des polluants non dissous tels que les matières en suspension, le phosphate non dissous et la DBO solide. Il constitue un outil très efficace d'élimination des polluants des eaux pluviales tout en conservant sa flexibilité qui autorise des modifications de la structure de base afin de s'adapter aux critères particuliers d'un site. Le filtre est régulièrement lavé à contre-courant afin d'éliminer sa charge de polluants.

Les filtres à sable utilisés pour le traitement des eaux pluviales sont généralement constitués de deux éléments :

- une chambre de décantation, pour éliminer les sédiments lourds et flottables
- une chambre de filtration, pour éliminer les polluants supplémentaires

Exemples :

- le bassin à filtre à sable de surface
- le filtre à sable à chambre souterraine
- le filtre à sable à double tranchée d'infiltration
- le filtre à sable à tranchée d'infiltration avec réservoir de pierres
- le filtre à tourbe

Application

Le filtre à sable est souvent employé lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'espace pour intégrer un bassin de rétention à un site industriel. Il est utilisé pour traiter les eaux pluviales provenant de surfaces peu polluées.

Il n'y a pas de limites d'application ou de restrictions.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité d'extraction élevée. ▪ Faible encombrement. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les substances dissoutes dans l'eau ne sont pas éliminées, sauf par adsorption.

Niveaux d'émission pouvant être atteints/taux de performance

Paramètre	Taux de performance [%]	Remarques
MES	80-83 ¹	
¹ [cww/tm/77]		

Impacts croisés

Les boues de lavage à contre-courant doivent être évacuées en tant que déchet.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité
Énergie [kWh/m ³]	

Surveillance

Pour garantir les performances des filtres à sable, des inspections fréquentes et le remplacement régulier du milieu filtrant sont nécessaires. Les détritiques et les débris accumulés doivent être enlevés du filtre à sable dès que nécessaire.

Aspects économiques

Les coûts de capital dépendent du système de filtre à sable choisi et peuvent varier grandement.

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital		
Coûts d'exploitation		

3.4 Techniques de traitement des boues

La plupart des procédés de traitement des eaux usées produisent des boues, bien que leur quantité, leur consistance et leur contenu dépendent du contenu des eaux usées et de la technique de traitement utilisée. Il s'agit généralement d'un liquide, ou d'un liquide semi-solide, avec des teneurs en matières solides de l'ordre de 0,25 à 12 wt-% [cww/tm/4] et contenant essentiellement les polluants éliminés des eaux usées. Les boues activées excédentaires des stations d'épuration biologiques sont principalement constituées des produits de dégradation (minéralisation), du tissu bactérien et des polluants qui y sont fixés comme les métaux lourds.

Les boues non traitées ne peuvent pas être rejetées ou évacuées pour les raisons suivantes :

- la teneur en polluants dangereux pour l'air en interdit l'évacuation
- la teneur en polluants dangereux pour les eaux réceptrices en interdit le rejet dans une rivière
- leur incinération n'est pas une solution intéressante car elles contiennent une trop grande quantité d'eau, ce qui rend l'incinération trop coûteuse en énergie

Les boues provenant des eaux usées de l'industrie chimique ne conviennent généralement pas pour l'agriculture, bien que ceci dépende de la législation de l'État membre. Une composante fondamentale est la teneur en métaux lourds, en AOX/EOX et en autres composants persistants.

Les techniques de traitement des boues de station d'épuration sont :

- des opérations préliminaires (non décrites dans le présent document), telles que
 - le broyage
 - le mélange
 - le stockage
 - le dessablage
- des techniques d'épaississement (voir la section 3.4.1) telles que :
 - l'épaississement par gravité
 - l'épaississement par centrifugation
 - l'épaississement par flottation (FAD)
 - l'épaississement par courroie gravitaire
 - l'épaississement sur tambour rotatif
- la stabilisation (voir section 3.4.2), par exemple :
 - la stabilisation chimique (chaux)
 - la stabilisation thermique
 - la digestion anaérobie
 - la digestion aérobie
 - la double stabilisation des boues
- le conditionnement (voir la section 3.4.2), par exemple :
 - le conditionnement chimique
 - le conditionnement thermique
- les techniques de déshydratation des boues (voir la section 3.4.1) telles que :
 - la déshydratation centrifuge
 - les filtres à bandes presseuses
 - les filtres-presses
- des techniques de séchage (voir la section 3.4.3) telles que :
 - le séchage par rotation

- le séchage par pulvérisation
 - le séchage éclair
 - l'évaporation
 - le séchage à soles multiples.
- l'oxydation thermique (voir la section 3.4.3), à l'aide des techniques telles que :
 - l'incinération sur lit fluidisé
 - l'oxydation à l'air humide
 - l'oxydation en puits profond
 - l'incinération avec d'autres déchets (solides, par exemple).
 - la mise en décharge des boues sur le site (non décrite dans le présent document)

Les opérations de traitement et les voies d'élimination peuvent être considérées comme des options individuelles ou comme une combinaison d'options distinctes. La liste suit simplement l'ordre du degré de réduction et ne constitue en aucun cas un classement. Il est à noter que la disponibilité (ou l'absence de disponibilité) d'une voie d'élimination peut être un facteur déterminant, au moins au niveau local, dans le choix de la technique de traitement des eaux usées employée.

3.4.1 Épaississement et déshydratation des boues

Description

L'épaississement et la déshydratation des boues sont des opérations destinées à augmenter la teneur en matières solides des boues et à éliminer une partie de l'eau. L'avantage de ces techniques est la diminution considérable du volume (plus de cinq fois) pour faciliter les opérations de traitement suivantes, et pour diminuer la taille et la capacité nécessaires des dispositifs de traitement. La différence entre ces deux traitements réside uniquement dans la quantité d'eau éliminée.

Les techniques les plus courantes sont :

- l'épaississement par gravité, ou décantation, en utilisant un bassin de décantation ;
- l'épaississement par centrifugation (également une technique de déshydratation), idéal pour une séparation des matières solides élevée, au moyen d'une centrifugeuse à bol plein ou d'une centrifugeuse à bol perforé (voir la figure 3.39) ;

Gear box	Boîte d'engrenages
Drive sheave	Poulie d'entraînement
Centrate	Centrifugat
Cake discharge	Évacuation du gâteau
Feed	Alimentation

Figure 3.39 : épaississeur centrifuge de boues
(a) centrifugeuse à bol plein, (b) centrifugeuse à bol percé

- l'épaississement par flottation, au moyen d'un dispositif de FAD (voir la figure 3.40) ;
- l'épaississement par courroie gravitaire, en utilisant une courroie de gravité se déplaçant au-dessus de rouleaux commandés. Les boues conditionnées sont ajoutées à une extrémité dans un boîtier d'alimentation/de distribution, puis elles sont striées par une série de lames. Par l'action de la gravité, les eaux libérées passent à travers la courroie ;
- l'épaississement sur tambour rotatif, qui consiste en un système de conditionnement des boues avec une alimentation en polymère et des tamis cylindriques rotatifs. Le polymère et les boues fines sont mélangés pour flocculer, puis séparés de l'eau dans les tambours à tamis rotatifs ;

Effluent	Effluent
Recycle suction	Aspiration de recyclage
Effluent weir	Déversoir de l'effluent
Skimmer	Racleur
Diffusion well	Puits de diffusion
Retention baffle	Chicane de rétention
Sludge collector	Collecteur des boues
Float trough	Conduit pour les matières flottantes
Float sludge discharge	Évacuation des boues flottantes
Pressurized air-waste water inlet	Injection d'air/eaux usées sous pression
Settled sludge discharge	Évacuation des boues sédimentées

Figure 3.40 : épaisseur à FAD pour les boues activées résiduaires

- la déshydratation par filtre à bandes presseuses, où les boues conditionnées sont introduites dans un système de drainage par gravité afin d'épaissir et de séparer l'eau par gravité. Cette opération est réalisée sous vide, ce qui améliore le drainage et réduit les odeurs. Ensuite, une pression est appliquée dans une zone à faible pression, où les boues sont comprimées entre des courroies poreuses opposées afin de libérer l'eau (voir figure 3.41) ;

Stage 1	Phase 1
Stage 2	Phase 2
Stage 3	Phase 3
Chemical conditioning	Conditionnement chimique
Gravity drainage	Drainage par gravité
Sludge-polymer mixer	Mélangeur polymère/boues
Sludge	Boues
Polymer solution	Solution de polymère
Shear and compression dewatering	Déshydratation par compression
Wash spray	Vaporisateur d'eau
Filtrate	Filtrat
Wash water	Eau de lavage
Dewatered sludge cake	Gâteau de boues déshydraté
Conditioned sludge	Boues conditionnées

Figure 3.41 : filtre à bandes presseuses

- la déshydratation par filtre-pressé, dans laquelle la séparation liquide/solide est réalisée à haute pression (0,7-1,5 MPa) [cww/tm/4]. Les boues passent à travers une série de toiles filtrantes afin de retenir les particules sous forme de gâteau de filtration et le filtrat est recyclé dans la station d'épuration (voir la figure 3.42).

Filtrate discharge	Évacuation du filtrat
Slurry feed	Alimentation des boues
Light curtain	Rideau de lumière
Shifter carriage	Chariot du décaleur de plaques
Shifter fingers	Doigts de positionnement du décaleur
Plate-centering guide	Guide de centrage des plaques
Shifter track	Rail du décaleur
Shifter stop	Butée du décaleur
Cylinder bracket	Support du vérin
Hydraulic cylinder	Vérin hydraulique
Control panel	Panneau de commande

Movable head	Tête mobile
Recessed plate	Plateau encastré
Stationary head	Tête fixe

Figure 3.42 : filtre-presse à plateau encastré et à volume fixe

Application

Les diverses techniques et leur application en fonction des propriétés des boues sont :

Gravité	Centrifuge	FAD	Courroie gravitaire	Tambour rotatif
Boues primaires non traitées	Boues activées résiduaires, ajout de floculant et de polymères nécessaire	Boues activées résiduaires	Boues activées résiduaires, en particulier avec une concentration en matières solides < 2 %	Boues activées résiduaires
Boues activées résiduaires		Mélange de boues primaires non traitées et de boues activées résiduaires, ajout de polymères nécessaire		
Mélange de boues primaires non traitées et de boues activées résiduaires				

Filtre à bandes presseuses	Filtre-presse
Tout type de boues, ajout de floculants et de polymères nécessaire	Tout type de boues, ajout de floculants et de polymères nécessaire, Utilisé lorsque la teneur en matières solides en suspension du filtrat doit être faible

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<u>Épaississement par gravité :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Excellents résultats avec les boues primaires non traitées. ▪ Les résultats de l'épaississement par gravité sont généralement satisfaisants pour les petites usines et les concentrations de boues comprises entre 4 et 6 %. ▪ Faible consommation d'énergie. 	<u>Épaississement par gravité :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Résultats marginaux dans le cas des grandes usines. ▪ Pour les boues activées résiduaires, faible concentration en matières solides .
<u>Épaississement par centrifugation :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Production de gâteaux de boues sèches efficace et bonne séparation des solides difficiles à filtrer. ▪ Encombrement faible par rapport aux autres systèmes de déshydratation. ▪ Simplicité d'installation. ▪ Problèmes d'odeurs minimaux. 	<u>Épaississement par centrifugation :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Forte consommation d'énergie par unité de déshydratation de boue. ▪ Produit la plus faible concentration de solides dans les gâteaux de tous les systèmes de déshydratation. ▪ Production de bruit et de vibrations. ▪ Le personnel en charge de la maintenance doit être expérimenté.
<u>Épaississement par FAD :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Efficacité correcte pour les boues résiduaires des procédés de traitement biologiques. 	<u>Épaississement par FAD :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensible au gel (blocage des injecteurs d'air). ▪ Émission de substances odorantes (effet

	de stripping).
<u>Épaississement par courroie gravitaire :</u> <ul style="list-style-type: none"> Bons résultats avec les boues brutes et digérées. 	
<u>Épaississement sur tambour rotatif :</u> <ul style="list-style-type: none"> Peu d'entretien, encombrement faible, consommation d'énergie faible. 	
<u>Filtre à bande presseuses :</u> <ul style="list-style-type: none"> Capacité de déshydratation élevée. Facilité d'entretien. 	<u>Filtre à bande presseuses :</u> <ul style="list-style-type: none"> Limitations hydrauliques. Très sensible aux caractéristiques des boues entrantes. Faible durée de vie du milieu par rapport aux autres dispositifs de déshydratation.
<u>Filtre-pressé :</u> <ul style="list-style-type: none"> Capacité de déshydratation élevée et concentration en matières en suspension du filtrat faible. 	<u>Filtre-pressé :</u> <ul style="list-style-type: none"> Fonctionnement discontinu. Exigences particulières concernant la structure de support, le sol, les compétences du personnel. Durée de vie du tissu filtrant limitée.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Technique	Concentration des boues [%]	Séparation des matières solides [%]	Remarques
Épaississement par gravité	2-10 ^{1,2}	80-92 ¹	Selon la qualité des boues.
Épaississement par centrifugation	3-8 ¹	80-98 ¹	
Déshydratation centrifuge	10-35 ^{1,2}	85-98 ¹	Avec produits chimiques
Épaississement par FAD	2-10 ²	80-98 ¹	
Épaississement par courroie gravitaire	4-6 ²		
Épaississement sur tambour rotatif	3-4 ¹		
	15-30 ^{1,2}	90-98 ¹	Sous vide
Déshydratation par filtre à bandes presseuses	15-30 ^{1,2}	85-98 ¹	Avec produits chimiques
Déshydratation par filtre-pressé	20-50 ¹	90-98 ¹	Avec produits chimiques
¹ [cww/tm/4]			
² [cww/tm/128]			

Impacts croisés

L'épaississement et la déshydratation des boues sont des prétraitements dont le but est de faciliter un traitement ultérieur des boues. En d'autres termes, les boues qui résultent d'un procédé de déshydratation ou d'épaississement doivent subir un dernier traitement ou être mises en décharge. L'effluent aqueux (surnageant, filtrat) est renvoyé dans la station d'épuration.

Les émissions de bruit et d'odeurs sont contrôlées en confinant et/ou en capotant les équipements.

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Agents de conditionnement	0-4 kg de polymère/tonne de matière sèche ¹	Centrifugeuse à bol plein

	1-3 kg de polymère/tonne de matière sèche ¹	Centrifugeuse à panier
	2-5 kg de polymère/tonne de matière sèche ¹	FAD
	3-7 kg de polymère/tonne de matière sèche ¹	Courroie gravitaire
Eau de lavage		Pour le lavage à contre-courant du filtre
Énergie [kWh/m ³]	2-6	Centrifugeuse à bol plein
	2-3	Filtre à bandes presseuses
	4-5	Filtre-presse
¹ [cww/tm/4]		

Surveillance

Pour prévenir toute perturbation, le procédé d'épaississement doit être contrôlé au moins visuellement. L'alimentation en boues et leur consistance, ainsi que la turbidité des eaux rejetées doivent, être contrôlés régulièrement. L'apparition de boues foisonnantes doit être détectée pour éviter leur rejet.

Dans le cas d'équipements fragiles, par exemple tissus filtrants, l'alimentation doit être contrôlée pour empêcher l'arrivée de solides trop gros ou autrement dangereux pour l'équipement.

Aspects économiques

Technique	Coûts de capital	Coûts d'exploitation
Épaississement par gravité	15 millions BEF ^{a 1}	8 400 BEF/m ³ ^{a 1}
Épaississement par centrifugation		6 000-8 000 BEF/tonne de matière sèche ¹
Épaississement par FAD	40 millions BEF ^{a 1} 4 millions BEF ^{b 1}	
Épaississement par courroie gravitaire		
Épaississement sur tambour rotatif		6 000-8 000 BEF/tonne de matière sèche ¹
Déshydratation par filtre à bandes presseuses		6 000-8 000 BEF/tonne de matière sèche ¹
Déshydratation par filtre-presse		7 000-10 000 BEF/tonne de matière sèche ¹
^a capacité de 100 m ³ /h ^b capacité de 100 m ³ /j ¹ [cww/tm/128]		

3.4.2 Stabilisation et conditionnement

Description

La stabilisation des boues d'épuration est une technique de traitement destinée à [cww/tm/132] :

- réduire ou éliminer la quantité de constituants odorants
- réduire la quantité de solides biodégradables dans les boues
- améliorer la déshydratation
- réduire les agents pathogènes
- réduire ou éliminer le risque de putréfaction

Les techniques de stabilisation sont les suivantes [cww/tm/132] :

- la stabilisation chimique, qui utilise principalement de la chaux, employée comme prétraitement (avant déshydratation), ou comme post-traitement (après déshydratation), pour augmenter le pH au-delà de 12 et ainsi détruire les agents pathogènes.
- la stabilisation thermique, qui consiste à chauffer les boues dans une cuve sous pression à une température pouvant atteindre 260 °C et à une pression allant jusqu'à 2,8 MPa pendant environ 30 minutes. Cette technique est également utilisée pour le conditionnement.
- la digestion aérobie dans un réservoir (semblable au procédé aérobie par boues activées pour le traitement des eaux usées) en présence d'air ou d'oxygène pur, avec une agitation adaptée. Cette technique aboutit à une réduction de 75-80 % de la teneur des boues activées [cww/tm/4]. C'est une technique intéressante lorsque l'on envisage de réaliser la digestion des boues séparément.
- la digestion anaérobie, dans un réservoir et en l'absence d'air, dans la gamme mésophile (30-38 °C) ou thermophile (49-57 °C), avec production d'un mélange gazeux combustible (65-70 % de méthane, 25-30 % de dioxyde de carbone, ainsi que de petites quantités d'azote, d'hydrogène, de sulfure d'hydrogène, etc.) de valeur calorifique faible (environ 22 MJ/Nm³).
- la double stabilisation des boues, qui combine une digestion thermophile aérobie en amont et une digestion mésophile anaérobie en aval.

Le but du conditionnement des boues est d'améliorer les conditions nécessaires à leur épaissement et/ou leur déshydratation. Les techniques de conditionnement sont les suivantes :

- le conditionnement chimique, à l'aide de chlorure ferrique, de chaux, d'alun et de polymères organiques (coagulants et floculants) ;
- le conditionnement thermique, qui consiste à chauffer les boues dans une cuve sous pression à une température de 60-80 °C (conditionnement thermique bas) ou à 180-230 °C et à 1-2,5 MPa (conditionnement thermique élevé).

Application

La stabilisation et le conditionnement sont employés pour des boues à teneur organique et qui sont destinées à être épaissies et/ou déshydratées. L'applicabilité des différentes techniques dépend des conditions particulières du site, par exemple :

- l'espace disponible pour les digesteurs
- la disponibilité de l'énergie, un problème important à prendre en compte avec les techniques thermiques
- la quantité de boues produite
- certaines techniques ne sont viables que pour les grandes usines

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<u>Stabilisation et conditionnement chimique :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Technique standard sans fortes prescriptions techniques. ▪ Méthode efficace pour améliorer la filtration (conditionnement) en aval, et pour réduire les substances odorantes et les agents pathogènes (stabilisation). 	<u>Stabilisation et conditionnement chimique :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Augmentation très importante de matière solide (sauf pour le conditionnement par polymère).
<u>Stabilisation et conditionnement thermique :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Encombrement limité. 	<u>Stabilisation et conditionnement thermique :</u>

<ul style="list-style-type: none"> Traitement efficace sans avoir recours à des adjuvants chimiques. Les deux techniques permettent la déshydratation des boues et la destruction des bactéries. Techniques plus adaptées aux boues biologiques dont la stabilisation ou le conditionnement par d'autres méthodes peuvent s'avérer difficiles. 	<ul style="list-style-type: none"> Coûts de capital élevés par rapport aux autres techniques. Forte consommation d'énergie. L'émission de substances odorantes est un problème important de cette méthode.
<u>Digestion aérobie :</u> <ul style="list-style-type: none"> Réduction des solides volatils relativement élevée par rapport à la digestion anaérobie. Production d'un produit biologiquement stable, sans odeurs et semblable à de l'humus. Mise en œuvre relativement simple. Coûts d'exploitation inférieurs à ceux de la digestion anaérobie. 	<u>Digestion aérobie :</u> <ul style="list-style-type: none"> Forte consommation d'énergie pour le mélange et l'apport d'air ou d'oxygène. Production de boues digérées dont les caractéristiques mécaniques de déshydratation sont limitées. Procédé significativement sensible à la température, à la localisation et aux matériaux du réservoir.
<u>Digestion anaérobie :</u> <ul style="list-style-type: none"> Après traitement, comme par exemple des laveurs par voie humide ou sèche, les gaz émis peuvent être utilisés comme combustible pour les procédés de combustion. Traitement efficace sans avoir recours à des adjuvants chimiques. Minéralisation efficace des boues grâce à un temps de séjour élevé. 	<u>Digestion anaérobie :</u> <ul style="list-style-type: none"> L'encombrement important est un problème pour les petits sites.

Impacts croisés

La stabilisation et le conditionnement chimique engendrent une augmentation très importante des teneurs en matières solides à évacuer, sauf dans le cas du conditionnement par polymère. La stabilisation par la chaux ne détruisant pas les matières organiques nécessaires à la croissance des bactéries, les boues doivent être traitées avec un excès de chaux ou évacuées avant que le pH ne diminue de manière trop importante. Le surdosage de la chaux peut être équivalent à 1,5 fois la quantité nécessaire pour maintenir le pH initial de 12 [cww/tm/4].

La quantité nécessaire de chaux pour la stabilisation des boues est indiquée dans le tableau 3.12 [cww/tm/4]. La quantité de polymère nécessaire au conditionnement des boues est indiquée dans le tableau 3.13 [cww/tm/4].

Boues	Concentration en matières sèches [%]	Dosage de la chaux ^a [kg de chaux/kg de matières sèches]
Boues primaires	3-6	120-340
Boues activées résiduelles	1-5	420-860
Boues mélangées digérées en aérobiose	6-7	280-500
Boues septiques	1-4,5	180-1 020
^a quantité de chaux requise pour maintenir le pH à 12 pendant 30 minutes		

Tableau 3.12 : dosages typiques de la chaux pour la stabilisation des boues liquides

Boues	kg de polymère sec/tonne de matière sèche		
	Filtre à tambour rotatif sous vide	Filtre à bande presseuse	Centrifugeuse à bol plein
Boues primaires	1-5	1-4	0,5-2,5
Boues primaires et boues activées résiduaires	5-10	2-8	2-5
Boues primaires et boues de lit bactérien	1,3-2,5	2-8	-
Boues activées résiduaires	7,5-15	4-10	5-8
Boues primaires digérées en anaérobiose	3,5-7	2-5	3-5
Boues primaires digérées en anaérobiose et boues activées du traitement des effluents gazeux	1,5-8,5	1,5-8,5	2-5
Boues primaires digérées en aérobiose et boues activées du traitement des effluents gazeux	7,5-10	2-8	-

Tableau 3.13 : niveaux typiques d'ajout de polymères pour différents types de boues et pour différentes méthodes de déshydratation

Le problème principal de la digestion aérobie des boues est l'apport nécessaire en air ou en oxygène, qui est d'environ 2,3 kg d'O₂ par kg de matière solide dégradée.

La digestion anaérobie produit un gaz combustible qui peut être utilisé comme combustible. Cependant, à cause de sa teneur en particules et en sulfure d'hydrogène, il doit être nettoyé avant de pouvoir être utilisé. Les techniques de traitement des effluents gazeux adaptées sont les techniques de lavage par voie sèche ou humide. Dans les grandes usines, ce gaz peut être utilisé comme combustible pour les chaudières et les moteurs à combustion interne.

La stabilisation et le conditionnement thermique sont des procédés nécessitant une grande quantité d'énergie, c'est pourquoi ils doivent être étudiés en fonction des avantages qu'ils présentent dans des circonstances particulières. Au cours du fonctionnement, des substances odorantes sont éventuellement produites et doivent donc être réduites en conséquence.

Aspects économiques

Technique	Coûts de capital	Coûts d'exploitation
Stabilisation chimique		
Stabilisation/conditionnement thermique		
Digestion anaérobie		
Conditionnement chimique		

3.4.3 Réduction thermique des boues

Description

La réduction thermique des boues se divise en deux types d'application :

- le séchage par la chaleur, qui permet de réduire la teneur en eau par vaporisation de celle-ci
- l'oxydation des boues séchées, qui permet d'en minéraliser le contenu organique

Les installations de séchage généralement utilisées sont les suivantes :

- les séchoirs rotatifs
- les séchoirs par pulvérisation
- les séchoirs éclairs
- les évaporateurs
- les séchoir à soles multiples

L'opération d'oxydation des boues séchées qui s'ensuit permet de convertir les matières solides organiques en produits finis oxydés, essentiellement composés de dioxyde de carbone et d'eau, rejetés sous forme de gaz, et laisse un volume réduit de matières solides principalement inorganiques. Les boues traitées par réduction thermique sont en général déshydratées et non traitées, c'est-à-dire non stabilisées. Les procédés de stabilisation (digestion anaérobie, par exemple) permettent de diminuer la teneur en substances volatiles des boues, ce qui augmente le besoin en combustible auxiliaire. La stabilisation par la chaleur avant l'incinération est une exception. Les boues traitées par la chaleur se déshydratent très bien et deviennent auto-combustibles [cww/tm/4].

Les techniques d'oxydation thermique (ou d'incinération) couramment utilisées sont les suivantes :

- l'incinération à lit fluidisé (voir la figure 3.43), utilisée pour l'incinération des boues, constituée d'une cuve en acier cylindrique qui contient un lit de sable et dispose d'orifices d'entrée pour l'air de fluidisation. Le lit est fluidisé par l'air à une pression de 20-35 kPa et sa température est maintenue entre 760 et 820 °C [cww/tm/4]. Si le procédé est réalisé en continu ou avec des arrêts de courte durée, il n'est pas nécessaire d'utiliser un combustible auxiliaire après le démarrage [cww/tm/4]. Il est planifié que cette technique soit traitée dans le BREF sur l'incinération des déchets non encore écrit à ce jour.

Exhaust and ash	Effluent et cendres
Pressure tap	Prise de pression
Sight glass	Regard de contrôle
Freeboard for bed expansion	Chambre d'expansion du lit
Sand feed	Alimentation en sable
burner	Brûleur
Fluidized sand bed	Lit de sable fluidisé
Thermocouple	Thermocouple
Sludge inlet	Arrivée des boues
Tuyeres	Tuyères
Fuel gun	Injecteur du combustible
Refractory arch	Voûte réfractaire
Fluidizing air inlet	Arrivée de l'air de fluidisation
Windbox	Boîte à vent
Startup preheat burner for hot windbox	Brûleur de démarrage pour le préchauffage de la boîte à vent

Figure 3.43 : incinérateur à lit fluidisé [cww/tm/4]

- l'oxydation à l'air humide, technique décrite à la section 3.3.4.2.4, utilisée pour les boues non traitées, à une température comprise entre 175 et 315 °C et des pressions jusqu'à 20 MPa ; des gaz, du liquide et des cendres sont issus du réacteur. Les gaz peuvent être détendus pour récupérer de l'énergie.
- l'oxydation en puits profond (voir la figure 3.44), qui consiste à envoyer les boues liquides dans un réacteur tubulaire à température et pression contrôlées, suspendu dans un puits profond. De l'oxygène ou de l'air est injecté dans le flux de boues résiduelles à une température d'environ 290 °C et à une pression en fond de cuve comprise entre 10 et 14 MPa (pression hydrostatique). Il s'agit d'une application particulière de l'oxydation à l'air humide.

Oxygen	Oxygène
Influent	Influent
Treated effluent	Effluent traité
Monitored, void annular space	Espace annulaire vide et contrôlé
Sealed, cased well	Puits tubé, clos
Sealed vertical process vessel (reactor)	Cuve de procédé verticale fermée (réacteur)
Reaction zone	Zone de réaction

Figure 3.44 : réacteur d'oxydation en puits profond [cww/tm/4]

- l'incinération avec d'autres déchets, qui permet de réduire les coûts en utilisant la même installation et en profitant de la chaleur produite par l'incinération des déchets pour l'évaporation de l'eau contenue dans les boues. On peut s'attendre à ce que cette technique soit traitée dans le BREF sur l'incinération des déchets.

Toutes les techniques nécessitent un traitement complémentaire des liquides et des gaz émis.

Application

La réduction thermique des boues ne doit pas obligatoirement être réalisée sur le site de production chimique. En principe, seuls les sites les plus grands prennent en charge des traitements des boues de cette échelle, les autres mandatent des sociétés extérieures pour réaliser cette opération. Il y a plusieurs raisons à cela, la nécessité d'un personnel qualifié, les coûts de capital et de maintenance considérables, et le fait que la chaleur qui est produite n'est un avantage que pour les usines les plus grandes ou lorsque l'équipement est déjà disponible.

L'incinération avec d'autres déchets est une option pour les sites qui incinèrent déjà des déchets, à condition que l'incinérateur soit équipé de façon adéquate, ou lorsqu'il est prévu de construire un incinérateur.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<u>Incineration :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Destruction efficace du contenu organique des boues. 	<u>Incineration :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Procédé complexe qui nécessite du personnel qualifié. ▪ Il est fréquent de devoir ajouter du combustible d'appoint. ▪ Émissions d'odeurs et de gaz.
<u>Incineration avec d'autres déchets :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau et à l'incinération des boues est fournie par l'incinération des déchets solides. Il n'est donc pas nécessaire d'ajouter du combustible d'appoint. 	<u>Incineration avec d'autres déchets :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Il est possible d'avoir des émissions importantes de DDPC/DFPC et de métaux lourds lorsque les conditions de combustion et le système de nettoyage des gaz de combustion ne sont pas adaptés au mélange (par exemple : mesures primaires pour la réduction des dioxines, mesures secondaires pour la réduction simultanée des dioxines et des métaux lourds).
<u>Oxydation à l'air humide :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le procédé peut être conçu pour être thermiquement auto-suffisant ; la récupération d'énergie est parfois 	<u>Oxydation à l'air humide :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Production d'une liqueur de recyclage dont la concentration est élevée. ▪ Procédé complexe qui nécessite du personnel

possible.	qualifié.
<u>Réacteur à puits profond :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Encombrement faible. ▪ Capacité d'extraction des matières en suspension et organiques élevée. ▪ Procédé entièrement exothermique. ▪ Émissions atmosphériques faiblement odorantes ou gênantes 	<u>Réacteur à puits profond :</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le contrôle du procédé nécessite du personnel qualifié.

Impacts croisés

Les principaux problèmes environnementaux de la réduction thermique des boues sont les émissions liquides et gazeuses générées au cours du procédé.

Les émissions gazeuses des incinérateurs à lit fluidisé sont constituées de particules (cendre), d'oxydes d'azote, de gaz acides, d'hydrocarbures, de métaux lourds, en fonction de la composition des boues ainsi que du combustible auxiliaire. Les techniques de lavage humide (pour plus de détails, se reporter à la section 3.5.1.4) sont utilisées pour réduire les polluants atmosphériques. Les rejets aqueux d'un lavage humide contiennent des matières en suspension et des effluents gazeux dissous, qui doivent faire l'objet d'un traitement spécifique aux eaux usées. Les émissions atmosphériques et les rejets d'eaux usées doivent respecter les exigences de la directive 2000/76/CE relatives à l'incinération des déchets [cww/tm/155] Annexes II, IV et V.

Dans le cas d'un incinérateur à lit fluidisé, il n'y a pas de cendres sèches au fond du réacteur ; elles sont entraînées par les gaz de combustion.

Dans le cas de l'oxydation à l'air humide, les gaz, les liquides et les cendres quittent le réacteur. Les liquides et les cendres sont renvoyés via des échangeurs de chaleur pour préchauffer les boues entrantes, et les gaz sont séparés des particules et des gouttelettes de liquide dans un cyclone, puis rejetés. Dans les grandes installations, il peut s'avérer économiquement rentable de détendre les gaz dans une turbine pour récupérer de l'énergie [cww/tm/4]. La phase liquide est séparée des matières solides et renvoyée vers le bassin de décantation ou le clarificateur. Le liquide recyclé présente une charge organique très importante. En générale, la teneur en DCO est de 10-15 g/l.

L'oxydation en puits profond doit être suivie d'un procédé de séparation gaz/liquide et solide/liquide, ainsi que d'un post-traitement du surnageant. Ces traitements réduisent la teneur en DCO des boues de plus de 80 % [cww/tm/4].

Les besoins énergétiques de la réduction thermique des boues dépendent fortement de leur pouvoir calorifique, c'est-à-dire de la teneur en eau et du pouvoir calorifique des matières sèches.

Surveillance

Le procédé d'incinération (four) est généralement géré par un système de contrôle de procédé et les paramètres de surveillance sont :

- des mesures du volume
- des mesures de température
- des mesures de pression
- des analyses

Des mécanismes de régulation permettent de conserver la température adéquate dans la zone d'incinération et d'assurer la concentration exacte en oxygène dans le gaz de combustion. En assurant

un temps de séjour, un excès d'air et des températures optimaux, il est possible d'incinérer complètement les cendres.

De plus, le contrôle doit respecter les dispositions des articles 10 et 11 et de l'annexe III de la directive 2000/76/CE sur l'incinération des déchets [cww/tm/155].

Aspects économiques

Technique	Coûts de capital	Coûts d'exploitation
Incinération à lit fluidisé		
Oxydation à l'air humide		
Oxydation en puits profond		
Incinération avec d'autres déchets		

3.5 Techniques de traitement en aval des effluents gazeux

Les techniques de traitement en aval des effluents gazeux sont décrites dans la présente section dans un ordre comparable à celui suivi pour les techniques de traitement en aval des eaux usées. La relation entre le polluant et la technique de traitement spécifique, comme souligné à la section 1.3.2.2, est illustrée à la figure 3.45.

Waste gas release	Émission d'effluents gazeux
Production	Production
Handling	Manipulation
Workup	Préparation
Combustion	Combustion
Volatile organic compounds	Composés organiques volatils
Volatile inorganic compounds (incl. NO _x , SO _x , HCl, HF)	Composés inorganiques volatils (incluant NO _x , SO _x , HCl, HF)
Particulates	Particules
NO _x	NO _x
SO _x , HCl, HF	SO _x , HCl, HF
Substance recovery	Récupération de substances
Energy recovery	Récupération d'énergie
Recovery techniques	Techniques récupératives
Membrane separation	Séparation par membrane
Condensation	Condensation
Adsorption	Adsorption
Wet scrubbers	Laveurs par voie humide
Separators	Séparateurs
Cyclones	Cyclones
Electrostatic precipitators	Electrofiltres
Fabric filters	Filtres en fibres textiles
Two-stage dust filters	Filtres dépoussiéreurs à deux étages
Absolute filters	Filtres absolus
High efficiency dust filters	Filtres à air à haute efficacité
Mist filters	Filtres dévésiculeurs / dévésiculeurs
Dry, semi-dry and wet sorption	Sorption sèche, semi-sèche et humide
Abatement techniques	Techniques destructives
Biofiltration	Biofiltration
Bioscrubbing	Biolavage
Biotrickling	Filtrage percolateur
Thermal oxidation	Oxydation thermique

Catalytic oxidation	Oxydation catalytique
Flaring	Combustion en torchère
SNCR / SCR	RNCS/RCS
Catalytic filtration	Filtration catalytique

Figure 3.45 : présentation des techniques de traitement en aval des effluents gazeux en fonction du type de polluant

Les sources des effluents gazeux à traités sont :

- les procédés à température « normale » tels que la production, la manipulation et la préparation, dont les polluants principaux sont :
 - les composés organiques volatils comme les solvants
 - les composés inorganiques comme les halogénures d'hydrogène, le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac, le monoxyde de carbone
 - les particules sous forme de poussières
- les procédés d'incinération, dont les polluants principaux sont :
 - les particules sous forme de poussières et de cendres, et contenant de la suie et des oxydes métalliques,
 - les gaz de combustion tels que le monoxyde de carbone, les halogénures d'hydrogène, les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x)

Les effluents gazeux émis sont traités grâce à des techniques :

- qui permettent de récupérer le contenu des effluents gazeux et de le recycler dans le procédé d'origine, ou de l'utiliser dans un autre procédé comme matière première ou agent énergétique, ou
- qui détruisent les polluants.

Les composés, qu'il est en général économiquement possible de récupérer, sont notamment :

- les COV, récupérés à partir des vapeurs des solvants ou des vapeurs de produits à point d'ébullition bas
- Les COV, utilisés comme agents énergétiques dans les incinérateurs ou les chaudières
- le chlorure d'hydrogène, transformé en acide chlorhydrique
- l'ammoniac, à recycler dans les procédés de production
- le dioxyde de soufre, transformé en acide sulfurique, en soufre ou en gypse
- les poussières contenant des quantités élevées de produits bruts solides ou de produits ultimes

Comme indiqué dans la figure 3.45, les techniques de traitement sont classées ainsi :

- les techniques récupératives de traitement des COV et des composés inorganiques :
 - la séparation par membrane (voir la section 3.5.1.1)
 - la condensation (voir la section 3.5.1.2)
 - l'adsorption (voir la section 3.5.1.3)
 - le dépoussiérage par voie humide (voir la section 3.5.1.4).
- les techniques destructives de traitement des COV et des composés inorganiques :
 - la biofiltration (voir la section 3.5.2.1)
 - le biolavage (voir la section 3.5.2.2)
 - le filtrage percolateur (voir la section 3.5.2.3)
 - l'oxydation thermique (voir la section 3.5.2.4)
 - l'oxydation catalytique (voir la section 3.5.2.5)
 - la combustion en torchère (voir la section 3.5.2.6).

- les techniques récupératives et destructives de traitement des particules, utilisant des :
 - séparateur (voir la section 3.5.3.1)
 - cyclone (voir la section 3.5.3.2)
 - électrofiltre (voir la section 3.5.3.3)
 - dépoussiéreur par voie humide (voir la section 3.5.3.4)
 - filtre à fibres textiles, y compris filtre céramique (voir la section 3.5.3.5)
 - filtre catalytique (voir la section 3.5.3.6)
 - filtre dépoussiéreur à deux étages (voir la section 3.5.3.7)
 - filtre absolu (filtre HEPA) (voir la section 3.5.3.8)
 - filtre à air à haute efficacité (HEAF) (voir la section 3.5.3.9)
 - filtre dévésiculeur (voir la section 3.5.3.10).
- les techniques récupératives et destructives de traitement des gaz de combustion extraits :
 - injection de sorbants secs (voir la section 3.5.4.1)
 - injection de sorbants semi-secs (voir la section 3.5.4.1)
 - injection de sorbants humides (voir la section 3.5.4.1)
 - la réduction non catalytique sélective des NO_x (RNCS) (voir la section 3.5.4.2)
 - la réduction catalytique sélective des NO_x (RCS) (voir la section 3.5.4.2)

La plupart des techniques de traitement ne peuvent pas simplement être classées comme techniques récupératives ou destructives, car la récupération des polluants dépend de la mise en œuvre d'étapes de séparation supplémentaires.

Certaines des techniques décrites sont des opérations et/ou des procédés individuels, d'autres ne sont utilisées que comme méthodes de prétraitement secondaire pour éviter d'endommager l'installation de traitement principale ou simplement comme préfiltre, ou bien elles sont utilisées comme étape de finalisation. D'autres encore peuvent être utilisées indifféremment comme technique individuelle ou secondaire. Des exemples seront donnés dans les paragraphes qui suivent.

La plupart des techniques de traitement des effluents gazeux nécessitent un traitement supplémentaire en aval, que ce soit pour les eaux usées ou pour les effluents gazeux générés durant le procédé, et/ou l'évacuation de déchets solides. Ce sujet sera traité dans les chapitres correspondants ci-dessous.

3.5.1 Techniques récupératives de traitement des COV et des composés inorganiques

3.5.1.1 Séparation par membrane

Description

La séparation par membrane des gaz est basée sur la perméabilité sélective des vapeurs organiques lors de leur perméation à travers une membrane. Les vapeurs organiques ont une vitesse de perméation beaucoup plus élevée que l'oxygène, l'azote, l'hydrogène ou le dioxyde de carbone (10 à 100 fois plus élevée [cww/tm/74]). Le flux d'effluent gazeux est comprimé et traverse la membrane. Le perméat enrichi peut être récupéré notamment par condensation (voir la section 3.5.1.2) ou adsorption (voir la section 3.5.1.3), ou détruit par oxydation catalytique, par exemple (voir la section 3.5.2.5). Le procédé est plus approprié aux concentrations de vapeur élevées. Un traitement supplémentaire est nécessaire dans la plupart des cas pour atteindre des niveaux de concentration suffisamment bas pour que le rejet soit possible [cww/tm/80].

Les séparateurs à membrane sont conçus sous forme de modules, par exemple des modules capillaires (voir la figure 3.46) [cww/tm/64], comportant des couches de polymère.

Membrane module, e.g. capillary module	Module membrane, par ex. module capillaire
--	--

Capillary module	Module capillaire
Feed	Alimentation
Permeate	Perméat
Cover pipe	Revêtement du tube
Concentrate	Concentré

Figure 3.46 : module membrane capillaire typique

Un système de séparation par membrane est constitué des éléments suivants (voir figure 3.47) :

- des modules membranes
- un compresseur
- une unité de récupération (par ex. condenseur, adsorbeur)
- des conduites et des ventilations
- éventuellement, un deuxième étage pour un traitement supplémentaire

Crude waste gas	Effluent gazeux brut
Clean waste gas	Effluent gazeux purifié
Vent	Extracteur
Feed	Alimentation
Retentate	Rétentat
Membrane module	Module membrane
Membrane	Membrane
Permeate	Perméat
Coolant	Condenseur
Condensate	Condensat
Vacuum pump	Pompe à vide

Figure 3.47 : schéma d'une installation de séparation par membrane classique

Pour créer la différence de pressions nécessaire entre les deux côtés de la membrane, le côté alimentation et le côté perméat (0,1-1 MPa), une surpression est appliquée du côté alimentation, ou du vide (environ 0,2 kPa) est créé du côté perméat, ou bien les deux simultanément [cww/tm/74]

Au cours de l'augmentation de la concentration de vapeur dans l'unité membrane, le niveau de concentration peut monter jusqu'à la limite d'explosibilité, rendant ainsi le mélange explosif. C'est pourquoi la sécurité est un point fondamental et des actions doivent être mises en œuvre pour éviter une telle situation ou pour maîtriser le risque.

Un exemple de procédé de séparation par membrane utilisé comme installation de récupération des vapeurs est illustré à la figure 3.48. Dans cet exemple, une deuxième phase de traitement (AVP, voir la section 3.5.1.3) améliore les émissions, conformément aux exigences définies en la matière.

Application

La séparation par membrane est employée par exemple dans l'industrie chimique, l'industrie pétrochimique, les raffineries et l'industrie pharmaceutique pour récupérer les vapeurs de solvant ou de combustible (essence) à partir des effluents gazeux ou de l'air extrait. Sont récupérés par exemple [cww/tm/74] :

- les monomères d'oléfines des flux de dégazage des résines de polyoléfines
- le chlorure de vinyle de la fabrication du PVC
- les vapeurs de solvant et d'hydrocarbures lors du remplissage des réservoirs

- les charges en hydrocarbures des circuits d'aération des raffineries et des flux combustibles gazeux
- l'hydrogène des effluents gazeux des raffineries

Vapour inlet	Arrivée de la vapeur
Liquid ring compressor V1	Compresseur à anneau liquide V1
Scrubber B1	Laveur B1
Membrane	Membrane
Retentate	Rétentat
1 st stage Membrane unit	1ère Etape Unité membrae
2 nd stage PSA unit	2ème Etape Unité AVP
Bypass	Dérivation
Vent	Event
Permeat	Perméat
Re-cycle	Recyclage
Liquid inlet	Arrivée du liquide
Liquide return	Retour du liquide
Liquid ring vacuum pump V2	Pompe à vide à anneau liquide V2

Figure 3.48 : application d'un procédé de séparation par membrane en tant qu'installation de récupération des vapeurs (IRV)

Les composés récupérables sont notamment :

- les alcanes
- les oléfines
- les composés aromatiques
- les hydrocarbures chlorés
- les alcools
- les éthers
- les cétones
- les esters


Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué	Selon la surface de la membrane ; des capacités de 2 100-3 000 Nm ³ /h sont connues
Température	Température ambiante, selon le matériau de la membrane
Pression	Selon le matériau de la membrane
Teneur en poussières	Très faible, car les poussières peuvent endommager la surface de la membrane. C'est pourquoi la teneur en poussières doit avoir été fortement réduite en amont
Concentration en COV	Jusqu'à 90 %

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La réutilisation de matière première est possible. ▪ Le procédé en lui-même est simple. ▪ Le procédé ne produit pas de déchets. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Étape supplémentaire de préparation et/ou de traitement nécessaire. ▪ Risque d'explosion.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Remarques
Hydrocarbures	90-99 ^{1,a}	Procédé de récupération des hydrocarbures, unité de condensation en amont
COV	Jusqu'à 99,9 ^{1,a}	Récupération des COV, unités de condensation en amont et en aval
^a pour les membranes en  tion ¹ [cww/tm/74]		

Impacts croisés

Consommable	Quantité	Remarques
Matériau de la membrane		
Agent de refroidissement		
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	250 ¹	Énergie électrique pour le ventilateur incluse
Chute de pression [MPa]	0,1-1 ²	
¹ [cww/tm/70] ² [cww/tm/64]		

La séparation par membrane est fréquemment employée comme étape de concentration dans le but de faciliter une récupération ou un traitement ultérieurs, par exemple :

- l'enrichissement de COV dans la phase gazeuse augmente le point de rosée de l'effluent gazeux pollué, ce qui facilite l'étape suivante de condensation, d'où une économie financière.
- l'incinération d'un effluent gazeux enrichi permet de diminuer le besoin en combustible d'appoint.

Les COV provenant des procédés de séparation par membrane sont généralement recyclés et aucuns résidus ne sont produits par les procédés à membrane actuels. Toutefois, il peut engendrer des effluents usés lors d'une étape de traitement ultérieure, en fonction de la technique utilisée. Des émissions résiduelles peuvent être engendrées par les eaux de refroidissement ou par l'effluent gazeux traité. Ces effluents gazeux sont rejetés soit dans l'atmosphère via une cheminée, soit dans une installation de traitement des effluents gazeux, par adsorption ou incinération, par exemple.

Surveillance

L'efficacité du système de séparation par membrane est déterminée par le contrôle de la concentration de COV avant et après le système. Les COV peuvent être exprimés en carbone total, en utilisant un détecteur à ionisation de flamme. Les performances sont améliorées en contrôlant la concentration de COV de chaque côté de la membrane. Pour des raisons de sécurité, le rapport COV/oxygène doit être contrôlé avec soin (risque d'explosion).

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	300 000 EUR ¹	Système de traitement à 200 Nm ³ /h.
Coûts d'exploitation main d'œuvre utilités	1 500 EUR /an ¹ 60 000 EUR/an pour 1 000 Nm ³ /h ¹	4 jours par an

¹ [cww/tm/70]

Les paramètres à prendre en compte pour l'évaluation des coûts sont le débit de l'effluent gazeux ainsi que la durée de vie de la membrane. Les COV récupérés font partie des revenus.

Les coûts du système varient en fonction du niveau de récupération souhaité, de la capacité et de la conception. Il a été rapporté que les délais de recouvrement de l'investissement en lien avec les produits à valeur élevée sont de 4 mois à 1 an dans des conditions favorables [cww/tm/74]. Toutefois, il est possible de ne pas recouvrer du tout l'investissement. L'association avec un autre procédé (adsorption ou absorption, par exemple) peut se révéler plus rentable qu'un procédé de séparation par membrane à une seule étape.

3.5.1.2 Condensation

Description

La condensation est une technique qui permet d'éliminer les vapeurs de solvant des effluents gazeux pollués en abaissant la température de ceux-ci en dessous le point de rosée.

Il existe différentes méthodes de condensation, en fonction de la gamme de température :

- la condensation par refroidissement, jusqu'à une température de condensation d'environ 25 °C
- la condensation par réfrigération, jusqu'à une température de condensation d'environ 2 °C
- la condensation avec eau saline, jusqu'à une température de condensation d'environ -10 °C
- la condensation avec eau saline ammoniacale, jusqu'à une température de condensation d'environ -40 °C (une phase) ou -60 °C (deux phases)
- la condensation cryogénique, jusqu'à une température de condensation d'environ -120 °C, bien qu'en pratique la température dans le dispositif de condensation soit souvent comprise entre -40 et -80 °C
- la condensation par gaz inerte en circuit fermé

La condensation est réalisée par un refroidissement direct (c'est-à-dire par contact entre le gaz et le liquide de refroidissement) ou indirect (c'est-à-dire via un échangeur de chaleur). La condensation indirecte est privilégiée car une étape supplémentaire de séparation est nécessaire dans le cas de la condensation directe. La gamme de systèmes de récupération est très variées, allant de simples condenseurs individuels jusqu'à des systèmes plus complexes à plusieurs condenseurs conçus pour maximiser la récupération d'énergie et de vapeur [cww/tm/71].

La condensation par gaz inerte en circuit fermé est destinée aux systèmes en circuit fermé avec des concentrations de vapeurs élevées. Un volume fixe de gaz inerte, généralement de l'azote, est recyclé en continu autour du four et de l'unité de condensation. Une fraction du mélange azote/vapeur est traitée en continu dans le module de récupération, où une série d'échangeurs de chaleur refroidit et condense les vapeurs [cww/tm/71].

La conception et le fonctionnement des condenseurs dépendent très fortement du fluide réfrigérant utilisé dans le procédé. Exemples :

- Les installations de condensation à refroidissement par liquide (c'est-à-dire non cryogéniques) utilisent deux types d'échangeurs de chaleur :

L'échangeur multitubulaire conventionnel [cww/tm/71], avec refroidissement à eau ou à air.

L'efficacité de la condensation peut être améliorée grâce à un fonctionnement en deux étapes, utilisant de l'eau dans la première étape et un liquide réfrigéré (eau, eau saline, etc.) comme fluide réfrigérant

dans la seconde. Un tel système à deux étapes est constitué des éléments suivants (voir la figure 3.49 [cww/tm/71]) :

- un récupérateur, qui utilise le flux de gaz purifié et refroidi comme fluide réfrigérant
- un pré-refroidisseur pour un refroidissement supplémentaire, utilisant de l'eau réfrigérée ou bien le flux de gaz purifié refroidi
- le condenseur réfrigérant principal
- des conduites et des ventilations

Une autre solution est la condensation partielle à une température légèrement plus élevée suivie de l'élimination du flux de gaz des COV restants au moyen d'une technique différente, par exemple l'adsorption (voir la section 3.5.1.3).

Pour minimiser la formation de brouillard, une série de condenseurs peut être utilisée, ainsi qu'un dévésiculeur dont l'efficacité est renforcée par la diminution de la vitesse du gaz dans le condenseur.

Solvent-laden air	Air chargé en solvant
Recuperator, using cold purified air	Récupérateur utilisant de l'air froid purifié
Pre-cooler using chilled water or cold purified air	Pré-refroidisseur utilisant de l'eau réfrigérée ou de l'air froid purifié
Refrigerated condenser	Condenseur réfrigéré
Captured solvent	Solvant capté

Figure 3.49 : système de condensation à deux étapes

L'échangeur de chaleur en spirale [cww/tm/71], constitué de deux longues bandes enroulées de manière à former deux tubes spiralés concentriques. Le fluide réfrigérant entre via un orifice périphérique, s'écoule en spirale jusqu'au centre, puis ressort par un orifice en périphérie, via une conduite. Les vapeurs de procédé entrent par le fond du condenseur et s'écoulent vers le haut à contre-sens.

Si le système comprend des tours de refroidissement et/ou si de l'eau de surface est utilisée, les échangeurs de chaleur risquent de s'encrasser, d'où la nécessité de progalles de rinçages et/ou de traitements des eaux de refroidissement.

En présence de composés acides ou alcalins, il peut être envisageable d'utiliser un système de recirculation contenant un dosage acide ou alcalin.

- La condensation cryogénique, utilisant la vaporisation de l'azote liquide comme moyen de refroidissement, est mise en œuvre pour condenser les vapeurs de COV à la surface du condenseur. L'azote évaporé est utilisé pour fournir une protection par inertage. Une variante de cette méthode est la condensation sous atmosphère inerte (azote) pour permettre une plus grande concentration en COV du flux gazeux. Des exemples de condensation cryogénique sont donnés aux figures 3.50 et 3.51 [cww/tm/71].

Liquid nitrogen storage tank	Réservoir de stockage de l'azote liquide
Nitrogen vent	Évacuation de l'azote
Condensation unit	Unité de condensation
Nitrogen	Azote
Recovered solvent	Solvant récupéré
Nitrogen blanketed applications	Applications sous atmosphère d'azote
Reactors	Réacteurs
Solvent storage tanks	Réservoirs de stockage du solvant
Dryers	Séchoirs

Nitrogen +solvent	Azote + solvant
-------------------	-----------------

Figure 3.50 : système de récupération par condensation cryogénique avec mise en œuvre d'atmosphères d'azote

Solvent-laden air	Air chargé en solvant
Pre-condenser	Pré-condenseur
Recovered solvent	Solvant récupéré
Process condenser	Condenseur du procédé
Process economiser	Économiseur du procédé
Nitrogen vaporiser	Vaporiseur d'azote
Nitrogen economiser	Économiseur d'azote
Purified air	Air purifié
Nitrogen vent	Évacuation de l'azote
Liquid nitrogen	Azote liquide

Figure 3.51 : système de récupération cryogénique sous atmosphère inerte

Le système de condensation cryogénique est constitué des éléments suivants :

- le pré-condenseur, utilisant de l'eau réfrigérée ou du glycol
 - le (ou les) condenseur(s) principaux du procédé
 - l'économiseur du procédé
 - l'économiseur d'azote
 - le vaporiseur d'azote
 - les conduites et ventilations nécessaires
- Un système de condensation par gaz inerte en circuit fermé est constitué des éléments suivants (voir la figure 3.52 [cww/tm/71]) :
- l'échangeur de chaleur, qui pré-refroidit le flux de gaz
 - le condenseur principal, réfrigéré mécaniquement à une température de -40 °C
 - le séparateur de solvant, l'alimentation en azote

Application

Condensation par refroidissement

La condensation par refroidissement est employée pour les flux gazeux plus ou moins saturés (c'est-à-dire avec un point de rosée élevé) contenant des composés volatils (organiques ou inorganiques) et des substances odorantes, celles-ci étant extraites d'un flux gazeux saturé en eau où l'eau condensée se comporte comme unabsorbant (à condition qu'elles soient solubles dans l'eau).

Une application essentielle de la condensation par refroidissement est le prétraitement ou le post-traitement des installations de traitement des effluents gazeux en amont ou en aval. L'élimination de la plus grande partie des COV déleste les installations de traitement telles que les adsorbants (voir la section 3.5.1.3), les laveurs (voir la section 3.5.1.4) et les incinérateurs (voir la section 3.5.2.4). Par ailleurs, la condensation est un post-traitement adapté aux flux gazeux enrichis provenant, par exemple, d'un procédé de séparation par membrane (voir la section 3.5.1.1) ou de stripping (voir la section 3.3.4.2.14) et de distillation (voir la section 3.3.4.2.12) des eaux usées .

Refrigeration plant	Installation frigorifique
Nitrogen supply	Alimentation en azote
Main condenser	Condenseur principal
Depleted stream	Flux appauvri

Solvent separator	Séparateur de solvant
Recovered solvent	Solvant récupéré
Heat exchanger	Échangeur de chaleur
Final clean-up stage	Étape finale de nettoyage
Very depleted stream	Flux très appauvri
Clean nitrogen stream	Flux d'azote purifié
Depleted stream for recycling	Flux appauvri pour recyclage
Solvent-laden air	Air chargé en solvant
Oven	Four

Figure 3.52 : système classique de condensation par gaz inerte en circuit fermé

Les limites et restrictions d'applications sont [cww/tm/70] :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué	100-100 000 Nm ³ /h
Température du gaz en entrée	50-80 °C
Teneur en eau	Le gaz doit être exempt d'eau lorsque la condensation est réalisée à une température inférieure à 0 °C
Pression	Atmosphérique
Poussières	<50 mg/Nm ³ (non collantes)
Odeurs	>100 000 u.o./Nm ³
Ammoniac	200-1 000 mg/Nm ³

Condensation cryogénique

La condensation cryogénique peut être employée pour tous les polluants inorganiques volatils et les COV, quelle que soit leurs tensions de vapeur individuelles. Les basses températures appliquées permettent une très grande efficacité de la condensation de sorte que le procédé convient bien comme procédé de contrôle final des émissions de COV. Par ailleurs, l'alimentation en gaz doit être exempt d'eau lorsque les températures sont en dessous du point de congélation de l'eau. Le procédé est capable de réagir instantanément aux changements du débit de COV et de la charge en solvant, et permet de récupérer littéralement tous les types de COV, même sous des conditions variables. Cette flexibilité rend le procédé particulièrement adapté au contrôle des COV dans les usines à production diversifiée, où des procédés discontinus ou continus sont employés [cww/tm/150].

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué	Jusqu'à 5 000 Nm ³ /h
Température du gaz en entrée	Jusqu'à 80 °C
Pression	2-600 kPa ¹
¹ [cww/tm/70]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
-----------	---------------

<u>Condensation par refroidissement</u> <ul style="list-style-type: none"> Technologie compacte. Gestion du procédé relativement pratique, les émissions peuvent au minimum être estimées. Les installations de traitement en aval sont délestées des charges élevées et peuvent donc fonctionner de manière plus économique. Récupération de solvant possible, à condition que le flux gazeux ne contienne pas de mélange de COV trop difficile à séparer. Récupération de chaleur possible. 	<u>Condensation par refroidissement</u> <ul style="list-style-type: none"> La quantité d'eau de refroidissement est un problème dans les régions pauvres en eau. Efficacité extrêmement dépendante du débit gazeux et de sa composition. Étape de traitement et/ou de préparation supplémentaire nécessaire.
<u>Condensation cryogénique</u> <ul style="list-style-type: none"> Technologie compacte. Récupération de solvants organiques possible, à condition qu'ils puissent être séparés du mélange condensé. Capacité d'extraction des COV élevées. L'azote gazeux est recyclé. Gestion du procédé relativement pratique, les émissions peuvent au minimum être estimées. 	<u>Condensation cryogénique</u> <ul style="list-style-type: none"> Ne convient pas pour les flux gazeux humides à cause de la formation de glace qui perturbe le transfert de chaleur. Nécessité de disposer d'installations de production d'azote ou d'un apport extérieur d'azote Un refroidissement inférieur à 0 °C peut provoquer la formation de glace sur l'échangeur de chaleur.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Condensation par refroidissement

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
Odeurs	60-90 ¹		Concentration initiale >100 000 u.o./Nm ³
Ammoniac	20-60 ¹		Concentration initiale 200-1 000 mg/Nm ³
¹ [cww/tm/70]			

Condensation cryogénique

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
Dichlorométhane		<20-<40 ¹	À -95 °C, concentration initiale 20-1 000 g/Nm ³
Toluène		<100 ¹	À -65 °C, concentration initiale 20-1 000 g/Nm ³
Méthyléthylcétone (MEC)		<150 ¹	À -75 °C, concentration initiale 20-1 000 g/Nm ³
Acétone		<150 ¹	À -86 °C, concentration initiale 20-1 000g/Nm ³
Méthanol		<150 ¹	À -60 °C, concentration initiale 20-1 000 g/Nm ³
COV		1 000-5 000 ¹	Concentration initiale

			200-1 000 g/Nm ³
¹ [cww/tm/70]			

Impacts croisés

Condensation par refroidissement

Consommable	Quantité	Remarques
Fluide réfrigérant (air, eau saline, , eau saline ammoniacale)		Fortement dépendant de l'application
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]		Ventilations, pompes, installations de refroidissement
Chute de pression [kPa]	0,1-0,2 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

La quantité d'eaux usées produite par l'installation de condensation est directement proportionnelle à la quantité de condensat, qui est elle-même directement proportionnelle au degré d'humidité et à la température de refroidissement choisie. Les teneurs typiques du condensat sont les suivantes :

- condensation de COV : 200-1 000 mg/l de DCO
- condensation d'ammoniac/amines : 400-2 000 mg/l d'azote Kjeldahl

Condensation cryogénique

Consommable	Quantité	Remarques
Azote comme fluide réfrigérant	10-15 kg/kW de refroidissement ¹	Selon la conception de l'installation, le type de solvant, etc.
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	70	Température d'entrée de 80 °C, température de sortie de -70 °C
Chute de pression [kPa]	2-5 ²	
¹ [cww/tm/71]		
² [cww/tm/70]		

Autres consommables :

- vapeur comme agent de décongélation, lorsqu'un condenseur est gelé à cause de l'humidité de l'effluent gazeux
- air comprimé exempt d'humidité pour les commandes pneumatiques

Le condensat peut être réutilisé, retraité ou évacué.

La consommation d'azote liquide est divisée en deux :

- pour maintenir la température lorsque le procédé est en attente
- pour le refroidissement du flux gazeux entrant pour condensation

Il persiste des concentrations de COV modérément élevées après les procédés de condensation, d'où la nécessité d'un traitement supplémentaire (adsorption ou incinération, par exemple).

Condensation par gaz inerte en circuit fermé

Consommable	Quantité	Remarques
Azote comme gaz inerte, pour les purges d'urgence et/ou la réfrigération	1-2 tonnes/j ¹	

Énergie [kWh/1 000 Nm ³]		Ventilations, pompes, installations de refroidissement
Chute de pression [kPa]		
¹ [cww/tm/71]		

Surveillance

Le contrôle de la concentration des vapeurs de solvant en entrée et en sortie du système de condensation permet d'en déterminer l'efficacité lorsque celui-ci est utilisé comme système de purification de l'air. Les COV peuvent être exprimés en carbone total, les matières particulaires étant exclues, par une mesure à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme. Le rendement d'épuration des odeurs est déterminé en prenant des échantillons instantanés à des points d'échantillonnage appropriés, puis en les analysant par olfactométrie. La chute de pression des systèmes cryogénique doit être contrôlée.

Les systèmes cryogéniques utilisent des contrôleurs logiques programmables standards pour contrôler l'apport d'azote nécessaire au refroidissement. L'installation peut fonctionner automatiquement, à condition que des alarmes soient installées et que des vérifications de routine soient effectuées par des opérateurs à chaque changement d'équipe.

De plus, dans le cas des systèmes par gaz inerte en circuit fermé, des analyses de l'oxygène sont réalisées pour vérifier qu'une atmosphère inerte de moins de 5 % d'oxygène est maintenue - pour des raisons de sécurité - dans le circuit de ventilation du four. Si la teneur en oxygène est trop élevée, de l'azote est injecté pour rétablir une atmosphère inerte [cww/tm/71].

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts		
	Condensation par refroidissement	Condensation cryogénique	Condensation par gaz inerte en circuit fermé
Coûts de capital ^a	5 000 EUR ^{b 1}	500 000 EUR ^{c 1}	
Coûts d'exploitation : main d'œuvre	2 heures par semaine + 1 jour/équipe par an ¹	1 jour/équipe par semaine ¹	
^a pour 1 000 Nm ³ /h ^b à l'exclusion des pompes, des conduites et de la tour de refroidissement ^c à l'exclusion des techniques secondaires et du stockage de l'azote ¹ [cww/tm/70]			

Les COV récupérés constituent les recettes.

Facteurs coût [cww/tm/71] :

Facteurs	Influence/résultats
Débit d'émission	Taille totale du système, besoin en utilités
Nécessité de réduire la température, c'est-à-dire charge de refroidissement	Coûts des équipements (directement proportionnels), fourniture de fluide réfrigérant (directement proportionnelle)
Mélanges de solvants	Complexité des techniques de séparation en aval (directement proportionnelle), demande énergétique des techniques de séparation (directement proportionnelle)
Solubilité des solvants	Complexité des techniques de séparation en aval (directement proportionnelle), besoin énergétique des techniques de séparation

	(directement proportionnelle)
--	-------------------------------

Mise en œuvre sur des installations existantes [cww/tm/71] :

Condensation par refroidissement	Condensation cryogénique	Condensation par gaz inerte en circuit fermé
simple lorsque de l'eau de refroidissement est disponibles échangeurs de chaleur à proximité ou sur l'équipement .	Peut être monté sur pattes, peut remplacer n'importe quel vaporiseur d'azote existant, doit être installé près d'une source d'azote liquide afin de réduire la longueur de la conduite cryogénique. Les systèmes peuvent être introduits dans des installations existantes ou intégrés à de nouvelles installations	Difficile à intégrer dans des installations de production existantes ; plus adapté à une mise en place dans de nouvelles installations

3.5.1.3 Adsorption

Description

L'adsorption est une réaction hétérogène dans laquelle les molécules de gaz sont retenues sur une surface solide (l'adsorbant) qui retient préférentiellement certains composés à d'autres, ce qui permet de les enlever des effluents. Lorsque la surface atteint la limite de sa capacité d'adsorption, le contenu adsorbé est désorbé afin de régénérer l'adsorbant. Après la désorption, les polluants sont à une concentration plus élevée, ce qui permet de les récupérer ou de les détruire [cww/tm/135].

Les principaux systèmes d'adsorption sont les suivants :

- l'adsorption en lit fixe
- l'adsorption en lit fluidisé
- l'adsorption en lit mobile continu
- l'adsorption par variation de pression (AVP)

Les procédés d'**adsorption en lit fixe** (voir la figure 3.53 [cww/tm/71]) sont couramment utilisés. Les effluents gazeux, l'air extrait, etc., sont conditionnés en amont par refroidissement, par condensation partielle de la vapeur d'eau, puis par réchauffage pour diminuer l'humidité relative afin de réduire la co-adsorption de l'eau. Le gaz arrive dans l'adsorbent à environ 40 °C, remonte et ressort purifié. Pour permettre la régénération, les adsorbents utilisent plusieurs lits (2 ou 3). L'un est chargé pendant que l'autre est régénéré. Le troisième, facultatif, est en attente. Un procédé d'adsorption à deux lits est illustré à la figure 3.53.

Steam or inert gas	Vapeur ou gaz inerte
Valve open	Vanne ouverte
Valve closed	Vanne fermée
Purified air	Air purifié
Bed 1 adsorbing	Lit 1 Adsorption
Bed 2 desorbing	Lit 2 Désorption
Condenser	Condenseur
Recovered solvent	Solvant récupéré
Water	Eau
Decanter	Décantateur
Solvent-laden air	Air chargé en solvant
Precooler	Prérefroidisseur
Filter	Filtre

Figure 3.53 : procédé d'adsorption à deux lits

Les procédés en **lit fluidisé** (voir la figure 3.54 [cww/tm/132]) utilisent la vitesse du gaz (le plus souvent entre 0,8 et 1,2 m/s) pour conserver l'adsorbant dans un état fluidisé. Ces systèmes nécessitent que les lits d'adsorption puissent résister à l'attrition. Le cycle d'adsorption/désorption fonctionne en continu. L'adsorbant est régénéré dans un échangeur de chaleur situé sous l'adsorbeur, puis renvoyé pneumatiquement vers le lit fluidisé.

Dans les procédés en **lit mobile continu** (voir la figure 3.55 [cww/tm/71]), l'adsorbant est alimenté en continu par le haut de l'adsorbeur et traverse le flux de gaz à contre-courant. L'adsorbant saturé situé au fond de l'adsorbeur, est transféré en continu vers un régénérateur à lit mobile.

L'adsorption par variation de pression (AVP) permet de séparer les gaz ou les vapeurs d'un mélange d'effluents gazeux tout en régénérant l'adsorbant. Ce procédé se compose de quatre étapes :

- Étape 1 : montée en pression grâce au gaz entrant dans l'adsorbeur
- Étape 2 : adsorption à pression élevée, d'où production de composants purs
- Étape 3 : dépressurisation
- Étape 4 : purge à basse pression ou sous vide.

Ce procédé en quatre étapes permet une séparation des composants en fonction de la force de leur liaison avec l'adsorbant. Avec les installations de traitement en aval, cette technique améliore la possibilité de récupération et de réutilisation des mélanges d'effluents gazeux.

Transport Air	Air de transport
Clean gas	Gaz purifié
Crude gas	Gaz brut
Cooling water	Eau de refroidissement
Heating steam	Vapeur de chauffage
Solvent	Solvant

Figure 3.54 : adsorption en lit fluidisé

a) adsorbant régénéré, b) lit fluidisé, c) gaz inerte, d) ventilateur, e) séparateur

Les adsorbants classiques sont notamment [cww/tm/71] :

- le charbon actif en grains (CAG), l'adsorbant le plus courant et dont la gamme d'efficacité est vaste. Il ne se limite pas aux composés polaires ou non polaires. Le CAG peut être imprégné, par exemple, d'oxydants tels que le permanganate de potassium ou de composés de soufre (ce qui améliore la rétention des métaux lourds) [cww/tm/70].
- les zéolites, dont les propriétés dépendent de leur fabrication, qui fonctionnent comme de simples tamis moléculaires, échangeurs d'ions sélectifs ou bien comme des adsorbeurs de COV hydrophobes.
- les particules polymères macroporeuses, utilisées sous forme de granules ou de billes. Elles ne sont pas très sélectives en ce qui concerne les COV.
- le gel de silice.
- les silicates de sodium et d'aluminium.

Outre les méthodes à régénération continue et simultanée décrites ci-dessus, il existe plusieurs autres méthodes de régénération de l'adsorbant des adsorbeurs en lit fixe :

- la régénération par variation de température
- la régénération sous vide

- l'AVP, décrite ci-dessus

Contaminated stripping air	Air de stripping pollué
Desorber	Désorbeur
Steam	Vapeur
Non-condensables	Incondensables
Condenser	Condenseur
Desorbed solvent	Solvant désorbé
Recovered solvent	Solvant récupéré
Purified air	Air purifié
Cooling water	Eau de refroidissement
Stripping air	Air de stripping
Adsorbent feed	Alimentation de l'adsorbant
Saturated adsorbent	Adsorbant saturé
Solvent-laden air	Air chargé en solvant
Adsorber	Adsorbeur

Figure 3.55 : adsorption et désorption en lit mobile continu

La **régénération par variation de température** utilise plusieurs sources de chaleur :

- la vapeur, la source la plus courante
- les micro-ondes
- les réchauffeurs intégrés
- un gaz chauffé, un gaz chaud inerte, pour des raisons de sécurité, pour l'adsorption sur CAG

La vapeur surchauffée descend à travers l'adsorbant et entraîne ainsi les composés chargés jusqu'à une unité de condensation et de séparation, par exemple des séparateurs par gravité ou des installations de distillation. La vapeur surchauffée est la méthode de régénération principalement utilisée pour le CAG. L'utilisation de gaz inertes chauffés est une méthode également appliquée. Les zéolites peuvent être régénérées par des flux d'air chauds. Dans le cas d'adsorbants polymères, la température de la vapeur ou du gaz chaud utilisé pour la régénération peut être plus faible (environ 80 °C).

La **régénération sous vide** permet une désorption à température ambiante, ce qui convient à la récupération et à la réutilisation de substances fragiles. Cette méthode est employée avec le CAG, les zéolites et les adsorbants polymères.

Application

L'application de l'adsorption englobe :

- la récupération de COV (matière première, produit, solvant, carburant issu des opérations de remplissage, etc.) pour réutilisation ou recirculation, souvent comme étape de concentration pour améliorer la viabilité d'opérations de récupération complémentaires telles que la séparation par membrane (voir la section 3.5.1.1).
- la destruction de polluants (substances dangereuses provenant des installations de traitement ou de production, par exemple d'une station d'épuration, telles que les COV, les odeurs, les traces de gaz, etc.) qui ne peuvent pas être recyclés ou être utilisés de quelque manière que ce soit, éventuellement avec le CAG comme adsorbant, non régénéré mais incinéré.
- l'utilisation comme filtre de protection après les installations de traitement en aval.

Il n'est pas recommandé d'appliquer ce procédé comme technique destructive avec des effluents gazeux dont la concentration en COV est très élevée, car les exigences conséquentes liées à la régénération induiraient un manque de rentabilité. D'autres techniques sont en général plus adaptées.

L'adsorption peut être employée pour contrôler, récupérer, recycler ou préparer (pour un traitement en aval) les COV et les émissions atmosphériques de polluants organiques dangereux, par exemple les émissions provenant des opérations suivantes :

- dégraissage
- peinture au pistolet
- extraction de solvant
- revêtement par feuilles métalliques
- revêtement par films plastiques
- revêtement de papier
- produits pharmaceutiques
- gaz combustible, essence, etc.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions		
	CAG	Zéolites	Polymères
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	100-100 000 ¹	<100 000 ¹	
Température [°C]	15-80 ¹	<250 ¹	
Pression [MPa]	0,1-2 ¹	Atmosphérique ¹	
Teneur en COV	Maximum 25 % de la LIE	Maximum 25 % de la LIE	Maximum 25 % de la LIE
Dioxines [ng TEQ/Nm ³]	10-100 ¹		
Degré hygrométrique	maximum <70 % Aussi faible que possible		
¹ [cww/tm/70]			

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rendement d'épuration et de récupération des COV élevé. ▪ Technique simple et robuste. ▪ Degré de saturation de l'adsorbant élevé. ▪ Facilité d'installation. ▪ Facilité d'entretien. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La présence de particules dans l'effluent gazeux peut causer des problèmes. ▪ Les mélanges peuvent rapidement provoquer un dysfonctionnement. ▪ Ne convient pas pour les effluents gazeux humides. ▪ Le lit peut s'enflammer (pour le CAG et les zéolites, les polymères étant utilisés à des températures plus basses). ▪ Risque de polymérisation des composés organiques non saturés sur le CAG.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
COV	80-95 ¹		CAG
Toluène	90 ¹		CAG
Odeurs	80-95 ¹		CAG, zéolite
Mercure		<0,01-0,05 ¹	CAG
Sulfure d'hydrogène	80-95 ¹		CAG

Dioxines		<0,1 ng TEQ/Nm ³ ¹	CAG
¹ [cww/tm/70]			

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité			Remarques
	CAG	Zéolites	Polymères	
Vapeur (désorption) [kg/kg de solvant régénéré]	1,5-6 ¹			
Azote gazeux (désorption par gaz chaud) [Nm ³ /tonne de solvant]	35 ¹			
Eau de refroidissement (condensation) [m ³ /tonne de solvant]	35-60 ² 100-150			Pour les 3 techniques d'adsorption
Perte d'adsorbant [kg/tonne de solvant]	0,5-1 ²			
Chute de pression [kPa]	2-5 ²			
Énergie [kWh/tonne de solvant]	35-100 ² 130-260			
¹ [cww/tm/71]				
² [cww/tm/64]				

La régénération à la vapeur produit des eaux usées dont la teneur en polluants est relativement élevée et qui doivent être rejetées dans une station d'épuration. Lorsque l'adsorbant n'est pas régénéré, il doit être évacué, en général vers une unité d'incinération, une voie d'élimination qui n'est pas adaptée pour les adsorbants chargés en mercure. La régénération et/ou l'évacuation de l'adsorbant peuvent être réalisées par des sociétés extérieures.

Un traitement des gaz en aval peut s'avérer nécessaire, selon les exigences légales.

Puisque tous les procédés d'adsorption sont exothermiques, ils entraînent une augmentation de la température, ce qui ne convient pas pour l'adsorption de composés organiques. Le carbone ou les métaux sur le CAG ou les zéolites peuvent catalyser l'oxydation de certains composés lorsque l'adsorbant est chaud, ce qui entraîne l'inflammation du lit. Tout ou partie du CAG est alors consommé, ce qui n'est pas le cas avec les zéolites. Ceci représente un risque pour l'adsorption de certains hydrocarbures (cétones ou composés actifs comparables, par exemple) à des températures ambiantes proches de celle d'oxydation des composés organiques. Cette inflammation du lit de CAG peut modifier la taille des pores du lit restant ou réduire le lit en cendres par oxydation. Ce phénomène est grave car il risque de provoquer un incendie de toute l'installation. Ce risque peut être supprimé en humidifiant l'air et en refroidissant le CAG.

Surveillance [cww/tm/79]

La rendement d'épuration du système est déterminé par le contrôle de la concentration en COV/odeurs en amont et en aval. Les COV peuvent être exprimés en carbone total (à l'exclusion des matières particulaires) par mesure à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme. Une analyse qualitative des émissions peut être réalisée en prenant des échantillons instantanés de gaz à des points d'échantillonnage déterminés, puis en les analysant par GC/MS ou GC/FID. Le rendement d'épuration des émissions d'odeurs est déterminé en prenant des échantillons instantanés à des points d'échantillonnage appropriés, puis en les analysant par olfactométrie.

La mesure la plus importante est la chute de pression à travers les dépoussiéreurs et le lit d'adsorbant. À travers les filtres, la pression doit fortement augmenter après remplacement ou nettoyage. Une augmentation trop rapide signale que la chute de pression ultérieure sera trop élevée à cause d'une teneur en poussière anormale.

À travers le lit, la pression doit rester sensiblement constante. Une augmentation indique que de la poussière contourne le dépoussiéreur ou que des poussières d'adsorbant dues à l'éclatement de granules sont présentes. Une alarme doit également signaler une pression élevée.

Le contrôle de la température du gaz sortant de l'adsorbeur au CAG est nécessaire afin de prévenir tout risque d'incendie.

Les systèmes d'adsorption sont généralement contrôlés au moyen d'un contrôleur logique programmable, les nouveaux systèmes étant basés sur la séquence de changement des lits. Lorsque le niveau d'émission d'un lit en cours de fonctionnement atteint un niveau prédéfini, un changement de lit s'effectue et la régénération commence. Le rendement énergétique est bon puisque la désorption est toujours réalisée sur un lit saturé.

Selon l'évaluation du risque d'incendie, des systèmes de contrôle peuvent être conçus de sorte à autoriser une concentration maximum en solvant de 25 % de la LIE. Ceci minimise à la fois la puissance nécessaire aux ventilateurs et la consommation de vapeur. Si le débit et la charge de solvant sont variables, les besoins énergétiques peuvent être optimisés en ajoutant des régulateurs ou des variateurs de vitesse sur le ventilateur [cww/tm/71].

Aspects économiques

Type de coût	CAG	Zéolite	Polymère	Remarques
Coût d'investissement [pour 1 000 Nm ³ /h]	5 000-10 000 EUR ¹			Régénération non comprise
	240 000 EUR ¹			Régénération comprise ^a
Coûts d'exploitation				
Utilités				
Consommables	600-1 300 EUR par tonne de CAG			Évacuation comprise
^a installation pour 1 000 Nm ³ /h ¹ [cww/tm/70]				

Facteurs coût [cww/tm/71] :

Facteurs	Influence/résultats
Débit d'émission	Taille totale du système, besoin en utilités
Capacité d'adsorption du solvant, concentration du solvant	Quantité d'adsorbant nécessaire
Type de solvant	Choix de l'adsorbant
Solubilité des solvants	Complexité des techniques de séparation en aval (directement proportionnelle à la solubilité), besoin énergétique des techniques de séparation (directement proportionnel)
Mélanges de solvants	Complexité des techniques de séparation en aval (directement proportionnelle), besoin énergétique des techniques de séparation (directement proportionnel)
Charge de solvant	Utilisation d'utilités (vapeur) au cours du cycle d'adsorption/désorption et vitesse de dégradation de l'adsorbant
Présence d'impuretés	Réduction de la durée de vie de l'adsorbant

Facilité de désorption du solvant	Température de désorption
-----------------------------------	---------------------------

Mise en œuvre sur des installations existantes [cww/tm/71] :

CAG	Zéolites	Polymères
À condition qu'un espace suffisant soit disponible, la mise en œuvre d'un système d'adsorption dans un procédé de fabrication existant ne pose généralement pas de problèmes. L'encombrement d'une unité d'adsorption/désorption en continu est d'environ 25 % de celui d'un adsorbant à deux lits.		

3.5.1.4 Laveurs par voie humide pour l'élimination de polluants gazeux

Description

Le lavage humide (ou absorption) est un transfert de masse entre un gaz soluble et un solvant, souvent de l'eau, qui sont en contact. Le lavage physique est privilégié lorsqu'il s'agit de récupérer des produits chimiques, alors que le lavage chimique est limité à l'élimination et à la destruction de composés gazeux. Le lavage physico-chimique se situe entre les deux. Le composé est dissous dans le liquide absorbant et participe à une réaction chimique réversible, ce qui permet de récupérer le composant gazeux [cww/tm/132].

Les principales applications des procédés de lavage pour le traitement des effluents gazeux sont :

- l'élimination des polluants gazeux, comme par exemple les halogénures d'hydrogènes, le SO₂, l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène ou les solvants organiques volatils
- l'élimination du SO₂ ou des halogénures d'hydrogène
- mais aussi l'élimination des poussières avec certains types de laveur (voir la section 3.5.3.4).

Selon le polluant à éliminer, différents liquides de lavages sont utilisés :

- l'eau, pour éliminer les solvants et les gaz tels que les halogénures d'hydrogène ou l'ammoniac, afin de récupérer et réutiliser ces polluants ;
- les solutions alcalines, pour éliminer les composants acides tels que les halogénures d'hydrogène, le dioxyde de soufre, les phénols, le chlore. Elles sont également utilisées lors d'une deuxième étape de lavage pour éliminer les halogénures d'hydrogène résiduels après une première étape d'absorption aqueuse ; désulfuration du biogaz ;
- les solutions d'oxydation alcaline, c'est-à-dire des solutions alcalines contenant de l'hypochlorite de sodium, du dioxyde de chlore, de l'ozone ou du peroxyde d'hydrogène ;
- les solutions d'hydrogénosulfite de sodium, pour éliminer les odeurs (aldéhydes, par exemple) ;
- les solutions de Na₂S₄, pour éliminer le mercure des effluents gazeux ;
- les solutions acides, pour éliminer l'ammoniac et les amines ;
- les solutions de monoéthanolamine et de diéthanolamine, pour l'absorption et la récupération du sulfure d'hydrogène.

Les différents types de laveur utilisés sont notamment :

- le laveur à garnissage
- le laveur à lit mobile
- le laveur à lit fixe
- le laveur à plateaux
- la tour de pulvérisation

Le choix entre ces systèmes dépend :

- des performances exigées
- des besoins énergétiques
- des réactifs
- des propriétés de l'effluent gazeux

Pour obtenir des concentrations de sortie faibles, la conception des systèmes de lavage doit permettre une très bonne fiabilité, un fonctionnement automatisé, et l'écoulement à contre-courant du liquide et du gaz. Les laveurs sont généralement utilisés avec des prérefroidisseurs (chambres de pulvérisation et désactiveurs, par exemple) pour diminuer la température du gaz d'entrée et en même temps saturer le flux gazeux, évitant ainsi des vitesses d'absorption réduites et l'évaporation des solvants. De tels dispositifs supplémentaires provoquent de faibles chutes de pression.

▪ Laveur à garnissage

Le laveur à garnissage de fibres (laveur à lit de garnissage) est constitué d'une chambre comportant une arrivée et une sortie de gaz, et contenant des couches de matière de garnissage sur laquelle est pulvérisé du liquide. Les unités peuvent être conçues pour un flux gazeux vertical ou horizontal. Les matériaux constituant le garnissage sont généralement le verre, le plastique ou l'acier. Il sont utilisés pour éliminer les composants acides (fluorure d'hydrogène, chlorure d'hydrogène, acide sulfurique et acide chromique), et les composés organiques et inorganiques des effluents gazeux.

Le blocage des injecteurs, le colmatage des lits de garnissage et une irrigation insuffisante des couches de garnissage peuvent causer des problèmes.

Les effluents gazeux sont généralement refroidis avant de pénétrer dans les laveurs à garnissage pour condenser autant de liquide du flux que possible et pour augmenter la taille des aérosols existants grâce à la condensation. Un préfiltre est généralement utilisé pour éliminer les particules les plus volumineuses de l'effluent gazeux avant qu'il entre dans le laveur [cww/tm/110].

▪ Laveurs à lit mobile

Les laveurs à lit mobile sont constitués de zones de garnissage mobile, en général des billes de plastique. La cuve contient des grilles support sur lesquelles est placé le garnissage, des arrivées et des sorties pour la liqueur de lavage du gaz, et un dévésiculateur. Les laveurs à lit mobile sont utilisés pour éliminer les dioxydes de soufre, le fluorure d'hydrogène et les odeurs. Ils sont également utilisés pour traiter les effluents gazeux contenant des poussières et lorsque du tartre risque de se former. Un dispositif est illustré à la figure 3.56 [cww/tm/79].

Gas in	Arrivée du gaz
Gaz out	Sortie du gaz
Liquid in	Arrivée du liquide
Liquid out	Sortie du liquide
Entrainment separator	Piège à particules
Fluidised hollow spheres	Billes creuses fluidisées
Liquid overflow	Trop-plein de liquide

Figure 3.56 : laveur à lit mobile

Les laveurs à lit mobile sont garnis de billes en plastique de faible densité qui se déplacent librement entre les grilles support. Ces laveurs présentent un risque de colmatage moins important car les billes en plastique creuses sphériques sont constamment maintenues dans un état d'agitation et de fluidisation. La colonne à garnissage mobile résiste au colmatage. Ce mouvement permanent et la surface lisse des billes empêchent le tartre d'adhérer au garnissage.

▪ Laveurs à lit fixe

Les laveurs à lit fixe sont composés d'une cuve contenant un lit constitué d'un garnissage de forme variable disposé sur des grilles support, de distributeurs de liquide, d'arrivées et de sorties de gaz et de liquide, et d'un dévésiculeur. Dans les laveurs verticaux (tours à garnissage), le flux de gaz s'écoule en remontant la chambre (à contre-courant du liquide). Ce type d'absorbeur de gaz est le plus couramment utilisé pour le contrôle de la pollution. Les laveurs à lit fixe, avec des réactifs appropriés, sont utilisés pour absorber le dioxyde de soufre, l'acide chromique, le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac, les chlorures, les fluorures et les COV. Un dispositif classique est illustré à la figure 3.57 [cww/tm/79].

Les laveurs à lit fixe ne sont pas adaptés pour collecter les particules à cause du risque de colmatage. Leur application est généralement limitée à des teneurs inférieures à $0,5 \text{ g/Nm}^3$. Le colmatage et le dépôt de tartre sont des risques réels pour les laveurs à lit fixe, car il est plus difficile d'accéder au garnissage pour le nettoyer que dans les autres types de laveur. Par conséquent, un dispositif séparé et très efficace d'épuration des particules peut être nécessaire en amont d'un absorbeur à lit fixe.

Clean gas outlet	Sortie du gaz purifié
Dirty gas inlet	Arrivée du gaz pollué
Drain	Évacuation
Liquid in	Arrivée du liquide
Demister	Dévésiculeur
Packing	Garnissage
Packing removal handhole	Trou de main pour l'extraction du garnissage

Figure 3.57 : laveur à lit fixe

▪ Laveurs à plateaux

Les laveurs à plateaux sont constitués d'une tour verticale avec plusieurs plaques perforées horizontales (barbotage ou tamis) empilées. Des chicanes sont placées juste au-dessus des ouvertures des plaques. Les laveurs à plateaux sont fréquemment utilisés pour l'absorption des acides, du dioxyde de soufre et des odeurs. Un exemple est illustré à la figure 3.58 [cww/tm/79].

Les laveurs à plateaux ne conviennent pas pour les liquides moussants. Lorsque l'absorption est utilisée pour réduire les COV, les laveurs à garnissage sont en général plus économiques que les laveurs à plateaux. Toutefois, les laveurs à plateaux sont préférés aux laveurs à garnissage lorsqu'un refroidissement interne est souhaité ou lorsque le débit du liquide est trop faible pour humidifier correctement le garnissage.

Les laveurs à plateaux sont généralement utilisés en raison de leur grande efficacité et de leur facilité d'entretien. Ils sont conçus de sorte que l'opérateur puisse accéder à chaque plaque, ce qui facilite leur nettoyage et leur maintenance. La hauteur de la colonne, la quantité de garnissage et/ou le nombre de plaques en métal, ainsi que la chute de pression dans la colonne, déterminent généralement l'écoulement de l'effluent gazeux. La chute de pression est un facteur déterminant dans le choix du laveur et, à cet égard, la rentabilité des laveurs à plateaux est meilleure que celle des autres méthodes de nettoyage des gaz. Pour des débits gazeux élevés, les tours à plateaux présentent des chutes de pression et des retenues de liquide plus importantes.

Clean gas outlet	Sortie du gaz purifié
Dirty gas inlet	Arrivée du gaz pollué
Drain	Évacuation
Perforated plates	Plaques perforées
Liquid in	Arrivée du liquide

Demister	Dévésiculeur
Weir	Déversoir

Figure 3.58 : laveur à plateaux

L'absorption chimique des polluants gazeux nocifs tels que le dioxyde de soufre, le chlore et le sulfure d'hydrogène peut être réalisée en mettant en contact le flux d'air avec des produits chimiques appropriés sur les plaques. Toutefois, les colonnes à garnissage sont privilégiées par rapport aux tours à plateaux lorsque des acides et d'autres matières corrosives sont présents, car la tour peut être réalisée en fibre de verre, en PVC ou dans d'autres matières résistantes à la corrosion et moins chères.

▪ Tours de pulvérisation

Les tours à pulvérisation (ou laveurs à pulvérisation) sont constitués de buses de pulvérisation situées en haut de la tour et par lesquelles le liquide de lavage entre dans le tour, et d'une arrivée de gaz placée au bas de la tour. L'effluent gazeux remonte la tour à contre-courant du liquide. Une utilisation typique des tours à pulvérisation est l'élimination des gaz acides et des odeurs. Un exemple est illustré à la figure 3.59 [cww/tm/79].

Clean gas outlet	Sortie du gaz purifié
Dirty gas inlet	Arrivée du gaz pollué
Entrainment separator	Piège à particules
Liquid in	Arrivée du liquide
Liquid out	Sortie du liquide
Gas in	Arrivée du gaz
Gas out	Sortie du gaz

Figure 3.59 : tour de pulvérisation, (a) contre-courant, (b) co-courant

L'obturation éventuelle des buses de pulvérisation est un problème.

Les tours à pulvérisation constituent le type de laveur humide traditionnellement utilisé pour mettre en contact les effluents gazeux avec un sorbant. Toutefois, ce sont les systèmes dont la capacité de transfert de masse est la moins bonne, c'est pourquoi ils sont généralement limités à l'élimination des gaz hautement solubles.

Les concentrations courantes de polluant varient entre 100 et 10 000 mg/Nm³. Les tours à pulvérisation ne sont pas aussi sujettes à l'encrassement que les laveurs à garnissage, mais elles nécessitent des rapports liquide/gaz très élevés (>3 l/m³) pour capturer les particules fines.

Lorsque les gaz absorbés doivent être récupérés, une étape supplémentaire de désorption est nécessaire. La méthode courante de désorption/régénération du contenu organique est la distillation ou le stripping à la vapeur, qui retransfère le contenu gazeux vers la phase gazeuse. Lorsque le stripping est employé comme technique de régénération, le gaz traité est ensuite condensé et collecté. Le condensat est soit réutilisé directement dans le procédé, soit ses composants sont séparés, par distillation par exemple. Le stripping et la distillation sont effectués à pression réduite afin de diminuer la température et minimiser le risque de dégradation des composés organiques [cww/tm/71].

Un dispositif classique d'absorption/désorption est illustré à la figure 3.60 [cww/tm/71]. La désorption sous vide, comme illustré à la figure 3.60, est optionnelle et ne concerne pas la majorité des cas. Elle permet de faciliter l'ébullition du liquide de lavage (solvant) mais rend sa condensation plus difficile.

Purified air	Air purifié
Solvent-laden air	Air chargé en solvant

Absorption (scrubbing) column	Colonne d'absorption (de lavage)
Saturated scrubbing liquid	Liquide de lavage saturé
Vacuum pump	Pompe à vide
Guard condenser	Condenseur de protection
Recovered solvent	Solvant récupéré
Stripping column	Colonne de stripping
Feed-product exchanger	Échangeur sur l'alimentation-produit
Regenerated scrubbing liquid	Liquide de lavage régénéré
Reboiler	Rebouilleur
Steam	Vapeur
Condensate	Condensat

Figure 3.60 : système d'absorption/désorption classique

Application

L'absorption est couramment utilisée comme technique de récupération de produit et/ou de matière première pour la séparation et la purification des flux gazeux contenant des concentrations en COV élevées, plus particulièrement des composés solubles dans l'eau tels que les alcools, l'acétone ou le formaldéhyde. L'utilisation de l'absorption comme technique de contrôle primaire des vapeurs organiques dépend de la disponibilité d'un solvant adapté, permettant une grande solubilité pour le gaz, et une tension de vapeur et une viscosité faibles.

Lorsqu'il est utilisé comme technique de contrôle final des émissions, le lavage des gaz concerne plutôt les composés inorganiques que les COV. Son applicabilité comme méthode de contrôle de la pollution dépend des facteurs suivants :

- la valeur de récupération du polluant
- le coût d'évacuation des eaux usées
- le rendement d'épuration requis
- la concentration de polluant dans l'effluent gazeux d'entrée
- la disponibilité d'un solvant/d'un réactif chimique adapté

Les points suivants permettent d'améliorer l'absorption :

- des surfaces de contact plus grandes
- des rapports liquide/gaz plus élevés
- des concentrations plus élevées dans le flux de gaz
- une température plus basse

Des concentrations en COV toxiques faibles dans le gaz de sortie sont généralement requises, ce qui nécessite des tours d'absorption excessivement hautes, des durées de contact longues et des rapports liquide/gaz élevés, ce qui s'avère peu économique. C'est pourquoi les laveurs humides sont plus efficaces pour contrôler les COV toxiques lorsqu'ils sont utilisés conjointement à d'autres dispositifs de contrôle, par exemple des adsorbants au CAG (voir la section 3.5.1.3) ou des incinérateurs d'effluents gazeux (voir les sections 3.5.2.4 et 3.5.2.5).

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	50-500 000 ¹
	1 800-170 000 (laveur à garnissage) ²
	900-130 000 (laveur à lit fixe) ³
	1 700-130 000 (laveur à plateaux) ⁴

	2 500-170 000 (tour de pulvérisation) ⁵
Température [°C]	5-80 (le plus souvent) ¹
	<60 (laveur à garnissage) ²
	4-38 (laveur à lit fixe, pour le contrôle des polluants gazeux) ³
	4-38 (laveur à plateaux, pour le contrôle des polluants gazeux) ⁴
	4-38 (tour de pulvérisation, pour le contrôle des polluants gazeux) ⁵
	10-40 (lavage par oxydation alcaline) ¹
	30 (désulfuration du biogaz) ¹
	(une température élevée du gaz peut causer des pertes par évaporation du liquide de lavage importantes)
Pression	Atmosphérique
Charge de polluant [g/Nm ³]	0,2-11 (laveur à garnissage) ²
Particules [mg/Nm ³]	450 (laveur à lit fixe) ³
¹ [cww/tm/70] ² [cww/tm/110] ³ [cww/tm/113] ⁴ [cww/tm/111] ⁵ [cww/tm/114]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<u>Cas général</u> Grande variété d'utilisations. Très grande efficacité. Installation compacte grâce à un rapport capacité/volume avantageux. Technique simple et robuste. Facilité d'entretien. Peu de composants sensibles à l'usure. Peut traiter les gaz / poussières inflammables et explosifs en présentant un risque faible. Peut également refroidir les flux de gaz chauds. Peut traiter les brumes. Les gaz et les poussières corrosifs peuvent être neutralisés.	<u>Cas général</u> Besoin d'eau ou de produits chimiques dilués pour le remplacement de l'eau purgée et des pertes par évaporation. Les eaux usées provenant du remplacement du liquide de lavage doivent être traitées. Agents de conditionnement (acides, bases, oxydants, agents d'adoucissage, par exemple) nécessaires dans de nombreuses applications. Les poussières, séparées sous forme de boues, doivent être traitées pour être réutilisées ou évacuées. Pour installation sur toiture, structures de soutien nécessaires. Pour installation en extérieur, protection contre le gel nécessaire (selon climat). Risque de colmatage du garnissage causé par les poussières ou la graisse. Risque de corrosion. Les particules collectées peuvent être contaminées et non recyclables. Les effluents gazeux peuvent nécessiter d'être réchauffés pour éviter un panache visible (vapeur).
<u>Laveurs à lit fixe</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Chute de pression faible à moyennement élevée. ▪ Les laveurs en plastique et en plastique renforcé de fibre de verre (FRP) peuvent être utilisés en atmosphère hautement corrosive. ▪ Efficacité de transfert de masse élevée. 	<u>Laveurs à lit fixe</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Risque de colmatage du lit. ▪ Coûts d'entretien relativement élevés par rapport hautement aux autres techniques de lavage. ▪ Si le laveur est fabriqué en FRP, il est sensible à la température. ▪ Coûts d'entretien relativement élevés.

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possibilité de collecter les gaz et les particules. ▪ Coûts de capital faibles. ▪ Encombrement faible. 	
<u>Laveurs à plateaux</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ S'adapte aux conditions opératoires (variation du débit). ▪ Grande souplesse d'utilisation si débit gazeux faible, car ils peuvent également fonctionner avec un écoulement de liquide faible. ▪ Absorption de gaz et collecte de poussières dans une seule et même unité. ▪ Améliore le contact gaz/boues pour l'élimination du SO₂. ▪ Simplicité de fonctionnement et d'entretien. 	<u>Laveurs à plateaux</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Encrassement autour des vannes et/ou des plaques. ▪ Coûts plus élevés que les autres laveurs humides.
<u>Tours à pulvérisation</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Faible chute de pression. ▪ Les laveurs en FRP peuvent fonctionner en atmosphère hautement corrosive. ▪ Faible consommation d'énergie. ▪ Coûts de capital faibles. ▪ Peu de risque de colmatage. ▪ Encombrement relativement faible. ▪ Possibilité de collecter les gaz et les particules. 	<u>Tours à pulvérisation</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Efficacité du transfert de masse faible. ▪ Faible efficacité pour l'élimination des particules fines. ▪ Pour les laveurs en FRP, installation sensible à la température. ▪ Coûts d'exploitation élevés.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance ^a [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³] ^b	Remarques
Alcools	Jusqu'à 95 ¹	Jusqu'à 100 ¹ (> 100)	Eau
Fluorure d'hydrogène	>99 ¹	<50 ¹	Eau
		<1 ¹	Alcalin
Chlorure d'hydrogène	>99 ¹	<50 ¹	Eau
		<10 ¹	Alcalin
Acide chromique		<0,1-1 ¹	Eau
Ammoniac	>99,9 ^c	<1 ¹	Acide
Amines	>99 ¹	<1 ¹	Acide
Dioxyde de soufre	80-99 ^{d,2}	<40 ¹	Alcalin
Phénols	>90		Alcalin
Sulfure d'hydrogène	90-95 ¹		Alcalin
	80->99 ^{h,5}		
Composés inorganiques	95-99 ^{d,f,h,2,3,5}		
COV	50-95 ^{d,e,2}		
	70->99 ^{f,g,3,4}		

- ^a Concentration d'alimentation élevée
^b Concentration d'alimentation faible
^c Concentration d'alimentation 25 g/Nm³ d'ammoniac, concentration dans l'effluent <10 mg/Nm³
^d Tour de pulvérisation, plusieurs réactifs
^e Peut atteindre > 99 %
^f Laveur à lit fixe
^g Laveur à garnissage
^h Laveur à plateaux
¹ [cww/tm/70]
² [cww/tm/114]
³ [cww/tm/113]
⁴ [cww/tm/110]
⁵ [cww/tm/111]

Impacts croisés

Les utilités et les consommables principaux nécessaires aux systèmes d'absorption sont les suivants [cww/tm/71] :

Consommable	Quantité	Remarques
Eau de lavage		
Produits chimiques (acides, alcalins, oxydants)		
Unités de désorption : eau de refroidissement pour le condenseur, vapeur pour le rebouilleur	30-40 kg/1 000 Nm ³ d'effluent gazeux (vapeur à 120 °C) ¹	
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	0,2-1 ²	Selon l'application, désorption non comprise
Chute de pression [kPa]	0,4-0,8 ¹	Selon l'application
¹ [cww/tm/71]		
² [cww/tm/70]		

Un traitement supplémentaire du liquide recirculant est généralement nécessaire, selon sa dégradation (teneurs en matières solides, par exemple) et les pertes dues à l'évaporation.

Le lavage génère des eaux usées à traiter si le liquide de lavage et son contenu ne sont pas utilisés par ailleurs. La désorption du contenu de l'effluent gazeux est un traitement approprié qui est de toute façon réalisée lorsque le but du lavage est la récupération de gaz. La désorption peut engendrer des émissions atmosphériques. Sess besoins énergétiques doivent être pris en considération.

Surveillance [cww/tm/79]

Le rendement d'épuration d'un système de lavage est déterminée par le contrôle de la concentration en polluants gazeux en entrée et en sortie du système. Le dioxyde de soufre est généralement contrôlé au moyen d'analyseurs infrarouges ; les méthodes chimiques par voie humide sont utilisées pour les halogénures d'hydrogène. Les COV sont exprimés en carbone total, les matières particulières étant exclues, par une mesure à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme. Une analyse qualitative des émissions peut être réalisée en prenant des échantillons instantanés de gaz à des points d'échantillonnage déterminés, puis en les analysant par GC/MS. Le rendement d'épuration des émissions d'odeurs est déterminé en prenant des échantillons instantanés à des points d'échantillonnage appropriés, puis en les analysant par olfactométrie.

D'autres mesures de routine sont nécessaires concernant :

- la chute de pression à travers le laveur, afin de détecter des dysfonctionnements nécessitant une opération de maintenance
- le débit de l'eau d'appoint du laveur
- le débit de l'eau de recyclage
- le débit de réactifs
- dans certains cas, le pH, la température, la conductivité électrique et le potentiel rédox

Les laveurs humides doivent être inspectés régulièrement pour détecter toute détérioration de l'installation, par exemple une corrosion ou des blocages. Le laveur doit être facilement accessible. Il est fondamental que les dysfonctionnements soient détectés rapidement et que des appareils appropriés avec alarme soient installés sur l'évacuation de l'unité d'absorption pour que toute panne soit signalée.

Un contrôleur logique programmable (PLC) ou un système de traitement de données numériques est généralement utilisé pour piloter automatiquement l'installation (par exemple, fonctionnement à des valeurs de pH et de potentiel rédox définies, optimisé pour une absorption de gaz élevée). Il existe un logiciel permettant de prévoir les paramètres de fonctionnement optimaux (en ce qui concerne la vapeur et la circulation) pour une composition de l'effluent gazeux donnée. Ceci est particulièrement utile lorsque des changements significatifs de la concentration du flux gazeux et/ou du solvant sont susceptibles de se produire.

Les interventions humaines sont minimales, à condition que le système puisse s'arrêter automatiquement et que des alarmes soient reliées au système de contrôle, par exemple en cas de débit du liquide faible ou de perte du vide.

Les exigences en matière de maintenance sont généralement faibles. Elles sont principalement limitées à des inspections de routine du désorbeur, car la qualité de la désorption est un facteur primordial des performances de l'absorption, et des équipements possédant des pièces mobiles [cww/tm/71].

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts				
	Garnissage	Lit mobile	Lit fixe	Plateaux	Tours à pulvérisation
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	600-1 800 USD ¹		6 200- 33 500 USD ₂	1 300- 7 000 USD ³	500-2 200 USD ⁴
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	1 000- 21 100 USD ¹		9 300- 42 300 USD ₂	1 500- 42 000 USD ³	800- 28 100 USD ⁴
Rentabilité [par tonne par an de polluant contrôlé]	40-710 USD ¹		0,24- 1,09 USD ²	51-1 300 USD ³	28-940 USD ⁴
¹ [cww/tm/110] ² [cww/tm/113] ³ [cww/tm/111] ⁴ [cww/tm/114]					

Facteurs coût [cww/tm/71] :

Facteurs	Influence/résultats
Débit d'émission	Taille totale du système, besoin en utilités
Rendement d'épuration requis	Hauteur de la colonne de lavage
Capacité d'absorption de solvant	Vitesse de recirculation du liquide de lavage, d'où un pompage nécessaire
Type de solvant	Choix du liquide de lavage
Solubilité des solvants	Complexité des techniques de séparation en aval (directement proportionnelle à la solubilité), besoin énergétique des techniques de séparation (directement proportionnel)
Mélanges de solvants	Complexité des techniques de séparation en aval (directement proportionnelle), besoin énergétique des techniques de séparation (directement proportionnel)
Charge de solvant	Vitesse de désorption et besoins en utilités qui en découlent (vapeur, par exemple)
Dégradation du liquide de lavage	Vitesse de purge du liquide épuisé élevée, d'où coûts de traitement et/ou d'évacuation élevés
Facilité de désorption du solvant	Température de désorption

Mise en œuvre sur les installations existantes [cww/tm/71] :

Garnissage	Lit mobile	Lit fixe	Plateaux	Tours à pulvérisation
À condition qu'un espace suffisant soit disponible, les systèmes d'absorption peuvent être facilement intégrés aux installations existantes. L'amélioration des systèmes d'absorption existants au moyen de garnissages et/ou de liquides plus performants peut également être réalisée afin d'améliorer le fonctionnement de l'installation de récupération.				

3.5.2 Procédés et techniques destructives de traitement des COV et des composés inorganiques

3.5.2.1 Biofiltration

Description

L'effluent gazeux s'écoule à travers un lit de matière organique (par exemple de la tourbe, de la bruyère ou du compost) ou de matière inerte telle que de l'argile, du charbon ou du polyuréthane, et dans lequel il est oxydé biologiquement en dioxyde de carbone, en eau et en biomasse par des micro-organismes qui se développent naturellement.

Un biofiltre est illustré à la figure 3.61 [cww/tm/79].

Clean gas outlet	Sortie du gaz purifié
Dirty gas inlet	Arrivée du gaz pollué
Filter material	Matériau filtrant
Gravel layer	Couche de gravier
Drain	Évacuation

Figure 3.61 : schéma d'un biofiltre

Les biofiltres se répartissent en deux catégories :

- les biofiltres ouverts
- les biofiltres fermés

Un biofiltre ouvert est constitué d'une couche de matériau biofiltrant poreux qui repose sur un réseau de conduites qui envoient l'air pollué jusqu'au filtre. Ces filtres nécessitent un temps de séjour long et sont donc souvent volumineux. Ils peuvent être utilisés pour des débits gazeux faibles. Une autre possibilité est d'utiliser des biofiltres à plusieurs niveaux dans lesquels plusieurs couches sont disposées les unes au-dessus des autres, ce qui évite d'avoir recours à un biofiltre trop volumineux. Dans les régions où le climat est froid (risque de gelées), l'applicabilité des biofiltres ouverts est limitée.

Un biofiltre fermé est constitué d'une couche de matière sur laquelle est fixée une population microbienne adaptée, placée sous un système de distribution qui répartit uniformément l'effluent gazeux sur le filtre. Des ventilateurs électriques permettent l'écoulement de l'effluent gazeux à travers le filtre. L'écoulement gazeux peut être descendant ou ascendant. Les matériaux de fabrication du biofiltre, du système de ventilation et du ventilateur doivent permettre de minimiser les effets des gaz corrosifs, l'excès de condensat, et la production de poussières ou de boues.

La majorité des biofiltres actuels sont des filtres ouverts. Ils sont moins coûteux que les biofiltres fermés mais aussi moins efficaces. C'est pourquoi il est préférable d'utiliser des biofiltres fermés dont l'alimentation et le flux de sortie de l'effluent gazeux sont contrôlés. Nous partons du principe que dans de nombreux cas les systèmes à biofiltres ouverts ne permettent pas d'obtenir une élimination suffisante des émissions et qu'ils ne présentent pas les caractéristiques techniques nécessaires à une réduction complète des COV. Les biofiltres fermés haute technologie peuvent être adaptés afin de pouvoir réduire un grand nombre de composés xénobiotiques.

Les micro-organismes sont clos au sein d'un lit fixe. L'épaisseur du matériau filtrant est comprise entre 0,5 et 1,5 m, avec deux ou trois couches au maximum. La charge spécifique du lit filtrant se situe entre 100 et 500 Nm³/h par m² de surface filtrante. L'humidité, qui est en général un facteur crucial (en général, une humidité relative du gaz d'au moins 95 % est nécessaire), est régulée par un humidificateur ou un laveur de gaz en amont, parfois également simultanément à une humidification du matériau filtrant. L'humidité relative du matériau filtrant doit être inférieure 60 % pour éviter tout colmatage. Le dispositif d'humidification doit être protégé contre le gel dans les régions où les températures peuvent être nettement inférieures à 0 °C.

Si l'effluent gazeux est chaud (>35 °C), il est nécessaire de le refroidir, que ce soit en le mélangeant avec de l'air, ou à l'aide d'un laveur de gaz ou d'un échangeur de chaleur. Il est possible d'utiliser le lavage humide comme prétraitement dans le but de diminuer une teneur en particules élevée, la charge de polluant et la quantité de polluants non adaptés pour la biofiltration.

Le temps de séjour nécessaire à une réduction efficace des odeurs, par exemple, dépend de la concentration en polluants. À titre indicatif, un temps de séjour minimal de 30 à 45 secondes doit être visé.

La qualité des matériaux et le fonctionnement du procédé de l'équipement du biofiltre doivent protéger de la corrosion. L'eau condensée doit être évacuée des conduites [cww/tm/46].

Un procédé par biofiltre classique est illustré à la figure 3.62 [cww/tm/64]. Un laveur humide est utilisé comme installation de prétraitement.

Application

La biofiltration est employée dans les industries chimique et pétrochimique, ainsi que dans les stations d'épuration des eaux usées. Il s'agit d'une technique de réduction qui élimine les composés facilement

biodégradables tels que les amines, les hydrocarbures, le sulfure d'hydrogène, le toluène, le styrène et les polluants odorants. La biofiltration convient aux faibles concentrations de polluants facilement solubles dans l'eau, mais généralement pas aux eaux usées contenant de nombreux polluants différents et/ou si ceux-ci sont variables. De plus, le méthane n'est pas épuré, car le temps de séjour nécessaire serait beaucoup trop long compte tenu des dimensions des filtres usuels.

Crude waste gas	Effluent gazeux brut
Clean waste gas	Effluent gazeux purifié
Filter layer	Couche filtrante
Water	Eau

Figure 3.62 : procédé par biofiltre classique

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	100-400 par m ² de surface filtrante ¹ ; jusqu'à 200 000
Température [°C]	15-40 ² 55, avec bactéries thermophiles
Pression	Atmosphérique ²
Concentration en oxygène	Proche du niveau ambiant ¹
Humidité relative [%]	>95, proche de la saturation avec de l'eau ¹
Teneur en poussières, graisses, matières grasses	Risque de colmatage, d'où nécessité d'un prétraitement ³
Concentration en hydrocarbures [mg/Nm ³]	200-2000 ^{2,4}
Ammoniac	<ul style="list-style-type: none"> • Peut diminuer l'efficacité de la dégradation des hydrocarbures • Peut être dégradé en N₂O
Concentration en odeurs [u.o./Nm ³]	20 000-200 000 ²
Concentration en toluène [mg/Nm ³]	20-500 ²
Concentration en styrène [mg/Nm ³]	50-500 ²
Composés contenant N, S ou Cl	Risque d'acidification et de désactivation du biofiltre sans capacité tampon, ce qui augmente la fréquence de remplacement
Conditions climatiques	Le gel, la pluie et la température ambiante ont une incidence sur le matériau filtrant et diminuent son efficacité
¹ [cww/tm/64] ² [cww/tm/70] ³ [cww/tm/132] ⁴ commentaire	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Construction simple. • Si associée aux procédés d'adsorption et d'absorption, peut convenir aux composés faiblement solubles. • Grande efficacité pour les composés biodégradables, par 	<ul style="list-style-type: none"> • Les lits filtrants en tourbe séchée et en compost sont difficiles à réhumidifier. • Conception relativement volumineuse. • L'empoisonnement et l'acidification de la biomasse doivent être évités. • Les variations de l'effluent gazeux ont une grande incidence sur les performances.

exemple les substances odorantes.	<ul style="list-style-type: none"> Le garnissage est très sensible au colmatage dû aux poussières.
-----------------------------------	---

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
Hydrocarbures	75-95 ¹	>5 ¹	
Toluène	80-95 ¹	>5 ¹	
Styrène	80-90 ¹	>10 ¹	
Odeurs	75-95 ¹	>50 00 u.o./Nm ³ ¹	Odeurs du biofiltre 200-500 u.o./Nm ³
¹ [cww/tm/70]			

L'efficacité de la biofiltration est étroitement liée à la composition de l'effluent gazeux.

Impacts croisés

Les utilités et les consommables principaux sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Matériau filtrant ^a		
Produits chimiques (nutriments, composés alcalins et acides pour le réglage du pH)		
Eau	5 l/1 000 Nm ³ ¹	
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	<1 ¹	
Chute de pression [kPa]	0,5-2 ¹	
^a la durée de vie du matériau filtrant dépend des contraintes qu'il subit (acidification, empoisonnement, appauvrissement) ; en général, elle est inférieure à 1 an ¹ [cww/tm/70]		

Dans le cas des biofiltres ouverts, le matériau filtrant doit être nettoyé et évacué de temps en temps. L'effluent gazeux peut se diviser en canaux à travers le lit filtrant, ce qui diminue l'efficacité du biofiltre. Tous les COV passant à travers le filtre n'étant pas biodégradables, il peut y avoir du matériau filtrant chargé en polluants dangereux à évacuer en tant que déchet (incinération). L'eau ayant percolé à travers le matériau filtrant peut contenir des résidus organiques et doit donc être évacuée. En général, le lixiviat des biofiltres fermés recircule.

Surveillance

Le degré d'humidité doit être suivi avec soin car c'est un facteur essentiel au bon fonctionnement des biofiltres.

L'efficacité peut être déterminée en examinant les gaz en entrée et en sortie. La méthode adaptée à cet examen dépend des polluants à épurer. Il est également nécessaire de vérifier régulièrement le pH des eaux percolées à travers le lit filtrant.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital	5 000-20 000 EUR ¹ [pour 1 000 Nm ³ /h]	
	4 000-180 000 ATS ² [par m ³ de filtre]	

Coûts d'exploitation ^a	10 000-20 000 ATS ²	
main-d'œuvre		1 h par semaine et par filtre + 2 jours par an ¹
utilités		
consommables	200 EUR par m ³ de matériau filtrant ¹	
entretien ^b	5 000-300 000 ATS ² <1 000 ATS ^{c 2}	
^a par an pour une capacité de 1 000 Nm ³ /h ^b par an ^c par an pour une capacité de 1 000 Nm ³ /h ¹ [cww/tm/70] ² [cww/tm/46]		

Les coûts d'exploitation et d'entretien sont faibles car aucun combustible ni produit chimique n'est ajouté.

Les paramètres ayant une incidence sur le coût sont :

- le débit de l'effluent gazeux
- la concentration en polluants de l'effluent gazeux
- le type de composés de l'effluent gazeux
- le rendement recherchée
- le type de matériau filtrant

3.5.2.2 Biolavage

Description

Le biolavage combine le lavage par voie humide (absorption, voir la section 3.5.1.4) et la dégradation biologique. L'eau de lavage contient une population microbienne capable d'oxyder les composés gazeux dangereux. Les microbes sont en suspension dans l'eau. C'est pourquoi les conditions d'utilisation des biolaveurs sont les suivantes :

- il doit être possible de laver les constituants de l'effluent gazeux
- ces constituants doivent être biodégradables en aérobiose

Un biolaveur est illustré à la figure 3.63 [cww/tm/132].

Clean gas	Gaz purifié
Crude gas	Gaz brute
Air	Air

Figure 3.63 : biolaveur classique

(a) Absorbeur, (b) Circulation des boues activées, (c) Bassin d'activation

Le bioréacteur est constitué d'un système par boues activées ou par boues sur support (pour plus de détails, voir la section 3.3.4.3.1). Le mélange boues/eau recircule dans le réacteur. Les polluants absorbés sont dégradés dans des bassins de boues aérés. La tour de lavage doit être conçue de telle sorte que la durée de contact est d'environ une seconde, selon le type de polluant.

Il est fréquent d'introduire dans les biolaveurs des boues activées provenant, par exemple, d'une station d'épuration biologique. Selon la composition de l'effluent gazeux, les performances du

biolaveur ne permettront d'atteindre les niveaux désirés qu'après quelques semaines d'adaptation. L'introduction de cultures préparées dans des cuves de fermentation est particulièrement employée dans le cas de polluants contenant du soufre (mercaptanes, sulfure d'hydrogène, sulfure de diméthyle, etc.) ou du chlore (méthanes ou éthanes chlorés) [cww/tm/70].

Un procédé classique de biolavage est illustré à la figure 3.64 [cww/tm/64].

Clean waste gas	Effluent gazeux purifié
Crude waste gas	Effluent gazeux brut
Air	Air
Nutrient water	Eau nutritive
To blowdown	Vers purge

Figure 3.64 : procédé classique de biolavage

L'évaporation associée à la minéralisation et le dosage des nutriments et/ou des agents de neutralisation provoquent en général une augmentation de la teneur en sels de l'absorbant. Cet effet risque d'inhiber le procédé biologique, bien qu'il ait été rapporté que des taux de biodégradation stables puissent être maintenus, même avec des concentrations en sels correspondant à une conductivité allant jusqu'à 5 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [cww/tm/53].

Les mesures permettant d'empêcher la formation excessive de sels sont notamment :

- le retrait adéquat de l'absorbant et l'ajout simultané d'eau douce
- l'utilisation d'eau adoucie dans le procédé
- la saturation en vapeur de l'effluent gazeux en amont

Les composés contenant du soufre, du chlore et/ou de l'azote sont à l'origine d'une acidification (formation d'acide sulfurique, nitrique ou chlorhydrique), qui peut être corrigée en contrôlant le pH.

Le temps de séjour approprié de l'absorbant est de 20 à 40 jours maximum.

Application

Le biolavage est employé dans les industries chimique et pétrochimique, ainsi que dans les stations d'épuration des eaux usées. Il s'agit d'une technique d'épuration qui élimine les composés facilement biodégradables tels que l'ammoniac, les amines, les hydrocarbures, le sulfure d'hydrogène, le toluène, le styrène et les polluants odorants. Le biolavage convient aux faibles concentrations de polluants facilement solubles dans l'eau.

Les applications typiques et éprouvées des biolaveurs sont illustrées dans le tableau 3.14 [cww/tm/53].

	Élimination des odeurs	Hydrocarbures aliphatiques	Hydrocarbures aromatiques	Composés oxygénés	Composés soufrés	Composés azotés	Hydrocarbures halogénés	H ₂ S	NH ₃	Huiles essentielles (éthérées)
Bassins de boues activées des stations d'épuration biologiques	X	X	X	X	X	X		X	X	
Production d'enzymes	X			X						

Production de substances odorantes	X		X	X						X
Industrie du caoutchouc	X				X			X		
Conditionnement des déchets de peinture	X	X	X	X		X				
Production de méthionine	X				X					
Production de polymères	X			X						
Gaz des décharges de déchets dangereux	X	X	X	X		X		X	X	

Tableau 3.14 : applications classiques des biolaveurs

Applicabilité du biolavage aux groupes de composés [cww/tm/53] :

Bien adapté	Adapté	Non adapté
<u>Alcools</u> (méthanol, éthanol, butanol, glycol, diéthylène glycol, butylglycol) <u>Aldéhydes et cétones</u> (formaldéhyde, acétaldéhyde, acétone, méthylisobutylcétone) <u>Acides carboxylique et leurs esters</u> (acide acétique, acide propionique, acide butyrique, acétate de n-butyle, acétate d'éthyle, méthacrylate de méthyle, ester d'acide glycolique) <u>Phénols (phénol, crésol)</u> Composés hétérocycliques soufrés Mercaptanes Amines Composés hétérocycliques azotés Chlorophénols Sulfure d'hydrogène	Naphthalène Thioéthers (sulfures) Ammoniac	<u>Hydrocarbures aliphatiques</u> (méthane, pentane, hexane, hydrocarbures à chaîne plus longue, acétylène, etc., cyclohexane) <u>Hydrocarbures aromatiques</u> (benzène, toluène, xylène, styrène), sauf naphthalène <u>Éthers</u> (tétrahydrofuranne, éther diéthylique, dioxan) Sulfure de carbone Composés nitrés <u>Hydrocarbures halogénés</u> (dichlorométhane, trichloroéthène, perchloroéthène, 1,1,1-trichloroéthane, 1,2-dichloroéthane, CVM), sauf chlorophénols

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	1 000-3 000 Nm ³ /h par m ² de surface de la colonne ¹
Température [°C]	15-40 ² 30-35 (optimale) ³
Pression	Atmosphérique ²
Concentration en micro-organismes	>15 g/l de matière sèche ³
Concentration en COV de l'effluent gazeux	100-2 000 mg/Nm ³ ^{2,3}
Concentration en ammoniac	50-200 mg/Nm ³ ²
Concentration en odeurs [u.o./Nm ³]	>20 000 ²
¹ [cww/tm/64] ² [cww/tm/70] ³ [cww/tm/53]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Les concentrations élevées peuvent être réduites grâce à une conversion microbienne importante. Convient également pour les concentrations élevées en composés contenant du soufre, du chlore et/ou de l'azote. 	<ul style="list-style-type: none"> Formation de biomasse à évacuer comme déchet et pouvant provoquer le blocage de la circulation d'eau. Les composés faiblement solubles sont plus difficiles à épurer. Les variations, par exemple les changements de concentration, de l'effluent gazeux ont une grande incidence sur les performances. L'eau percolée doit être traitée.

Niveaux d'émission /taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
COV	80-90 ¹		
Ammoniac	80-95 ¹		
Odeurs	70-80 ¹		
¹ [cww/tm/70]			

Impacts croisés

Les utilités et les consommables principaux sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Produits chimiques (nutriments, composés alcalins pour le réglage du pH)		
Eau		
Boues activées		
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	0,2-0,5 ¹	
Chute de pression [kPa]	0,2-0,5 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

À cause des activités biologiques dans le biolaveur, la concentration en sels de l'eau de circulation augmente, c'est pourquoi celle-ci doit être évacuée de temps en temps. Ce flux d'eaux usées doit être traité ou évacué d'une autre manière.

Les boues activées excédentaires doivent être évacuées en fonction des polluants ou des produits de dégradation, par incinération par exemple.

Des odeurs peuvent éventuellement être émises par les bassins stockant l'eau de circulation. La collecte de l'air extrait et son acheminement par canalisations jusqu'à une installation de traitement peuvent s'avérer nécessaires.

Surveillance

L'efficacité est déterminée par une analyse chimique ou un examen des odeurs des gaz en entrée et en sortie. Le pH du procédé doit être contrôlé.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	5 000-15 000 EUR ¹	
Coûts d'exploitation main-d'œuvre utilités consommables		¹ ½ journée par semaine ¹
¹ [cww/tm/70]		

3.5.2.3 Filtrage percolateur

Description

Les conditions de fonctionnement du filtrage percolateur sont semblables à celles du biolavage. Contrairement à ce dernier, les microbes sont fixés sur des supports. Le principe du procédé est illustré à la figure 3.65.

Trickle bed reactor	Réacteur à lit à ruissellement
Mass transfer gas/liquid	Transfert de masse gaz/liquide
Biological oxidation of the absorbed substances at the biocatalyst	Oxydation biologique des substances absorbées au niveau du biocatalyseur
Waste gas absorbate	Absorbant de l'effluent gazeux
Scrubbed waste gas	Effluent gazeux lavé
CO ₂	CO ₂
Circulated water	Recirculation d'eau
Waste water	Eaux usées
Excess sludge	Boues excédentaires

Figure 3.65 : diagramme des flux d'un procédé de filtrage percolateur

Dans un bioréacteur à lit à ruissellement, une phase aqueuse circule en permanence à travers un lit de matière inerte. Ce garnissage peut se composer de matières en vrac irrégulières telles que des anneaux, etc. ou de matières structurées. Lors du choix de la matière de garnissage, il est nécessaire de s'assurer dans chaque cas que le réacteur ne finira pas par se boucher, même dans le cas d'une formation précoce de boues excédentaires. Les propriétés de la surface doivent être telles que le biofilm adhère fermement. Les polluants de l'effluent gazeux et l'oxygène sont absorbés par la phase aqueuse et transportés jusqu'au biofilm, où la transformation biologique se produit. La qualité du transfert de masse du gaz vers la phase liquide et les performances en matière d'élimination du réacteur dépendent essentiellement de la surface mouillée du garnissage. Pour atteindre une élimination optimale, c'est-à-dire pour maximiser la surface mouillée, la phase liquide doit être répartie uniformément sur toute la surface du biofilm [cww/tm/53].

L'immobilisation de la biomasse et la formation du biofilm sont généralement contrôlées naturellement et débutent après introduction de la phase aqueuse. La phase liquide qui circule en permanence a pour rôle d'apporter les nutriments nécessaires à la population microbienne. En même temps, les boues activées excédentaires et les produits de réaction qui peuvent être des inhibiteurs (cas du chlorure d'hydrogène au cours de la dégradation du dichlorométhane), sont entraînés hors du réacteur. Dans la phase liquide, les conditions cruciales telles que le pH, les nutriments et l'accumulation de sels doivent être contrôlées [cww/tm/53].

Comme pour le biolavage, une augmentation de la teneur en sels de l'absorbant se produit. Les mesures permettant d'empêcher la formation d'un excès de sels sont notamment :

- Le retrait adéquat de l'absorbant et l'ajout simultané d'eau douce
- l'utilisation d'eau adoucie dans le procédé
- la saturation en vapeur de l'effluent gazeux en amont

Une installation de filtration biologique est illustrée à la figure 3.66.

Biotrickling filter	Filtre percolateur
Purified air	Air purifié
Solvent-laden air	Air chargé en solvant
Water	Eau
Waste water	Eaux usées

Figure 3.66 : installation de filtrage percolateur classique

Application

L'application du filtrage percolateur est comparable à celle du biolavage. Les différences, minimales, résident dans le type de polluants qui peuvent être traités par ces techniques.

Applicabilité du filtrage percolateur aux groupes de composés [cww/tm/53] (à comparer avec le tableau correspondant de la section 3.5.2.2) :

Bien adapté	Adapté	Non adapté
<u>Alcools</u> (méthanol, éthanol, butanol, glycol, diéthylène glycol, butylglycol) <u>Aldéhydes et cétones</u> (formaldéhyde, acétaldéhyde, acétone, méthylisobutylcétone) <u>Acides carboxylique et leurs esters</u> (acide acétique, acide propionique, acide butyrique, acétate de n-butyle, acétate d'éthyle, méthacrylate de méthyle, ester d'acide glycolique) <u>Phénols (phénol, crésol)</u> Mercaptanes Amines Ammoniac Composés hétérocycliques azotés Dichlorométhane, 1,2-dichloroéthane, chlorophénols Sulfure d'hydrogène	Styrène, naphthalène Composés hétérocycliques soufrés Sulfure de carbone Trichloroéthène, CVM	Hydrocarbures aliphatiques (méthane, pentane) Perchloroéthène, 1,1,1-trichloroéthane

Les limites et restrictions d'applications sont [cww/tm/70] :

	Limites / restrictions
Température [°C]	15-40 ¹ 30-35 (optimale) ²
Pression	Atmosphérique ²
Concentration en micro-organismes	>15 g/l de matière sèche ³
Concentration en COV de l'effluent gazeux [mg/Nm ³]	400-2 000 ^{1,2}
Concentration en ammoniac [mg/Nm ³]	100-400 ¹
Concentration en odeurs [u.o./Nm ³]	>20 000 ¹
Concentration en sulfure d'hydrogène [mg/Nm ³]	50-200 ¹

Concentration en mercaptane [mg/Nm ³]	5-100 ¹
¹ [cww/tm/70]	
³ [cww/tm/53]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Biodégradation des composés absorbés. Convient aux concentrations moyennes en composés acidifiants contenant du soufre, du chlore et de l'azote. Possibilité de procéder à de légers réglages du pH. 	<ul style="list-style-type: none"> Les variations des conditions d'admission du flux d'air ont une grande incidence sur l'efficacité du procédé. Les composés faiblement solubles sont plus difficiles à épurer. Éviter les concentrations élevées et toxiques en substances acidifiantes.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
COV	80-95 ¹		
Ammoniac	80-95 ¹		
Odeurs	70-90 ¹		
Sulfure d'hydrogène	80-95 ¹		
Mercaptanes	70-90 ¹		
Sulfure de carbone	98-99 ²		Concentration d'alimentation 100 mg/Nm ³
Styrène	80 ²		Concentration d'alimentation environ 160 mg/Nm ³
CVM	99 ²		Concentration d'alimentation jusqu'à 100 mg/Nm ³
¹ [cww/tm/70]			
² [cww/tm/53]			

Impacts croisés

Les utilités et les consommables principaux sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Produits chimiques (nutriments, composés alcalins pour le réglage du pH)		
Eau		
Boues activées		
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	<1 ¹	
Chute de pression [kPa]	0,1-1 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

À cause des activités biologiques dans le biofiltre, la concentration en sels de l'eau de circulation augmente, c'est pourquoi celle-ci doit être évacuée de temps en temps. Ce flux d'eaux usées doit être traité ou évacué d'une autre manière.

Les boues activées excédentaires doivent être évacuées en fonction des polluants ou des produits de dégradation, par incinération par exemple.

Des odeurs peuvent éventuellement être émises par les bassins stockant l'eau de circulation. La collecte de l'air extrait et son acheminement par conduites jusqu'à une installation de traitement peuvent s'avérer nécessaires.

Surveillance

L'efficacité d'un système de filtrage percolateur est déterminée par les concentrations de l'effluent gazeux en entrée et en sortie. La composition de l'eau d'absorption doit être contrôlée en mesurant en permanence les paramètres suivants [cww/tm/53] :

- le pH
- la température
- la concentration en oxygène
- la conductivité

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	5 000-20 000 EUR ¹	
Coûts d'exploitation main-d'œuvre utilités consommables		½ journée par semaine ¹
¹ [cww/tm/70]		

3.5.2.4 Oxydation thermique

Description

L'oxydation thermique est le procédé d'oxydation des gaz combustibles et des substances odorantes d'un effluent gazeux en chauffant dans un four un mélange de polluants et d'air ou d'oxygène au-dessus du point d'auto-inflammation, et en le maintenant à une température élevée pendant une durée suffisante pour en obtenir la combustion complète en dioxyde de carbone et en eau. La durée, la température (environ 200-400 °C au-dessus du point d'auto-inflammation), la turbulence (pour le mélange) et l'alimentation en oxygène sont tous des facteurs ayant une incidence sur la vitesse et l'efficacité du procédé de combustion. Ces facteurs constituent les paramètres de conception de base des systèmes d'oxydation des COV. Si des COV halogénés sont présents, des conditions particulières peuvent être nécessaires pour éviter la génération (ou synthèse de novo) de dioxines, bien qu'en principe il n'y ait qu'une formation de dioxines négligeable lors de la combustion d'effluents gazeux :

- temps de séjour ≥ 1 s [cww/tm/118 et 120]
- température ≥ 100 °C [cww/tm/118 et 120]
- teneur en oxygène >3 %
- refroidissement (quenching) du gaz de combustion après l'incinérateur pour traverser rapidement la « fenêtre de recombinaison » des dioxines

Des installations supplémentaires, des laveurs alcalins par exemple, doivent être installées pour éliminer les halogénures d'hydrogène.

Plusieurs types d'oxydateur thermique existent :

Traitement des eaux usées et effluents gazeux

- L'oxydateur thermique direct, qui comporte une chambre de combustion et sans récupération de la chaleur de l'air extrait,
- L'oxydateur thermique régénératif, dont le fonctionnement est le suivant [cww/tm/132] :
 - Le gaz extrait entre dans l'oxydateur par l'entrée commune et passe dans une chambre de régénération via une vanne papillon.
 - Il passe ensuite dans une matrice d'échange thermique en céramique qui permet d'augmenter la température du gaz jusqu'à la température d'oxydation.
 - Il entre ensuite dans la chambre de combustion, maintenue à environ 800 °C grâce à des brûleurs. La chaleur émise diminue la consommation en combustible des brûleurs.
 - Il quitte la chambre de combustion et traverse une deuxième matrice d'échange thermique en céramique. Celle-ci permet de transférer l'énergie thermique de l'effluent afin de la réutiliser pour préchauffer le prochain cycle.
 - Le flux de gaz purifié est évacué via une vanne d'évacuation.

Grâce à la température de combustion relativement élevée, à l'excès d'air et à l'influence minimale de la flamme, les quantités de monoxyde de carbone et de NO_x sont faibles.

Ce système est particulièrement adapté aux effluents gazeux dont le débit est relativement élevé (jusqu'à 200 Nm^3/s). La récupération de chaleur (préchauffage de l'effluent gazeux) atteint généralement 90 à 97 % [cww/tm/132].

Des systèmes d'oxydation thermique régénératifs sont schématisés à la figure 3.67 [cww/tm/132] :

Auxiliary fuel	Combustible auxiliaire
Reaction zone	Zone de réaction
Waste air	Effluent gazeux
Pure gas	Gaz pur
Temperature	Température
Bed height	Épaisseur du lit
Rotation storage material	Matériau de stockage rotatif
Bed flow	Écoulement du lit
Fuel	Combustible
Bed	Lit
Waste air/pure gas	Effluent gazeux/gaz pur
Preheating zone	Zone de préchauffage
Oxidation	Oxydation
Cooling zone	Zone de refroidissement

Figure 3.67 : schémas de différents systèmes de combustion régénératifs

A) Régénérateur à lit fixe, B) Combu-Changer, C) Régénérateur Ljungstrom, D) Régénérateur à lit mobile

- L'oxydateur thermique récupératif, constitué d'une chambre de combustion, d'un préchauffeur pour l'effluent gazeux et, si besoin est, d'un échangeur de chaleur secondaire pour la récupération de chaleur, la chaleur étant transférée en continu vers le préchauffeur. Ce système convient particulièrement aux effluents gazeux dont le débit est relativement faible ($<14 \text{ Nm}^3/\text{s}$). La récupération de chaleur atteint généralement 50 à 80 % [cww/tm/132].
- Les moteurs à gaz et/ou les chaudières à vapeurs [cww/tm/133], avec une récupération d'énergie de 57 à 67 %. L'effluent gazeux est brûlé dans le moteur. Si nécessaire, du gaz naturel est ajouté comme combustible auxiliaire. Des générateurs en aval produisent de

l'électricité. Le moteur possède un convertisseur catalytique destiné à oxyder le monoxyde de carbone de l'effluent gazeux. Le moteur est couplé à une chaudière à vapeur afin d'utiliser la chaleur résiduaire du gaz d'extraction pour produire la vapeur. L'eau d'alimentation de la chaudière est préchauffée par l'eau de refroidissement du moteur. La température de combustion étant faible, la formation de NO_x est faible également. Le gaz extrait qui quitte le moteur est amené au-dessus de catalyseurs d'oxydation afin de réduire la teneur en monoxyde de carbone.

Les critères de conception d'un oxydateur thermique dépendent essentiellement de la nature de l'effluent gazeux, car celle-ci détermine les conditions de la combustion. Quelques-uns des éléments les plus importants sont :

Les brûleurs

Quelques types de brûleurs sont décrits dans le tableau 3.15 [cww/tm/79].

Brûleur	Caractéristiques
Installation à brûleurs multiples	meilleur mélange du combustible et de l'air de combustion, ainsi que des gaz chaud avec l'air secondaire. Ce système produit des flammes courtes, ce qui permet un temps de séjour plus long. Toutefois, l'utilisation est limitée aux gaz propres et aux combustibles gazeux. La marge de réglage effective (rapport entre les valeurs maximale et minimale de sortie) est limitée et il peut être nécessaire que l'air de combustion ait une teneur en oxygène élevée.
Brûleur simple	moins coûteux que les installations à brûleurs multiples.
Brûleur à mélange préalable	combustion efficace, mais ne s'utilise qu'avec des combustibles gazeux et de l'air propre.
Brûleur à diffusion	peut être utilisé avec un combustible gazeux ou liquide et de l'air propre ou pollué.
Brûleur à effet Vortex	combustion efficace et flamme courte. Nécessité d'un ventilateur capable de délivrer 500 mm de colonne d'eau. Marge de réglage faible et risque d'encrassage.
Brûleur à hydrocarbures	flammes plus longues, plus coûteux, plus d'entretien, marge de réglage plus réduite, généralement moins propre qu'un brûleur à gaz.

Tableau 3.15 : types de brûleur

La zone de mélange [cww/tm/79]

Un bon mélange peut être obtenu des façons suivantes:

- diffusion naturelle entre des flux turbulents
- impact du flux gazeux selon un certain angle
- modifications de la direction de l'écoulement grâce à des coins arrondis ou des chicanes

La chambre de combustion [cww/tm/79]

Les paramètres de dimensionnement de la chambre de combustion sont :

- son diamètre doit permettre un écoulement turbulent
- elle doit être suffisamment grande pour la flamme, sans refroidissement rapide
- sa longueur est déterminée par celle de la flamme ainsi que celle nécessaire pour permettre le mélange

- elle doit être résistante à la température et à la corrosion
- elle doit supporter une dilatation et une contraction fréquentes

Le prétraitement de l'effluent gazeux [cww/tm/79]

Lorsqu'un prétraitement est nécessaire avant d'entrer dans l'oxydateur thermique, il s'agit de :

- condensation de la vapeur d'eau d'un effluent gazeux humide
- élimination des polluants solides et liquides
- concentration (par adsorption au CAG ou aux zéolites suivie d'une désorption, par exemple) pour réduire le volume total de gaz à traiter par l'oxydateur
- préchauffage, ce qui réduit les besoins en combustible

Équipement de sécurité [cww/tm/79]

Les dispositifs de sécurité nécessaires sont :

- protection contre le retour de flammes au moyen de dispositifs tels que pare-flammes à plaques parallèles, de pare-flammes à écrans de protection multiples et/ou de joints hydrauliques
- phase de purge du brûleur au démarrage de l'oxydateur thermique
- arrêt des flux en cas d'extinction de la flamme
- limitation des pics de températures

Application

Les oxydateurs thermiques sont utilisés pour réduire les émissions de pratiquement toutes les sources de COV, y compris des événements des réacteurs, des événements de distillation, et des opérations avec des solvants, dans des fours ou dans des séchoirs. Ils peuvent supporter des petites variations du flux, mais si les variations sont trop grandes, il est nécessaire d'utiliser une torchère. La consommation en combustible peut être élevée, s'ils sont alimentés avec des effluents gazeux faiblement chargés. C'est pourquoi les unités thermiques sont plus adaptées aux applications plus petites avec une charge en COV moyenne à élevée. Les oxydateurs thermiques sont employés pour contrôler les COV d'une grande variété de procédés industriels, notamment :

- stockage et le chargement/déchargement des produits pétroliers et autres liquides organiques volatils
- nettoyage des cuves (wagons-citernes, camions-citernes, barges)
- circuits de ventilation des procédés dans l'industrie de la fabrication de produits chimiques organiques synthétiques
- fabrication de peintures
- fabrication de produits en caoutchouc et de polymères
- revêtement flexible en uréthane ou en vinyle
- installations de stockage et d'évacuation des déchets dangereux

Les limites et restrictions d'applications sont [cww/tm/70] :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué standard [Nm ³ /h]	900-86 000 (oxydateurs thermiques régénératif et direct) ^{1,2} 90-86 000 (oxydateur thermique récupératif) ³
Température [°C]	750-1 000 ⁴ 980-1 200 avec composés dangereux ^{1,2,3}
Concentration en COV de l'effluent gazeux	<25 % de la LIE ^{1,2,3}
Temps de séjour [s]	0,5-2 ⁵ (en fonction de la température)
Substances	Pas de substances pouvant produire des composés corrosifs si des moteurs à gaz ou des chaudières à vapeur sont utilisés

¹ [cww/tm/120]² [cww/tm/119]³ [cww/tm/118]⁴ [cww/tm/132]⁵ [cww/tm/64]**Avantages et inconvénients**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Performances élevées et constantes. Principe simple. Fonctionnement fiable. Le rendement thermique des oxydations récupérative et régénérative est élevé, d'où une consommation de combustible auxiliaire plus faible et donc moins d'émission de dioxyde de carbone. Possibilité d'intégration de procédés de production de vapeur ou de chaleur résiduaire. 	<ul style="list-style-type: none"> Émission de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote. Risque de formation de dioxines, lorsque des composés chlorés sont incinérés. Traitement du gaz de combustion nécessaire pour les COV contenant du soufre et/ou des halogénures. Combustible auxiliaire nécessaire, au moins au démarrage, et si la concentration en COV est inférieure au point d'auto-inflammation.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]			Remarques
	direct	régénératif	récupératif	
COV	98->99,9 ¹	95-99 ²	98-100 ^{a 3}	
PM ₁₀	25-99,9 ¹		25-99,9 ³	Produits pétroliers et de charbon
	50-99,9 ¹		50-99,9 ³	Produits chimiques et produits connexes
Paramètre	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]			Remarques
	direct	régénératif	récupératif	
COV	<1-20 ^b			Teneur en oxygène 3 v-%
^a >99,9999 %				
^b niveaux faibles pour les substances dangereuses, niveaux élevées pour les substances moins dangereuses				
¹ [cww/tm/120]				
² [cww/tm/119]				
³ [cww/tm/118]				

L'efficacité de l'oxydation thermique concernant la réduction des COV est supérieure à celle de l'oxydation catalytique.

Impacts croisés

Les utilités et les consommables principaux sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Carburant au démarrage et pour conditions non autothermiques ^a		
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	3-8 ^{1,2}	
Chute de pression [kPa]	1-5 ¹	

^a gamme autothermique des COV : 1-10 g/Nm³ ¹

¹ [cww/tm/70]

² [cww/tm/96]

Outre les émissions de dioxyde de carbone, on trouve des traces de monoxyde de carbone et de NO_x dans l'effluent gazeux. Ces traces dépendent de la teneur de l'effluent gazeux brut et du fonctionnement de l'oxydateur thermique. La teneur en monoxyde de carbone est réduite, par exemple, au moyen d'un catalyseur approprié ; les quantités de NO_x correspondantes peuvent subir un traitement supplémentaire (voir la section 3.5.4.2). La présence de soufre et d'halogènes nécessite un traitement supplémentaire du gaz de combustion, par exemple un lavage alcalin ou à l'eau (voir la section 3.5.1.4) pour absorber les halogénures d'hydrogène, un ajout de chaux (voir la section 3.5.4.1) pour absorber le dioxyde de soufre ou une adsorption au CAG (voir la section 0) pour éliminer les dioxines, dans le cas où la combinaison/recombinaison des dioxines n'est pas empêchée en cours d'incinération. La présence de composés organosiliciés peut produire du dioxyde de silicium amorphe hautement dispersé qui doit être éliminé au moyen de techniques de filtration adaptées. Le traitement supplémentaire des gaz peut produire des eaux usées qui, à leur tour, doivent être traitées, par exemple par décantation (voir la section 3.3.4.1.2) ou par neutralisation.

Surveillance [cww/tm/79]

Les paramètres suivants sont à contrôler et doivent déclencher une alarme lorsque les valeurs seuil sont dépassées :

- la température de combustion
- la concentration en COV
- la concentration en monoxyde de carbone
- la pression
- l'alimentation en gaz liquéfié
- l'alimentation en air comprimé

Un autre paramètre important à contrôler est la teneur en oxygène de l'effluent gazeux, qui donne des informations sur les conditions de la combustion. Ce paramètre est crucial lorsque des composés halogénés sont oxydés thermiquement.

La rendement d'épuration du système peut être déterminé par le contrôle de la concentration en COV et/ou en substances odorantes en entrée et en sortie de l'oxydateur thermique. Les COV sont exprimés en carbone total, par une mesure en à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme. Une analyse qualitative des émissions peut être effectuée en réalisant des échantillons instantanés à des points d'échantillonnage déterminés, puis en les analysant par GC/MS. Le rendement d'épuration des émissions d'odeurs est déterminé en prenant des échantillons instantanés à des points d'échantillonnage appropriés, puis en les analysant par olfactométrie.

Les brûleurs doivent être inspectés régulièrement et, le cas échéant, nettoyés. Si des dépôts se forment rapidement, une action préventive doit être menée. Un prétraitement efficace peut être nécessaire pour nettoyer l'effluent gazeux pollué avant l'entrée dans le brûleur. Si les dépôts sont dus au carbone, cela peut indiquer l'utilisation d'un mauvais ratio effluent gazeux/combustible. Dans ce cas, les paramètres de contrôle doivent être vérifiés.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts			Remarques
	Direct	Régénératif	Récupératif	
Coûts de capital	2 800-59 000 USD ¹	24 000-89 000 USD ³	8 900-77 000 USD ⁴	
[pour 1 000 Nm ³ /h]	10 000-40 000 EUR ²	20 000-30 000 EUR ²	10 000-50 000 EUR ²	
Traitement des eaux usées et effluents gazeux				- 242 -

		131 000-174 000 FIM ⁵		
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	24 000-45 000 USD ¹	2 400-5 900 USD ³	2 800-14 800 USD ⁴	
		6 500 FIM ⁵		
main-d'œuvre utilités consommables	½ journée par semaine	2 jours par an		
Rentabilité [par tonne de polluant et par an]	440-3 600 USD ¹	110-21 000 USD ³	110-2 200 USD ⁴	
¹ [cww/tm/120] ² [cww/tm/70] ³ [cww/tm/119] ⁴ [cww/tm/118] ⁵ [cww/tm/96]				

Facteurs coût [cww/tm/80] :

Facteurs	Influence/résultats
Volume d'effluent gazeux à traiter	Dimensions de la chambre de combustion
Enthalpie de l'effluent gazeux	Conception de l'équipement de combustion, nécessité de combustible auxiliaire
Température de combustion	Matériaux de fabrication
Instrumentation	
Dispositifs de récupération de chaleur	
Exigences particulières relatives à l'installation (en intérieur, en extérieur, au sol, en toiture, etc.)	

Il est possible d'utiliser des fours et des chaudières pour l'oxydation thermique des COV à condition que la température et le temps de séjour se situent dans la plage appropriée. Cette solution est intéressante lorsqu'un four ou une chaudière est déjà implanté sur le site.

3.5.2.5 Oxydation catalytique

Description

Le fonctionnement des oxydateurs catalytiques est très proche de celui des oxydateurs thermiques, à ceci près que le gaz, après avoir traversé la flamme, traverse un lit catalytique. Le catalyseur a pour effet d'augmenter la vitesse de l'oxydation, ce qui permet une conversion à des températures de réaction plus basses que dans les installations d'oxydation thermique. C'est pourquoi l'utilisation de catalyseurs diminue l'encombrement des oxydateurs.

Le principe est illustré à la figure 3.68 [cww/tm/79].

Burner	Brûleur
Catalyst	Catalyseur
Heat exchanger	Échangeur de chaleur
Waste stream inlet	Entrée de l'effluent
Treated air exit	Sortie de l'air traité

Figure 3.68 : principe de l'oxydation catalytique

L'effluent gazeux est chauffé par des brûleurs auxiliaires à une température d'environ 300-500 °C avant de traverser le lit catalytique. La température maximale en sortie de catalyseur est comprise entre 500 et 700 °C [cww/tm/116].

La méthode de mise en contact de l'effluent gazeux avec le catalyseur permet de différencier les systèmes d'oxydation catalytique. Des systèmes à lit fixe et à lit fluidisé sont utilisés.

L'oxydateur catalytique à lit fixe peut utiliser un catalyseur monolithique ou un catalyseur à garnissage. Le catalyseur monolithique est un bloc solide poreux constitué de canaux parallèles sans intersections orientés dans le sens de l'écoulement gazeux. Il offre l'avantage d'une attrition minimale lors de la dilatation/contraction thermique au démarrage et à l'arrêt, ainsi que d'une chute de pression globale faible. Le catalyseur à garnissage est constitué de particules placées dans un tube ou sur des plateaux rapprochés et à travers lesquels le gaz passe. Par rapport au catalyseur monolithique, la chute de pression est par nature élevée et les particules catalytiques ont tendance à se briser du fait de la dilatation thermique lorsque le lit catalytique confiné est chauffé puis refroidi au cours du démarrage et de l'arrêt.

Les oxydateurs catalytiques à lit fluidisé présentent l'avantage d'offrir des taux de transfert de masse très élevés, bien que la chute de pression globale soit légèrement plus importante que dans le cas d'un catalyseur monolithique. Un autre avantage des lits fluidisés est le transfert de chaleur élevé dans le lit comparé au coefficient normal de transfert de chaleur du gaz. Un troisième avantage est leur tolérance plus élevée à des matières particulières dans l'effluent gazeux que dans le cas de catalyseurs monolithiques ou à lit fixe. Cela est dû à l'abrasion constante des grains de catalyseur fluidisés qui aide à éliminer en continu les particules issues de l'extérieur. Toutefois, cela induit l'inconvénient d'une perte progressive du catalyseur par attrition.

Les catalyseurs utilisés pour l'oxydation des COV sont généralement soit des métaux précieux (platine, palladium et rhodium) fixés sur un support en céramique ou en métal, soit des métaux communs fixés sur des pastilles en céramique, oxydes métalliques simples ou mixtes, généralement fixés sur un support mécaniquement résistant, comme les oxydes de cuivre, de chrome, de manganèse, de nickel, de cobalt, etc.

Les catalyseurs tels que le chrome/alumine, l'oxyde de cobalt et l'oxyde de cuivre/oxyde de manganèse sont utilisés pour l'oxydation des gaz contenant des composés chlorés. Les catalyseurs à base de platine sont utilisés pour l'oxydation des COV contenant du soufre mais sont désactivés rapidement en présence de chlore.

La présence de poisons catalytiques ou d'agents masquants dans l'effluent gazeux tels que des particules ou des réactifs chimiques peuvent avoir une incidence significative sur la durée de vie du catalyseur. L'empoisonnement par masquage peut être réversible. Par exemple, l'efficacité d'un catalyseur est réduite si sa surface est enduite par des huiles ou des graisses, mais ce revêtement peut être brûlé en augmentant la température. Toutefois, en présence de certains produits chimiques, l'empoisonnement du catalyseur est irréversible. Ces poisons catalytiques sont notamment :

- les inhibiteurs à action rapide (comme phosphore, bismuth, arsenic, antimoine, plomb, mercure), qui provoquent une perte irréversible de l'activité catalytique, à une vitesse variable en fonction de la concentration et de la température ;
- les inhibiteurs à action lente (comme fer, étain, silicium), qui provoquent une perte irréversible de l'activité. Cependant, des concentrations plus élevées que dans le cas des inhibiteurs à action rapide peuvent être tolérées ;
- les inhibiteurs réversibles (comme soufre, halogènes, zinc), qui créent, selon le catalyseur, un revêtement réversible sur la surface active du catalyseur, à une vitesse variable en fonction de la température et de la concentration ;

- les agents masquants de surface (solides organiques, par exemple), qui créent un revêtement réversible sur les surfaces actives ;
- les agents masquants et d'érosion de surface (particules inertes, par exemple), qui créent un revêtement sur les surfaces actives et érodent le catalyseur, à une vitesse variable en fonction de la taille des particules, de la charge en grains et de la vitesse du gaz [cww/tm/80].

Comme pour l'oxydation thermique, plusieurs types d'oxydateur sont utilisés :

- l'oxydateur catalytique direct
- l'oxydateur catalytique régénératif
- l'oxydateur catalytique récupératif

Les conditions normales de fonctionnement des oxydateurs catalytiques sont :

- l'utilisation préférentielle de gaz naturel comme combustible (si un combustible auxiliaire est nécessaire) ;
- l'utilisation d'installations à brûleurs multiples – les plus adaptés ;
- des chambres en acier inoxydable ou en acier au carbone ;
- une zone de brulage suffisamment longue pour procurer une distribution uniforme de l'écoulement et la température sur toute la surface du catalyseur ;
- un profil d'écoulement plat à travers la surface du catalyseur ;
- un écoulement de l'effluent gazeux à travers le lit catalytique de type écoulement piston avec un rétro mélange minimal ;
- un temps de séjour type de 0,3 à 0,5 secondes.

Comme pour l'oxydation thermique, il peut être nécessaire de prétraiter l'effluent gazeux, par exemple en condensant la vapeur d'eau d'un effluent gazeux humide, en éliminant les matières solides et liquides, et, spécifiquement dans le cas des systèmes catalytiques, en éliminant les poisons catalytiques. Les exigences en matière de sécurité sont semblables à celles de l'oxydation thermique (voir la section 3.5.2.4).

Le système d'oxydation catalytique doit être conçu pour faciliter l'extraction du catalyseur afin de le nettoyer ou de le remplacer.

Un exemple d'oxydateur catalytique régénératif est illustré à la figure 3.69 [cww/tm/132].

Figure 3.69 : oxydateur catalytique régénératif

1) Entrée de l'effluent gazeux 2) Lit en céramique diffuseur de chaleur 3) Couche de catalyseur 4) Chambre de combustion 5) Couche de sortie du catalyseur 6) Chambre de régénération 7) Collecteur de sortie 8) Conduite de transfert

Application

L'oxydation catalytique est employée pour réduire les émissions d'une grande variété de sources fixes. La principale source d'émission est les COV provenant de l'évaporation des solvants. L'oxydation catalytique est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels dans ce cadre. Quelques exemples issus de l'industrie chimique et des secteurs associés :

- stations de chargement de pétrole en vrac
- circuits de ventilation des procédés dans l'industrie de la fabrication de produits chimiques organiques synthétiques
- fabrication de produits en caoutchouc et de polymères
- fabrication de résines de polyéthylène, de polystyrène et de polyester

L'oxydation catalytique est plus adaptée aux systèmes dont le volume de l'effluent gazeux est faible, lorsque la concentration et le type de COV varient peu, et lorsque l'effluent gazeux ne contient pas de poisons catalytiques ou d'autres polluants risquant d'encrasser le système. Les autres composés à éliminer sont le monoxyde de carbone et, dans une certaine mesure, les particules, bien que celles-ci nécessitent des dispositifs de traitement particuliers.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué standard [Nm ³ /h]	1 200-86 000 (oxydateur catalytique régénératif et direct) ^{1,2} 90-86 000 (oxydateur catalytique récupératif) ³
Température [°C]	300-500 avant le catalyseur 500-700 après le catalyseur
Concentration en COV de l'effluent gazeux	<25 % de la LIE ¹
Temps de séjour	0,3-0,5 (selon le volume du lit catalytique)
¹ [cww/tm/116] ² [cww/tm/119] ³ [cww/tm/118]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Plus compacts que les oxydateurs thermiques. Températures plus basses et besoins en combustibles auxiliaires inférieurs à ceux des oxydateurs thermiques. Pas ou peu de NO_x produits par fixation atmosphérique (environ 20 à 30 % de la quantité formée par oxydation thermique). Le CO de l'effluent gazeux est éliminé simultanément par le catalyseur. Possibilité de performances élevées, constantes et fiables. Le rendement thermique des oxydations récupérative et régénérative est élevé, d'où une consommation en combustible auxiliaire plus faible et donc moins d'émission de dioxyde de carbone. Possibilité d'intégration de procédés de production de vapeur ou de chaleur résiduaire. Peu ou pas d'exigences en matière d'isolation. Risque d'incendie moindre par rapport aux oxydateurs thermiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendement d'épuration des COV inférieur à celui de l'oxydation thermique. Système sensible aux changements de la valeur calorifique du gaz. Risque de formation de dioxines lorsque des composés chlorés sont incinérés. Tous les catalyseurs sont sensibles à la présence de poisons catalytiques, de substances pouvant encrasser les systèmes et de suppresseurs d'activité. Il est souvent nécessaire d'éliminer au préalable les particules. Le catalyseur épuisé qui ne peut pas être régénéré doit être évacué.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]			Remarques
	direct	régénératif	récupératif	
COV	95 ¹ 98-99 ^{a 1}	90-99 ²		
PM ₁₀	25-99,9 ¹			Produits pétroliers et de charbon
Traitement des eaux usées et effluents gazeux				- 246 -

	50-99,9 ¹			Produits chimiques et produits connexes
CO		>98 ^{b 2}		
Odeurs	80-95 ³			
Paramètre	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]			Remarques
COV	<1-20 ^c			
a nécessite des volumes de catalyseur supérieurs et/ou des températures plus élevées				
b catalyseur en métal précieux				
c niveaux faibles pour les substances dangereuses, niveaux élevés pour les substances moins dangereuses				
¹ [cww/tm/116]				
² [cww/tm/119]				
³ [cww/tm/70]				

Impacts croisés

Les utilités et les consommables principaux sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Combustible au démarrage et pour conditions non autothermiques ^a [Nm ³ de méthane pour 1 000 Nm ³]	0-100	
Energie [kWh/1 000 Nm ³]	1-2 ¹	
Chute de pression [kPa]	1-5 ¹	
^a gamme de concentrations autothermique des COV 1-2 g/Nm ³ ¹ (système régénératif) et 3-5 g/Nm ³ (système récupératif) ¹ [cww/tm/70]		

Des traces de monoxyde de carbone ainsi qu'une faible teneur en NO_x (grâce à une température relativement faible par rapport à l'oxydation thermique) sont émises dans l'environnement. Des niveaux d'émission de 15 mg/Nm³ peuvent être atteints.

La durée de vie du catalyseur est de deux ans, et probablement plus. Il doit ensuite être régénéré ou évacué comme déchet chimique et parfois comme déchet dangereux.

Lorsque les COV oxydés contiennent du soufre et/ou des halogènes, il est probable que du dioxyde de soufre et/ou des halogénures d'hydrogène soient émis. Ils doivent être éliminés au moyen des techniques appropriées.

Surveillance [cww/tm/79]

La température du lit, la chute de pression à travers le lit, la température de combustion, et la teneur en monoxyde de carbone et en oxygène de l'effluent gazeux doivent être surveillées pour contrôler les conditions de la combustion.

Le rendement d'épuration du système est déterminé par le contrôle de la concentration en COV et/ou en substances odorantes en entrée et en sortie de l'oxydateur. Les COV sont exprimés en carbone total, par une mesure à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme. Une analyse qualitative des émissions peut être effectuée en réalisant des échantillons instantanés à des points d'échantillonnage déterminés, puis en les analysant par GC/MS. La capacité de réduction des émissions d'odeurs est déterminée en prenant des échantillons instantanés à des points d'échantillonnage appropriés, puis en les analysant par olfactométrie.

Les brûleurs doivent être inspectés régulièrement et, le cas échéant, nettoyés. Si des dépôts se forment rapidement, une action préventive doit être menée. Un prétraitement efficace peut être nécessaire pour nettoyer l'effluent gazeux pollué avant d'entrer dans le brûleur. Si les dépôts sont dus au carbone, cela peut indiquer l'utilisation d'un mauvais ratio effluent gazeux/combustible. Dans ce cas, les paramètres de contrôle doivent être vérifiés.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts			Remarques
	Direct	Régénératif	Récupératif	
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	14 000-58 000 USD ¹	24 000-89 000 USD ³		
	10 000-80 000 EUR ²	30 000-40 000 EUR ²		
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	2 800-21 000 USD ¹	3 600-12 000 USD ³		
main-d'œuvre utilités consommables	½ journée par semaine	2 jours par an		
Rentabilité [par tonne de polluant par an]	440-3 600 USD ¹	150-26 000 USD ³		
¹ [cww/tm/116]				
² [cww/tm/70]				
³ [cww/tm/119]				

Facteurs coût [cww/tm/80] :

Facteurs	Influence/résultats
Débit de l'effluent gazeux	Dimensions de la chambre de combustion
Enthalpie de l'effluent gazeux	Conception de l'équipement de combustion, combustible auxiliaire nécessaire
Rendement d'épuration des solvants requis	Vitesse spatiale et par conséquent quantité de catalyseur requise
Type de catalyseur	
Instrumentation	
Type d'échangeur de chaleur	
Exigences particulières relatives à l'installation (en intérieur, en extérieur, au sol, en toiture, etc.)	

3.5.2.6 Combustion en torchère

Description

La combustion en torchère est un procédé d'oxydation à haute température utilisé pour brûler les composés combustibles des effluents gazeux des opérations industrielles. Il existe deux types de torchère :

- les torchères hautes
- les torchères basses

Les **torchères hautes**, le type de torchère le plus courant, ont des capacités supérieures aux torchères basses. Dans les torchères hautes, un effluent gazeux est injecté dans une cheminée de 10 m à plus de 100 m de hauteur et est brûlé au sommet de la cheminée. La flamme est exposée aux perturbations atmosphériques (vent, précipitations). Les torchères hautes sont généralement conçues pour les

grandes capacités (plusieurs centaines de tonnes par heure) et sont plus appropriées en cas de grandes variations du débit gazeux.

Une torchère haute classique (voir la figure 3.70 [cww/tm/143]) est constituée des éléments suivants [cww/tm/143] :

Assist steam jets	Buses d'injection de la vapeur d'effacement
Burner tip	Bec du brûleur
Pilot burners	Veilleuses
Ignitor tube	Tube de l'allumeur
Stack seal	Joint de la cheminée
Flare stack	Cheminée de la torchère
Assist steam	Vapeur d'effacement
Ignitor	Allumeur
Ignitor gas	Gaz d'allumage
Pilot gas	Gaz de la veilleuse
Purge gas	Gaz de purge
Emission source gas	Gaz brut
Gas collection header and transfer line	Collecteur de gaz et conduite de transfert
Water seal	Joint hydraulique
Disentrainment drum	Séparateur
Drain	Évacuation

Figure 3.70 : torchère haute classique [cww/tm/143]

- le collecteur de gaz et les conduites de collecte des gaz des unités de traitement ;
- un séparateur (tambour de séparation) pour éliminer et stocker les condensables et les liquides entraînés ;
- un joint interne, un joint hydraulique ou une alimentation en gaz de purge pour prévenir des retours de flammes ;
- un dispositif à un ou plusieurs brûleurs, et une cheminée de brulage ;
- des veilleuses et un dispositif d'allumage pour enflammer le mélange d'air et d'effluent gazeux ;
- si nécessaire, apport d'une force d'entraînement externe (injection de vapeur ou air pulsé) pour que la combustion produise moins de fumées.

Du gaz naturel, un gaz combustible, un gaz inerte ou de l'azote peuvent être utilisés comme gaz de purge.

Dans les **torchères basses**, la combustion se produit au niveau du sol. Leur complexité est variable. Elles peuvent être constituées de brûleurs classiques avec rejet horizontal sans enceinte ou de plusieurs brûleurs dans des enceintes en acier réfractaire. Elles sont conçues pour des capacités plus faibles (plusieurs dizaines de tonnes par heure) et traitent la charge de base des gaz combustibles produits par toutes les sources connectées à la torchère en fonctionnement normal. Ceci inclut principalement les fuites des soupapes de sûreté et tous les démarrages et arrêts de procédés.

Le diamètre important de la torchère basse permet la mise en œuvre d'un plus grand nombre de brûleurs. C'est pourquoi la torchère basse peut être adaptée à des quantités variables de gaz à brûler en modifiant le nombre de brûleurs en service. Ceci améliore les conditions de la combustion et donc son efficacité.

Un nouveau type de torchère basse fonctionne comme un système de combustion de surface à prémélange (brûleur confiné), dans lequel un prémélange de gaz et d'air brûle au-dessus d'un milieu perméable. Le milieu perméable est composé de plusieurs couches de fibres métalliques et supporte

des températures allant jusqu'à 1 300 °C. Le gaz est fourni via un injecteur de type venturi situé à l'extrémité inférieure du système de brûleur, l'injecteur aspirant l'air nécessaire à la combustion stœchiométrique. Des rapports d'air entre 1 : 12 et 1 : 19 peuvent être atteints. Dans le diffuseur situé juste au-dessus de l'injecteur de type venturi, la vitesse du mélange diminue, et donc la pression augmente. Ceci a pour effet d'augmenter l'efficacité de l'injecteur et de créer une pression statique permettant au mélange gazeux de s'écouler à travers le milieu perméable. Depuis le diffuseur, le mélange gazeux entre dans la chambre de prémélange et s'écoule à travers le milieu perméable, dans lequel il est enflammé grâce à une veilleuse. La combustion se produit juste au-dessus du milieu perméable. La chaleur est émise par convection, ce qui rend possible la récupération d'énergie au moyen d'un échangeur de chaleur. La zone de combustion confinée empêche l'émission de chaleur et de lumière. La technique est décrite à la figure 3.71 [cww/tm/153].

Exhaust gas	Gaz extrait
Permeable burner deck	Plaque de brûleur perméable
Insulation	Isolation
Pilot	Veilleuse
Diffuser	Diffuseur
Hinged section	Section inclinable
Main gas inlet	Entrée du gaz principal
Venturi air injector	Injecteur d'air de type venturi
Air intake	Admission d'air
Premix chamber	Chambre de prémélange
Removable wall section	Paroi amovible

Figure 3.71 : principaux éléments d'un brûleur confiné

La couche de matières fibreuses est refroidie en permanence par le flux de gaz et d'air. Les fibres métalliques ayant une surface volumique élevée, elles refroidissent rapidement. Cela rend également l'unité résistante aux retours de flammes. Même dans le cas du débit le plus faible, le flux prémélangé suffit à refroidir la couche de matières fibreuses, qui de ce fait, ne dépasse pas 150 °C [cww/tm/153], du côté du prémélange.

Un module simple est constitué de six brûleurs disposés en deux rangées accolées dos à dos. La capacité totale est de 90 MW pour le gaz naturel (indice de Wobbe 47,8 MJ/Nm³). La flamme est protégée puis dirigée vers le haut par des parois isolantes. La radiation de chaleur dans l'environnement immédiat est minimisée : la température ambiante environnante n'augmente pas de plus de 5 K [cww/tm/153].

Pour que la combustion soit complète dans les torchères, l'air de combustion doit être suffisant et le mélange air/effluent gazeux doit être approprié. La combustion peut dégager de la fumée, selon les composés de l'effluent gazeux, ainsi que la quantité et la répartition de l'air de combustion. La combustion des effluents gazeux contenant du méthane, de l'hydrogène, du monoxyde de carbone et de l'ammoniac ne dégage généralement pas de fumée. La combustion des effluents gazeux contenant des hydrocarbures lourds, par exemple des paraffines au-dessus du méthane, des oléfines et des hydrocarbures aromatiques, dégage de la fumée. L'industrie requiert généralement une capacité non fumigène de 10-15 % pour les torchères hautes et de 100 % pour les torchères basses. Une force d'entraînement externe est utilisée comme suppresseur de fumée, par exemple :

- de la vapeur, à une pression effective allant jusqu'à 0,7 MPa. Cette solution est en général utilisée dans les grands sites où de la vapeur est facilement disponible.
- de l'air. Cette solution est adaptée aux applications nécessitant une installation petite et relativement peu coûteuse.
- un gaz à haute pression ; méthode très coûteuse.

- de l'eau, à une pression d'eau effective d'environ 2 MPa. Cette méthode est adaptée lorsque de l'eau est librement disponible en grande quantité.

Il est rarement requis d'utiliser une force d'entraînement externe avec les torchères basses.

L'enthalpie des effluents gazeux à brûler en torchère doit être au moins de 11 MJ/Nm³ pour que la combustion soit complète. Sinon, il est nécessaire d'ajouter un combustible auxiliaire. Dans certains cas, même si l'enthalpie des effluents gazeux est suffisante, il est nécessaire d'apporter de la chaleur supplémentaire. Si de l'azote lié au combustible est présent, brûler de l'ammoniac avec un pouvoir calorifique de 13,6 MJ/Nm³ nécessitera une chaleur plus élevée pour minimiser la formation de NO_x.

Les sites industriels utilisent souvent un système de torchère intégré, c'est-à-dire la combinaison d'une torchère basse dont la conception du brûleur est optimisée pour les effluents gazeux en fonctionnement normal, et d'une torchère haute pour les débits élevés en cas d'urgence ou de dysfonctionnement des procédés.

Différents types de torchères sont illustrés aux figures 3.72 à 3.74 [cww/tm/64].

Incineration air	Air d'incinération
Steam	Vapeur
Waste gas	Effluent gazeux
Air	Air
Fuel gas	Gaz combustible
Flame ignition	Allumage de la flame

Figure 3.72 : torchère à lance d'injection

Pilot burner	Veilleuse
Air	Air
Fuel gas	Gaz combustible
Auxiliary fuel	Combustible auxiliaire
Central injector	Injecteur central
Waste gas	Effluent gazeux
Incineration air	Air d'incinération
Flame ignition	Allumage de la flamme

Figure 3.73 : torchère carénée

Burner	Brûleur
Flue gas/exhaust air	Gaz de combustion/air d'extraction
Ignition air	Air d'allumage
Ignition burner	Brûleur d'allumage
Air	Air
Fuel gas	Gaz combustible
Auxiliary fuel e.g.natural gas	Combustible auxiliaire, par ex. gaz naturel

Figure 3.74 : torchère à silencieux

Application

Les torchères sont couramment utilisées dans l'industrie, du pétrole, du gaz et pétrochimique afin d'évacuer l'excès de gaz et de vapeurs combustibles lorsqu'il n'est pas possible de les utiliser ou de les recycler. Les COV des circuits de ventilation, des pompes et des compresseurs sont collectés et

acheminés à un système de brûlage. Une des principales fonctions des torchères est d'éviter, par mesure de sécurité ou en cas d'urgence, la présence indésirable de grandes quantités de gaz inflammables. Techniquement, dans une usine chimique, toutes les sources présentant un risque d'émission de gaz combustible sont connectées au système de brûlage. Toutefois, les torchères ne sont généralement pas utilisées comme traitement en continu. Elles peuvent aussi servir à brûler les effluents gazeux générés par les digesteurs de boues ou d'eaux usées.

Les torchères hautes sont utilisées pour brûler les gaz en cas d'urgence ou les gaz de décharge, tandis que les torchères basses sont plus souvent utilisées pour le brûlage courant, à condition que l'effluent gazeux ne contienne pas de polluants toxiques. Contrairement aux torchères hautes, les torchères basses ne peuvent pas faire face à des grandes variations du débit gazeux. S'il y a un risque de variations importantes, il est nécessaire de combiner ce système à une torchère haute.

Comme nous l'avons signalé [cww/tm/153], la combustion de surface avec prémélange peut être également appliquée aux gaz toxiques et dangereux, par exemple aux mélanges gazeux contenant du sulfure d'hydrogène.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué standard	0-1 800 000 Nm ³ /h ¹ (limite supérieure pour les torchères hautes) 600-210 000 Nm ³ /j (indice de Wobbe entre 15 et 52 MJ/Nm ³), torchères basses, de type combustion de surface à prémélange
Température de combustion [°C]	>800 ² 900-1 260 °C (torchères basses de type combustion de surface à prémélange)
Temps de séjour dans la chambre de combustion [s]	1-2 ²
Gamme de pression [kPa]	0-0,73 (torchères basses de type combustion de surface à prémélange)
Concentration en COV de l'effluent gazeux	0-100 % de la LIE, avec équipement de sécurité ² 0-50 % de la LIE sans équipement de sécurité ²
Teneur en oxygène après incinération	>5 % ³ (torchère à silencieux)
Vitesse de la torchère [m/s]	0-20 ³ (pour empêcher les retours de flammes)
¹ [cww/tm/117] ² [cww/tm/132] ³ [cww/tm/64]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<u>Cas général</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Système efficace pour l'élimination de gaz combustibles et non recyclables en excès ou d'émissions soudaines de grandes quantités de gaz. ▪ Utilisable pour contrôler les effluents gazeux intermittents ou variables. 	<u>Cas général</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pas d'épuration des polluants (SO_x, NO_x, monoxyde de carbone, halogénures d'hydrogène) après la torchère. ▪ Suppresseurs de fumée nécessaires. ▪ Chaleur de combustion non récupérable. ▪ Coûts de mise en œuvre dans des installations existantes élevés.
<u>Torchères hautes</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rejet rapide et sûr de grandes quantités d'effluent gazeux. 	<u>Torchères hautes</u> <ul style="list-style-type: none"> • Émission de lumière gênante.

<ul style="list-style-type: none"> Équipement d'urgence, non utilisé le reste du temps. 	<ul style="list-style-type: none"> Nuisance sonore. Difficultés à traiter les débits faibles. La formation de coke risque de bloquer les injecteurs.
<u>Torchères basses</u> <ul style="list-style-type: none"> Allumage de la torchère fiable (moins sensible au vent). Flexible ; peut traiter les variations dans les gammes de débits gazeux faibles. 	<u>Torchères basses</u> <ul style="list-style-type: none"> Capacité limitée. Ne conviennent pas pour les variations importantes du débit gazeux si non combinées à des torchères hautes. Risques pour la santé et la sécurité accrus en cas de mauvais fonctionnement. L'efficacité peut être limitée si le combustible est de mauvaise qualité. Problèmes d'odeurs.
<u>Torchère basse à combustion de surface et à prémélange</u> <ul style="list-style-type: none"> Combustion complète. Système modulable permettant un montage rapide et un transport facile. Ratio de réglage très large (1 : 30 avec un indice de Wobbe entre 15 et 52 MJ/Nm³) Démarrage direct à pleine capacité sans temps de mise en route. Émissions de NO_x faibles. Récupération d'énergie possible. Faible émission de lumière et de chaleur. 	<u>Torchère basse à combustion de surface et à prémélange</u> <ul style="list-style-type: none"> Nouvelle technologie, donc non encore reconnue dans le monde. Coûts plus élevés que les torchères traditionnelles.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Torchère haute		Torchère basse	
	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]
COV	>98 ^{a 1}		>99 ^{a 2}	
	80-86		³ 99,9 ^{c 3}	
NO _x		400 (200 ppm)		400 (200 ppm)
				11,6 (3,9 ppmv) ^{b,c}
NO				8,6 (2,9 ppmv) ^{b,c}
Hydrocarbures (BTEX compris)				<2,8 (<1 ppmv) ^{b,c}
CO				-
Bruit				73 dB(A) ^{b,d}

^a dans les conditions optimales : enthalpie de l'effluent gazeux >11 MJ/Nm³¹ ; des flux et une enthalpie faibles réduisent l'efficacité de la combustion

^b système de combustion de surface à prémélange

^c corrigé à 3 % O₂

^d à 50 m, conditions en champ libre

¹ [cww/tm/117]

² [cww/tm/84]

³ [cww/tm/153]

Les niveaux d'émission pouvant être atteints mentionnés dans le tableau se rapportent à la destruction des polluants atmosphériques (COV et hydrocarbures) par combustion en torchère. Les autres

paramètres (NO et NO_x) se rapportent aux émissions causées par la combustion en torchère. Il n'y a pas d'installation de traitement des gaz émis par une combustion en torchère, c'est pourquoi les polluants produits par l'incinération des effluents gazeux contenant du soufre et/ou des halogénures d'hydrogène, qui sont les NO_x , le monoxyde de carbone, la suie, etc., ne sont pas contrôlés. C'est pour cette raison que les torchères basses ne sont pas adaptées aux gaz toxiques et dangereux. Il est à noter que la réaction de combinaison/recombinaison des dioxines n'est pas favorisée car il n'y pas de « fenêtre de recombinaison » et les surfaces métalliques agissent comme un catalyseur.

Les performances d'épuration de la combustion en torchère, telles que décrites dans le tableau ci-dessus, ne sont valables que pour les conditions optimales. Les performances en conditions non optimales s'étendent entre 0 et 98 % [cww/tm/84], ce qui montre que la combustion en torchère est très sensible aux variations des conditions. Ce n'est donc pas une technique d'épuration fiable pour le fonctionnement quotidien.

Impacts croisés

Les utilités et les consommables principaux sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Suppresseurs de fumée (vapeur, air, eau, gaz naturel)		
Gaz d'allumage de la veilleuse (propane ou butane)		
Gaz de purge (azote ou gaz combustible) pour maintenir le système en surpression		
Gaz d'allumage		
Énergie [kWh/1 000 m ³]		
Chute de pression [kPa]	1 ¹	
¹ [cww/tm/64]		

La combustion en torchère peut être bruyante. Les sources de bruit les plus importantes sont [cww/tm/94] :

- l'injection de suppresseurs de fumée
- le procédé de combustion
- les ventilations

Les torchères utilisant de la vapeur d'effacement émettent du bruit. Celui-ci provient des injecteurs et des buses de vapeur à haute pression, et de la combustion des hydrocarbures. La vapeur à haute pression produit un bruit à haute fréquence, qui est plus préoccupant pour l'homme. Cette injection de vapeur améliore l'efficacité de la combustion, donc augmente l'émission d'énergie et la vitesse de la combustion, ce qui a pour effet d'augmenter le bruit émis par la combustion. La fréquence de celui-ci est basse et comparable au bruit émis par les événements du mélange turbulent des effluents gazeux et de l'air.


La suppression du bruit est un problème environnemental fondamental et de ce fait un aspect important de la conception qui doit être traité très tôt. Il est possible de limiter l'émission de bruit grâce aux solutions suivantes :

- réduire ou atténuer le bruit à haute fréquence des buses de vapeur en utilisant des injecteurs de vapeur multipoints. Toutefois, cela peut entraîner l'augmentation de la formation de coke dans des conditions de débit faible ; la conception des orifices pour faire face à cet inconvénient est donc essentielle.
- disposer les injecteurs de sorte que les flux de vapeur interagissent et réduisent le bruit du mélange.

- augmenter l'efficacité des supprimeurs au moyen de méthodes de contrôle plus rapides et plus performantes.
- limiter la pression de la vapeur à une valeur maximale de 0,7 Mpa effective.
- utiliser un silencieux autour de l'injecteur de vapeur comme isolant acoustique.
- utiliser des torchères à air soufflé ou des torchères basses confinées.

Autres impacts :

- problème d'émission de lumière pour les torchères hautes
- problèmes d'odeurs dus à une combustion incomplète (essentiellement dans le cas des torchères basses)

Il doit être mentionné que la combustion en torchère est impliqué dans de nombreux cas d'incendie ou d'explosion dans les industries chimique et pétrochimique, comme l'a signalé le Ministère français de l'environnement (par l'intermédiaire du Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles-BARPI). Les résultats sont disponibles dans la base de données  A, gérée par cette organisation.

Surveillance [cww/tm/94]

Le débit du supprimeur de fumée au niveau du nez de torchère doit être contrôlé pour garantir qu'une quantité suffisante de produit est injectée. Cette quantité ne doit pas être supérieure à celle nécessaire pour empêcher l'émission de fumée. Ceci peut être réalisé de trois façons différentes :

- par un réseau de thermocouples de gamme correspondant à une température minimale de 1000 °C ;
- au moyen d'un détecteur infrarouge au sol ;
- en évaluant le débit du gaz de la torchère par le ratio débit du supprimeur par débit du gaz de la torchère. Le contrôle du débit se fait au moyen de vannes de contrôle ou, dans le cas de torchères à air soufflé, en faisant varier le pas du ventilateur, l'angle des aubes d'admission ou la vitesse du ventilateur.

Un contrôle plus strict des torchères basses est nécessaire à cause du risque qu'elles présentent pour la sécurité et la santé.

Une réponse rapide du système de contrôle est essentielle, de préférence par transmission électronique des signaux de commande entre la cheminée de la torchère, généralement éloignée, et la salle de contrôle. L'installation d'écrans de télévision dans la salle de contrôle pour surveiller la torchère devrait être envisagée pour permettre une intervention manuelle de contrôle du supprimeur, si cela est nécessaire.

En ce qui concerne la veilleuse, l'équipement de contrôle du fonctionnement à utiliser inclut :

- des thermocouples (attention aux erreurs de signal)
- la surveillance directe de la flamme (vidéo surveillance, par exemple)
- surveillance par infrarouge (attention, l'eau absorbe les IR), parfois associée à un contrôle optique pour compenser l'absorption des IR par l'eau
- la mesure de la luminosité
- le contrôle des UV
- des sondes d'ionisation
- une alarme en cas de basse pression
- le contrôle du flux du gaz de purge

Un dispositif est nécessaire pour détecter en permanence de la présence de la flamme de la veilleuse.

Aspects économiques

Type de coûts	Torchère haute	Torchère basse	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	8 300-560 000 USD ¹		
Coûts d'exploitation [pour 1 000 Nm ³ /h]	420-36 500 USD ¹		
Rentabilité [par tonne de polluant traité par an]	14-6 400 USD ¹		
¹ [cww/tm/117]			

Les torchères considérées ont un nez de 2,5 cm à 2,3 m de diamètre, brûlent 100 % de l'effluent gazeux combustible avec une enthalpie d'environ 17 MJ/Nm³ et fonctionnent entre 1 et 100 heures par an. Les torchères dont les coûts de capital et les coûts d'exploitation sont les plus faibles ont une capacité d'acceptation de débits plus élevée (environ 300 000 Nm³/h) avec un nez de torchère jusqu'à 2,3 m et fonctionnent 100 heures par an ou plus. Les torchères dont les coûts sont les plus élevés ont une capacité d'acceptation de débits plus basse (environ 36 Nm³/h), un nez de 2,5 cm et fonctionnent moins de 10 heures par an.

Les torchères étant avant tout un dispositif de sécurité destiné à traiter des flux de courte durée (en cas de dysfonctionnement ou de rejet accidentel d'un procédé) plutôt qu'un dispositif de contrôle traitant un flux résiduaire continu, il n'est pas judicieux de comparer la rentabilité des torchères avec celles des autres dispositifs de contrôle. Le coût par tonne de polluant traité dépend fortement du nombre d'heures de fonctionnement par an. Un usage peu fréquent de la torchère signifie un coût par tonne de polluant traité plus élevé, alors qu'une utilisation fréquente signifie un coût par tonne de polluant traité plus faible.

3.5.3 Techniques récupératives et destructives de traitement des particules

Les polluants particuliers regroupent les poussières, les métaux lourds et leurs composés, les aérosols, les brumes et la suie que l'on trouve fréquemment dans les effluents usés, les effluents de combustion et les flux d'air extrait de l'industrie chimique. Les particules de poussière et les métaux lourds (et/ou leurs composés) sont présents dans les effluents gazeux de production, lorsque des solides et des composés en poudre sont manipulés, formés et/ou stockés, ainsi que dans les flux de gaz de combustion ou d'air extrait des sites de combustion, par exemple les centrales électriques ou les sites d'incinération des déchets. Les aérosols et la brume apparaissent, par exemple, au cours des réactions et pendant la préparation de mélanges de production. Les systèmes de traitement usuels sont décrits ci-dessous.

3.5.3.1 Séparateur**Description**

L'effluent gazeux traverse une chambre dans laquelle les poussières, les aérosols et/ou les gouttelettes sont séparés du gaz par gravité / inertie massique. L'effet peut être augmenté en diminuant la vitesse du gaz au moyen de divers moyens à la conception (chicanes, lamelles ou toile en fils métalliques).

La conception doit garantir une répartition uniforme de la vitesse à l'intérieur de la cuve. Les écoulements préférentiels ont un effet négatif sur l'efficacité. L'utilisation d'obstacles internes dans un séparateur à inertie permet un fonctionnement à de plus grandes vitesses, ce qui engendre une réduction du volume du séparateur par rapport à une chambre de décantation. L'inconvénient du système est l'augmentation de la chute de pression.

Application

Les séparateurs sont généralement utilisés comme étape préliminaire à différents systèmes de filtre dépoussiéreurs, aux laveurs, aux tours de refroidissement, etc. Ils sont notamment utilisés pour empêcher l'entraînement du liquide de lavage avec l'effluent gazeux purifié et/ou pour éliminer les particules abrasives. Ils ne peuvent pas être utilisés pour traiter les particules des gaz de combustion.

Les limites et restrictions d'applications sont [cww/tm/70] :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	100-100 000 ¹
Teneur en poussières	Pas de limites
Taille des particules	>PM ₁₀ , mais de préférence >PM ₅₀ ²
Température	Généralement environ 540 °C, mais cela dépend du matériau de la cuve ²
¹ [cww/tm/70]	
² [cww/tm/108]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Pas de pièces mobiles, donc maintenance faible. Chute de pression très faible. Adapté aux températures élevées. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendement d'épuration faible, surtout pour les petites particules. Ne convient pas lorsque la différence de densité entre le gaz et les particules est faible.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
PM	10-90 ¹		Selon la taille des particules
Gouttelettes		100 ¹	Dans les dévésiculeurs
¹ [cww/tm/70]			

Impacts croisés

Consommable	Quantité	Remarques
Eau (système de nettoyage optionnel pour les chicanes et les lamelles)	100-200 l/m ² ¹	
Énergie [kWh/1 000 m ³]		Uniquement pour le ventilateur
Chute de pression [kPa]	<0.5 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

Les résidus du procédé sont constitués des poussières et/ou des gouttelettes séparées. Ils doivent être évacués lorsqu'il n'est pas possible de les réutiliser ou de les réutiliser. Selon leur origine, les poussières séparées peuvent être polluées par un contenu toxique ou dangereux. Il faut en tenir compte lors de l'évacuation ou du traitement qui s'ensuit.

Aspects économiques

Les coûts de capital sont faibles. Toutefois, il n'est pas possible de donner un chiffre utile puisque les séparateurs sont généralement intégrés à d'autres systèmes.

3.5.3.2 Cyclone

Description

Les cyclones utilisent l'inertie pour éliminer les particules du flux gazeux, par transmission de forces centrifuges, en général au sein d'une chambre conique. Ils fonctionnent grâce à la création d'un double vortex à l'intérieur du corps du cyclone. Le gaz entrant est entraîné au fond du cyclone dans un mouvement circulaire, vers la surface interne du tube du cyclone. Au fond, le gaz tourne et remonte en spirale par le milieu du tube pour ressortir par le haut cyclone. Les particules de l'effluent gazeux sont projetées en direction des parois du cyclone par la force centrifuge du gaz qui tourne, mais se voient également opposer la force centripète du gaz circulant à travers le cyclone pour en. Les particules volumineuses atteignent les parois du cyclone et sont collectées au fond dans un collecteur, tandis que les particules plus petites quittent le cyclone avec le gaz sortant.

Les hydrocyclones sont particulièrement efficaces. De l'eau est vaporisée dans l'effluent gazeux pour alourdir les particules, ce qui permet d'éliminer également des particules fines, et donc d'augmenter l'efficacité de la séparation.

Il existe deux types de cyclones : le cyclone à contre-courant et le cyclone à passage direct [cww/tm/79].

- Le **cyclone à écoulement inversé** (voir figure 3.75 [cww/tm/79]), qui est le plus courant, est composé des éléments suivants :
 - une cuve cylindrique avec une base conique
 - un collecteur de poussières
 - une admission d'air, tangentielle ou axiale
 - des sorties

Axial entry	Entrée axiale
Tangential entry	Entrée tangentielle
High efficiency, low capacity	Efficacité élevée, capacité faible
High efficiency, high capacity (wrap around entry)	Efficacité élevée, capacité élevée (entrée annulaire)
High efficiency, low capacity (curved entry)	Efficacité élevée, capacité faible (entrée spiralée)
Standard	Standard
Wrap around	Annulaire
Curved	Spiralé

Figure 3.75 : cyclone à écoulement inversé

- Le **cyclone à passage direct** (voir figure 3.76 [cww/tm/79]) est équipé de pales fixes ou mobiles. Le gaz d'admission circule en spirale, le gaz purifié se concentre le long de l'axe central et les particules près des parois.

Fixed vanes	Pales fixes
Dust header	Collecteur de poussières
Entering dust-laden gas stream	Entrée de l'effluent gazeux chargé en poussières
To secondary circuit	Vers circuit secondaire

Cleaned gas stream	Flux gazeux purifié
--------------------	---------------------

Figure 3.76 : cyclone à passage direct**Application**

Les cyclones sont employés pour le traitement des particules, essentiellement les particules $>10\text{ }\mu\text{m}$. Toutefois, il existe des cyclones à haute efficacité conçus pour être efficaces jusqu'à des $\text{PM}_{2,5}$ [cww/tm/107].

Les cyclones en eux-même ne suffisent pas pour satisfaire aux réglementations en matière de pollution atmosphérique. Ils servent de dépoussiéreurs primaires pour des systèmes de traitement plus coûteux tels que les filtres en tissu (voir la section 3.5.3.5) ou les électrofiltres (voir la section 3.5.3.3). Ils sont largement utilisés après les techniques de séchage par pulvérisation et après les techniques de broyage, de pulvérisation et de calcination. Les unités de combustion industrielle alimentées par des combustibles fossiles utilisent couramment des batteries multicyclones, ce qui est plus efficace qu'un cyclone unique et permet de séparer des particules $<2,5\text{ }\mu\text{m}$.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	1-100 000 ^{1,2} (unité à cyclone unique)
	Jusqu'à 180 000 ² (plusieurs cyclones en parallèle)
Teneur en poussières [g/Nm ³]	1-16 000 ²
Tailles des particules	$<\text{PM}_{2,5}$ - $<\text{PM}_{200}$ ²
Température	Selon le matériau de la cuve ; peut être supérieure à 1 200 °C ¹
¹ [cww/tm/132]	
² [cww/tm/107]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Installation simple. • Récupération de matière première. • Pas de pièces mobiles, donc maintenance et coûts d'exploitation faibles. • Collecte et évacuation sèches, excepté pour les hydrocyclones. • Encombrement relativement faible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte de particules relativement faible, surtout pour les particules $<10\text{ }\mu\text{m}$. • Les cyclones à entrée axiale ne peuvent pas être utilisés si des particules risquant de provoquer une érosion excessive ou de colmater les pales de l'entrée sont présentes. • Ne peut pas traiter les matières collantes ou poisseuses. • Production d'eaux usées avec les hydrocyclones. • Bruit.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Les cyclones sont plus efficaces si la charge en polluant est élevée, à condition que le dispositif ne se bouche pas. Les charges de polluant élevées sont généralement associées à une conception prévue pour des flux importants [cww/tm/107].

La capacité de collecte des cyclones varie en fonction de la taille des particules et de la conception du cyclone. Elle augmente avec [cww/tm/107] :

- la taille et/ou la densité des particules
- la vitesse du gaz dans la conduite d'admission
- la longueur du corps du cyclone
- le nombre de révolutions du gaz à l'intérieur du cyclone
- le rapport entre le diamètre du corps du cyclone et le diamètre de la sortie du gaz
- la teneur en poussières
- le caractère lisse de la paroi interne du cyclone

La capacité de collecte diminue avec [cww/tm/107] :

- l'augmentation de la viscosité du gaz
- l'augmentation de la densité du gaz
- l'augmentation de la surface de la conduite d'admission du gaz
- les fuites d'air dans le collecteur de poussières

Paramètre	Taux de performance [%]				Remarques
	Classique	Haute efficacité	Haute capacité	Multi-cyclones	
PM	70-90 ¹	80-99 ¹	80-99 ¹		
PM ₁₀	30-90 ¹	60-95 ¹	10-40 ¹		
PM ₅		90 ¹		80-95 ¹	
PM _{2,5}	0-40 ¹	20-70 ¹	0-10 ¹		
¹ [cww/tm/107]					

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Eau (hydrocyclones)		
Energie [kWh/1 000 Nm ³]	0,25-1,5 ¹	
Chute de pression [kPa]	0,5-1 ²	Unités à faible efficacité (capacité élevée)
	1-1,5 ²	Classique
	2-2,5 ²	Unités à haute efficacité
¹ [cww/tm/64]		
² [cww/tm/107]		

Les résidus à évacuer sont les poussières. La quantité dépend de la charge de poussières de l'effluent gazeux. Selon leur source, les poussières séparées peuvent être contaminées par des substances dangereuses et/ou toxiques.

Les cyclones sont une source importante de bruit et doivent donc être capotés afin d'en réduire l'émission.

Surveillance [cww/tm/79]

Le contrôle de l'émission massique permet d'évaluer les performances d'un cyclone. Il peut être réalisé en déterminant la concentration de particules dans l'effluent gazeux à l'aide d'une sonde d'échantillonnage isocinétique ou d'un appareil de mesure de l'opacité UV/visible, des rayons bêta ou de l'impact des particules, par exemple.

Les cyclones nécessitent peu d'entretien. L'accès doit être facile afin de pouvoir vérifier régulièrement toute trace d'érosion ou de corrosion du cyclone. La chute de pression dans le cyclone être contrôlée, et le collecteur de poussières doit être inspecté afin de détecter un éventuel colmatage.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts		Remarque
	Unité classique à cyclone unique	Cyclones multiples	
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	1 200-1 500 USD ¹	1 100-1 400 USD ¹	
	900 EUR ²		
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	700-7 800 USD ¹	450-750 USD ¹	
	200 EUR ²		
Rentabilité [par tonne de polluant traité par an]	0,45-460 USD ¹	0,32-50 USD ¹	
¹ [cww/tm/107]			
² [cww/tm/70]			

En ce qui concerne l'unité à cyclone unique, le débit est supposé compris entre 1 800 et 43 000 Nm³/h, la charge en particules comprise entre 2,3 et 230 g/Nm³ et l'efficacité de contrôle de 90 %. En ce qui concerne les cyclones multiples, le débit est supposé compris entre 36 000 et 180 000 Nm³/h ; les considérations sont les mêmes pour la charge de polluant et l'efficacité de contrôle.

En règle générale, les unités plus petites qui traitent un effluent gazeux avec une concentration en particules faibles sont plus chères (par unité de débit et par quantité de polluant traité) qu'une unité plus grande traitant un effluent gazeux avec une concentration en particules élevée.

3.5.3.3 Électrofiltre (ESP)

Description

Un ESP est un appareil de traitement des particules qui entraîne les particules d'un effluent gazeux vers des plaques collectrices à l'aide de forces électriques. Les particules entraînées se chargent électriquement lorsqu'elles passent au travers d'une zone où circulent des ions gazeux induits par un phénomène appelé « effet couronne ». Des électrodes placées au centre du flux sont portées à haute tension et génèrent un champ électrique qui entraîne les particules contre les parois collectrices. La tension continue pulsatoire nécessaire est comprise entre 20 et 100 kV.

Il existe plusieurs types d'ESP :

- ESP sec à plaques
- ESP sec tubulaire
- ESP humide à plaques
- ESP humide tubulaire

Dans l'ESP à plaques (voir figure 3.77 [cww/tm/79]), l'effluent gazeux s'écoule horizontalement et parallèlement à des plaques verticales. Les électrodes à haute tension sont de longs fils lestés et tendus entre les plaques. Dans chaque voie d'écoulement, le gaz passe successivement au travers de chaque fil à mesure qu'il s'écoule dans l'unité.

Dans l'ESP tubulaire (voir figure 3.78 [cww/tm/79]), l'effluent gazeux s'écoule verticalement à travers des tubes conducteurs, avec généralement plusieurs tubes fonctionnant en parallèle. Les électrodes à haute tension sont de longs fils suspendus par un cadre situé dans la partie supérieure de l'ESP et qui traversent chaque tube le long de son axe.

Gas flow distributors	Distributeurs de l'effluent gazeux
Inlet	Arrivée
Collecting électrodes (plates)	Électrodes collectrices (plaques)
Discharge electrodes	Électrodes de décharge
Dust collection hoppers	Collecteurs de poussières

Figure 3.77 : ESP à plaques

Discharge wires connected to H.T. supply	Fils de décharge reliés à l'alimentation haute tension
Direction of gas flow	Sens de l'écoulement gazeux
To dust collection hopper	Vers le collecteur de poussières
Collecting electrode earthed	Électrodes collectrices reliées à la terre

Figure 3.78 : ESP tubulaire

Dans les ESP secs, les plaques collectrices sont tapotées ou ébranlées par différentes méthodes mécaniques pour déloger les particules, lesquelles glissent le long des plaques pour être récupérées dans un collecteur. Le secouage peut renvoyer une fraction des particules dans l'effluent gazeux. Les particules ainsi renvoyées dans la dernière partie du ESP ne peuvent pas être recapturées et s'échappent alors de l'unité. Il est également possible qu'une partie de l'effluent gazeux s'écoule en évitant les zones de polarisation. C'est pour cette raison que des chicanes sont installées : elles forcent le flux qui contourne les zones de polarisation à se mélanger à l'écoulement principal.

Les ESP tubulaires secs peuvent être nettoyés acoustiquement grâce à des pavillons acoustiques. Contrairement aux ESP à plaques, les ESP tubulaires ne présentent pas de voies de contournement de la zone de collecte. Cependant, le champ électrique n'étant pas uniforme, certaines particules peuvent échapper à la charge.

Dans les ESP humides, les collecteurs sont lavés par de l'eau pulvérisée en continu ou par intermittence, les trémies de collecte étant remplacées par un système de drainage. L'effluent aqueux est collecté et traité. Pour les ESP humides, il est nécessaire de disposer d'une alimentation en eau de lavage afin de l'injecter ou la pulvériser près du haut des tubes collecteurs, en continu ou par intermittence. Ce système de lavage remplace le secouage ou le système acoustique utilisé généralement pour les ESP secs. L'eau s'écoule avec les particules collectées dans une fosse à partir de laquelle le fluide est pompé ou drainé. Une fraction du fluide peut être recyclée pour réduire la quantité totale d'eau nécessaire.

Il existe des ESP à un ou deux champs. Dans les ESP à un champ, le champ électrique qui génère l'effet couronne sert également à attirer, et donc à éliminer, les particules chargées ; la charge et la décharge se produisent dans un seul et même appareil. Dans les ESP à deux champs, la charge et l'élimination des particules sont réalisées par des champs électriques différents ; le deuxième étant purement électrostatique.

La différence principale entre les ESP à une et deux champs est illustrée à la figure 3.79 [cww/tm/79].

Single stage	Un champ
Two stage	Deux champs
Collecting plates	Plaques collectrices

Corona wires	Fils à effet couronne
High-tension électrodes	Électrodes à haute tension
Collector	Collecteur
Charger	Chargeur

Figure 3.79 : représentation schématique du fonctionnement des ESP à un et deux champs

L'un des principaux paramètres de fonctionnement est la zone de collecte spécifique (ZCS). Il s'agit du rapport entre la surface des électrodes collectrices et le débit gazeux. Plus la ZCS est élevée, meilleur est le rendement d'épuration, mais aussi plus les collecteurs doivent être grands. En général, la ZCS est comprise entre 40 et 160 s/m.

Les systèmes à haut risque (notamment d'explosion et d'incendie) doivent être équipés de dispositifs de sécurité, par exemple des trappes d'explosion ou des sprinklers.

Application

Les ESP sont utilisés pour éliminer les particules jusqu'aux $PM_{2,5}$, et les polluants atmosphériques plus petits ou dangereux, comme la plupart des métaux (à l'exception notable du mercure).

Les domaines d'application dans l'industrie chimique et les secteurs associés sont :

Secteur	Type de ESP
Chaudières	ESP sec à plaques
Fabrication de produits chimiques (par exemple, acide sulfurique)	ESP à plaques sec ou humide, ESP tubulaire sec ou humide
Raffineries	ESP sec à plaques
Incinération	ESP sec à plaques, ESP tubulaire sec ou humide

Les ESP humides sont utilisés lorsque les ESP secs ne sont pas adaptés, par exemple :

- pour les matières humides et collantes
- pour les mélanges inflammables/explosifs
- pour les matières à résistivité élevée
- pour obtenir un meilleur rendement de dépoussiérage
- pour traiter les brumes acides

Les ESP à un champ sont utilisés dans les grands et complexes systèmes de traitement des gaz de combustion, par exemple les centrales électriques et les installations d'incinération des déchets. Ils servent à éliminer les poussières et les cendres volantes. Les métaux lourds et leurs composés présents dans les poussières sont éliminés de la même façon que les autres particules. Ces dispositifs conviennent aussi pour la séparation des aérosols et des brouillards.

Les ESP à deux champs sont utilisés pour éliminer les poussières et les brouillards d'huile. Ils représentent une alternative à la filtration de surface (filtre HEPA). Ils sont couramment utilisés lorsque le débit de l'effluent gazeux est faible ($<25 \text{ Nm}^3/\text{s}$) et que la proportion de particules submicroniques est élevée, comme par exemple avec de la fumée ou des brouillards d'huile.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm^3/h]	360 000-1 800 000 (ESP sec à plaques) ¹
	1 800-180 000 (ESP sec tubulaire) ²

	180 000-900 000 (ESP humide à plaques) ³
	1 800-180 000 (ESP humide tubulaire) ⁴
Température [°C]	jusqu'à 700 (ESP sec) ^{1,2}
	<80-90 (ESP humide) ^{3,4}
Teneur en poussière [g/Nm ³]	2-110 (ESP à plaques) ^{1,3}
	1-10 (ESP tubulaire) ^{2,4}
Résistivité [Ω cm]	5 x 10 ³ - 2 x 10 ¹⁰ ^{1,3} (ESP sec)
Taille des particules	>PM _{1,0} (ESP sec)
¹ [cww/tm/125]	
² [cww/tm/124]	
³ [cww/tm/127]	
⁴ [cww/tm/126]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité élevée, même pour les petites particules. • Convient pour des gammes de températures, de pressions et de débits étendus. • Faible chute de pression, d'où des besoins énergétiques relativement faibles. • Les ESP humides peuvent traiter les particules collantes, les brumes, ainsi que les poussières explosives ou présentant une résistivité élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque d'explosion pour les ESP secs. • La rendement de séparation dépend de la résistivité des poussières (pour les ESP secs). • La recirculation peut poser problème à cause de la vitesse élevée de l'effluent gazeux, d'un secouage faible ou d'un débit gazeux faible. • Corrosion à l'extrémité des fils due à des fuites d'air et à de la condensation acide. Ce problème concerne également les ESP humides. • Sensibilité aux variations dans l'alignement géométrique correct, par exemple pour les électrodes de décharge. • Sensibilité aux variations des paramètres de l'effluent gazeux (débit, température, composition du gaz et des PM, charge particulaire). • Encombrement relativement important. • Nécessité d'un personnel très qualifié. • Précautions particulières à prendre pour protéger le personnel contre la haute tension. • Les ESP secs ne sont pas conseillés pour éliminer les particules collantes ou humides.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

La taille de l'ESP est le facteur principal dans la détermination du rendement de dépoussiérage. Les autres paramètres ayant une incidence sur ce rendement sont :

- la résistivité des poussières
- la composition des poussières et du gaz
- la température
- la distribution de la taille des particules

Paramètre	Taux de performance [%]		Remarques
	ESP sec	ESP humide	
PM totales	99,0-99,2 ¹	99,0-99,2 ²	
PM ₁₀	97,1-99,4 ¹	97,1-99,2 ²	
PM _{2,5}	96,0-99,2 ¹	97,4-99,2 ²	

Paramètre	Niveaux d'émission [mg/Nm³]		Remarques
	ESP sec	ESP humide	
Poussières	5-15		Pour une conception et une taille du ESP optimales
¹ [cww/tm/125]			
² [cww/tm/127]			

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Eau (pour les ESP humides)		
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	0,5-2 ¹	
Chute de pression [kPa]	0,05-0,3 ^{1,2}	ESP à un champ
	0,5	ESP à deux champs
¹ [cww/tm/64]		
² [cww/tm/70]		

Pour les ESP secs, les poussières séparées sont évacuées sous forme de résidus. Pour les ESP humides, elles se mélangent à l'eau de rinçage et sont traitées en tant qu'effluents usés.

Selon leur provenance, les poussières séparées peuvent être polluées. Par exemple, les poussières provenant d'un procédé d'incinération peuvent contenir des dioxines et/ou des métaux lourds et les oxydes correspondants. Ce type de poussière peut être classé comme déchet dangereux et doit être évacué en conséquence.

Surveillance [cww/tm/79]

La quantification de l'émission massique permet d'évaluer les performances d'un ESP. Elle peut être réalisée par une surveillance de la concentration de particules dans l'effluent gazeux à l'aide d'une sonde d'échantillonnage isocinétique ou d'un appareil de mesure de l'opacité UV/visible, des rayons bêta ou des impacts des particules, par exemple. Le courant et la tension à travers l'ESP, la vitesse de secouage et la température doivent être contrôlés régulièrement. Il est nécessaire de s'assurer que l'évacuation du collecteur de poussières ne se colmate pas afin que le collecteur ne soit pas engorgé, ce qui risquerait de provoquer un court-circuit dans l'ESP.

Les ESP doivent être régulièrement inspectés afin de détecter toute trace de détérioration (corrosion notamment) des électrodes, des matériaux isolants et du système de secouage. C'est pourquoi l'ESP doit être facile d'accès, tout en respectant les normes de sécurité.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts			
	ESP sec à plaques	ESP humide à plaques	ESP sec tubulaire	ESP humide tubulaire
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	8 500-28 000 USD ¹	18 000-36 000 USD ²	18 000-120 000 USD ³	35 000-180 000 USD ⁴
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	2 400-24 000 USD ¹	3 500-27 000 USD ²	2 800-5 600 USD ³	4 200-7 000 USD ⁴
Rentabilité [par tonne de polluant traité par an]	45-280 USD ¹	60-600 USD ²	55-950 USD ³	90-950 USD ⁴

¹ [cww/tm/125]² [cww/tm/127]³ [cww/tm/124]⁴ [cww/tm/126]

Les coûts peuvent être substantiellement plus élevés que ceux indiqués dans le tableau dans le cas de polluants nécessitant un niveau de traitement exceptionnellement élevé ou nécessitant que l'ESP soit fabriqué dans un matériau particulier, par exemple en acier inoxydable ou en titane. De manière générale, les unités moins volumineuses traitant un effluent gazeux faiblement concentré ne sont pas aussi rentables que les unités plus volumineuses nettoyant un flux très pollué.

3.5.3.4 Dépoussiéreurs par voie humide

Description

Le dépoussiérage par voie humide est une variante du lavage par voie humide des gaz (voir la section 3.5.1.4). Les techniques destructives ou récupératives des particules, en plus des composés gazeux, sont similaires. Les dépoussiéreurs principalement utilisés sont :

- **Le laveur à garnissage**

Voir la section 3.5.1.4. Il est particulièrement adapté aux polluants gazeux. En ce qui concerne les particules, il se limite à la collecte des particules fines et/ou solubles, des aérosols et des brouillards. Les particules insolubles et/ou grossières colmatent le lit de fibres.

- **Les laveurs à lit mobile**

Voir la section 3.5.1.4.

- **Les laveurs à plateaux**

Voir la section 3.5.1.4. Leur application première est l'élimination de particules.

- **Les tours de pulvérisation**

Voir la section 3.5.1.4. Leur application première est l'élimination de particules. Les tours de pulvérisation ne sont pas aussi sujettes au colmatage que les laveurs à garnissage, mais il est nécessaire que le rapport liquide/gaz soit très élevé ($>3 \text{ l/m}^3$) pour pouvoir capturer les particules fines.

- **Les laveurs à impact et à entraînement**

Les laveurs à impact et à entraînement contiennent un mécanisme destiné à accélérer le flux de gaz entrant vers une surface liquide et un séparateur par entraînement. Ils ne conviennent généralement pas aux applications de transfert de masse, par exemple pour éliminer les traces de gaz, mais permettent de traiter des flux gazeux importants ou faibles, et fonctionnent avec des chutes de pression inférieures à celles des laveurs à Venturi.

Un exemple est illustré à la figure 3.80 [cww/tm/79].

Gas in	Entrée du gaz
Gas out	Sortie du gaz
Eliminator vanes	Ailettes d'élimination
Drain	Évacuation
Liquid pool	Bain liquide
Cone	Cône

Figure 3.80 : laveur à impact et à entraînement

- **Les laveurs à Venturi**

La caractéristique principale d'un laveur à Venturi est le rétrécissement de la conduite (col de venturi) qui a pour effet d'augmenter la vitesse du gaz. Un liquide est introduit dans le laveur

et forme sur les parois un film, qui est pulvérisé par le flux de gaz dans le col de venturi. L'autre méthode de fonctionnement, utilisée dans les laveurs venturi à éjection, est la pulvérisation du liquide à l'intérieur du col de venturi. Les laveurs à Venturi sont des systèmes de lavage des particules à haute efficacité puisqu'ils conviennent jusqu'aux particules submicroniques. Ils peuvent aussi être utilisés pour éliminer les traces de gaz, les suspensions particulièrement réactives. Un exemple est illustré à la figure 3.81 [cww/tm/79].

L'un des inconvénients de cette technique est le risque d'érosion due à la vitesse élevée dans le col. Le col de venturi est parfois chemisé d'un revêtement réfractaire pour résister à l'abrasion causée par les particules de poussière. Un coude noyé placé après le col de venturi réduit l'usure provoquée par les particules abrasives. Le venturi est fabriqué en matériau résistant à la corrosion pour garantir une durée de vie maximale. Le choix final du matériau est déterminé par des facteurs tels que :

- la température
- l'abrasion
- la corrosion
- les attaques chimiques

La rendement de dépoussiérage augmente avec la vitesse du gaz et la chute de pression. Plusieurs types de laveur à Venturi sont conçus pour permettre le contrôle de la vitesse en faisant varier la largeur du col de venturi.

En général, aucun prétraitement n'est nécessaire avec les laveurs à Venturi. Cependant, dans certains cas, l'effluent gazeux est refroidi par temps afin de réduire la température pour les laveurs constitués de matériaux est peu résistants aux hautes températures.

Lorsque l'effluent gazeux contient à la fois des particules et des gaz à traiter, il est possible d'utiliser les laveurs à Venturi comme dispositif de prétraitement pour éliminer les particules afin d'éviter le colmatage d'une installation de traitement des gaz en aval comme un laveur à lit fixe.

Dirty gas inlet	Entrée de l'effluent gazeux pollué
Clean gas outlet	Sortie de l'effluent gazeux propre
Liquid in	Entrée du liquide
Centrifugal entrainment separator	Séparateur par entraînement centrifuge
Drain	Évacuation



Figure 3.81 : laveur à Venturi

Application

Voir le tableau 3.16

	Garnissage	Lit mobile	À plateaux	Tours de pulvérisation	À impact et à entraînement	Venturi
	Captage des particules fines et/ou solubles ; Comme dévésiculateur pour collecter les aérosols liquides, les		Captage des $\leq PM_{10}$, $\leq PM_{2,5}$, PM_{PAD} , fumées inorganiques, vapeurs, gaz, COV.	Captage des $\leq PM_{10}$, $\leq PM_{2,5}$, PM_{PAD} , fumées inorganiques, vapeurs, gaz, COV ;	Captage des PM_{10} - PM_2 ; Utilisé dans l'industrie pharmaceutique et des emballages, dans la production des produits chimiques, des	Captage des $\leq PM_{10}$, $\leq PM_{2,5}$, jusqu'aux particules submicroniques ; Traitement des émissions de particules des

	composés inorganiques et les COV ; Contrôle des émissions d'aérosols dans l'industrie chimique, des matières plastiques, du bitume, de la production d'acide sulfurique, et du revêtement de surface ; Captage limité des poussières.			Souvent utilisé dans le cadre de la désulfuration des gaz de combustion ; Utilisation limitée pour les particules fines.	caoutchoucs, des plastiques, des céramiques, des engrais ; Les procédés concernés sont notamment les séchoirs, les cuiseurs, les opérations de broyage, la pulvérisation, la ventilation, la manutention.	chaudières publiques, industrielles, commerciales et des administrations fonctionnant au charbon, au fuel, au bois, et avec des déchets liquides ; Traitement des sources d'émission de l'industrie chimique et des secteurs associés ; Généralement utilisé lorsque des rendements élevés sont nécessaires pour le captage des particules fines
Débit gazeux [Nm ³ /h]	1 800-170 000 ¹		1 700-130 000 ²	2 500-170 000 ³	1 700-90 000 ⁴	720-100 000 ⁵
Température [°C]	<60 ¹		4-370 (PM) ²	4-370 (PM) ³	Jusqu'à 150 ⁴	4-370 ⁵
Charge de polluant (PM) [g/Nm ³]	0,2-11 ¹		Pas de limites	Pas de limites	Jusqu'à 23 ⁴	1-115 ⁵
¹ [cww/tm/110] ² [cww/tm/111] ³ [cww/tm/114] ⁴ [cww/tm/112] ⁵ [cww/tm/115]						

Tableau 3.16 : application et limites et restrictions d'application pour les différents types de dépoussiéreurs par voie humide

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<u>Général</u> <ul style="list-style-type: none"> Peut traiter les poussières explosives et inflammables avec un risque minimal. Permet de refroidir les gaz chauds. Les gaz corrosifs peuvent être neutralisés. Élimination simultanée des poussières et des composés inorganiques. 	<u>Général</u> <ul style="list-style-type: none"> Les effluents liquides peuvent causer des problèmes de pollution de l'eau. Les déchets collectés sont humides. Nécessité de protéger le dispositif contre le gel. Les particules collectées peuvent être polluées et/ou non recyclables. Il peut être nécessaire de réchauffer l'effluent gazeux pour éviter un panache visible.
<u>Laveur à garnissage</u> <ul style="list-style-type: none"> Peut traiter les brouillards. Chute de pression relativement faible. 	<u>Laveur à garnissage</u> <ul style="list-style-type: none"> Risque important de corrosion. Ne convient pas réellement à la collecte

	des particules, sauf des particules fines et/ou solubles.
<u>Laveurs à plateaux</u> <ul style="list-style-type: none"> • Absorption du gaz et collecte des poussières dans une seule et même unité. • Peut traiter les brumes. • Le rendement de dépoussiérage peut varier. • Améliore le contact gaz/suspension pour l'élimination du SO₂. 	<u>Laveurs à plateaux</u> <ul style="list-style-type: none"> • Risque important de corrosion.
<u>Tours de pulvérisation</u> <ul style="list-style-type: none"> • Capacité à de capter les gaz aussi bien que les particules. • Peu de risque d'obturation. • Encombrement relativement faible. • Chute de pression relativement faible. • Fonctionnement en atmosphère hautement corrosive possible si fabrication en FRP. 	<u>Tours de pulvérisation</u> <ul style="list-style-type: none"> • Efficacité du transfert de masse relativement faible. • Peu efficace pour éliminer les particules fines. • Si fabrication en FRP, sensible aux températures.
<u>Laveurs à impact et à entraînement</u> <ul style="list-style-type: none"> • Peut traiter les brouillards. • Taux de recirculation de l'eau relativement faible. • Le rendement de dépoussiérage peut varier. 	<u>Laveurs à impact et à entraînement</u> <ul style="list-style-type: none"> • Risque important de corrosion.
<u>Laveurs à Venturi</u> <ul style="list-style-type: none"> • Peut traiter les brouillards. • Maintenance relativement faible. • Conception simple et facile à installer. • Le rendement de dépoussiérage peut varier. • Élimine également les polluants gazeux réactifs. • Pas de risque de colmatage. 	<u>Laveurs à Venturi</u> <ul style="list-style-type: none"> • Risque important de corrosion. • Chute de pression relativement élevée, d'où des besoins énergétiques importants. Le bruit causé par la vitesse élevée du gaz au niveau du col de venturi peut être un problème. • Utilisation limitée aux particules et aux gaz à solubilité élevée.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Les performances des techniques de lavage dépendent fortement de la taille des particules et des aérosols à collecter. Les taux de performance sont répertoriés dans le tableau 3.17.

Impacts croisés

Les consommables sont listés dans le tableau 3.17.

Lorsqu'une technique d'élimination des poussières par voie humide est utilisée, il est nécessaire d'utiliser une installation secondaire destinée à séparer les suspensions.

Selon leur provenance, les poussières séparées peuvent être polluées. Par exemple, les poussières provenant d'un procédé d'incinération peuvent contenir des dioxines et/ou des métaux lourds et les oxydes correspondants. Ce type de poussière peut être classé comme déchet dangereux et doit être éliminé en conséquence.

Paramètre	Taux de performance [%]
Traitement des eaux usées et effluents gazeux	- 269 -

	Garnissage	Lit mobile	À plateaux	Tour de pulvérisation	À impact et à entraînement	Venturi
PM	70->99 ¹		50-99 ²	70->99 ³	80-99 ⁴	70->99 ^{5,7}
COV	70->99 (brouillards) ¹			50-95 ³		
SO ₂			80->99 ²	80->99 ³		
HCl						90 ⁷
HF						90 ⁷
NH ₃				94-99 ⁸		94-99 ⁸
Consommable	Quantité					
Eau de lavage [l/Nm ³]				>3 ³		0,5-5 ⁶
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]					1-2 ⁶	<0,5-6 ^{6,7}
Chute de pression [kPa]					1,5-2,8 ²	2,5-20 ^{6,7}
Type de coûts	Coûts					
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	600-1 800 USD ¹		1 300-7 000 USD ²	500-2 200 USD ³	2 800-10 000 USD ⁴	1 900-17 000 USD ⁵
						5 000 EUR ^{a,7}
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	1 000-21 100 USD ¹		1 500-41 100 USD ²	800-28 100 USD ³	2 200-42 000 USD ⁴	2 400-70 000 USD ⁵
						b
Rentabilité [par tonne de polluant]	40-710 USD ¹		51-1 300 USD ²	28-940 USD ³	88-1 400 USD ⁴	84-2 300 USD ⁵
^a à 10 000 Nm ³ /h, facteur d'échelle à la puissance 0,5 ^b [2 500 + 100 x (flux/1 000)] EUR ¹ [cww/tm/110] ² [cww/tm/111] ³ [cww/tm/114] ⁴ [cww/tm/112] ⁵ [cww/tm/115] ⁶ [cww/tm/132] ⁷ [cww/tm/70] ⁸ [cww/tm/138] industrie des engrais, acide phosphorique comme liqueur de lavage						

Table 3.17 : taux de performance, consommables et coûts des différents dépoussiéreurs par voie humide

Les dispositifs de lavage sont des sources d'émission de bruit à réduire en conséquence, par exemple en confinant l'équipement.

Surveillance [cww/tm/70]

La quantification de l'émission massique pour évaluer les performances d'un dépoussiéreur par voie humide peut être déterminée en mesurant la concentration de particules dans l'effluent gazeux à l'aide d'une sonde d'échantillonnage isocinétique ou d'un appareil de mesure de l'opacité UV/visible, des

rayons bêta ou des impacts de particules, par exemple. La chute de pression à travers le laveur, le débit du liquide / du réactif, et la pression d'alimentation doivent être régulièrement contrôlés. Le rapport liquide/gaz, le taux de purge du liquide et le pH doivent également être contrôlés régulièrement. Les laveurs par voie humide doivent être inspectés régulièrement afin de détecter toute détérioration de l'installation telle que la corrosion ou un colmatage. Le laveur doit être facile d'accès.

Aspects économiques

Les coûts des dépoussiéreurs par voie humide sont répertoriés dans le tableau 3.17. Les estimations des coûts sont basées sur une charge en particule en entrée d'environ 7 g/Nm³. Pour les applications qui nécessitent des matériaux coûteux, des solvants ou des méthodes de traitement, les coûts réels peuvent être substantiellement plus élevés que ceux indiqués. En règle générale, les unités plus petites traitant un effluent gazeux de faible concentration sont beaucoup plus chères (par unité de débit) que des unités plus volumineuses capables de traiter un flux très pollué.

3.5.3.5 Filtres à fibres textiles

Description

Dans un filtre à fibres textiles, l'effluent gazeux passe à travers un tissu à maillage serré ou en feutre. Les particules sont collectées sur le tissu par tamisage ou par d'autres mécanismes. Les filtres à fibres textiles peuvent être sous forme de feuilles, de cartouches ou de manches (type le plus courant) constitué de plusieurs cellules de filtres regroupées. Le gâteau de filtration qui se forme sur le filtre peut augmenter de manière importante le rendement de dépoussiérage.

Les conditions de fonctionnement sont des facteurs déterminants dans le choix des fibres textiles. Quelques-uns des fibres textiles couramment utilisés sont répertoriés dans le tableau 3.18.

Type de fibres	Résistance chimique aux		Temp. de fonctionnement en continu en chaleur humide [°C]	Temp. de fonctionnement en continu [°C]	Temp. maximale [°C]	Matériau résistant à la combustion
	Acides	Alcalis				
Polyester	bonne	correcte	94	132	150	oui
Copolymère acrylique	bonne	correcte	110	120	130	non
m-Aramide	bonne	bonne	177	200	240	non
Sulfure de polyphénylène	excellente	excellente	190	190	232	non
Éthylène- chlorotrifluoroéthylène	excellente	excellente	177	177	190	non
Polytétrafluoréthène	excellente	excellente	260	260	290	non
Polyimide	bonne	bonne	240	260	280	non
Verre	très bonne	correcte	260	260	290	non
Acier inoxydable	bonne	excellente	550	550	600	non
Céramique	très bonne	bonne	760	760	1 204	non

Tableau 3.18 : fibres textiles couramment utilisées

L'utilisation pratique des filtres à fibres textiles nécessite une surface de filtration importante pour éviter une chute de pression indésirable à travers le média. Une telle chute de pression risque de provoquer un dysfonctionnement de la chambre de filtration, et par conséquent des émissions fugitives de poussières. La taille de la cellule d'une unité individuelle est déterminée par le choix du rapport du débit d'air volumétrique sur la surface filtrante (rapport a/f). Le choix du rapport a/f dépend de la

charge et des caractéristiques spécifiques, ainsi que de la méthode de nettoyage utilisée. Une charge en particules élevée nécessite d'utiliser une chambre de filtration plus grande pour éviter la formation d'un gâteau de filtration trop lourd, ce qui pourrait être à l'origine d'une chute de pression excessive.

L'intensité et la fréquence du nettoyage sont des variables importantes pour déterminer le rendement d'épuration. Le gâteau de filtration participant de manière importante au rendement d'épuration des particules fines, un nettoyage trop intense ou trop fréquent a pour effet de diminuer le rendement. Si le nettoyage n'est pas assez fréquent ou insuffisant, la chute de pression sera trop élevée.

Les filtres à fibres textiles courants en fonction de leur méthode de nettoyage sont :

- **Le filtre à décolmatage à contre-courant**, qui utilise un mécanisme de nettoyage plus modéré mais parfois moins efficace que les vibrations mécaniques. Les sacs sont ouverts au fond et fermés au-dessus. Les poussières sont capturées à l'intérieur ou à l'extérieur des sacs. Pour nettoyer le filtre, il est retiré et de l'air propre est envoyé à travers, dans le sens opposé au sens de l'effluent. Le gâteau de filtration tombe dans une trémie. Le cycle de nettoyage dure généralement moins de 5 minutes par compartiment. Le décolmatage à contre-courant seul est utilisé uniquement lorsque les poussières se détachent facilement du tissu. Dans de nombreux cas, cette méthode est associée à un secouage, à des vibrations ou à des ondes acoustiques.
- **Le filtre à décolmatage par vibrations mécaniques**, utilisant un mécanisme de nettoyage simple et efficace. L'effluent gazeux pénètre dans une conduite d'arrivée équipée d'une chicane. Les particules volumineuses sont éliminées lorsqu'elles heurtent la chicane et tombent dans le collecteur. Le gaz chargé s'écoule en partant d'une plaque cellulaire située en bas et traverse les sacs filtrants de l'intérieur vers l'extérieur ; les particules sont collectées à l'intérieur du sac. Le haut des sacs est fixé à une barre qui est déplacée par à-coups pour nettoyer les sacs.
- **Les filtres à décolmatage pneumatique**. Il s'agit d'une méthode relativement récente capable de traiter des charges de poussières élevées, qui fonctionne à chute de pression constante et dont l'encombrement est inférieur à celui des autres types de filtres à fibres textiles. Ils ne peuvent être utilisés que comme dispositifs de collecte des poussières externes. Les sacs sont fermés au fond et ouverts en haut, et sont retenus par des fixations internes. Le gaz chargé s'écoule de l'extérieur vers l'intérieur des sacs. Des diffuseurs sont utilisés afin d'empêcher que des particules trop grosses n'endommagent les sacs. Les particules sont collectées à l'extérieur des sacs et tombent dans le collecteur. Le décolmatage pneumatique implique l'injection d'un bref (0,03-0,1 secondes) jet d'air à haute pression (0,4-0,8 MPa) dans les sacs. Ce mécanisme permet d'éviter d'avoir à arrêter l'effluent gazeux pendant le nettoyage. Les toiles en feutre –i.e. non tissés- sont utilisés dans les filtres à décolmatage pneumatique car ils ne nécessitent pas la présence d'un gâteau de filtration pour améliorer le rendement d'épuration. Les toiles tissées laissent passer une quantité importante de poussières après le nettoyage lorsqu'elles sont utilisées dans des filtres en tissu à décolmatage pneumatique.

Les ondes acoustiques sont de plus en plus utilisées pour améliorer le rendement d'épuration des filtres à fibres textiles à décolmatage par vibrations mécaniques ou à contre-courant. Ils fonctionnent avec de l'air comprimé (0,3-0,6 MPa). Le nettoyage par ondes acoustiques réduit de manière significative la charge en poussières résiduaire sur les sacs ainsi que la chute de pression à travers le tissu filtrant de 20 à 60 %. Les contraintes mécaniques qui s'exercent sur les sacs sont également réduites, ce qui augmente la durée de vie du système.

La corrosion du filtre et de la chambre de filtration peut poser problème si l'effluent gazeux contient des composés acides, surtout si la température est inférieure au point de rosée. Pour connaître les fibres textiles filtrantes appropriées, se reporter au tableau 3.18.

D'autres proches parents des filtres à fibres textiles sont :

Les filtres compacts, également appelés filtres à cassette ou filtres à gaine. Il s'agit d'une variante du filtre à fibres textiles. La différence réside dans la forme particulière du matériau filtrant. Il est plié, par exemple en accordéon, pour obtenir une surface de filtration beaucoup plus grande. Cependant, le gain de place est en partie contrebalancé par la charge du média filtrant plus faible de ce type de filtre. **Le filtre compact amélioré**, également appelé sintamatic, filtre à lamelles frittées ou tube Spirot. Il s'agit d'une autre variante du filtre à fibres textiles. Il se compose d'un matériau fritté poreux et d'éléments filtrants pliés en accordéon, ce qui augmente la durée de vie et donc réduit les coûts d'entretien.

La température du gaz doit être supérieure au point de rosée de tous les constituants du gaz, sinon le tissu filtrant se colmate et la filtration s'arrête. Pour que cela ne se produise pas, il peut être nécessaire d'isoler voire de chauffer la chambre de filtration.

Les systèmes à haut risque (notamment d'explosion et d'incendie) doivent être équipés de dispositifs de sécurité, par exemple des trappes d'explosion ou des systèmes de sprinklers. Du côté de l'entrée du filtre doit se trouver une ouverture de sûreté anti-explosion vers un endroit sécurisé, par exemple l'extérieur du bâtiment. Un collecteur pour les particules brûlantes émises par les chaudières et les fours peut être nécessaire afin d'éviter un incendie et donc un endommagement du tissu. Aucune étincelle ni flamme ne doivent se produire.

Application

Le filtre à fibres textiles est essentiellement utilisé pour éliminer les particules jusqu'à $<PM_{2,5}$ ainsi que les polluants atmosphériques dangereux sous forme de particules (PM_{PAD}), notamment les métaux (à l'exception du mercure). Associé à des systèmes d'injection (y compris l'adsorption, l'injection sèche de chaux/bicarbonate de sodium et l'injection semi-sèche de chaux) en amont de la chambre de filtration, il est possible de l'utiliser pour éliminer certains polluants gazeux spécifiques.

Les filtres à fibres textiles permettent de collecter des particules dont la résistivité est trop faible ou trop élevée pour un ESP. Ils conviennent donc pour collecter les cendres volantes du charbon à basse teneur en soufre ou les cendres volantes contenant de grandes quantités de charbon non brûlé. L'ajout d'une chambre de filtration en aval d'un ESP permet d'atteindre des niveaux d'émission de particules très bas.

Lorsque la charge de l'effluent gazeux est constituée de particules relativement grosses, des collecteurs mécaniques placés en amont, par exemple des cyclones, des ESP ou des refroidisseurs à pulvérisation, peuvent être utilisés afin de réduire la charge pour le filtre à fibres textiles, surtout si les concentrations d'entrée sont élevées.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	300-1 800 000 ¹
Température [°C]	voir tableau 3.18 Au-dessus du point de rosée de tout condensable de l'effluent gazeux, sinon, colmatage du filtre <70 (filtre compact amélioré) ²
Gamme de pression	-6,4 à +6,4 kPa autour de la pression atmosphérique ¹
Teneur en poussières [g/Nm ³]	1-23 (cas général) ¹ 0,1-230 ¹

Propriétés des particules	Les poussières collantes sont difficiles à extraire des sacs et doivent donc être évitées
Rapport a/ ^a [m/min]	≤ 1 ³ (filtre à décolmatage à contre-courant) $< 0,5$ ³ (filtre à décolmatage par vibrations mécaniques) $1-1,5$ (2,0) ^{3b} (filtre à décolmatage pneumatique)
^a rapport conseillé pour un fonctionnement approprié (voir ci-dessus) ^b la valeur supérieure concerne des agencements particuliers ¹ [cww/tm/123] ² [cww/tm/70] ³ informations confidentielles	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> En général, le rendement d'épuration des filtres à fibres textiles en ce qui concerne les particules fines et grosses est élevé. L'efficacité et la chute de pression des filtres nettoyés en continu ne sont pratiquement pas affectées par des variations importantes de la charge de poussières en entrée. Les poussières sont séparées à sec, sans utiliser de consommables. Les poussières séparées peuvent être réutilisées dans le procédé précédent. Les émissions résiduelles sont presque totalement indépendantes de la concentration en entrée. Fonctionnement relativement simple. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de poussières humides ou collantes en entrée. L'électricité statique peut empêcher le gâteau d'être retiré du média filtrant. Risque d'explosion. Incendie possible de la chambre de filtration si des particules brûlantes sont rejetées par des fours ou à cause de pyrophores.

Niveaux d'émission /taux de performance pouvant être atteints

Pour un type de filtre et un type de poussière donnés, la concentration en particules de l'effluent de sortie est pratiquement constante, alors que l'efficacité globale risque de varier en fonction de la charge de particules. C'est pourquoi les filtres à fibres textiles peuvent être considérés comme des dispositifs à sortie constante plutôt que des dispositifs à efficacité constante.

Paramètre	Filtre à fibres textiles		Filtre compact		Filtre compact amélioré	
	Taux de performance [%]	Niveau d'émission [mg/Nm ³]	Taux de performance [%]	Niveau d'émission [mg/Nm ³]	Taux de performance [%]	Niveau d'émission [mg/Nm ³]
PM	99-99,9 ¹	2-10 ¹ 1 ^{a 2}		1-10 ²		<1 ²
^a filtre en céramique ¹ [cww/tm/123] ² [cww/tm/70]						

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Filtre à fibres textiles [m ² pour 1 000 Nm ³ /h]	11-17	Rapport a/f 1-1,5 m/min
Matériau de précouche (facultatif)		Pour les poussières collantes ou statiques,

		ou comme protection du tissu
Air comprimé [pour 1 000] ^a pour 0,3-0,6 MPa (ondes acoustiques) pour 0,4-0,8 MPa (pneumatique)	2-2,5 ¹	Décolmatage du filtre
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	0,2-1,2 ² 0,5-2,0	
Chute de pression [kPa]	0,5-2,5 ²	Filtre à fibres textiles
	0,5-1,8 ¹	Filtre compact et filtre compact amélioré
	5-50	Filtre en céramique
^a Nm ³ /h d'air comprimé pour 1 000 Nm ³ /h de gaz		
¹ [cww/tm/70]		
² [cww/tm/64]		

Les poussières séparées, éventuellement mélangées au matériau de la précouche, sont les seuls résidus. La quantité dépend de la teneur en poussières de l'effluent d'entrée. Selon leur provenance, les poussières séparées peuvent être polluées. Par exemple, les poussières provenant d'un procédé d'incinération peuvent contenir des dioxines et/ou des métaux lourds et les oxydes correspondants. Ce type de poussières peut être classé comme déchet dangereux et doit être évacué en conséquence.

Surveillance [cww/tm/79]

Il est nécessaire de contrôler soigneusement les performances et l'entretien du système. La quantification de l'émission massique permet d'évaluer les performances d'un filtre à fibres textiles. Elle peut être réalisée en déterminant la concentration de particules dans l'effluent gazeux à l'aide d'une sonde d'échantillonnage isocinétique ou d'un appareil de mesure de l'opacité UV/visible, du flux triboélectrique, des rayons bêta ou des impacts de particules, par exemple.

La température et la chute de pression à travers le filtre à fibres textiles doivent être régulièrement contrôlées. La chute de pression est utilisée pour indiquer le moment où le nettoyage doit commencer. Les filtres à fibres textiles doivent être inspectés régulièrement afin de détecter toute détérioration du tissu ou de la chambre de filtration. Le filtre doit donc être accessible. Chaque chambre de filtration doit être équipée d'un système de détection des fuites connecté à une alarme.

Aspects économiques

La durée de vie du matériau filtrant est d'environ 5 ans pour les filtres à fibres textiles et les filtres compacts, et de 8 ans pour les filtres compacts améliorés.

Type de coûts	Coûts				
	Contre-courant	Vibrations mécaniques	Pneumatique	Compact	Compact amélioré
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	5 300-50 000 USD ¹ 30 000-55 000 EUR ^{c 4}	4 500-42 000 USD ²	3 700-15 000 USD ³	1 000-4 000 EUR ⁴	2 500-4 000 EUR ⁴
Avec ondes acoustiques	300-400 USD ¹	300-400 USD ²	--		
Avec décolmatage à contre-courant	600-1 200 USD ¹	--	--		
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	4 000-16 000 USD ¹ ^{d 4}	2 600-14 000 USD ²	3 200-14 000 USD ³	^{a 4}	^{b 4}
Rentabilité [par tonne de polluant]	58-372 USD ¹	41-334 USD ²	46-293 USD ³		

a $2\,500 + 300 \times (\text{flux}/1\,000)$ EUR

b $350 + 240 \times \text{flux}/1\,000$ EUR

^c filtre en céramique

d $350 + 300 \times \text{flux}/1\,000$

¹ [cww/tm/123]

² [cww/tm/121]

³ [cww/tm/122]

⁴ [cww/tm/70]

Les estimations des coûts concernent une conception classique et des conditions de fonctionnement normales. Elles n'incluent pas les équipements auxiliaires tels que les ventilateurs et les canalisations. Les coûts dépendent essentiellement du débit volumétrique et de la charge de polluant de l'effluent gazeux. En général, une petite installation traitant une charge en polluant faible ne sera pas aussi rentable qu'une installation plus volumineuse traitant une charge de polluant élevée. Les coûts indiqués dans le tableau concernent des débits compris entre 3 500 et 1 700 000 Nm³/h respectivement, et une charge de polluant de 9 g/Nm³.

Les polluants nécessitant un niveau d'épuration exceptionnellement élevé, ou nécessitant l'utilisation de matériaux particuliers pour la fabrication des sacs filtrants ou de l'unité elle-même ont pour effet d'augmenter les coûts.

3.5.3.6 Filtration catalytique

Description

La filtration catalytique se définit comme l'élimination des composants gazeux associée à la séparation des particules. Son fonctionnement est comparable à celui des filtres en fibres textiles (voir la section 3.5.3.5). La différence réside dans le matériau filtrant. Les filtres catalytiques contiennent un catalyseur (système en titane/vanadium) qui détruit les polluants grâce à une réaction catalytique gazeuse. Les poussières séparées sont extraites et évacuées séparément.

Le filtre catalytique est composé d'une membrane en polytétrafluoroéthylène expansé (ePTFE), sur un substrat de feutre catalytique. Le catalyseur est inséré dans le substrat de feutre. Il est installé sous forme de modules dans la chambre de filtration (voir figure 3.82 [cww/tm/85]) de telle sorte que l'intégration à une installation existante est simple.

Hopper dust	Collecteur de poussières
Raw gas	Gaz brut
Clean gas	Gaz nettoyé
Bag house cleaning frequency between 10 min. and 24 hours	Fréquence de nettoyage de la chambre de filtration entre 10 min et 24 h
Gas phase collector	Collecteur de phase gazeuse
Particle filter	Filtre à particules
Pump	Pompe
Sampling train	Appareillage de prélèvements
Sampling time 0.25 – 3 hours depending on dust load	Durée de prélèvement 0,25-3 heures selon la charge de poussières
Sampling time 3 hours	Durée de prélèvement 3 heures
180 – 250°C	180-250 °C
< 120°C	< 120 °C

Figure 3.82 : chambre de filtration catalytique, avec appareillages de prélèvements

Application

La filtration catalytique est employée pour séparer les particules et éliminer les polluants dangereux de la phase gazeuse. Les principaux polluants concernés par cette technique sont les dioxines et les furannes (DDPC et DFPC). Mais d'autres polluants tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobenzènes (PCBz), les polychlorobiphényles (PCB), les COV et les chlorophénols (PCP) peuvent aussi être éliminés.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Gamme de températures recommandée en fonctionnement continu	160-260 °C ^a
Teneur en ammoniac	<200 ppm
Teneur en oxydes de soufre	<50 ppm
Degré d'humidité	5-35 %
Vitesse de filtration	48-84 m/h
Substances critiques	Désactivation par l'arsenic, le potassium, le calcium et le soufre
^a La limite supérieure de la gamme de températures est déterminée par la température maximale en fonctionnement continu du milieu filtrant (260°C). La température maximale de fonctionnement conseillée est de 250°C afin d'éviter les surchauffes ponctuelles. La limite inférieure de la gamme de température est déterminée par la température à laquelle les dioxines et les furannes sont correctement détruits. Des essais concluants ont été réalisés à des températures jusqu'à 155°C.	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Destruction des composés gazeux dangereux sans émission de résidus pollués. • Réduction du rejet total de polluants dangereux dans l'environnement. • Facilité d'intégration à des installations déjà existantes. • Pas de coûts d'exploitation et d'entretien supplémentaires. • Pas de déchets solides supplémentaires à évacuer. • Pas de modification des procédures de fonctionnement standard. • Coût comparable à l'utilisation de charbon actif en poudre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limité à une température de fonctionnement continu maximale de 260°C. • Bien que le filtre élimine les composés organiques en général, et les dioxines et les furannes en particulier, quelle que soit la température, une température de fonctionnement continu minimale de 155°C est conseillée pour une destruction adaptée des dioxines et des furannes. À faible température, ils sont adsorbés sur le catalyseur.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission	Remarques
Poussières		<1 mg/Nm ³ ¹	Valeur standard
DDPC/DFPC (TEQ)	>99 ^{a, 1}	<0,004-0,040 ng/Nm ³ ¹	Incinérateurs de déchets
		<0,075 ng/Nm ³ ¹	

^a observé jusqu'à 99,8 %
^l informations du fabricant

Impacts croisés

Les poussières séparées – cendres volantes éventuellement mélangées à un matériau sorbant des gaz acides - constituent le seul résidu à évacuer. Les poussières filtrées contiennent jusqu'à 90 % de dioxines et de furannes en moins que lorsque du charbon actif est utilisé. Les poussières sont généralement classées comme déchet non dangereux.

Les utilités et les consommables principaux sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Matériau filtrant		Durée de vie du filtre et du catalyseur d'environ 5 ans, voire plus.
Catalyseur		
Énergie [kWh/1 000 m ³]		
Chute de pression [kPa]		

Surveillance [cww/tm/79]

Il est nécessaire de contrôler soigneusement les performances et l'entretien du système. La quantification de l'émission massique permet d'évaluer les performances d'un filtre. Elle peut être réalisée en déterminant la concentration de particules dans l'effluent gazeux à l'aide d'une sonde d'échantillonnage isocinétique ou d'un appareil de mesure de l'opacité UV/visible, des rayons bêta ou des impacts de particules, par exemple. L'activité du catalyseur peut être contrôlée en testant un filtre retiré de la chambre de filtration. S'il y a des raisons de soupçonner une baisse de l'activité catalytique, il est possible de contrôler les dioxines et les furannes par un échantillonnage au niveau de la cheminée.

La température et la chute de pression à travers le filtre à manches doivent être régulièrement contrôlées. La chute de pression indique le moment où commencer le nettoyage est nécessaire. Les filtres à manches doivent être inspectés régulièrement afin de détecter toute détérioration de la chambre de filtration ou des filtres. Le filtre doit donc être accessible.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]		
Coûts d'exploitation annuels [pour une capacité de 1 000 Nm ³ /h]		

3.5.3.7 Filtre dépoussiéreur à deux étages

Description

Le matériau filtrant d'un filtre dépoussiéreur à deux étages est une toile métallique. Un gâteau de filtration se forme dans le premier étage de la filtration. La filtration proprement dite est réalisée dans le deuxième étage. Selon la chute de pression à travers le filtre, le deuxième étage est nettoyé et le système bascule entre les deux étages (la phase 1 devient la phase 2 et inversement). Un mécanisme permettant d'enlever les poussières filtrées est intégré au système. Les poussières tombent au fond de la chambre, d'où elles doivent être extraites. Un exemple est illustré à la figure 3.83 [cww/tm/70].

La toile métallique ayant une capacité de charge supérieure à celle d'un filtre à fibres textiles, la surface du filtre nécessaire, donc la quantité de matériau filtrant, est moins grande. Toutefois, cet avantage est contrebalancé par les deux étages du système.

Figure 3.83 : filtre dépoussiéreur à deux étages

Une variante particulière de ce système est le filtre à mailles métalliques avec procédé de reformation de gâteau, illustré à la figure 3.84 [cww/tm/168]. Ce filtre est conçu pour pallier la diminution de la capacité de filtration après nettoyage en reformant un gâteau avant de remettre en place dans le flux gazeux l'élément nettoyé. En fonctionnement normal, le filtre n'utilise qu'une partie des chambres de filtration ; les autres sont en attente (dans l'exemple illustré, trois chambres sont en cours de fonctionnement, la quatrième est en attente). Le fonctionnement du filtre se poursuit ainsi jusqu'à ce qu'un cycle de nettoyage soit nécessaire. Ensuite, la chambre précédemment nettoyée, dans laquelle un gâteau s'est reformé et qui était en attente, est à nouveau utilisée. La (les) chambre(s) à nettoyer est (sont) sortie(s) du système et isolée(s) pour subir un décolmatage pneumatique. Les poussières sont collectées dans le collecteur placé dessous. Une fois le nettoyage terminé, le gaz chargé en poussières s'écoule dans le filtre qui vient d'être nettoyé, sans être rejeté par la sortie. Ce mode permet la reformation d'un gâteau de filtration complet sur le filtre nettoyé pendant que les autres chambres sont utilisées comme filtres secondaires pour contrôler les fuites. Lorsque la reformation du gâteau est terminée, la (les) chambre(s) repasse(nt) en mode d'attente pour remplacer les prochaines à nettoyer.

Figure 3.84 : filtre à mailles métalliques avec procédé de reformation de gâteau

Les systèmes à haut risque (notamment d'explosion et d'incendie) doivent être équipés de dispositifs de sécurité, par exemple des trappes d'explosion ou des systèmes de sprinklers.

Application

Le filtre dépoussiéreur à deux étages est essentiellement utilisé pour éliminer les particules. Associé à des systèmes d'injection (y compris l'adsorption et l'injection semi-sèche de chaux), il peut également être utilisé pour éliminer des polluants gazeux particuliers.

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	Jusqu'à 75 000 par module ¹
Température [°C]	Jusqu'à environ 500
Pression	Atmosphérique ¹
Teneur en poussières [g/Nm ³]	Pas de limites
¹ [cww/tm/70]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité élevée pour les poussières. • Récupération de matières solides possible. • Air ventilé réutilisable comme en entrée d'air. • Structure modulaire. • Pas de matériau filtrant supplémentaire ; acier uniquement. • Charge du filtre supérieure à celle d'un filtre en fibres textiles ou compact. 	<p>Coûts élevés par rapport aux filtres en fibres textiles ou compacts, si utilisé à température ambiante.</p> <p>Ne convient pas pour des applications à hautes températures.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Commutation fréquente entre les deux compartiments (filtre à deux étages). • Soupape de régulation nécessaire

<ul style="list-style-type: none"> • Convient aux poussières statiques, fibreuses, collantes et humides. • Résistant au feu. • Récupération de chaleur possible (si fonctionnement à températures élevées). 	dans un environnement poussiéreux. <ul style="list-style-type: none"> • Risque d'explosion.
--	--

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

L'émission de poussières d'un filtre dépoussiéreur à deux étages à toile métallique ne dépend pratiquement pas de la charge en entrée.

Paramètre	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Remarques
PM	environ 1 ¹	Pratiquement indépendant de la charge en entrée
¹ [cww/tm/70]		

Impacts croisés


Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Matériau filtrant (toile ou mailles métalliques)		
Air comprimé (0,3-0,7 MPa)		Nettoyage du filtre
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	1,5 ¹	
Chute de pression [kPa]	0,5-2,5 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

Les poussières séparées sont le seul résidu. La quantité dépend de la teneur en poussières du gaz entrant. Selon leur provenance, les poussières séparées peuvent être polluées. Par exemple, les poussières provenant d'un procédé d'incinération peuvent contenir des dioxines et/ou des métaux lourds et les oxydes correspondants. Ce type de poussière peut être classé comme déchet dangereux et doit être évacué en conséquence.

Surveillance [cww/tm/79]

Il est nécessaire de contrôler soigneusement les performances et l'entretien du système. La quantification de l'émission massique permet d'évaluer les performances d'un filtre dépoussiéreur à deux étages. Elle peut être réalisée en déterminant la concentration de particules dans l'effluent gazeux à l'aide d'une sonde d'échantillonnage isocinétique ou d'un appareil de mesure de l'opacité UV/visible, des rayons bêta ou des impacts de particules, par exemple.

La température et la chute de pression à travers le filtre dépoussiéreur à deux étages ent être régulièrement contrôlées. La chute de pression indique le moment où commencer le nettoyage est nécessaire. Les filtres dépoussiéreurs à deux étages doivent être inspectés régulièrement afin de détecter toute détérioration du matériau filtrant et de la chambre de filtration. Le filtre doit donc être accessible.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	30 000 EUR ¹	Avec un système de 1 700 Nm ³ /h

Coûts d'exploitation annuels ^a	a	
main-d'œuvre [par an]	2 000 EUR ¹	Environ 1,5 heures par semaine
utilités [pour 1 000 Nm ³ /h]	350 EUR ¹	
^a Les coûts d'exploitation annuels totaux sont 2 000 + 350 x flux/1 000 EUR		
¹ [cww/tm/70]		

3.5.3.8 Filtre absolu (filtre HEPA)¹²

Description

Le média filtrant est du papier ou de la fibre de verre compactée à haute densité. L'effluent gazeux traverse le milieu filtrant, lequel collecte les particules. Le gâteau de filtration qui se forme sur le milieu filtrant peut augmenter le rendement d'épuration. Le milieu filtrant est plié afin de diminuer la rapport a/f (débit volumétrique sur surface).

Les cellules filtrantes sont le plus souvent construites sous forme de boîtier ou de cylindre. Dans un boîtier, le milieu filtrant plié est disposé sur un cadre carré rigide en bois ou en métal. L'air s'écoule de l'avant vers l'arrière du filtre. Dans une cellule filtrante cylindrique, un bouchon métallique ferme l'une des extrémités. L'air s'écoule de l'extérieur vers l'intérieur du filtre.

Le filtre peut être monté directement dans la conduite ou dans une chambre séparée. Une préfiltration des particules volumineuses est nécessaire, c'est pourquoi les filtres HEPA sont généralement utilisés comme étape finale d'un système d'élimination des particules.

Le nombre de cellules filtrantes utilisées dans un système est déterminé par le rapport a/f, lui-même basé sur les caractéristiques de la charge de particules et sur la chute de pression à travers le milieu filtrant. L'utilisation pratique des filtres à fibres nécessite un milieu filtrant de grande surface pour minimiser la chute de pression à travers le filtre. Les médias filtrants en papier et non tissés utilisés impliquent une chute de pression supérieure à celle des médias filtrants tissés des filtres en fibres textiles. C'est pourquoi les filtres HEPA sont principalement utilisés pour des débits d'air et des charges de particules plus faibles que les systèmes à chambre de filtration. Lorsque le débit d'air dans le filtre diminue jusqu'à une valeur trop faible, le filtre doit être remplacé. Ils ne sont généralement pas nettoyés, car le nettoyage risque de crever le filtre.

Application

Les filtres HEPA peuvent être utilisés pour les particules submicroniques comprises entre PM_{0,12} et PM_{0,3}, ainsi que pour les polluants atmosphériques dangereux sous forme de particules, tels que la plupart des métaux lourds (à l'exception du mercure).

Les filtres HEPA sont particulièrement adaptés lorsqu'un rendement d'épuration élevé des particules submicroniques est nécessaire et lorsque des particules toxiques et/ou dangereuses ne peuvent pas être éliminées par d'autres filtres, par exemple biologiques et chimiques. Ils sont utilisés comme élément final d'un système d'épuration, en aval des dispositifs tels que les ESP ou les chambres de filtration.

¹² High Efficiency Particle Air (Filtre à air à particules à haute efficacité)

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	100-3 600 par module ^{1,2}
Température [°C]	<200 ² (HEPA commercial) <530 ² (garnissage en céramique ou en verre) Au-dessus du point de rosée de l'effluent gazeux
Pression	Atmosphérique ¹
Teneur en poussières [g/Nm ³]	1-30 ² <2 ³
Humidité relative [%]	<95 ²
¹ [cww/tm/70] ² [cww/tm/106] ³ [cww/tm/64]	

Les filtres HEPA nécessitent une étape de préfiltration pour éliminer les particules volumineuses, par exemple des cyclones ou des laveurs à Venturi pour éliminer les PM élevées, et des filtres à manches ou à cartouches pour filtrer les particules >PM_{2,5}.

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Séparation possible de très petites fractions. • Efficacité très élevée avec de très faibles émissions résiduelles. • L'air extrait est très propre et peut recirculer à l'intérieur de l'installation. • Structure modulaire. • Insensible aux variations mineures de l'effluent gazeux. • Fonctionnement relativement simple. • En général, pas de problèmes de corrosion. 	<ul style="list-style-type: none"> • Attention aux risques d'explosions. • Entretien important et remplacement fréquent des filtres. • Ne convient pas aux environnements humides. • Ne convient pas aux charges en poussières élevées. • La fibre de verre comme média filtrant n'est pas adaptée aux effluent gazeux contenant des alcalis.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]
PM		>0,0001 ¹
PM _{0,01}	>99,99 ²	
PM _{0,1}	>99,9999 ²	
¹ [cww/tm/64] ² [cww/tm/106]		

Impacts croisés


Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Matériau filtrant (papier, fibre de verre)		
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	<0,1 ¹	
Chute de pression [kPa]	0,05-0,25 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

Les éléments filtrants chargés doivent être évacués en tant que déchets. Chaque module peut absorber environ 1 kg de poussières.

Surveillance [cww/tm/79]

Il est nécessaire de contrôler soigneusement les performances et l'entretien du système. La quantification de l'émission massique permet d'évaluer les performances d'un filtre absolu. Elle peut être réalisée en déterminant la concentration de particules dans l'effluent gazeux à l'aide d'une sonde d'échantillonnage isocinétique ou d'un appareil de mesure de l'opacité UV/visible, des rayons bêta ou des impacts de particules, par exemple.

La température et la chute de pression à travers le filtre  PA doivent être régulièrement contrôlées. Lorsque la chute de pression atteint une valeur empêchant un écoulement correct de l'air, le filtre doit être remplacé et jeté.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	1 800-2 400 USD ¹	
Coûts d'exploitation annuels	a ²	En fonction de l'application
Coût annuel de la main-d'œuvre	2 500 EUR ²	Environ 2 heures par semaine
Coût annuel des consommables [pour 1 000 Nm ³ /h]	60-120 EUR ²	
a Les coûts d'exploitation annuels totaux sont 2 500 + 60 x flux/1 000 EUR		
¹ [cww/tm/106]		
² [cww/tm/70]		

3.5.3.9 Filtre à air à haute efficacité (HEAF)

Description

Un HEAF est un filtre plan dans lequel les aérosols se combinent pour former des gouttelettes. Les gouttelettes très visqueuses restent sur le tissu filtrant, ce qui finit par colmater le filtre. Lorsqu'une valeur prédéfinie de différence de pression est atteinte, le tissu filtrant doit être remplacé par un neuf. Cette opération peut être effectuée en cours de fonctionnement car le tissu filtrant est fixé sur un rouleau. L'effluent gazeux traité quitte le dispositif en traversant un filtre dévésiculeur servant à séparer les gouttelettes visqueuses entraînées avec l'effluent.

Un dévésiculeur additionnel peut être ajouté pour éliminer les gouttelettes à faible viscosité. Ce dévésiculeur secondaire peut être de type lamellaire (séparateur à inertie) ou un filtre dévésiculeur.

Application

Les HEAF sont généralement utilisés pour éliminer les aérosols tels que l'huile, les plastifiants et les COV condensables.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	Jusqu'à 25 000 ¹
Pression	Atmosphérique ¹

¹ [cww/tm/70]

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Procédé continu. • Convient pour les gouttelettes à viscosité élevée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chute de pression élevée.

Niveaux d'émission pouvant être atteints/taux de performance

Paramètre	Taux de performance [%]	Remarques
Gouttelettes	99 ¹	
Aérosols	99 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Matériau filtrant		
Énergie [kWh/1 000 Nm ³]	<0,1 ¹	
Chute de pression [kPa]	8 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

Les résidus à évacuer sont les rouleaux de filtres chargés contenant les polluants séparés tels que les gouttelettes, les aérosols et les poussières. Ils doivent être évacués comme déchets chimiques ou dangereux et sont généralement incinérés.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	5 700-8 000 EUR ¹	
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]		
Coûts annuels de la main-d'œuvre	3 000 EUR ¹	Environ 2,5 heures par semaine
¹ [cww/tm/70]		

3.5.3.10 Filtre dévésiculeur

Description

Les filtres dévésiculeurs (ou séparateurs de gouttes.) les plus courants sont des matelas de fibres tissées. Ceux-ci sont constitués en général d'un monofilament synthétique ou métallique tissé selon une configuration aléatoire ou particulière. Ils fonctionnent par filtration en profondeur, c'est-à-dire sur toute la profondeur du filtre. Les particules solides restent dans le filtre jusqu'à ce qu'il soit saturé. Il doit alors être nettoyé par rinçage. Lorsque le dévésiculeur est utilisé pour collecter les gouttelettes et/ou les aérosols, il est généralement auto-nettoyant, et ce grâce au liquide évacué. Ils fonctionnent par impact mécanique et leur efficacité dépend de la vitesse. Des séparateurs à chicanes sont également couramment utilisés comme dévésiculeurs.

Les dimensions du filtre dépendent du débit de l'effluent gazeux, de la teneur en sortie et de la charge du filtre.

Les filtres dévésiculeurs sont conçus pour éliminer des tailles de particules spécifiques. À cause du risque de colmatage des matelas dévésiculeurs à haute efficacité, un lavage régulier est nécessaire. Si ce lavage est négligé, les polluants peuvent se solidifier en profondeur dans le tamis, ce qui rend inefficace tout lavage ultérieur.

La plupart des dévésiculeurs intègrent une ouverture pour faciliter le nettoyage. Il faut faire très attention lors de la réinstallation du média filtrant dans la cuve afin de s'assurer qu'il est correctement en place et qu'il n'y a pas d'interstices entre le média filtrant et la paroi de la cuve. À cause de la chute de pression élevée à travers le matelas dévésiculeur, la présence d'interstices, aussi petits soient-ils, peut créer une dérivation qui permettra à l'effluent gazeux de contourner le filtre.

Application

Les filtres dévésiculeurs sont employés pour éliminer les polluants sous forme de brouillards tels que les gouttelettes et les aérosols. Lorsque le matériau filtrant est nettoyé *in situ*, il est possible d'utiliser les dévésiculeurs pour éliminer les particules solides solubles dans les liquides. Du fait du colmatage, les dévésiculeurs sont moins adaptés aux poussières solides et aux vapeurs grasses. Ils permettent de protéger les équipements des particules de poussière solides et liquides pour éviter l'usure et les frottements sur les roulements et les carters des ventilateurs.

Les filtres dévésiculeurs haute efficacité peuvent être utilisés comme dispositifs primaires. Ils constituent une solution de plus en plus intéressante au regard de leur rendement d'épuration, de l'économie d'eau et des aspects économiques pour de nombreux procédés libérant des brouillards telles que l'acide sulfurique, les composés de nickel, l'hydroxyde de sodium, l'acide nitrique et les composés de chrome. Des filtres dévésiculeurs à plusieurs étages pour contrôler les émissions de brouillards ont été testés et présentent des résultats satisfaisants. La logique pour l'utilisation de ces filtres est qu'ils permettent de collecter la plupart des particules au niveau du premier étage, ce qui protège les étages suivants conçus pour traiter les particules plus petites. Un moyen efficace d'éliminer des particules selon ce procédé est d'utiliser une unité à trois ou quatre étages, avec une configuration à monofilament et interstices dans les premiers étages, et de diminuer graduellement la taille du monofilament et des interstices étage après étage. Chaque étage est lavé avec de l'eau douce. Des chambres d'évacuation séparées doivent être utilisées pour empêcher que l'eau de lavage avec la concentration en polluant la plus élevée ne s'écoule dans l'étage suivant.

Comme dispositifs secondaires, les filtres dévésiculeurs sont couramment utilisés comme étape finale des laveurs par voie humide pour empêcher la solution de lavage qui recircule d'être rejetée dans l'atmosphère avec le gaz traité. Un filtre dévésiculeur est installé dans la partie supérieure de la colonne pour collecter les gouttelettes, lesquelles fusionnent et retombent dans la colonne. La conception du dévésiculeur est fondamentale s'il est nécessaire d'obtenir des concentrations en polluant faibles (efficacité d'épuration élevée) et de réduire les pertes de solvant dans les absorbeurs, les laveurs ou les dispositifs de distillation.

Les limites et restrictions d'applications sont [cww/tm/70] :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	Jusqu'à 150 000 ¹
Température [°C]	<170 ¹
Teneur en poussières	<1 ¹

[mg/Nm ³]	
Aérosols	Quelques g/Nm ³ ¹
¹ [cww/tm/70]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Systèmes auto-nettoyants de collecte de liquides. • Convient pour la filtration d'aérosols liquides et aussi comme dispositif primaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le nettoyage du filtre produit un liquide de lavage pollué. • Chute de pression élevée avec les particules de poussière solides. • Risque de colmatage.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	Taux de performance [%]	Remarques
Poussières	99 ¹	
Aérosols	99 ¹	
¹ [cww/tm/70]		

Des monofilaments plus fins et des interstices plus petits dans les matelas dévésiculeur permettent une meilleure élimination des particules fines (taille : 1-3 µm), mais présentent un plus grand risque de colmatage et donc nécessitent plus de surveillance et d'entretien. Le matelas dévésiculeur le plus efficace possède un diamètre de filament et des interstices suffisamment grands pour minimiser le risque de colmatage et a une capacité de drainage des liquides correcte. Cette configuration de matelas dévésiculeur est efficace pour des particules de 5-10 µm de diamètre.

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	Remarques
Matériau filtrant		
Liquide de lavage		Pour le nettoyage
Énergie [kWh/1 000 m ³]		
Chute de pression [kPa]	2,5 ¹	Normal
	9,0 ¹	Charges élevées
¹ [cww/tm/70]		

Les résidus à évacuer sont le liquide de lavage, qui contient les poussières filtrées, et le matériau filtrant chargé. Le liquide de lavage doit être traité ou bien évacué comme déchet, et par exemple incinéré. Lorsque le filtre dévésiculeur est installé après un laveur humide, l'eau de lavage est généralement recyclée dans le laveur.

Surveillance

La chute de pression de chaque étage du dévésiculeur doit être contrôlée, par exemple au moyen de manomètres différentiels (magnahelic ou photohelic).

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	Remarques
---------------	-------	-----------

Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	2 300 EUR ¹	Pour les petits systèmes jusqu'à 2 000 Nm ³ /h
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	a ¹	
Coûts annuels de la main-d'œuvre	2 500 EUR ¹	Environ 2 heures par semaine
Consommables [pour 1 000 Nm ³ /h]	250-600 EUR	
a Coûts d'exploitation annuels totaux 2 500 + 450 x flux/1 000 EUR ¹ [cww/tm/70]		

3.5.4 Techniques récupératives ou destructives de traitement des polluants gazeux des gaz extraits

Les polluants présents dans les gaz de combustion des procédés à haute température (oxydation thermique et catalytique, par exemple) et des procédés chimiques sont des particules et des gaz tels que le dioxyde de soufre, les NO_x, les halogénures d'hydrogène et, dans certaines conditions, les dioxines. Les particules et les NO_x des gaz de combustion sont épurés (voir la section 3.5.3 pour les particules et la section 3.5.4.2 pour les NO_x). Cependant, le chlorure d'hydrogène et le dioxyde de soufre peuvent être récupérés. Le traitement du chlorure d'hydrogène et du dioxyde de soufre se fait généralement en deux étapes :

- un lavage par voie humide avec de l'eau (voir la section 3.5.1.4) pour produire de l'acide chlorhydrique concentré ;
- divers procédés de désulfuration (voir les sections 3.5.1.4 et 3.5.4.1) pour produire du gypse ou de l'acide sulfurique.

Les techniques de traitement des gaz de combustion couramment utilisées dans l'industrie chimique, outre le lavage par voie humide (sections 3.5.1.4 et 3.5.3.4), sont décrites ci-dessous.

3.5.4.1 Injection de sorbant comme technique de DGC¹³

Description

L'injection de sorbant pour la DGC consiste à introduire et à disperser un réactif dans l'effluent gazeux. Cet agent réagit avec les espèces de SO_x pour former un solide qui doit ensuite être extrait de l'effluent gazeux. Les sorbants les plus utilisés sont :

- la chaux
- l'hydrogénocarbonate de sodium (bicarbonate de sodium)
- le carbonate de sodium (soude)

Le choix du sorbant dépend de sa disponibilité. Dans la plupart des cas, il s'agit d'un matériau naturel, par exemple du calcaire, de la dolomie ou des composés hydratés dérivés de ces matières brutes.

Ces sorbants sont également efficaces pour éliminer d'autres gaz acides, notamment le chlorure d'hydrogène et le fluorure d'hydrogène. Pour que ces gaz acides soient récupérés, l'effluent gazeux doit être prétraité (lavage à l'eau, voir la section 3.5.1.4).

Il existe trois types d'injection de sorbant :

- l'injection de sorbant sec
- L'injection de sorbant semi-sec (ou semi-humide)
- l'injection humide de lait de chaux

En ce qui concerne l'**injection de sorbant sec**, le sorbant sous forme de fine poudre est soit injecté dans le gaz de combustion, soit ajouté à une tour de désulfuration. Cette seconde méthode est la plus efficace. L'injection de sorbant dans l'effluent gazeux peut se faire en différents points selon la température et les conditions auxquelles il réagit le mieux. Le principe est illustré à la figure 3.85 [cww/tm/79].

Calcium sorbent	Sorbant Calcium
Radiant furnace	Four à tubes radiants
Heat exchanger	Échangeur de chaleur
Air heater	Réchauffeur d'air
Particulate control	Traitement des particules
Stack	Cheminée
Disposal/recycle	Évacuation/Recyclage
Burner zone	Zone du brûleur
Sodium sorbent	Sorbant Sodium
H ₂ O	H ₂ O

Figure 3.85 : injection de sorbant sec pour l'élimination du dioxyde de soufre (points d'injection)

¹³ Désulfuration des Gaz de mbustion

Les points d'injection et les sorbants appropriés couramment utilisés sont [cww/tm/79] :

- injection de calcaire au niveau du four à une température comprise entre 1 100 et 1 250°C ;
- injection de chaux éteinte au niveau de l'échangeur de chaleur à environ 550°C ;
- injection de chaux éteinte en sortie du four, à une humidité relativement élevée et une température de 5-15°C au-dessus de la saturation du gaz de combustion ;
- injection en sortie du four de composés à base de sodium, par exemple du bicarbonate sodium, entre l'échangeur de chaleur et le dispositif de traitement des particules, à une température comprise entre 130 et 180°C ou, lorsque le média filtrant le permet, jusqu'à 400 °C.

Dans le cas de l'**injection de sorbant semi-sec**, le sorbant est ajouté sous forme de suspension ou de solution (gouttelettes) dans une chambre de réaction de telle manière que le liquide s'évapore en continu pendant la réaction. Il en résulte un produit sec, collecté à la base de la chambre ou dans un dispositif de traitement des particules. La technique est illustrée à la figure 3.86 [cww/tm/79] avec un filtre en fibres textiles comme dispositif de traitement des particules, pouvant être remplacé par un ESP.

Le système d'injection de sorbant semi-sec est composé des éléments suivants :

- le séchoir à pulvérisation, c'est-à-dire un atomiseur et une chambre de réaction (une tour ou une conduite, les gouttelettes et le gaz de combustion circulant à cocourant) ;
- un système connexe pour les boues / liquides (lait de chaux ou solutions de carbonate ou de bicarbonate de sodium) ;
- un dispositif de collecte des particules ;
- un dispositif de recyclage des particules.

Flue gas bypass around dryer	Dérivation du gaz de combustion
Temperature control water	Contrôle de la température de l'eau
Flue gas from boiler	Gaz de combustion de la chaudière
Spray dryer	Séchoir à pulvérisation
Fabric filter	Filtre en fibre textile

Clean flue gas	Gaz de combustion nettoyé
To ash disposal bin	Vers benne d'évacuation des cendres
Lime silo	Silo de chaux
Ball mill slaker	Dissolveur de chaux par broyeur à billes
Fabric filter Catch recycle	Recyclage des particules du filtre en fibres textiles
Spray dryer Waste recycle	Recyclage de l'eau du séchoir à pulvérisation
Slurry feed pump	Pompe d'alimentation de la boue
Slurry mix tank	Bassin de mélange de la boue
Recycle feed pump	Pompe d'alimentation du recyclage
Recycle mix tank	Bassin de mélange du recyclage
Lime dilution tank	Bassin de dilution de la chaux
Make-up water	Eau d'appoint
Detention slaker not shown	Rétention du dissolvant de chaux non représenté
Paste slaker	Dissolveur de chaux pateuse
Fresh lime slurry	Boue de chaux fraîche

Figure 3.86 : système de DGC semi-sec ou à pulvérisation

En ce qui concerne l'**injection humide**, le SO_2 est éliminé du gaz de combustion dans l'absorbeur de DGC par contact direct avec une suspension aqueuse de calcaire finement broyé (lait de chaux), après avoir quitté le système de traitement des particules et traversé un échangeur de chaleur. Le gaz de combustion purifié traverse un filtre dévésiculaire, puis est rejeté dans l'atmosphère par une cheminée ou une tour de refroidissement. Les produits de réaction sont retirés de l'absorbeur, puis envoyés pour déshydratation et traitement supplémentaire.

Le procédé se divise ainsi :

- absorption de SO_2 par le liquide de lavage à un pH de 4 à 5,5 ; le produit primaire est le bisulfite de calcium $[\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2]$,
- oxydation du bisulfite en sulfate,
- cristallisation du gypse formé ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$),
- séparation des cristaux de gypse de la solution.

La technique est illustrée à la figure 3.87.

Clean gas	Gaz purifié
Mist eliminator	Dévésiculaire
Process water	Eau de procédé
Suspension	Suspension
Wet film	Film humide
Spray zone	Zone de pulvérisation
Air	Air
Flue gas	Gaz de combustion

Figure 3.87 : système de DGC humide : laveur à lait de chaux

La fraction solide du cycle de lavage est essentiellement composée de gypse à une concentration de 100-120 g/l. Les unités d'incinération modernes fonctionnent avec un mélange assez riche, la teneur en oxygène du gaz de combustion n'étant généralement pas suffisante pour achever l'oxydation du bisulfite. Une admission d'air dans le réservoir du laveur est donc nécessaire. Pour empêcher l'encrassement de la conduite d'échappement du gaz purifié, les unités de DGC sont généralement équipées de dévésiculateurs.

Le niveau de désulfuration dépend du rapport liquide/gaz (L/G). Les turbulences transversales entre le liquide et le gaz peuvent être augmentées par des débits de gaz élevés, ce qui améliore le transfert de masse et donc le niveau de désulfuration. Par ailleurs, dans les unités à cocourant, les débits élevés réduisent les temps de séjour, ce qui réduit le niveau de désulfuration.

Pour réduire la concentration en chlorure dans le liquide de lavage en dessous de 30 g/l, une partie du liquide est séparée du procédé et traitée pour éliminer les métaux lourds et la DCO. Du lait de chaux frais est ajouté pour remplacer le liquide purgé.

Le gaz de combustion traité sort de l'unité de DGC dans un état plus ou moins saturé. Pour s'assurer que le point de rosée est dépassé, une étape de réchauffage (généralement un préchauffeur de gaz régénératif) et un flux ascendant suffisant dans la cheminée ou la tour de refroidissement sont nécessaires.

Les techniques destructives de traitement des particules qui conviennent pour éliminer les matières sèches issues des systèmes secs et semi-secs sont des ESP ou des filtres en fibres textiles. Si des filtres en fibres textiles sont utilisés, le gaz de combustion doit généralement être refroidi, soit au moyen d'un échangeur de chaleur, soit par de l'air de refroidissement, pour que la température reste inférieure à 200 °C (sauf si les fibres peuvent supporter des températures plus élevées, par exemple dans le cas de filtres en céramique ou en toile/maille métallique).

La température à laquelle le rendement d'épuration est maximal varie d'un composant à l'autre. De plus, la réactivité des polluants de l'effluent gazeux varie avec les différents absorbants et des réactions concurrentes se produisent entre les différentes espèces, surtout lorsque le rapport entre les réactifs et les gaz acides est relativement faible. C'est pourquoi les différents taux d'absorption dépendent de la quantité spécifique d'agent d'absorption, de la composition de l'effluent gazeux (polluants, humidité, teneur en oxygène) et de la température de réaction. Le taux d'absorption dû à la nature de la réaction gaz/solide dépend fortement de la surface active spécifique de l'absorbant et du temps de séjour. C'est pourquoi il est généralement nécessaire d'avoir un rapport sur-stœchiométrique de l'absorbant.

Les rendements d'épuration des espèces telles que HCl et SO₂ diminuent considérablement lorsque la température diminue. Ils sont minimaux entre 200 et 280°C. En dessous de 200°C, le rendement d'épuration augmente et permet d'obtenir de bons résultats pour la plupart des polluants.

Application

L'injection de sorbant sec et semi-sec est utilisée pour réduire les émissions de gaz acides. La variante sèche convient également aux petites installations ou pour être intégrée dans des installations existantes et pour lesquelles les dépenses d'investissement dans d'autres systèmes sont très élevées. Pour réduire d'autres polluants, il est possible d'ajouter du charbon actif en grains (CAG) au sorbant sec.

Les limites et restrictions d'applications sont [cww/tm/70] :

	Limites / restrictions
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	10 000-300 000 (sorbant sec)
	Jusqu'à 1 000 000 ¹ (sorbant semi-sec)
	50-500 000 ¹ (sorption humide)
Concentration en SO _x	Gamme étendue
Concentration en halogénures d'hydrogène	Gamme étendue
¹ [cww/tm/70]	

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
Sorbant sec <ul style="list-style-type: none"> Pas d'installations supplémentaires nécessaires, un système d'épuration des poussières étant généralement déjà installé. Efficacité élevée si la conception de la chambre de réaction ou de la tour est correcte. Coût du système faible par rapport aux autres. 	Sorbant sec <ul style="list-style-type: none"> Le sorbant ajouté peut, en interagissant avec les cendres volantes, encrasser les surfaces de l'échangeur de chaleur. Excès important de sorbant à évacuer.
Sorbant semi-sec <ul style="list-style-type: none"> Installation relativement simple. Moins coûteuse que le lavage par voie humide. Pas de production d'eaux usées. 	Sorbant semi-sec <ul style="list-style-type: none"> Faibles performances de séparation des particules dans la chambre de réaction. L'humidité peut être un facteur gênant si un filtre en fibres textiles est utilisé en aval pour éliminer les particules.
Sorbant humide <ul style="list-style-type: none"> Très grande efficacité. Équipement compact. Peut fonctionner à des températures relativement élevées (50-80°C). Contrôle indirect via un dosage stœchiométrique des produits chimiques (si le pH est contrôlé). Produit réutilisable lorsque de la chaux est utilisée (gypse). 	Sorbant humide <ul style="list-style-type: none"> Production d'eaux usées. Consommation importante d'eau par rapport aux injections de sorbant sec et semi-sec.

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Comme mentionné ci-dessus, les rendements d'épuration atteints dépendent de différents facteurs, notamment de la température de l'effluent gazeux, du rapport molaire entre le sorbant et le polluant, et de la dispersion du sorbant. Les différents rendements en fonction de différentes conditions sont données aux tableaux 3.19 à 3.22.

Polluant	Taux de performance [%]		
	ESP		Filtre à manches
	Environ 400 °C	200-280 °C	130-240 °C
SO ₂	50	10	10
SO ₃	80	90	95
HCl	70	35	80
HF	95	95	95

Réf. : Lignes directrices du VDI 2578, nov. 1997

Tableau 3.19 : taux de performance de sorption sèche avec la chaux comme sorbant, pour différentes températures et différents systèmes d'épuration des poussières

Rapport molaire Ca/S	Rendement d'épuration des SO _x [%]	
	130-140°C	170-180°C
1	30	22
2	50	40

3	70	55
Réf. : Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME 1999		

Tableau 3.20 : Rendements d'épuration des SO_x en sorption sèche pour la chaux, pour différentes gammes de températures et pour différents rapports molaires Ca/S

Rapport molaire Ca/S	Rendement d'épuration des SO _x [%]
1	80
1,5	90
2	92
Réf. : Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME 1999	

Tableau 3.21 : Rendements d'épuration des SO_x en sorption semi-sèche pour la chaux, pour différents rapports molaires Ca/S

Polluant	Rendement d'épuration [%]	
	Sorption sèche ^a	Sorption semi-sèche
SO ₂	<50	90-95
SO ₃	90	
HCl	50-75	>90
HF	10-40	>85
^a gamme de températures 300-400°C		

Tableau 3.22 : rendement d'épuration des sorptions sèche et semi-sèche avec du carbonate de sodium

Dans des conditions normales de fonctionnement, les niveaux d'émission / taux de performance pouvant être atteints sont les suivants :

Polluant	Sorption sèche		Sorption semi-sèche		Sorption humide	
	Taux de performance [%]	Niveau d'émission ^a [mg/Nm ³]	Taux de performance [%]	Niveau d'émission [mg/Nm ³]	Taux de performance [%]	Niveau d'émission [mg/Nm ³]
SO _x	40-80 ^{1b}	<40	85->90 ^{1,2}	<40	90-97 ^c	<40 ²
HCl		<10 ²	>99 ¹	<10 ²		<10 ²
HF		<1 ²		<1 ²		<1 ²
^a niveaux d'émission pouvant être atteints. En principe, la sorption sèche n'est pas utilisée pour des concentrations aussi faibles pour lesquelles il est préférable d'utiliser un lavage ou une sorption humide						
^b l'utilisation de filtres en fibres textiles peut augmenter le rendement d'épuration d'environ 10 % ¹						
^c selon le rapport L/G (90 % avec 8 l/Nm ³ , 95 % avec 14 l/Nm ³ , 97 % avec 20 l/Nm ³)						
¹ [cww/tm/79]						
² [cww/tm/70]						

Une incidence sur les émissions de NO_x a été rapportée lorsque du carbonate ou de l'hydrogénocarbonate de sodium est utilisé dans le procédé semi-sec. La gamme de températures optimales pour l'hydrogénocarbonate de sodium est de 120 à 160 °C. L'efficacité dépend du rapport SO₂/NO_x. Un rapport élevé et des températures modérées permettent d'améliorer le rendement d'épuration [BREF sur l'industrie du verre, 2000].

Impacts croisés

Consommable	Quantité
Traitement des eaux usées et effluents gazeux	

	Sorption sèche	Sorption semi-sèche	Sorption humide
Sorbant ^a [rapport molaire Ca/S]	3 et plus (pour la chaux)	1,5-3 (pour la chaux)	<1,1 ¹
Eau ^b [l/Nm ³]	—	0,027-0,04 ²	8-20 ^c
Énergie [kWh/1 000 m ³]	Selon le système d'épuration des poussières	1 ³	
Chute de pression [kPa]	Selon le système d'épuration des poussières	2,5 ³	
^a l'hydrogénocarbonate de sodium nécessite un surplus considérablement moindre ^b rapport L/G ^c 8 l/Nm ³ correspond à 90 %, 14 l/Nm ³ à 95 % et 20 l/Nm ³ à 97 % de désulfuration ¹ [cww/tm/132] ² [cww/tm/79] ³ [cww/tm/70]			

Dans le cas de la sorption sèche et semi-sèche, le résidu est un mélange du sorbant initial et des produits de réaction. S'ils ne peuvent pas être récupérés ou recyclés, ils doivent être évacués. On retrouve dans ce mélange tous les polluants qui n'ont pas été détruits par le procédé d'incinération, notamment les composés de métaux lourds et/ou les dioxines, selon la composition en entrée de l'installation d'incinération. Les poussières sont parfois partiellement recyclées.

Dans le cas de la sorption humide, le résidu est du gypse d'une grande pureté (>99 % de CaSO₄ dans le solide) [cww/tm/132] qui peut être utilisé par ailleurs.

Surveillance [cww/tm/79]

Les performances des systèmes d'injection de sorbant sec ou semi-sec sont évaluées en déterminant la concentration en gaz acides et le rendement d'épuration des particules.

La température et la chute de pression dans le filtre (à manches), ainsi que le rapport liquide/gaz pour les systèmes semi-secs, doivent être contrôlés régulièrement. Lorsqu'un ESP est utilisé, le courant électrique et la force du champ électrique sont contrôlés pour détecter tout dysfonctionnement du dispositif d'épuration des particules.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts		
	Sorption sèche	Sorption semi-sèche	Sorption humide
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]		11 000 EUR ^{1c}	
Coûts d'exploitation annuels [pour 1 000 Nm ³ /h]	a ¹	d ¹	
coûts annuels de la main- d'œuvre	2 500 EUR ^{1b}	20 000 EUR ^{1e}	
coût annuel des utilités	150 EUR + sorbant ¹	250 EUR + sorbant ¹	
a Coûts d'exploitation annuels totaux 2 500 + 300 x flux/1 000 EUR + sorbant ^b estimation : 2 heures par semaine ^c basé sur un débit de 100 000 Nm ³ /h ^d Coûts d'exploitation annuels totaux 20 000 + 400 x flux/1 000 EUR + sorbant ^e estimation : 1 jour par semaine ¹ [cww/tm/70]			

3.5.4.2 Réduction sélective des NO_x (RNCS et RCS)¹⁴

Description

La réduction sélective des NO_x nécessite l'injection de composés $\text{NH}_2\text{-X}$ (avec $\text{X} = \text{H}$, CN ou CONH_2) dans le gaz de combustion pour réduire les oxydes d'azote en azote et en eau. L'agent de réduction le plus courant est une solution aqueuse à 25 % d'ammoniac ou de l'ammoniac pur. Les autres agents de réactions sont des solutions d'urée, la chaux azotée ou le cyanamide.

Il existe différents types de réduction sélective des NO_x :

- la réduction non catalytique sélective (RNCS)
- la réduction catalytique sélective (RCS)

Dans le cas de la **RNCS**, l'agent de réduction est injecté dans la zone où les gaz extraits ont atteint une température comprise entre 930 et 980°C ; alors que l'urée est injectée dans la zone où les gaz sont à une température comprise entre 950 et 1 050 °C. L'injection se fait après la combustion et avant tout autre traitement. La température, le rapport molaire NH_3/NO_x et le temps de séjour sont les principaux paramètres dont dépend le rendement d'épuration. Si la température est inférieure aux niveaux mentionnés ci-dessus, de l'ammoniac non converti est rejeté (dégagement d'ammoniac) ; si la température est nettement supérieure aux niveaux mentionnés, l'ammoniac est oxydé en NO_x . La RNCS est réalisée avec un rapport molaire NH_3/NO_x compris entre 0,5 et 0,9. Si le rapport est plus élevé ($>1,2$), un dégagement d'ammoniac peut se produire et des aérosols de sulfate d'ammonium et de chlorure d'ammonium sont émis. Ceux-ci traversent le filtre et produisent un panache blanc visible au-dessus de la cheminée d'échappement des gaz. Le temps de séjour et la qualité du mélange sont très importants pour l'efficacité de la réaction. Si le temps de séjour est trop court, un dégagement d'ammoniac se produit.

Dans le cas de la **RCS**, le flux des gaz extraits et l'agent injecté passent au-dessus du catalyseur. Selon le catalyseur, la température de fonctionnement se situe entre 200 et 500°C. Le mélange optimal, c'est-à-dire le rapport molaire NH_3/NO_x optimal, au-dessus du catalyseur est crucial. Le rapport molaire est généralement inférieur à 1,1 afin de limiter le risque de dégagement d'ammoniac.

Les températures considérablement plus basses que dans la RNCS permettent d'intégrer la RCS en aval d'autres dispositifs de traitement tels que les dispositifs d'épuration des poussières et de DGC. Dans ce procédé d'élimination des oxydes d'azote « à froid », un mélange d'air (pour contrôler la teneur en oxygène optimale) et d'ammoniac est ajouté après la DGC. Le gaz de combustion désulfuré doit être réchauffé à la température de réaction nécessaire. L'avantage de cette procédure est l'absence de risque de dégagement d'ammoniac puisqu'il n'y a pas d'adsorption par les poussières.

L'équipement de la RNCS et de la RCS est composé des éléments suivants :

- un réservoir de stockage de l'ammoniac aqueux (ou d'autres agents)
- un vaporiseur
- une alimentation en gaz vecteur, de la vapeur ou de l'air comprimé
- des injecteurs
- un lit catalytique (pour la RCS)

Les principaux composants des catalyseurs sont le dioxyde de titane avec du vanadium, le tungstène et les composés de molybdène.

¹⁴ Réduction Non Catalytique Sélective et Réduction Catalytique Sélective

Il existe d'autres techniques de traitement consécutif ou simultané du dioxyde de soufre et des NO_x , notamment [cww/tm/50] :

- le procédé Desonox, dans lequel le gaz de combustion dépoussiéré est mélangé à de l'ammoniac et s'écoule à 450°C au-dessus d'un catalyseur pour réduire les NO_x , puis au-dessus d'un catalyseur pour convertir le SO_2 en SO_3 , lequel réagit en acide sulfurique.
- l'absorption de NO (90 % des NO_x des gaz de combustion sont du NO) et de SO_2 avec des chélates (pour lier le NO) dans des solutions de bicarbonate de sodium, et une réaction d'oxydo-réduction du complexe NO avec le sulfite en azote gazeux.

Application

La RNCS et la RCS sont employées pour réduire les oxydes d'azote des procédés tels que la fabrication de produits chimiques, la combustion ou les fours de procédé. La RCS peut être utilisée pour les teneurs en poussières élevées ou faibles, et comme traitement final.

Limites et restrictions d'application :

	Limites / restrictions	
	RNCS	RCS
Débit de l'effluent gazeux pollué [Nm ³ /h]	>10 000	Jusqu'à 1 000 000 ¹
Concentration en NO_x	De l'ordre de quelques g/Nm ³ ¹	De l'ordre de quelques g/Nm ³ ¹
Température [°C]	800-1 100 (selon l'agent)	200-500 (selon le catalyseur)
Pression	Atmosphérique ¹	Atmosphérique ¹
Temps de séjour [s]	1-2	
Rapport molaire NH_3/NO_x	<1,2	<1,1
¹ [cww/tm/70]		

Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<u>Cas général</u> <ul style="list-style-type: none"> • La RNCS et la RCS sont des techniques éprouvées. 	<u>Cas général</u> <ul style="list-style-type: none"> • La sécurité est d'une importance capitale lorsque des systèmes utilisant de l'ammoniac liquide sont employés.
<u>RNCS</u> <ul style="list-style-type: none"> • Dans des conditions correctes, une bonne réduction des NO_x est possible. • Installation relativement simple, bien qu'un savoir-faire important soit nécessaire pour disposer correctement les injecteurs d'ammoniac. • Faibles coûts de capital par rapport aux autres solutions. • Consommation d'énergie faible. 	<u>RNCS</u> <ul style="list-style-type: none"> • Requiert des températures élevées. • Les cendres volantes contiennent de l'ammoniac. • En dehors des conditions optimales de fonctionnement (température, rapport NH_3/NO_x, temps de séjour) dégagement d'ammoniac ou augmentation de l'émission de NO_x.
<u>RCS</u> <ul style="list-style-type: none"> • Capacité de réduction des NO_x très élevée, plus élevée qu'avec la RNCS, et émissions de NO_x inférieures. 	<u>RCS</u> <ul style="list-style-type: none"> • En dehors des conditions optimales de fonctionnement (température, rapport NH_3/NO_x, temps de séjour)

<ul style="list-style-type: none"> • Réduit les NO_x quelle que soit leur source, pas seulement des gaz de combustion. • Température faible donc diminution de la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer. • La teneur en poussières étant plus faible, dégagement d'ammoniac plus faible dans les cendres volantes que dans le cas de la RNCS. 	dégagement d'ammoniac et rendement d'épuration des NO _x plus faible. <ul style="list-style-type: none"> • Chute de pression à prendre en compte. • Encombrement important. • Coûts de capital relativement élevés par rapport à la RNCS.
--	--

Niveaux d'émission/taux de performance pouvant être atteints

Paramètre	RNCS		RCS	
	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/Nm ³]
NO _x (chaudières/réchauffeurs à gaz)	40-70	150-200	90-94	<20
NO _x (chaudières/réchauffeurs à combustible liquide)	40-70	150-300	90-94	55-150
NO _x (de la production d'acide nitrique)	-	-	80-97 ¹	74-100 ³
NH ₃		<5 ²		<5 ²

¹ valeur inférieure : informations provenant des Pays-Bas ; valeur supérieure : [cww/tm/137]
² mesures réalisées en Autriche ; valeur pour les catalyseurs neufs ; les émissions de NH₃ augmentent au fur et à mesure du vieillissement du catalyseur
³ valeur inférieure : informations provenant des Pays-Bas ; valeur supérieure : [cww/tm/157 a]

Impacts croisés

Les consommables sont les suivants :

Consommable	Quantité	
	RNCS	RCS
Ammoniac [kg/tonne de NO _x éliminés]	570 ¹	370-450 ^{1,2}
Vapeur pour l'évaporation de l'ammoniac (de la solution aqueuse)		
Énergie [kWh/1 000 m ³]		
Chute de pression [kPa]	-	0,1-1 ¹

¹ [cww/tm/70]
² valeur supérieur : informations provenant d'Italie

La durée de vie du catalyseur dans les conditions normales d'utilisation est de 5 à 10 ans, ou supérieure à 10 ans lorsqu'un effluent gazeux propre est traité, comme dans le cas de l'effluent gazeux des usines de production d'acide nitrique. Au bout de cette période, il ne peut pas être régénéré, mais il est généralement recyclé par le fabricant.

Surveillance

Les performances des systèmes de RNCS/RCS peuvent être contrôlées en analysant la teneur en oxydes d'azote avant et après traitement, ainsi que la teneur en oxygène et en ammoniac de l'effluent gazeux.

La température et la chute de pression (dans le cas de la RCS) doivent être contrôlées régulièrement.

Aspects économiques

Type de coûts	Coûts	
	RNCS	RCS
Coûts de capital [pour 1 000 Nm ³ /h]	2 300-3 900 EUR ¹	7 500-32 000 EUR ¹
Coûts d'exploitation [par tonne de NO _x éliminés]	700-1 200 EUR	500-5 000 EUR ^{1,2}
¹ [cww/tm/70]		
² [commentaire]		

Le paramètre rentabilité de la RNCS est la consommation d'ammoniac ou d'urée ; dans le cas de la RCS, c'est le catalyseur. L'intégration de la RNCS à une installation existante est relativement simple étant donné qu'il n'y a pas d'équipement à installer autre que les injecteurs et le réservoir de stockage de l'agent. L'intégration de la RCS peut nécessiter de transformer complètement l'installation existante, d'où des coûts de capital élevés.

4 MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES CONCERNANT LE TRAITEMENT ET LA GESTION DES EAUX USEES ET DES EFFLUENTS GAZEUX DANS L'INDUSTRIE CHIMIQUE

4.1 Introduction

Pour bien comprendre ce chapitre et son contenu, le lecteur est invité à se reporter à la préface de ce document et notamment à son cinquième paragraphe intitulé « Compréhension et utilisation du présent document. Les techniques et les niveaux (ou séries de niveaux) d'émission ou de consommation y afférents exposés dans le présent chapitre ont été évalués au moyen d'un processus itératif comportant les étapes suivantes :

- recensement des principaux problèmes environnementaux du secteur ;
- étude des techniques les plus adaptées à la résolution de ces problèmes principaux ;
- détermination des meilleurs niveaux de performance dans le domaine de l'environnement, sur la base des données disponibles dans l'Union européenne et dans le monde ;
- étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performance ont été atteints, telles que les coûts, les impacts croisés et les éléments moteurs de la mise en œuvre de ces techniques ;
- sélection des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux de consommation ou d'émission qui leur sont associés pour ce secteur, au sens général, conformément à l'article 2, paragraphe 11, et à l'annexe IV de la directive.

L'avis des experts du Bureau Européen de l'IPPC et des TWG concernés a joué un rôle capital, à chacune de ces étapes comme en ce qui concerne la présentation des informations dans le présent document.

Sur la base de cette évaluation, le présent chapitre expose les techniques et, dans la mesure du possible, les niveaux de consommation et d'émission associés à l'utilisation des MTD considérées comme adaptées au secteur dans son ensemble. Dans bien des cas, ils reflètent les performances actuelles de certaines installations dans ce secteur. Lorsque des niveaux de consommation ou d'émission associés à l'utilisation des MTD sont présentés, cela signifie que ces niveaux correspondent aux performances environnementales prévisibles en cas d'application dans le secteur considéré des techniques décrites, compte tenu des coûts et des avantages inhérents à la définition des MTD. Toutefois, ce ne sont pas des valeurs limites de consommation ou d'émission et elles ne doivent en aucun cas être considérées comme telles. Certaines techniques peuvent, dans des cas bien particuliers, permettre d'atteindre de meilleurs résultats en matière de niveaux de consommation ou d'émission mais, en raison des coûts entraînés et des considérations relatives aux impacts croisés qu'elles impliquent, elles ne peuvent pas être considérées comme des MTD pour le secteur dans son ensemble. Cependant, on peut considérer, dans certains cas spécifiques où il existe des motivations particulières, qu'il est justifié d'atteindre ces niveaux.

Les niveaux de consommation et d'émission associés à l'utilisation des MTD doivent toujours être envisagés en association avec des conditions de référence bien précises (périodes moyennes, par exemple).

Il faut distinguer la notion de « niveaux associés à l'utilisation des MTD » expliquée ci-dessus de la notion de « niveau pouvant être atteint » qui apparaît ailleurs dans le présent document. Lorsqu'il est question d'un niveau « pouvant être atteint » au moyen d'une technique ou d'une combinaison de techniques données, cela signifie que l'on peut prévoir, en utilisant ce type de techniques, d'atteindre ce niveau dans un délai substantiel sur un procédé ou une installation bénéficiant de bonnes conditions d'entretien et d'exploitation.

Lorsqu'elles étaient disponibles, les données relatives aux coûts ont été indiquées au chapitre précédent, en même temps que la description des techniques. Elles permettent d'avoir une idée approximative de l'importance des coûts entraînés. Cependant, le coût réel de l'utilisation d'une technique dépendra très étroitement de la situation en matière de taxes et de redevances, par exemple, et des caractéristiques techniques de l'installation concernée. Ces facteurs spécifiques à chaque site ne peuvent pas être évalués de manière exhaustive dans le présent document. En l'absence de données relatives aux coûts, les conclusions sur la viabilité économique des techniques sont établies à partir des observations faites sur les installations existantes.

Les MTD générales citées dans le présent chapitre sont destinées à servir de référence pour l'évaluation des performances actuelles d'une installation existante ou d'un projet de nouvelle installation. Elles aideront ainsi à définir des conditions appropriées aux installations basées sur les MTD ou à établir des prescriptions contraignantes générales conformément à l'article 9, paragraphe 8. Il est prévu que les nouvelles installations peuvent être conçues de manière à obtenir des performances d'un niveau supérieur ou égal aux niveaux associés aux MTD présentées dans ce document. Il est également admis que les installations existantes pourraient parvenir aux niveaux généraux liés à l'utilisation des MTD, voire les dépasser, selon les possibilités techniques et économiques d'application des techniques dans chacun des cas considérés.

Bien que les documents de référence sur les MTD ne fixent pas de normes juridiquement contraignantes, ils sont destinés à fournir des orientations à l'usage de l'industrie, des États membres et du public en ce qui concerne les niveaux de consommation et d'émission pouvant être atteints au moyen de techniques particulières. Les valeurs limites appropriées aux éventuels cas particuliers devront être déterminées compte tenu des objectifs de la directive IPPC et des considérations locales.

Identification de l'utilisation horizontale des MTD

L'approche horizontale de la gestion et du traitement des eaux usées et des effluents gazeux dans l'ensemble de l'industrie chimique est fondée sur le principe que les solutions relatives à la prévention ou au contrôle des émissions peuvent être évaluées de façon indépendante des procédés de production particuliers et qu'il est alors possible d'identifier des MTD qui englobent les mesures les plus efficaces et adéquates permettant d'atteindre un haut niveau de protection général de l'environnement contre les émissions mentionnées précédemment. Ce BREF étant horizontal, les MTD doivent être déterminées de façon plus vaste que pour un BREF vertical, et ce afin d'englober plus que simplement la technologie.

Les MTD de ce document incluent à la fois :

- la méthodologie permettant d'empêcher le rejet d'eaux usées et d'effluents gazeux, d'identifier les besoins en matière d'amélioration des émissions et de les mettre en œuvre, et de trouver la meilleure solution pour traiter et collecter les eaux usées et les effluents gazeux (gestion des effluents) ;
- l'identification des meilleures technologies de traitement et les plus appropriées (au sens de l'article 2, paragraphe 11).

Ainsi, ce chapitre contient :

- une partie générique décrivant une MTD générale pour la méthodologie de management de l'environnement ;
- une partie spécifique décrivant des MTD pour les méthodologies de gestion des eaux usées et des effluents gazeux spécifiques, ainsi que le raisonnement conduisant aux décisions concernant les techniques de traitement des eaux usées et des effluents gazeux.

L'industrie chimique

L'industrie chimique englobe des entreprises très diverses : cela va des petites entreprises qui appliquent un procédé unique, fabriquent quelques produits et qui comptent une ou quelques sources

de rejet d'eaux usées et d'effluent gazeux, aux grandes entreprises à production diversifiée, qui engendrent des flux d'eaux usées et d'effluent gazeux nombreux et complexes. Bien que deux sites chimiques ne soient jamais tout à fait comparables sur le plan de la gamme de production, de la variété des produits fabriqués, de la situation sur le plan de l'environnement, de la quantité et de la qualité des émissions, il est possible de décrire des MTD pour le traitement des eaux usées et des effluents gazeux applicables à l'industrie chimique dans son ensemble.

Mise en œuvre des MTD

La mise en œuvre de MTD dans de nouvelles usines ne pose généralement pas de problèmes. Dans la plupart des cas, il est économiquement intéressant de planifier les procédés de production et les rejets d'eaux usées et d'effluents gazeux qu'ils occasionnent afin de réduire les émissions et la consommation de matière. Toutefois, pour les sites existants, la mise en œuvre des MTD n'est généralement pas une tâche aisée, du fait des infrastructures existantes et des circonstances locales (voir section 3.2.2). Le présent document ne fait cependant pas de distinction entre les MTD destinées aux installations nouvelles et aux installations anciennes. Une telle distinction ne permettrait pas d'améliorer la situation des sites industriels sur le plan de l'environnement en incitant les exploitants à adopter les MTD, et elle ne reflèterait pas l'engagement pris par l'industrie chimique pour améliorer l'état de l'environnement de manière continue.

D'un autre côté, il n'est évidemment pas possible ni viable de mettre en œuvre simultanément toutes les techniques identifiées comme MTD. Ce qu'il est cependant possible de faire, c'est d'intégrer les MTD dans les installations existantes lorsque des modifications majeures sont programmées ou de mettre en œuvre des MTD ayant une influence sur l'ensemble du site dans un programme de construction progressif tout au long d'une période. De tels programmes incitent les exploitants et les autorités de réglementation à trouver un accord définissant les priorités et le planning de mise en œuvre des modifications requises.

Par exemple, les programmes définissant les priorités pour un site existant pourraient prendre en compte :

- la qualité actuelle des milieux récepteurs ;
- le degré de l'impact local actuel ;
- l'efficacité des mesures en ce qui concerne la réduction globale des polluants en lien avec le coût et le risque.

4.2 MTD générales

MTD pour la management environnemental général

Le management environnemental doit :

- définir des objectifs environnementaux pour les activités des exploitants ;
- garantir un fonctionnement optimal sur le plan environnemental et des activités dont les performances s'améliorent de manière continue ;
- contrôler la conformité aux objectifs environnementaux.

Les outils de management décrits à la section 2.2 doivent être pris en compte dans la détermination des MTD et devraient constituer des conditions ou des exigences à satisfaire pour l'octroi d'une autorisation. Ces outils ne sont pas limités au traitement des eaux usées et des effluents gazeux, mais sont un prérequis aux meilleures performances, comme prévu dans la directive. Les MTD pour le management environnemental général telle que décrite ci-dessous suivent les mêmes principes quelle que soit la taille de l'entreprise. Contrairement aux grandes entreprises, le management environnemental général est moins complexe pour les petites et moyennes entreprises (PME).

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- mettre en œuvre et adhérer à un système de management environnemental (SME) ou SSE, décrit en détail à la section 2.1 (tel que ISO 9001 / 14001, EMAS, Responsible Care[®], Charte pour le développement durable de la CCI, lignes directrices du CEFIC pour la protection de l'environnement). Un SME doit comprendre les éléments suivants :

- une hiérarchisation transparente des responsabilités de chacun concernant le SME , en particulier pour le rejet des effluents, les personnes chargées de faire directement rapport à la direction ;
- la préparation et la publication d'un rapport environnemental annuel (par exemple comme faisant partie des normes EMAS ou ISO 9001 / 14001) afin que les améliorations en matière de performances soient accessibles au public, et qui peut également servir à l'échange d'informations comme prévu à l'article 16, paragraphe 2, de la directive ;
- la définition de cibles internes en matière d'environnement (pour le site ou spécifiques à l'entreprise), régulièrement révisés (voir la section 2.2.2.2) et publiés dans le rapport annuel ;
- la réalisation d'audits réguliers afin de garantir la conformité aux principes du SME ;
- le suivi régulier des performances et des progrès dans la réalisation de la politique du SME;
- l'évaluation régulière des risques afin de déterminer des dangers potentiels (voir la section 2.2.3.1).
- l'évaluation comparative des performances et un contrôle permanent des procédés (production et traitement des eaux usées et des effluents gazeux) afin de diminuer la consommation d'eau et d'énergie, la production de déchets et les effets des impacts croisés (voir la section 2.2.3.2) ;
- la mise en œuvre d'un programme de formation adapté à l'intention du personnel et d'instructions pour les prestataires travaillant sur le site relatives à la santé, la sécurité, et l'environnement et les situations d'urgence (voir la section 2.2.4.2) ;
- l'application de bonnes pratiques de maintenance afin de garantir le fonctionnement correct des appareils.

MTD pour la gestion des eaux usées et des effluents gazeux

La gestion des eaux usées et des effluents gazeux doit adapter le rejet de ces effluents produits sur un site industriel aux exigences légales et d'autorisation, aux conditions locales en matière d'environnement et d'hygiène et à l'amélioration continue des conditions environnementales, également mise en œuvre dans le cadre du programme Responsible Care du CEFIC. Cette gestion vise à détecter et évalue les solutions pour prévenir ou de réduire les émissions et leur impact sur l'environnement. Les considérations et les décisions relatives à la gestion des eaux usées et des effluents gazeux aboutissent à l'identification et la mise en œuvre :

- de réduction éventuelle des émissions au cours de la production ;
- de moyens d'éviter la contamination des effluents non pollués ;
- de systèmes de collecte des effluents les plus appropriés ;
- de systèmes de contrôle des émissions les plus appropriés ;
- de systèmes de suivi de la conformité aux objectifs établis ou à la réglementation en vigueur.

Là aussi, comme dans le cas de la management environnemental général, les MTD pour la gestion des eaux usées et des effluents gazeux suivent les mêmes principes quelle que soit la taille de l'entreprise. Alors que la gestion des eaux usées et des effluents gazeux est une tâche relativement simple pour les entreprises qui comptent une ou quelques lignes de production et sources de pollution, elle est généralement très complexe lorsqu'elle concerne les grandes entreprises à production diversifiée (voir la section 2.1, figure 2.3).

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- mettre en œuvre un système de gestion des eaux usées et des effluents gazeux ou une évaluation du rejet de ces effluents au niveau de l'ensemble du site chimique (voir la section 2.1 et la figure 2.2), et comprenant une combinaison appropriée des mesures suivantes :

- l'utilisation d'un inventaire des sites et des effluents ou d'un registre. Ces inventaires fournissent les informations nécessaires aux étapes d'évaluation suivantes (voir les sections 2.2.1.1 et 2.2.1.2) ;
- la recherche systématique des flux internes grâce à l'application de l'AFEM (voir la section 2.2.1.3) en fonction de la complexité du système des eaux usées et des effluents gazeux afin de tirer les conclusions nécessaires à des fins d'optimisation ; pour les sites ayant une seule ou quelques sources d'émission, l'application de l'AFEM peut être caduque ou très simple ;
- le contrôle et l'identification des sources d'émission les plus importantes pour chaque milieu et l'établissement de la liste en fonction de leur charge de polluants. Le classement qui en résulte sert de base à un programme d'amélioration visant à donner la priorité aux sources d'émission qui présentent la réduction potentielle la plus efficace ;
- le contrôle des milieux récepteurs (air et eau) et de leur tolérance aux émissions, les résultats servant à déterminer à partir de quel moment des traitements plus importants sont nécessaires ou si les émissions peuvent être acceptées ;
- l'évaluation de la toxicité et, suivant les méthodes disponibles, de la persistance et de la bioaccumulation potentielle des eaux usées devant être rejetées dans un milieu récepteur (voir la section 2.2.1.2.1) afin d'identifier les risques potentiels pour l'écosystème, et de communiquer les résultats aux autorités compétentes ;
- le contrôle et l'identification des procédés consommant de l'eau et l'établissement d'une liste en fonction de l'utilisation qui en est faite. Le classement qui en résulte sert de base à l'amélioration de la consommation d'eau ;
- la recherche de solutions à des fins d'amélioration (par exemple, les solutions pour prévenir ou réduire la production d'effluents, l'amélioration de la collecte des effluents, et le contrôle et/ou les solutions de mesures intégrées aux procédés) notamment en ce qui concerne les flux présentant des concentrations et des charges élevées, leurs risques potentiels et leurs incidences sur le milieu récepteur (voir la section 2.1 et la figure 2.2) ;

Divergences de vue

Un État membre estime que les explications relatives aux MTD concernant la gestion des eaux usées et des effluents gazeux sont souvent trop générales et cite en exemple les flux présentant des concentrations et des charges élevées (section 2.2.2.3.1).

- l'évaluation des solutions les plus efficaces en comparant les rendements d'épuration globaux, l'équilibre global des impacts croisés, la faisabilité technique, organisationnelle et économique, etc. (voir la section 2.1).

L'évaluation du rejet des eaux usées et des effluents gazeux sert de base à toutes les décisions relatives à la séparation des flux, aux stratégies de réduction, aux améliorations des procédés (voir les BREF verticaux sur l'industrie chimique et les secteurs associés concernant les technologies de procédés et les matières brutes propres, les améliorations des équipements, le contrôle des fuites, etc.) et aux techniques de contrôle. Un exemple provenant d'Allemagne de gestion efficace des eaux usées qui respecte la stratégie exposée concernant les sites chimiques générant des charges organiques à partir de la production de produits chimiques organiques a comme objectif raisonnable une épuration globale de la DCO d'au moins 90 %, prétraitement inclus. Les MTD pour les mesures à adopter en fonction des résultats de l'évaluation du rejet des eaux usées et des effluents gazeux sont traitées à la section 4.3.

- évaluer les impacts sur l'environnement et les incidences sur les installations de traitement lors de la planification de nouvelles activités ou de la modification d'activités existantes, lors de la comparaison entre la situation environnementale à venir et celle existante et lors de la prévision de modifications importantes éventuelles ;

- réduire les émissions à la source grâce à la séparation des flux, à l'installation de systèmes de collecte appropriés et à des mesures de construction (voir la section 4.3) ;
- mettre en rapport les données de production avec les données concernant les volumes de pollution, de manière à comparer les rejets réels et les rejets estimés. Si les données obtenues ne concordent pas, les procédés responsables des rejets inattendus doivent être identifiés ;
- traiter de préférence les flux résiduels à la source plutôt que de les disperser et de les soumettre à un traitement ultérieur central, sauf si de bonnes raisons s'y opposent. La plupart des techniques de traitement fonctionnent mieux lorsque la teneur en polluants est élevée. Il est également économique de traiter des flux secondaires relativement petits avec des unités de traitement petites et très efficaces plutôt que d'avoir de grandes installations centrales avec une charge hydraulique élevée ;
- appliquer des méthodes de contrôle de la qualité (voir la section 2.2.2.6) pour évaluer les procédés de traitement et/ou de production et/ou empêcher qu'ils ne soient plus maîtrisés ;
- appliquer les bonnes pratiques de fabrication (BPF) lors du nettoyage des équipements afin de réduire les émissions dans l'eau et l'air ;
- mettre en place des installations et des procédures afin de détecter rapidement des anomalies susceptibles de se répercuter sur les unités de traitement en aval et d'éviter un dysfonctionnement de l'unité, d'identifier la source du dysfonctionnement et en éliminer la cause ; pendant ce temps, les eaux usées produites peuvent être déviées dans des bassins de rétention et les effluents gazeux vers des dispositifs de sécurité appropriés, par exemple une torchère ;
- installer un système d'alarme centralisé efficace qui signalera les anomalies et les dysfonctionnements à tous les niveaux concernés ; lorsque l'accident est susceptible d'avoir un impact significatif sur l'environnement et/ou les alentours du site, les autorités compétentes doivent en être informées ;
- mettre en place un programme de surveillance dans toutes les unités de traitement afin de vérifier qu'elles fonctionnent correctement, de détecter les anomalies ou les dysfonctionnements pouvant se répercuter sur les milieux récepteurs, et fournir des informations sur les émissions réelles de polluants ;
- la mise en place d'un programme de surveillance permettant de détecter les émissions est requise par l'article 9, paragraphe 5 de la directive, les informations obtenues servant à informer le public, conformément à l'article 15, paragraphe 2, de la directive. Ce programme doit surveiller les polluants et/ou les paramètres de substitution adaptés à l'unité de traitement. La fréquence des mesures est fonction du risque engendré par les polluants en question, du risque de dysfonctionnement de l'unité de traitement et de la fluctuation des émissions ;
- mettre en place des stratégies de traitement des eaux d'incendie et des eaux provenant de déversements accidentels (voir la section 2.2.4.1) ;
- mettre en place un plan d'urgence en cas de pollution involontaire afin de réagir le plus efficacement et le plus rapidement possible en cas d'accident ou de dysfonctionnement (voir la section 2.2.4.2) ;
- allouer les coûts de traitement liés à la production ;

4.3 MTD spécifiques

Les bases de la méthodologie de la gestion ayant été posées, l'étape suivante vers la prévention et la réduction intégrées de la pollution consiste en la mise en place de mesures techniques.

4.3.1 Eaux usées

Cette section traite de la détermination des MTD pour le traitement des eaux usées sur un site chimique, y compris des techniques de prévention et de réduction nécessaires en complément des techniques de réduction (en aval).

MTD pour les mesures intégrées aux procédés

Comme nous l'avons déjà mentionné dans les sections 1.3.1 et 3.3.1, la méthode intégrant les mesures aux procédés est privilégiée pour prévenir ou réduire la quantité d'eaux usées et la contamination. Toutefois, ces mesures sont en générale spécifiques à la production ou au procédé, et la possibilité de

leur application requiert une évaluation particulière qui dépend du cadre des BREF verticaux relatifs à l'industrie chimique et aux secteurs associés. Les conclusions énoncées dans le présent document sur les MTD concernant les mesures intégrées aux procédés font référence au besoin général de mettre en œuvre ces mesures au sein d'une ligne de production et ne prennent en compte que les mesures des procédés tels que le lavage, le nettoyage des produits et des équipements, la production du vide et le refroidissement, procédés courants communs à la plupart des lignes de production.

Les MTD sont une combinaison appropriée des mesures suivantes :

- préférer, dans la mesure du possible, les mesures intégrées aux procédés, les mesures de récupération des eaux usées ou des polluants aux techniques de traitement en aval ;
- examiner les possibilités d'introduire après coup, dans les installations de production existantes, des mesures intégrées aux procédés, et appliquer ces mesures lorsque cela est possible ou au plus tard lorsque l'installation subit d'importantes modifications ;
- recycler les eaux industrielles lorsque cela est possible, pour des raisons économiques et de qualité, avec un nombre maximal de recyclage avant rejet (voir la section 3.3.1.2) ;
- optimiser les procédés de nettoyage des produits en évitant si possible les systèmes en circuit ouvert lorsqu'il n'y a pas d'opposition en terme de qualité (voir la section 3.3.1.1) ;
- éviter autant que possible l'utilisation de systèmes de refroidissement par contact direct (voir la section 3.3.1.3) ;
- utiliser des systèmes de production de vide en circuit fermé au lieu de pompes à eau ou à diffusion lorsque les considérations de sécurité ou de corrosion mentionnées à la section 3.3.1.4 le permettent ;
- évaluer la possibilité de remplacer les procédés de traitement des effluents gazeux à base d'eau par d'autres mesures (voir la section 3.3.1.5). Les techniques de traitement des effluents gazeux qui consomment de grandes quantités d'eau (pour le lavage ou le refroidissement, par exemple) revêtent une importance particulière dans les régions où l'eau est rare. Ces mesures, qui peuvent être capitales dans de telles régions, peuvent être par exemple :
 - l'élimination des matières solides au moyen de techniques par voie sèche au lieu de techniques de lavage humide ;
 - la réduction de SO_x dans les gaz de combustion grâce à des mesures secondaires au lieu de l'utilisation de systèmes de lavage humide.

MTD pour la collecte des eaux usées

La réduction et le traitement des eaux usées nécessitent de disposer d'un bon système de collecte des eaux usées. Un tel système dirige les eaux résiduelles vers le dispositif de traitement approprié et empêche que les eaux polluées se mélangent aux eaux non polluées.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- séparer les eaux industrielles des eaux pluviales non polluées et des autres rejets d'eaux non polluées. Ceci permet de réduire la quantité d'eau à traiter et la charge hydraulique dirigée vers les unités de traitement. Le coût et les performances des dispositifs de traitement s'en trouvent améliorés. Si cette technique n'est pas appliquée sur les sites existants, elle peut être introduite, tout au moins en partie, lorsque les sites subissent de profondes modifications.
- séparer les eaux industrielles en fonction de leur teneur en polluants : organiques, inorganiques avec ou sans charge organique significative, ou teneur en polluants non significative. Ceci permet de garantir qu'une unité de traitement ne reçoit que les polluants qu'elle peut traiter.
- recouvrir autant que possible les zones de contamination potentielle par déversement ou fuite, par exemple. Cela permet d'éviter que les eaux de pluie ne se mélangent avec les polluants sur ces zones et ne viennent augmenter la quantité d'eaux usées à traiter.
- installer un dispositif de drainage séparé pour les zones présentant un risque de contamination et un puisard afin de récupérer les pertes dues aux fuites ou aux déversements accidentels (voir la section 3.3.4.4). Cela permet d'éviter le rejet d'eaux pluviales contaminées par des pertes de produits. L'eau de pluie capturée à part est rejetée après un contrôle approprié soit directement dans le dispositif

de drainage si elle n'est pas polluée, soit dans les unités de traitement adéquates en fonction des résultats du contrôle.

- utiliser des collecteurs à l'air libre pour recueillir les eaux industrielles à l'intérieur du site, entre les points de production des eaux usées et le(s) dispositif(s) de traitement final. Si des collecteurs ne peuvent pas être installés en raison des conditions climatiques (températures nettement inférieures à 0° C), l'installation de conduites souterraines accessibles offre une bonne solution de remplacement. Ces deux systèmes permettent facilement et avec un coût faible de détecter des fuites, d'effectuer les travaux de maintenance et des solutions pour introduire de nouveaux équipements dans les installations existantes. De nombreux sites chimiques sont équipés de collecteurs enterrés. L'installation de nouveaux systèmes de collecte n'est financièrement pas viable dans ces cas, mais des travaux peuvent être effectués progressivement, au moment où l'on prévoit d'apporter des modifications importantes aux unités de production ou au réseau de collecte.

- installer, selon les résultats de l'évaluation des risques, des bassins de rétention en cas de problèmes de défaillance et pour les eaux d'incendie, en choisissant au moins une des solutions suivantes :

- un bassin de rétention décentralisé pour les problèmes de défaillance détectés, si possible à proximité des unités de production et suffisamment large pour empêcher le rejet de substances dans le collecteur au cours de l'arrêt maîtrisé du procédé.

- un bassin de rétention central pour collecter les eaux usées produites lors d'un dysfonctionnement et qui ont déjà pénétré dans le système de collecte, au lieu de les diriger vers la station d'épuration centrale (voir la section 3.3.3). Bien que plusieurs types de système de rétention actuellement utilisés puissent être considérés comme MTD, les systèmes les plus sûrs sont ceux où le réservoir est rempli uniquement en cas de dysfonctionnement (voir figure 3.2) ou qui possèdent deux réservoirs remplis par alternance (voir figure 3.1)

- un bassin de rétention pour les eaux d'incendie, soit utilisé de manière isolée, soit conjointement aux bassins locaux. L'expérience montre que les eaux d'incendie peuvent représenter plusieurs milliers de mètres cubes (environ 15 000 m³ d'eau très polluée, par exemple). La capacité de rétention doit être suffisante pour faire face à un tel volume et protéger les systèmes de drainage des eaux usées et de surface.

- un système de drainage pour les substances dangereuses et inflammables, notamment pour les évacuer de la zone d'incendie.

Waste water partial stream	Flux partiel d'eaux usées
Relevant organic ?	Eaux usées Organiques ?
Heavy metals	Métaux lourds ?
Inorganic salt load too high ?	Charge en sel inorganique trop élevée ?
BAT for heavy metal treatment	MTD pour le traitement des métaux lourds
BAT for salt (chloride, sulphate) treatment (option)	MTD pour le traitement (option) des sels (chlorure, sulfate)
Refractory or toxic organic?	Organique toxique ou réfractaire ?
Recovery feasible ?	Récupération possible ?
<u>BAT abatment techniques</u> Chem.reactions (oxidation, reduction, hydrolysis, air oxidation) incineration	<u>MTD pour les techniques destructives :</u> Réactions chimiques (oxydation, réduction, hydrolyse, oxydation à l'air), incinération
<u>BAT recovery techniques</u> NF/RO Adsorption Extraction / Distillation Evaporation Stripping / gas treatment	<u>MTD pour les techniques récupératives :</u> NF / OI Adsorption Extraction / Distillation Évaporation Stripping / traitement des gaz
Need for biological treatment ?	Besoin d'un traitement biologique ?
BAT for central biological treatment	MTD pour le traitement biologique central
Balancing tank	Bassin de régulation
DISCHARGE	REJET
Need for further biological treatment ?	Besoin d'un traitement biologique supplémentaire ?
BAT for decentral biological treatment	MTD pour le traitement biologique décentralisé
Y	O
N	N

 **Figure 4.1 : algorithme décisionnel pour le traitement des eaux usées sur un site chimique : base pour les conclusions concernant les MTD**

MTD pour le traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées dans le secteur chimique peut se faire d'au moins quatre manières :

- traitement central final dans une station d'épuration biologique installée sur le site ;
- traitement central final dans une station d'épuration municipale ;
- traitement central final d'eaux usées inorganiques dans une station d'épuration chimico-mécanique ;
- traitement(s) décentralisé(s).

Aucun de ces quatre traitements n'est préférable aux autres. Ces quatre stratégies sont considérées comme conformes aux MTD si elles sont appliquées correctement à la situation réelle en matière d'eaux usées. Si ce n'est pas le cas, aucune d'entre elles n'est conforme aux MTD.

Les conclusions relatives aux MTD suivent le parcours des polluants à maîtriser (voir figure 4.1). À ce stade, on part du principe que les décisions appropriées concernant la gestion des effluents ont été prises, que les incidences sur les eaux réceptrices ont été évaluées, que toutes les solutions pratiques de prévention et de réduction des eaux usées ont été exploitées, et que toutes les mesures de sécurité ont été prises en compte, c'est-à-dire qu'à partir de maintenant, seules les solutions de traitement en aval sont envisagées.

Il faut mentionner que les problèmes spécifiques à une région peuvent nécessiter des techniques de traitement développées spécialement pour le site concerné ou bien rendre inefficaces les techniques couramment utilisées pour ce type de cas. L'approche suivante aboutissant à des conclusions concernant les MTD pour le traitement des eaux usées donne des conseils pour définir et mettre en place la technique appropriée, ainsi que pour gérer ces particularités du traitement des eaux usées. Cette approche suit un processus décisionnel afin d'arriver à des conclusions concernant les MTD pour un traitement adéquat des eaux usées d'un site chimique (voir figure Figure 4.1).

Général


Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- diriger les flux d'eaux usées polluées en fonction de leur charge de polluants. Les eaux usées inorganiques sans composés organiques sont séparées des eaux usées organiques et dirigées vers des unités de traitement spécifiques (voir les sections sur les métaux lourds et les sels inorganiques dans ce chapitre). Les eaux usées organiques comportant des composés inorganiques et réfractaires, ou des composés organiques et toxiques en proportion non négligeable sont dirigées vers un dispositif de prétraitement (voir les sections sur les métaux lourds, les sels inorganiques et les polluants qui ne peuvent être traités biologiquement dans ce chapitre).

Eaux de pluie

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- diriger les eaux de pluie non polluée directement vers une eau réceptrice, en contournant le système d'assainissement des eaux usées ;
- traiter l'eau de pluie provenant des zones polluées au moyen des techniques décrites dans les sections 3.3.4.1.1, 3.3.4.4.1 et 3.4.4.2, (voir également le tableau 4.1), avant de la déverser dans une eau réceptrice.

Il peut être intéressant dans certains cas d'utiliser de l'eau de pluie comme eau de procédé afin de diminuer la consommation d'eau  ce.

Les techniques répertoriées dans le tableau 4.1 sont conformes aux MTD lorsqu'elles sont appliquées de façon adéquate. Le tableau répertorie les limites des différentes techniques.

	Dessableur			Bassin de rétention/bassin de décantation (voir tableau 4.3)	Filtres à sable
	Couloir	Circulaire	Aéré		
But	Extraction des sables uniquement Protection du procédé de traitement Protection des équipements contre l'abrasion			Clarification et épuration des eaux pluviales et retenue de la charge hydraulique provenant de fortes précipitations afin de protéger les eaux de surface réceptrices (bassin de rétention) Clarification des eaux pluviales avant rejet ou réutilisation (bassin de décantation)	Traitement du ruissellement des eaux pluviales depuis des surfaces légèrement polluées, à rejeter ou à réutiliser
Application	Dans la station d'épuration, pour les eaux pluviales traitées dans la station d'épuration (eaux de pluie provenant de surfaces très polluées) Débit de 0,3 m/s. Seuls le sable et les matières grossières sont donc séparés			Extraction des matières en suspension provenant des surfaces faiblement polluées	Extraction des matières en suspension
Limites d'application	Ne convient pas pour des flux d'eaux usées à forte variation	Ne convient pas pour des flux d'eaux usées à forte variation	Convient pour des flux d'eaux usées à variation modérée	Ne convient pas pour les eaux pluviales provenant de surfaces fortement polluées Ne convient pas pour des régions connaissant de longues périodes de sécheresse et/ou des températures élevées, car un temps de séjour élevé associé à une chaleur excessive est générateur d'odeurs	Ne convient pas pour les eaux pluviales provenant de surfaces fortement polluées
Consommables	Énergie	Air	Air		Énergie pour les

	pour les pompes	comprimé Énergie pour les pompes et le jet d'air	comprimé Énergie pour les pompes et le jet d'air		pompes Occasionnellement, remplacement du milieu filtrant
Impacts croisés	Émission de bruit Émission d'odeurs Sable à évacuer		Bassin de rétention : Évacuation des boues Selon le temps de séjour de l'eau, émission possible d'odeurs		Évacuation des boues de rinçage
Encombrement	Relativement faible Fait partie de la station d'épuration		Grande surface nécessaire		Faible encombrement
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)			Bassin de rétention : MES 50-90		MES 80-83
Introduction aux installations existantes	Introduction facile si non encore existant		Introduction possible selon la place disponible		Introduction facile

Tableau 4.1 : techniques de traitement des eaux pluviales telles que décrites au chapitre 3

le /hydrocarbures

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- extraction de l'huile et des hydrocarbures lorsqu'ils forment des masses importantes de matière ou lorsqu'ils ne peuvent pas être traités avec d'autres systèmes, de manière à optimiser la récupération. Il convient à cette fin de combiner de manière appropriée les techniques suivantes :

- séparation huile/eau par cyclone, MF ou séparateur API, lorsque l'on soupçonne la présence de masses importantes d'huile ou d'hydrocarbures. Le SPP et le SPO constituent sinon de bonnes solutions de rechange (voir section 3.3.4.1.6) ;
- MF, filtration sur matériaux granuleux ou aéroflottation (voir les sections 3.3.4.1.5, 3.3.4.1.4 et 3.3.4.1.3 respectivement) ;
- traitement biologique (voir la section sur les substances biodégradables), que ce soit dans une station d'épuration biologique centrale, une station d'épuration municipale ou dans une unité de traitement spécifique à ce type de flux d'eaux usées.

Les niveaux d'émission associés aux MTD concernant l'élimination de l'huile et des hydrocarbures sont indiqués dans le tableau 4.2.

Paramètre	Concentration ^{a 1} [mg/l]
teneur totale en hydrocarbures ^b	0,05-1,5
DBO ₅	2-20
DCO	30-125
^a moyenne mensuelle ^b les méthodes analytiques d'évaluation des hydrocarbures font l'objet de désaccords qui n'ont pas pu être résolus par le TWG. ¹ tirée du BREF (draft) sur les raffineries, octobre 2001	

Tableau 4.2 : niveaux d'émission associés aux MTD concernant l'huile et les hydrocarbures déversés dans les eaux réceptrices

Émulsions

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- diviser les émulsions à la source et récupérer les constituants ainsi séparés. L'ajout de produits coagulants et/ou floculants peut être nécessaire pour la séparation ; le traitement à la source permet de récupérer les constituants et d'éviter les effets néfastes sur les systèmes d'assainissement en aval.
- éliminer les émulsions à la source lorsqu'elles ne peuvent pas être divisées et qu'elles risquent d'avoir des effets néfastes sur les unités situées en aval. Les techniques de traitement appropriées sont : l'oxydation à l'air, l'évaporation, l'incinération (lorsque la valeur calorifique de l'émulsion autorise un processus autothermique) ou la dégradation biologique. Il est généralement interdit de déverser les émulsions dans le réseau d'assainissement public.

Matières en suspension (MES)

Les mesures d'élimination des MES décrites dans cette section ne concernent pas les boues activées ni les composés de métaux lourds. Ceux-ci sont traités dans d'autres sections.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- éliminer les MES des flux d'eaux usées lorsqu'elles peuvent endommager ou causer des défaillances aux installations en aval. Les dégâts possibles sont l'abrasion et le colmatage des pompes et des canalisations, ou le colmatage et l'obturation des dispositifs de traitement. Les dispositifs de traitement en aval risquant d'être endommagés sont notamment les filtres, les colonnes d'adsorption, les filtres à membrane, les cuves d'oxydation par irradiation UV ou les stations d'épuration centrale et municipale. Ces techniques sont répertoriées dans le tableau 4.3. L'ordre des techniques de traitement est le suivant :

- 1^{ère} étape : décantation/aérofloitation pour retenir la plupart des MES et pour protéger les systèmes de filtration d'un éventuel colmatage ou d'une fréquence élevée de lavage à contre-courant. La décantation ou l'aérofloitation suffit généralement à prévenir de l'abrasion et du colmatage des pompes et des canalisations (à condition que les émulsions et les matières inséparables aient été traitées avec succès) ;
- 2^{ème} étape : la filtration mécanique, si la teneur en solides n'a pas été suffisamment réduite, afin d'éviter le colmatage des dispositifs de traitement tels que les systèmes de filtration à membrane, d'adsorption et d'oxydation chimique par irradiation UV ;
- 3^{ème} étape : la microfiltration ou l'ultrafiltration, si le flux d'eaux usées ne doit pas contenir de matières solides pour éviter le colmatage des dispositifs NF ou OI, ou s'il ne doit pas contenir d'autres particules ne pouvant être éliminées par d'autres techniques de filtration ;
- extraire les MES des flux d'eaux usées avant de les déverser dans une eau réceptrice. Tant que les MES ne contiennent pas de substances dangereuses, les techniques couramment employées sont :
 - la décantation / l'aérofloitation ;
 - la filtration, seulement si les techniques précédentes n'ont pas permis d'obtenir une séparation suffisante des MES ;
- éliminer les MES des flux d'eaux usées au moyen de techniques récupératives plutôt que de techniques destructives lorsque cela est possible et lorsque la réutilisation des solides est viable ;
- ajouter des produits coagulants et/ou floculants lorsque la matière est finement dispersée ou qu'elle ne peut pas être séparée autrement afin de produire des floes suffisamment volumineux pour décanter ;
- recouvrir ou fermer le dispositif de traitement pour maîtriser les odeurs et/ou le bruit, acheminer l'air extrait vers une unité d'épuration de gaz si nécessaire et mettre en place les dispositifs de sécurité nécessaires lorsqu'il existe un risque d'explosion d'un dispositif ainsi fermé ;
- éliminer les boues, soit en les confiant à un prestataire agréé, soit en les traitant sur le site (voir la section sur le traitement des boues).

Les techniques conformes aux MTD, selon leur application, sont décrites dans les sections 3.3.4.1.2 à 3.3.4.1.5 et répertoriées dans le tableau Table 4.3.

Métaux lourds

Les métaux lourds étant des éléments chimiques ne pouvant être détruits, la récupération et la réutilisation sont les seuls moyens d'empêcher leur rejet dans l'environnement. Les autres méthodes conduisent à les transférer entre les différents milieux : eaux usées, air pollué, décharge. Les flux d'eaux usées dont la teneur en métaux lourds est importante proviennent de procédés de production dans lesquels des composés de métaux lourds sont produits ou utilisés (comme catalyseur par exemple) ou du nettoyage des équipements utilisés dans ce type de production.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- séparer autant que possible les eaux usées contenant des composés de métaux lourds ;
- traiter à la source les flux d'eaux usées séparés avant de les mélanger à d'autres flux ;
- préférer des techniques récupératives. Les techniques qui peuvent être appliquées à cette fin sont répertoriées dans le tableau 4.4 ;
- faciliter l'élimination des métaux lourds par un post-traitement final dans une station d'épuration (traitement chimico-mécanique pour les productions inorganiques, traitement biologique pour les productions organiques), suivi le cas échéant d'un traitement des boues.

Le TWG n'a pas pu déterminer de niveaux d'émission associés aux MTD relatifs aux métaux lourds dans les flux d'eaux usées secondaires pouvant être appliqués à l'ensemble de l'industrie chimique pour les raisons expliquées à la section 3.3.4.2.1. Les niveaux d'émission qui résultent de l'application des MTD mentionnées ci-dessus dépendent du procédé de production qui génère les métaux lourds.

	Décantation	Aérofloitation	Filtration	MF/UF
But	Élimination des matières en suspension présentes dans les eaux pluviales Élimination des matières en suspension ou des floccs présents dans les eaux industrielles	Clarification des eaux industrielles lorsque la sédimentation ne peut pas être appliquée	Dernière étape de séparation après décantation ou aérofloitation pour atteindre un faible niveau d'émission de particules	Clarification des eaux usées jusqu'à élimination complète des matières solides pour protéger les dispositifs de traitement en aval (OI, par exemple)
Application	Séparation des matières solides des eaux usées En principe, récupération possible des MES	Séparation des matières non décantables, de l'huile et/ou des graisses Récupération possible des matières séparées	Séparation des matières solides des flux d'eaux usées Récupération des matières possible selon le type de filtre	Séparation de toutes les matières solides, des particules colloïdales, des bactéries, des virus Convient parfaitement à la récupération des matières
Limites d'application	Les particules doivent être décantables Pas de limites concernant la teneur en MES Pas d'émulsions stables	Pas de détergents moussants Pas de limites concernant la concentration de l'apport, mais pas d'huile émulsionnée	Matières solides fines ou finement dispersées pour éviter un colmatage dû à une forte charge de MES	Dispositifs à membrane vulnérables aux attaques chimiques L'alimentation en MES doit être faible à cause du risque de colmatage ou d'obturation
Consommables	Produits chimiques : 0,5-100 g/m ³ Énergie : 0,5-1,5 kW (diamètre du réservoir : 25-35 m)	Air comprimé : 0,53-0,55 m ³ /m ³ Floculant : 2,4-4,7 kg/tonne MES Énergie : 20,6 kWh/1 000 m ³	Adjuvants de filtration Chute de pression Énergie	Produits antitartre, antidépôt et de lavage à contre-courant Énergie liée au débit et à la chute de pression : 2-20 kWh/m ³ (MF) ¹ ; 1-10 kWh/m ³ (UF) ¹ Chute de pression : 0,02-0,5 MPa (MF) ; 0,2-1 MPa (UF)
Impacts croisés	Évacuation des boues Émission de bruit dû aux pompes et aux systèmes d'épuration des boues et de l'écume Émission	Évacuation des boues Émission de bruit dû aux pompes et au jet d'air Émission d'odeurs (COV, par exemple) si le réservoir n'est pas fermé plus importante que pour	Évacuation des boues après lavage à contre-courant Les filtres fermés peuvent nécessiter une connexion à des systèmes destructifs des effluents gazeux	Évacuation des résidus Émission de bruit dû aux pompes


	d'odeurs (COV, par exemple) si le réservoir n'est pas fermé	la décantation		
Encombrement	Selon la taille du dispositif (réservoir plat ou  nteur laminaire)	Inférieur à l'encombrement nécessaire pour la décantation		Agencement de modules Encombrement faible par rapport aux autres techniques
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	MES 60-90 Matières solides décantables 90-95	MES 85-98 Sulfures de métaux lourds : 95 Traitement plus stable si variation de l'alimentation	En fonction du milieu filtrant et des adjuvants de filtration MES 50-99,99	MES proche de 100
Niveaux d'émissions pouvant être atteints [mg/l]	MES <10	MES 10-20 Huile 2-10	MES <10 Huile <5	
Intégration dans les installations existantes	Selon la place disponible	Oui	Oui	Oui
¹ Il est étonnant de constater que la MF, le procédé présentant la plus faible chute de pression, consomme plus d'énergie que les procédés présentant une chute de pression élevée. Les raisons en sont la concentration, la polarisation et l'encrassement. Dans la MF, et dans une moindre mesure dans la UF, ce phénomène est très important et conduit à une diminution considérable du flux [cww/tm/161].				

Tableau 4.3 : techniques de traitement associées aux MTD pour les matières en suspension

Sels et/ou acides inorganiques (particules ioniques)

La teneur en sels et/ou en acides inorganiques des eaux usées peut avoir des incidences sur la biosphère d'un milieu récepteur (cours d'eau, en cas de surcharge en sel, par exemple), et sur le fonctionnement du système d'assainissement (corrosion des canalisations, des vannes et des pompes ou dysfonctionnement du traitement biologique en aval, par exemple). Les mesures de réduction utilisées dans cette section pour les sels inorganiques n'incluent pas les mesures concernant les sels de métaux lourds, dont il a été question à la section précédente, ni les sels d'ammonium, maîtrisés par d'autres méthodes.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- réduire de manière appropriée la teneur en sels et en acides inorganiques des flux d'eaux usées ayant une incidence négative sur la biosphère des eaux réceptrices, en empêchant leur rejet si nécessaire. Lorsqu'un traitement est nécessaire, il est économiquement plus intéressant de le réaliser à la source.
- réduire la teneur en sels inorganiques (chlorure et sulfate principalement) par un traitement à la source s'il y a un risque d'endommagement, de dysfonctionnement et/ou d'anomalies du système d'assainissement du site ou municipal.
- choisir une technique de traitement récupérative permettant la réutilisation des polluants traités lorsque cela est possible et pertinent, en tenant compte des impacts croisés et de l'impact des polluants.

Les techniques de traitement appropriées sont répertoriées dans le tableau 4.5, le choix dépendant de la situation considérée.

	Précipitation / décantation ou aéroflottation / filtration	Cristallisation	Échange d'ions	NF/OI
But	Transférer des composés de métaux lourds dissous dans des composés insolubles et les séparer du flux d'eaux usées	Croissance de composés de métaux lourds sur des matériaux granulaires dans un lit fluidisé	Remplacement des ions de métaux lourds pendant la phase aqueuse par des ions provenant d'une résine échangeuse d'ions	Séparation des ions de métaux lourds par perméation à travers une membrane Séparation de la plupart des autres polluants
Application	Élimination des métaux lourds des flux d'eaux usées, de préférence en cas de forte concentration Récupération possible en principe	Élimination des métaux lourds des flux d'eaux usées en créant des conditions adéquates pour la précipitation Le but est la récupération	Solutions contenant des ions de métaux lourds avec une concentration d'alimentation faible Récupération possible	Obtenir une très grande pureté afin de recycler et réutiliser l'eau Augmentation de la concentration des polluants pour un traitement ultérieur Récupération possible
Limites d'application	Éviter les agents formant un complexe Le réglage du pH est important Ne peut pas être appliqué si la concentration est inférieure à la solubilité du précipité		Éviter les forces ioniques élevées Température maximale d'environ 60 °C Les agents corrosifs endommagent la résine	Des concentrations trop élevées provoquent des pressions osmotiques trop élevées pour que cette technique fonctionne Faible résistance chimique et thermique
Consommables	Agents de précipitation Floculant/coagulant Énergie pour les pompes	Agents de cristallisation Énergie	Liquide de régénération Suppresseurs de salissures Énergie	Produits chimiques de nettoyage Énergie : 1-3 kWh/m ³ (NF); 1-3 kWh/m ³ (OI) Chute de pression : 0,5-3 MPa (NF) ; 2-100 MPa (OI)
Impacts croisés	Évacuation des boues Émission d'odeurs possible	Surdosage des agents de cristallisation risquant d'entraîner une charge en sels plus élevées En général, pas de production de boues ou d'effluents	La régénération engendre de fortes concentrations de solutions de métaux lourds (récupération ou évacuation)	Traitement supplémentaire nécessaire pour le concentré (échange d'ions, par exemple)


Encombrement		Comparable à celui nécessaire pour l'échange d'ions et la NF/OI	Comparable à la cristallisation et la NF/OI	Comparable à la cristallisation et à l'échange d'ion
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)			80-99	Hg inorganique >90 (NF) Hg organique >90 (NF) Composés de Cd >90 (NF) proche de 100 % avec OI
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/l]	Pour les métaux lourds, fortement dépendants du procédé de production dont ils proviennent	Zn 1 Ni 1	0,1-10	très faibles (proche de zéro) pour l'OI
Introduction aux installations existantes 	Oui		Relativement facile	
¹ Format compact d'une hauteur d'1 m, d'un diamètre d'1 m, conteneur, vannes et résine inclus				

Tableau 4.4 : techniques de traitement associées aux MTD pour les métaux lourds

	Évaporation	Échange d'ions	Osmose inverse	Élimination biologique des sulfates
But	Distillation de l'eau laissant au fond un concentré	Remplacement des cations par des ions H^+ et des anions par des ions OH^- , remplaçant ainsi les sels par de l'eau	Séparation des polluants de l'eau par perméation à travers une membrane	Réaction anaérobie du sulfate en soufre au moyen de sulfure
Application	Cristalliser les sels inorganiques et les séparer des eaux usées Concentrer également les autres substances non volatiles En principe, récupération des substances possible	Solutions contenant des sels et des métaux lourds Récupération possible	Obtenir une très grande pureté afin de recycler et réutiliser l'eau Augmentation de la concentration des polluants pour un traitement ultérieur ou pour récupération Récupération possible	Élimination du sulfate des eaux usées riches en sulfate Élimination possible des métaux lourds tels que les sulfures Récupération du soufre produit
Limites d'application	Éviter les substances produisant de la mousse	Éviter les forces ioniques élevées Température maximale d'environ 60 °C Les agents corrosifs peuvent endommager la résine	Des concentrations trop élevées provoquent des pressions osmotiques trop forte pour que cette technique fonctionne Faible résistance chimique et thermique	Réaction très lente, donc temps de séjour long Le rapport DCO/sulfate doit être au moins de 1:1
Consommables	Produits chimiques lorsqu'un prétraitement est nécessaire Vapeur 5-16 kg d'eau/kg de vapeur Énergie	Liquide de régénération Suppresseurs de salissures Énergie pour les pompes	Produits chimiques de nettoyage Énergie : 1-3 kWh/m ³ Chute de pression : 2-100 MPa	Produits chimiques (agent de neutralisation, substance d'apport de la DCO, floculant) Énergie
Impacts croisés	Le condensat peut nécessiter un traitement ultérieur Émission de bruit	La récupération engendre de fortes concentrations de sels éliminés (récupération par traitement des effluents aqueux ou élimination)	Traitement supplémentaire nécessaire pour le concentré, échange d'ions par exemple, pour permettre la récupération	Soufre à utiliser pour les procédés de production (acide sulfurique)


Encombrement	Relativement faible	Relativement faible	Relativement faible	
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	Élimination totale des sels	80-99	Proche de 100 %	Sulfate : 94 Zinc : 99.8 Cadmium : >99
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/l]		0,1-10	Très faibles (proche de zéro)	Sulfate : 75 Zinc : 0,05-0,15 Cadmium : <0,01
Introduction aux installations existantes		Relativement facile		
 Format compact d'une hauteur d'1 m, d'un diamètre d'1 m, conteneur, vannes et résine inclus				

Tableau 4.5 : techniques de traitement associées aux MTD pour les sels inorganiques (les métaux lourds ne sont pas inclus)

Polluants ne se prêtant pas à un traitement biologique

Outre les polluants traités dans les sections précédentes, il existe des flux d'eaux usées secondaires qui ne se prêtent pas à un traitement biologique du fait qu'ils contiennent :

- une DCO peu ou pas biodégradable ;
- des substances toxiques qui inhibent le procédé biologique ;

Il faut donc empêcher qu'ils soient rejetés dans une unité de traitement biologique. Il n'est pas possible de prévoir les polluants qui inhibent les procédés biologiques dans une station d'épuration parce que cela dépend de l'adaptation des micro-organismes opérant dans chaque unité à certains types de polluants. Cela ne fait aucune différence que les eaux usées soient acheminées vers une station d'épuration biologique centrale située sur le site chimique ou vers une station d'épuration municipale. Les conditions de prétraitement des polluants qui ne se prêtent pas à un traitement biologique sont dans les deux cas les mêmes.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- éviter l'introduction dans les unités de traitement biologique des composants d'eaux usées risquant de provoquer des dysfonctionnements ;
- traiter la fraction non biodégradable correspondante avec des techniques appropriées (voir la section 3.3.4.2 et le tableau 4.6) avant ou à la place d'un traitement biologique final. Le choix de la technique de traitement appropriée varie selon la situation réelle, la composition du flux d'eaux usées, la situation de la station d'épuration biologique (le cas échéant), l'adaptation des micro-organismes et les exigences des eaux réceptrices. Chaque cas est particulier au site.

Divergences de vue

Un État membre souhaite que l'on définisse plus précisément ce que l'on entend par « fraction non biodégradable correspondante » en fournissant des valeurs à titre indicatif pour le COT rémanent (voir section 3.3.4.2) des flux d'eaux usées.

- utiliser, lorsque cela est possible, des techniques récupératives, telles que (voir tableau 4.6) :
 - NF/OI
 - adsorption, en appliquant la technique la plus adéquate (pour plus de détails, voir la section 3.3.4.2.9)
 - extraction
 - distillation/rectification
 - évaporation
 - stripping
- éliminer à la source l'ammoniac des flux d'eaux usées en utilisant des techniques de stripping à l'air ou à la vapeur (voir section 3.3.4.2.14) ;
- utiliser des techniques sans utilisation de combustible supplémentaire, lorsque les autres techniques destructives permettent d'atteindre des résultats suffisants et que la récupération n'est pas possible. Si une station d'épuration biologique finale est utilisée, il est possible que cela suffise à diviser la charge organique réfractaire en substances biodégradables au moyen de techniques telles que (voir tableau 4.6) :
 - oxydation chimique (après avoir vérifié si les chlorures organiques sont produits lorsque des agents d'oxydation contenant du chlore sont utilisés) ;
 - réduction chimique ;
 - hydrolyse chimique.
- utiliser l'oxydation à l'air et l'incinération uniquement lorsqu'il n'y a pas d'autre possibilité pour réduire la toxicité ou les effets inhibiteurs, lorsque le procédé est auto-entretenu, ou lorsque c'est le seul moyen de satisfaire aux exigences en matière de rejet sans traitement biologique ;
- prendre en compte la consommation en eau pour les techniques suivantes :
 - extraction

- distillation/rectification
- évaporation
- stripping

Ces techniques sont très consommatrices en eau de refroidissement ou nécessitent l'utilisation de dépoussiéreurs humides pour récupérer les polluants à partir de la phase gazeuse, quand cela pourrait poser un problème au niveau environnemental. Lorsque le manque d'eau est un facteur important, les deuxièmes meilleures techniques de traitement peuvent alors être préférables.

Substances biodégradables

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- éliminer les substances biodégradables des eaux usées au moyen de systèmes de traitement biologique (voir la section 3.3.4.3 et le tableau 4.7) ou d'une combinaison adéquate de ces systèmes. Lorsque des procédés anaérobies sont utilisés, il est souvent nécessaire d'effectuer ensuite un traitement aérobie.
- effectuer un prétraitement biologique lorsque les flux secondaires correspondants ont une teneur élevée en matières organiques biodégradables afin de soulager la station d'épuration centrale de traitement final, lorsque cela est possible. Le traitement anaérobie peut être un choix motivé par l'utilisation de l'énergie issue de la production de méthane, qui peut être brûlé. Un autre avantage du prétraitement anaérobie est la réduction globale considérable de l'excès de boues activée présentes dans la station d'épuration biologique en aval. Lorsque le rendement d'épuration de la DCO du procédé de traitement global des eaux usées est très important mais que la concentration à rejeter est considérablement plus élevée que le niveau associé aux MTD indiqué dans le tableau 4.8, cela signifie que les flux secondaires dont la charge est élevée peuvent nécessiter un prétraitement.
- utiliser des systèmes de prétraitement ou de traitement de finalisation (voir tableau 4.7) si l'élimination par la station d'épuration biologique centrale des composés faiblement biodégradables (mais non toxiques ni rémanents) est insuffisante. Les réacteurs à lit fixe sont une technique convenable. Ils permettent un temps de séjour plus long et donc des taux de dégradation plus élevés.
- mettre en œuvre des techniques d'élimination de l'azote (nitrification/dénitrification, voir section 3.3.4.3.4) lorsque les eaux usées contiennent une charge azotée risquant d'augmenter fortement les concentrations au-delà des niveaux d'émission associés aux MTD donnés dans le tableau 4.8. Les deux techniques décrites sont conformes aux MTD. Lorsque les conditions sont favorables, ces techniques peuvent facilement être installées dans une station d'épuration centrale existante. Lorsque seuls les flux secondaires ont une teneur très élevée en azote (ion ammonium, nitrate, nitrite, azote Kjeldahl), il est préférable de les traiter séparément. Ceci permet de réaliser des économies car les dispositifs de nitrification/dénitrification sont peu coûteux.

Station d'épuration centrale chimico-mécanique

Lorsqu'il n'y a pas de polluants biodégradables, il est conforme aux MTD d'utiliser une combinaison de traitements chimiques (pour la neutralisation et la précipitation des composants des eaux usées) et de traitements mécaniques (pour l'élimination des substances non dissoutes, notamment par le dégrillage, la clarification et la filtration).

Station d'épuration biologique centrale

Si une station d'épuration biologique centrale est utilisée, les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- éviter l'introduction de polluants non biodégradables dans la station d'épuration biologique centrale lorsque ceux-ci pourraient perturber le système de traitement et que l'unité n'est pas adaptée pour les traiter ;
- Assurer un tampon en amont de l'unité de traitement les flux d'eaux usées entrants afin de répartir de manière égale la teneur en polluants et pour utiliser les effets synergétiques ;
- traiter les eaux usées entrantes (voir section 3.3.4.3.5) au moyen d'une combinaison des dispositifs suivants :
 - clarificateur primaire avec station de mélange en amont
 - dispositif d'aération à un ou deux étages (bassin ou réservoir) avec clarificateur en aval

- filtration ou aéroflottation pour protéger les eaux réceptrices d'un trop grand nombre de floes de boues activées difficilement séparables (boues foisonnantes, par exemple)
- à la place des deux dispositifs précédents : bassin d'aération avec membrane de MF (ou UF) immergée.
- autre solution de traitement final : biofiltre à lit fixe pour traiter si nécessaire la DCO réfractaire afin de satisfaire à la réglementation.

En général, le niveau associé de la DBO lié à l'utilisation des MTD après un traitement biologique central est inférieur à 20 mg/l. En ce qui concerne les boues activées, le traitement typique correspond à un traitement biologique à faible charge, avec une charge journalière en DCO inférieure ou égale à 0,25 kg/kg de boue.

	Réactions chimiques			Oxydation à l'air	
	Oxydation	Réduction	Hydrolyse	Oxydation à l'air humide	Oxydation dans l'eau supercritique (SCWO)
But	Conversion des polluants par H_2O_2 avec UV ou sels ferreux, O_3 , O_3/UV , Cl_2 , ClO_2 , OCI^-	Conversion des polluants par SO_2 , $NaHSO_3$, $FeSO_4$, $NaHS$	Réaction des polluants organiques et inorganiques avec l'eau pour les diviser en composés plus petits	Réaction avec O_2 en phase aqueuse, à haute température et haute pression, généralement en présence d'un catalyseur (voir section 3.3.4.2.4)	Oxydation à l'air humide en zone supercritique de l'eau, c-à-d à une pression $>22,1$ MPa et une température >374 °C
Application	Oxydation des matières inorganiques Oxydation des matières organiques afin de protéger la station d'épuration biologique ou de les transformer en matière biodégradable Peut se substituer à un traitement biologique	Réduction de matières inorganiques	Destruction de substances non biodégradables en composés biodégradables plus petits Large gamme de concentrations (1 mg/l à 100 g/l)	Oxyder les composés organiques Protéger la station d'épuration biologique contre les matières rémanentes Transformer la DCO réfractaire en matière biodégradable Peut se substituer à un traitement biologique	Détruire les polluants à faible biodégradabilité et/ou toxicité élevée Peut se substituer à un traitement biologique
Limites d'application	L'irradiation par UV nécessite des solutions ne contenant pas de matières solides Prudence avec les agents d'oxydation contenant du chlore et avec les polluants organiques à traiter	Nombre limité d'applications Contrôle strict du pH et du potentiel rédox	Ne convient pas pour les polluants faiblement solubles dans l'eau	Ne convient pas pour les faibles concentrations de DCO Fluorure < 10 mg/l Faible charge en sel (corrosion)	
Consommables	Agent d'oxydation Agent pour détruire l'excès d'oxydant Énergie	Agent de réduction Agent pour détruire l'excès d'agent de réduction Énergie	Vapeur/eau chaude pour chauffer Produits chimiques pour régler le pH et le potentiel rédox Énergie	Air ou oxygène Énergie pour la température et la pression	Air ou oxygène Énergie pour la température et la pression


Impacts croisés	Les agents d'oxydation contenant du chlore peuvent créer des AOX supplémentaires avec des polluants organiques	Les effluents gazeux doivent être acheminés vers une unité de traitement en aval	Rejet possible de substances volatiles ou odorantes	Les effluents gazeux ou aqueux peuvent nécessiter un traitement supplémentaire en aval	Les effluents gazeux et aqueux peuvent nécessiter un traitement supplémentaire en aval
Encombrement					
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	COT : >90 (voir section 3.3.4.2.3)			DCO : 60-90 (basse pression) 99 (haute pression) (détails à la section 3.3.4.2.4)	Composés organiques : >99
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/l]					
Introduction aux installations existantes					

Tableau 4.6 : techniques de traitement associées aux MTD pour les polluants qui ne se prêtent pas à un traitement biologique

	NF/OI	Adsorption	Extraction
But	Séparer la plupart des polluants	Transférer les polluants solubles de la phase aqueuse vers un adsorbant solide	Transférer les polluants solubles de la phase aqueuse vers un solvant
Application	Obtenir une très grande pureté afin de recycler et réutiliser l'eau Augmentation de la concentration des polluants pour un traitement ultérieur Récupération possible	Éliminer les polluants organiques non biodégradables, colorés, odorants et/ou toxiques Enrichissement des concentrations pour traitement ultérieur (incinération, par exemple) Récupération possible	Éliminer les polluants organiques non biodégradables et/ou toxiques en forte concentration Prétraitement à l'adsorption pour réduire la charge d'alimentation Récupération possible Ne convient pas comme traitement final
Limites d'application	Des concentrations avec des pressions osmotiques trop élevées ne permettent pas à cette technique de fonctionner Faible résistance chimique et thermique	Faible charge en polluants, sinon consommation trop rapide de l'adsorbant Faible charge en MES à cause du risque de colmatage L'efficacité dépend des propriétés physiques du polluant (efficacité faible si masse moléculaire faible, polarité élevée, solubilité élevée)	De préférence, eaux usées sans MES ni émulsions Selon le caractère approprié du solvant, d'où des applications limitées
Consommables	Produits chimiques pour le nettoyage Forte consommation d'énergie	Adsorbant Produits chimiques pour la régénération Énergie pour les pompes et le procédé de régénération (température élevée)	Remplacement des pertes en solvant Énergie pour les pompes Énergie pour la récupération du solvant en aval (distillation/rectification, par exemple)
Impacts croisés	Le concentré nécessite un traitement supplémentaire, extraction ou incinération, par exemple (si non récupéré)	Les dégagements gazeux de la régénération doivent être traités La régénération produit un résidu (si non récupéré)	Les eaux usées doivent être traitées pour retirer le solvant dissous (stripping, par exemple) Incinération du résidu de la récupération du solvant s'il n'est pas récupéré Les effluents gazeux de l'extraction et de la récupération doivent être traités, par adsorption ou incinération, par exemple
Encombrement		En général, au moins deux colonnes par application	
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	Très efficace (voir section 3.3.4.2.8)	Très efficace selon le polluant (voir section 3.3.4.2.9)	Efficacité correcte pour les polluants avec une concentration d'alimentation élevée

Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/l]			
Introduction aux installations existantes			

Tableau 4.6 : suite

	Distillation/rectification	Évaporation	Stripping	Incinération des eaux usées
But	Transfert des polluants volatils de la phase aqueuse vers la phase vapeur, la phase vapeur enrichie étant condensée par la suite	Distillation de l'eau laissant au fond un concentré	Transfert des polluants volatils vers la phase gazeuse par envoi d'air ou de vapeur dans les eaux usées	Oxydation thermique des polluants simultanément à l'évaporation de l'eau, avec ou sans catalyseur
Application	Récupération de  plupart des polluants des eaux usées Prétraitement pour éliminer les principaux polluants avant envoi vers un traitement supplémentaire Utilisation limitée	Concentration des flux d'eaux usées pour recycler les substances utiles ou avant exploitation thermique	Élimination des composés organiques et inorganiques volatils Récupération possible	Élimination des polluants dangereux ou inhibiteurs qui ne peuvent pas être traités par d'autres méthodes ou qui ne sont pas suffisamment concentrés pour que leur incinération soit auto-entretenu Technologie destructive
Limites d'application	Grande concentration d'alimentation nécessaire La différence entre les points d'ébullition de l'eau et des polluants volatils doit être suffisamment grande	Éviter les substances produisant de la mousse Ne peut pas être appliqué aux polluants volatils	La teneur en MES des liquides doit être faible Limité aux polluants volatils	Si teneur en halogène ou en soufre, un traitement spécial des effluents gazeux est nécessaire
Consommables	Vapeur pour chauffer Énergie	Produits chimiques lorsqu'un prétraitement est nécessaire Vapeur 5-16 kg d'eau/kg de vapeur Énergie	Agents antidépôt Si utilisation de vapeur : 0,1-0,3 tonne/m ³ Énergie 680 kW/m ³	Combustible d'appoint (avec faible concentration en COT) Énergie
Impacts croisés	Traitement supplémentaire nécessaire Les effluents gazeux doivent être acheminés vers une unité de traitement des gaz résiduels (incinération, par exemple)	Le condensé peut nécessiter un traitement supplémentaire Émission de bruit	Les flux gazeux doivent être traités (lavage, adsorption, oxydation catalytique, incinération)	Si faible teneur en COT, consommation d'énergie importante Rejets de gaz de combustion
Encombrement		Relativement faible		

Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	Bonnes performances pour des polluants particuliers dans des conditions spécifiques	Élimination quasi complète des polluants, à condition qu'il n'y ait pas de substances volatiles	Bonne efficacité correcte (voir section 3.3.4.2.14)	Capacité d'élimination des composés organiques proche de 100 %
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/l]				
Introduction aux installations existantes				
¹ strippeur d'eaux acides, 30-32 m ³ /h				

Tableau 4.6 : suite

	Procédé biologique anaérobie	Procédé biologique aérobie			
		Boues activées (mélange)/bioréacteur à membrane	Lit bactérien/lit percolateur	Lit fluidisé	Biofiltre à lit fixe
But	Conversion du contenu organique par des micro-organismes en l'absence d'air (oxygène)	Conversion du contenu organique par des micro-organismes en présence d'oxygène dissous, injecté comme air ou oxygène pur (détails à la section 3.3.4.3.3)			
Application	Prétraitement des charges organiques élevées et des flux de qualité constante	Prétraitement des charges organiques élevées Traitement final des flux secondaires Utilisé comme station d'épuration centrale	Fait partie de la station d'épuration centrale (première étape ou étape de prétraitement) pour réduire les polluants les plus facilement dégradables et améliorer la qualité des boues	Prétraitement des charges organiques élevées Traitement final des flux plus petits	Étape de prétraitement direct ou de finalisation après un procédé de traitement par boues activées dans la station d'épuration centrale Conditions adéquates pour les micro-organismes à croissance lente
Limites d'application	Éviter les substances toxiques à cause de l'extrême sensibilité du procédé	Éviter les concentrations élevées, même de substances non toxiques Éviter les inhibiteurs, bien que certains micro-organismes puissent supporter des concentrations d'inhibiteurs pas très élevées Température maximale de 30-35 °C Les concentrations en sels doivent être inférieures à 30 g/l			
Consommables	Produits de neutralisation Énergie	Air ou oxygène Produits de neutralisation Floculants : 300-550 kg par tonne de DCO Nutriments : 23-42 kg/tonne de DCO Énergie : 9,5 kWh/m ³	Air Agents de neutralisation Énergie	Air Agents de neutralisation Énergie	Air Agents de neutralisation (si utilisé comme prétraitement) Énergie

Impacts croisés	Le biogaz contenant 70 % de CH ₄ peut être utilisé comme combustible Seulement 10 % de boues excédentaires par rapport au procédé biologique aérobie	Quantité de boues excédentaires environ 10 fois supérieure à celle d'un procédé biologique anaérobie. Un traitement est donc nécessaire Forte consommation d'énergie due à l'aération Émission d'odeurs et de bruit	Boues excédentaires	Boues excédentaires	Boues excédentaires Pas d'émission d'odeurs
Encombrement	Inférieur au traitement aérobie	Important pour une station d'épuration centrale	Relativement faible	Relativement faible	Relativement faible
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	DCO : 75-90 Associé au procédé aérobie DCO : 95-97 DBO : 99-99,8	DBO : 97-99,5 DCO : 76-96 (membrane) Indice phénol : >99 N inorganique total : 82 (membrane) NH ₄ -N : 96 (membrane)	DBO : 40-90 (1 étage) 85-95 (2 étages)	DBO : >98 DCO : 90	DCO réfractaire : 26-68 Indice phénol : 75-98 AOX : 55-98 N inorganique total : 4-50
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/l]		MES : 10 (station d'épuration centrale)			
Introduction aux installations existantes	Nécessité d'avoir des conteneurs pour le gaz ou une torchère à cause du méthane produit	Selon la taille	Facile	Facile	Facile

Tableau 4.7 : techniques de traitement associées aux MTD pour le traitement biologique

Déversement des eaux usées dans des eaux de surface

Suite aux procédures de traitement mentionnés dans les sections précédentes de ce chapitre, les eaux usées traitées sont déversées dans un milieu récepteur (rivière, lac ou mer).

Les MTD sont une combinaison adéquates des mesures suivantes :

- éviter le déversement d'une charge hydraulique excessive ou d'eaux usées toxiques présentant un risque pour le lit de la rivière, les berges ou la biosphère des eaux réceptrices.
- lorsque cela est possible, choisir un point de déversement dans les eaux de surface permettant une dispersion efficace des eaux usées. Ceci minimise l'impact du déversement sur la biosphère. Cette mesure ne doit pas remplacer les techniques de traitement.
- libérer les eaux usées qui ne proviennent pas d'une station d'épuration centrale pour réduire l'impact sur les eaux réceptrices et pour satisfaire aux exigences en matière de déversement avant d'en effectuer le rejet.
- mettre en œuvre un système de surveillance du déversement des eaux avec une fréquence adaptée (échantillonnage de 8 à 24 heures, par exemple).
- évaluer en complément la toxicité afin d'obtenir des informations sur l'efficacité des mesures de contrôle et/ou sur l'évaluation des risques encourus par les eaux réceptrices. L'application d'une évaluation de la toxicité, comme les besoins réels, les méthodes à utiliser et la planification, doit être déterminée au cas par cas.

Les niveaux d'émission associés aux MTD pour le déversement des eaux usées finales dans des eaux de surface sont répertoriés dans le tableau 4.8. Ces valeurs doivent être comprises comme émission sans dilution par les eaux pluviales et/ou les eaux de refroidissement non polluées. Pour comparer plus facilement les différentes stratégies avec ou sans station d'épuration centrale biologique, les performances en matière de DCO sont basées sur la charge brute de polluants, c'est-à-dire sur la charge avant application des procédures de traitement et de recyclage/récupération.

Paramètre ^a	Taux de performance [%]	Niveaux d'émission [mg/l] ^b
MES		10-20 ^c
DCO	76-96 ^d	30-250
N inorganique total ^e		5-25
P total		0,5-1,5 ^f
AOX		
^a pour la DBO, voir la section précédente sur le traitement biologique central ^b moyenne journalière, sauf pour les MES ^c moyenne mensuelle ^d faibles taux de performance avec des concentrations faibles de polluants ^e somme de NH ₄ -N, NO ₂ -N et de NO ₃ -N (l'azote total constituerait un meilleur paramètre N. L'azote inorganique total est utilisé ici faute d'informations sur l'azote total) ^f valeur inférieure : apport en nutriments dans les stations d'épuration biologiques ; valeur supérieure : procédés de production		

Tableau 4.8 : niveaux d'émission associés aux MTD pour le déversement des eaux usées finales dans les eaux réceptrices

Il n'a pas pu être défini de niveaux d'émission associés aux MTD pour les métaux lourds pour l'ensemble de l'industrie chimique. Les raisons sont les suivantes :

- les niveaux d'émission de métaux lourds pouvant être atteints après traitement à la source dépendent fortement du procédé de production qui les génère.
- les niveaux dépendent de la matrice réelle des eaux usées.
- les concentrations de déversement dépendent du mélange des eaux usées issues des différents procédés de production spécifique au site, étant donné qu'il n'y a pas d'autre traitement après le traitement à la source.

À défaut de pouvoir fournir des niveaux d'émission associés aux MTD pour le déversement d'eaux usées contenant des métaux lourds, des exemples de tels déversements sont données à l'annexe 7.6.4. Ces exemples visent à montrer la diversité des émissions de métaux lourds dans des sites chimiques plus ou moins complexes.

Divergences de vue

Un État membre insiste pour que l'on donne des niveaux d'émission associés aux MTD applicables aux métaux lourds en se fondant sur les exemples donnés à l'annexe 7.6.4. Il estime qu'en respectant la stratégie de prévention, de prétraitement et de traitement (voir section sur les métaux lourds), il est possible de définir des niveaux valables pour de nombreux sites chimiques. Les valeurs moyennes à long terme suivantes (sur l'année, pour des échantillons moyens 24 h) au point de déversement ou de traitement final des eaux usées de divers sites chimiques pourraient être atteintes (sans dilution des eaux usées par les eaux pluviales ou de refroidissement) : Cd 0,02-0,833 µg/l ; Hg 0,01-0,84 µg/l ; Pb 10-100 µg/l ; Cr 10-30 µg/l ; Cu 20-60 µg/l ; Ni 10-80 µg/l ; Zn 4-174 µg/l. L'État membre estime par ailleurs que les valeurs dépendent de la fraction de la production correspondant aux métaux lourds et donc du type de production, les valeurs pouvant être plus élevées dans certains cas, notamment dans le cas de produits de chimie fine. Concernant les rejets dans le réseau d'assainissement public, il faudrait tenir compte des incidences des stations d'épuration, pour autant que l'on soit sûr que les métaux lourds ne sont pas acheminés vers d'autres milieux.

Le TWG n'a pas accepté ces arguments car il estime qu'il est inutile d'indiquer des niveaux d'émission associés aux MTD qui changent selon les combinaisons particulières de flux d'eaux usées sur chaque site de production, de sorte que l'on ne sait pas si les valeurs correspondent aux valeurs réelles. Il est pris note du désaccord.

Le problème des niveaux d'émission associés aux MTD pour les AOX est semblable à celui concernant les métaux lourds. Le type de production d'un site donné a une grande influence sur la quantité d'AOX déversés. De ce fait il n'est pas possible de définir des niveaux applicables à l'ensemble de l'industrie chimique. En outre, dans la plupart des États membres, AOX n'est pas un paramètre réglementé. C'est peut-être pour cette raison qu'un seul État membre a fourni des données relatives aux AOX dans le déversement final des eaux usées. Les données sur les AOX devront être fournies régulièrement dans le cadre d'EPER d'ici 2003. Ainsi, grâce à la surveillance et à la remontée des données sur les AOX, il sera peut-être possible de fournir des niveaux d'émission. En attendant, le TWG ne peut pas énoncer de conclusion sur les niveaux d'émissions des AOX associés aux MTD. Toutefois, la nécessité de ce paramètre a été soulignée.

Divergences de vue


Un État membre insiste pour que l'on donne des niveaux d'émission associés aux MTD applicables aux AOX en se fondant sur les exemples donnés à l'annexe 7.6.2. Il déclare que sur son territoire, sur certains sites chimiques de production de substances organochlorées et dans certaines stations d'épuration centrales, des niveaux d'émission des AOX entre 0,16 et 1,7 mg/l sont atteints. Le TWG n'a pas accepté ces arguments. Les exemples présentés (voir annexe 7.6.2) reposaient sur différentes données statistiques, ce qui n'a pas permis d'indiquer des niveaux d'émission associés aux MTD. Il a en outre fait remarquer qu'un des niveaux d'émission d'AOX les plus bas indiqués en exemple était caractéristique d'une unité à performances médiocres, tandis que le niveau d'émission le plus élevé provenait d'un site réalisant d'excellentes performances.

Le TWG a estimé dans ces conditions qu'il n'était pas opportun de donner des niveaux d'émission associés aux MTD pour les AOX. Il a été pris note du désaccord.

Les niveaux d'émission associés aux MTD répertoriés dans le tableau 4.8 sont ceux après traitement biologique central. Lorsque les eaux usées sont dirigées vers une station d'épuration municipale, il faut pouvoir démontrer, au moyen de tests de laboratoire ou de toute autre connaissance, qu'il est possible d'atteindre des résultats équivalents. Si les résultats sont similaires, la stratégie de traitement décentralisé équivaut à un traitement biologique final.

MTD pour le traitement des boues

Lorsque des boues issues des installations de traitement des eaux usées sont traitées sur le site chimique, les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- appliquer les techniques décrites à la section 3.4, en prenant également en compte  fouissement ;
- concentrer les boues grâce aux techniques décrites à la section 3.4.1 ;
- stabiliser les boues pour pouvoir les traiter par la suite ou les éliminer en appliquant les techniques décrites à la section 3.4.2 ;
- utiliser autant que possible l'énergie résiduaire qui provient des procédés de production chimiques lors d'un traitement thermique des boues (séchage, par exemple) (voir section 3.4.3) ;
- appliquer les techniques de traitement des effluents gazeux appropriées lors de l'incinération des boues (voir section 3.4.3.).

Le traitement hors site n'est pas pris en compte parce qu'il sort du cadre du présent document. Cela ne signifie en aucun cas qu'un traitement effectué en dehors du site par des sous-traitants soit contraire aux MTD.

4.3.2 Effluents gazeux

Cette section traite de la détermination des MTD pour le traitement des effluents gazeux sur un site chimique.

MTD pour les mesures intégrées aux procédés

Comme dans le cas des eaux usées, il est préférable d'utiliser des mesures intégrées aux procédés pour prévenir ou réduire la quantité d'effluents gazeux et la pollution de l'air extrait. Cependant, elles sont en général spécifiques à la production ou au procédé, et la possibilité de leur application requiert une évaluation particulière qui dépend du cadre des BREF verticaux relatifs à l'industrie chimique et aux secteurs associés. C'est pourquoi les conclusions relatives aux MTD pour les mesures intégrées aux procédés énoncées dans le présent document se rapportent à la nécessité de mettre en œuvre ces mesures au sein d'une ligne de production.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- préférer, dans la mesure du possible, les mesures intégrées aux procédés aux techniques de traitement en aval (dans le cas de NO_x produits par des procédés de combustion, on privilégiera l'utilisation de techniques de réduction primaires telles que les brûleurs bas- NO_x aux techniques de traitement secondaires).
- examiner les possibilités d'introduire après coup, dans les installations de production existantes, des mesures intégrées aux procédés, et appliquer ces mesures lorsque cela est possible ou au plus tard lorsque l'installation subit d'importantes modifications. Il est vital d'observer les règles de sécurité lors de l'évaluation des possibilités d'évolution des lignes de production, car certaines règles peuvent ne pas permettre la mise en œuvre des mesures intégrées aux procédés à cause d'un risque d'explosion ou de corrosion.
- examiner les possibilités d'introduire, dans les installations de production existantes, des mesures de réduction à la source des polluants gazeux et mettre en œuvre ces mesures lorsque cela est possible (en fonction des exigences de sécurité). La réduction des polluants à la source réduit la quantité d'effluents gazeux à traiter. Une trop grande quantité d'effluents gazeux inutiles nécessite l'installation d'équipements surdimensionnés, ce qui n'est pas économique.

- envisager, dans la mesure du possible, toutes les solutions de réduction à la source lors de la planification d'une nouvelle installation ou de modifications importantes.

MTD pour la collecte des effluents gazeux

Les systèmes de collecte des effluents gazeux servent à acheminer les émissions gazeuses vers les systèmes de traitement.

Ils se composent de systèmes de confinement des sources polluantes, d'évents et de canalisations.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

- minimiser le débit de gaz entrant dans l'unité de traitement en confinant au maximum les sources d'émission. Toutefois, les questions d'exploitabilité des procédés, de sécurité, de qualité des produits et d'hygiène sont prioritaires sur toute autre considération (voir section 2.2.2.4.2).
- prévenir les risques d'explosion :
 - en installant un détecteur d'inflammabilité à l'intérieur du système de collecte lorsque le risque de voir apparaître un mélange inflammable est important.
 - en maintenant le mélange gazeux bien au-dessous de la LIE en ajoutant suffisamment d'air pour limiter le mélange gazeux à 25 % de la LIE, en ajoutant un gaz inerte, tel que l'azote, au lieu d'air ou en travaillant sous atmosphère inerte dans l'unité de production. L'autre possibilité est de maintenir le mélange gazeux bien au-dessus de la LSE.
- installer des équipements appropriés (dispositif d'arrêt de détonation ou réservoir d'étanchéité) pour empêcher l'inflammation de mélanges gaz inflammables -oxygène ou en minimiser les effets.

MTD pour le traitement des effluents gazeux

L'approche permettant d'arriver aux conclusions concernant les MTD suivent le parcours des polluants (voir section 3.5 et figure 3.45). Les considérations régionales telles que le climat, la ressource en eau, l'énergie, les matières premières et/ou l'existence d'unités de traitement et d'enfouissement, l'accessibilité du site ou les problèmes relatifs à l'évacuation des déchets, peuvent nécessiter le développement de techniques de traitement spécifiques, les techniques couramment utilisées sur les sites chimiques pouvant être inapplicables.

En fonction du traitement, deux types de sources d'effluents gazeux peuvent être distingués :

- les sources à basse température : procédés de production, manipulation de produits chimiques (y compris les activités de stockage générant des émissions), préparation des produits
- les sources à haute température : procédés de combustion notamment chaudières, centrales électriques, incinérateurs industriels, oxydateurs thermiques et catalytiques

Chacun de ces deux types de sources se caractérise par des polluants particuliers. Dans le premier cas, les polluants sont :

- les poussières seules, c'est-à-dire des matières brutes solides ou des produits finement dispersés dans l'air ;
- les COV provenant de composés utilisés en production ou qui se sont évaporés d'un réservoir, avec ou sans contenu pulvérulent ;
- les composés inorganiques volatils provenant de la production ou de la préparation des produits, avec ou sans contenu pulvérulent ;
- un mélange de COV et de composés inorganiques, avec ou sans contenu pulvérulent ;
- les brumes.

Dans ces cas-là, l'ordre des techniques de traitement est le suivant :

- 1^{ère} étape : éliminer la majeure partie des matières solides et des brumes avant de traiter les composés gazeux si le traitement qui sera appliqué ne convient pas pour les concentrations élevées de poussières et de brume ;

- 2^{ème} étape : éliminer les polluants gazeux ;
- 3^{ème} étape : si la deuxième étape n'a pas permis d'atteindre les niveaux d'émission requis, une réduction supplémentaire est nécessaire pour finaliser le traitement.

Les polluants du deuxième groupe (procédés à haute température) sont les suivants :

- particules
- composés halogénés (principalement HCl, HF et Cl₂)
- monoxyde de carbone
- oxydes de soufre (principalement SO₂)
- NO_x
- dioxines, éventuellement.

MTD pour le traitement des effluents gazeux provenant des procédés de production, de la manipulation de produits et de la préparation des produits

Poussières

Les MTD sont une combinaison adéquates des mesures suivantes :

- élimination des particules et des aérosols/gouttelettes des effluents gazeux au moyen des techniques ou d'une combinaison des techniques décrites à la section 3.5.3 et dans le tableau 4.9, en fonction de la situation donnée ;
- prétraitement pour protéger les unités en aval de tout dégât ou surcharge. Les dégâts peuvent être causés par exemple par des particules dures ou grosses, ou par des particules risquant de colmater les filtres, les colonnes adsorbantes, les surfaces des dépoussiéreurs, les surfaces des membranes ou les catalyseurs ;
- utilisation de techniques hautement efficaces destinées à éliminer une grande quantité des particules submicroniques ;
- mise en place en aval de filtres dévésiculeurs lorsque des dépoussiéreurs humides sont utilisés comme traitement final (dans les cas où un HEAF est utilisé, un filtre dévésiculateur est déjà inclus en aval) ;
- utilisation de techniques dans la gamme de pression qui leur correspond (rapport débit d'air volumétrique/surface filtrante, rapport débit/surface) pour protéger l'enceinte ou prévenir les émissions de poussières en cas de fuite de celui-ci ;
- utilisation de techniques de récupération de matière lorsque cela est possible ;
- prendre en compte la consommation d'énergie par une analyse objective de l'utilisation des techniques fortement consommatrices en énergie et en comparant les résultats avec ceux de techniques peu ou pas consommatrices d'énergie ;
- prendre en compte la consommation en eau, surtout dans les régions où la ressource en eau est problématique. L'utilisation de dépoussiéreurs humides doit être évaluée et les résultats comparés avec ceux de techniques non consommatrices d'eau ;
- recycler l'eau de lavage avec un nombre maximal de recyclage lorsque cela est possible et que cela ne provoque pas l'abrasion ou la corrosion de l'enceinte du dépoussiéreur.

COV

Les MTD sont une combinaison adéquates des mesures suivantes :

- élimination des COV des effluents gazeux au moyen des techniques (ou d'une combinaison de celles-ci) décrites aux sections 3.5.1 et 3.5.2 et répertoriées dans le tableau 4.10.
- utilisation de techniques récupératives telles que la condensation, la séparation par membrane ou l'adsorption lorsque cela est possible afin de récupérer les matières premières et les solvants. Il est conseillé d'appliquer un prétraitement aux effluents gazeux avec de fortes concentrations de COV au moyen de techniques telles que la condensation, ou la combinaison des techniques de séparation par membrane et de condensation pour récupérer la plus grosse partie des COV avant d'appliquer les techniques d'adsorption, de lavage humide ou de combustion. Dans le cas de l'adsorption et de la combustion, le maintien de la concentration en COV en-dessous de 25 % de la LIE peut aussi être une question de sécurité.

- prise en compte de la consommation en eau (eau industrielle et eau de refroidissement) pour les techniques de lavage humide, de condensation (lorsque l'eau est utilisée pour le refroidissement), d'adsorption (lorsque l'eau est utilisée dans les procédés de régénération ou pour le refroidissement des effluents gazeux avant qu'ils n'entrent dans la colonne d'adsorption) ou pour le traitement biologique (lorsque l'eau est utilisée comme milieu de réaction). L'utilisation de ces techniques doit être évaluée et les résultats comparés à ceux des techniques qui ne consomment pas d'eau. Lorsque la ressource en eau est un problème majeur, ces techniques peuvent alors ne pas convenir localement.
- utilisation de techniques destructives si la récupération est impossible, par exemple si la dépense en énergie ou en matière est trop importante par rapport aux bénéfices sur l'environnement à cause de concentrations en COV trop faibles.
- évaluation de la possibilité de récupérer les matières dans les techniques destructives des effluents gazeux existantes et mise en œuvre de la technique appropriée, le cas échéant.
- préférer si possible à l'incinération l'application d'un traitement biologique aux effluents gazeux à faible concentration (c'est-à-dire lorsque la composition et la teneur des effluents gazeux, ainsi que les caractéristiques climatiques, le permettent, voir section 3.5.2.1) et si les considérations relatives à la consommation en eau le permettent. La consommation du combustible d'appoint pour l'incinération des faibles concentrations en COV est un inconvénient qui peut toutefois être compensé si aucun autre traitement ne permet d'atteindre les objectifs environnementaux définis, par exemple, par des exigences légales.
- utiliser la combustion des effluents gazeux, surtout lorsqu'un processus autothermique est possible, lorsque des composés dangereux doivent être réduits ou lorsque d'autres techniques aussi efficaces ne peuvent pas être appliquées.
- préférer l'oxydation catalytique, lorsque cela est possible et bénéfique à l'environnement, à l'oxydation thermique. Plus la teneur en NO_x dans les effluents gazeux est faible, plus la température de fonctionnement et les besoins en énergie sont faibles, plus cette technique est avantageuse par rapport à l'oxydation thermique.
- associer, lorsque cela est possible, les techniques de combustion et la récupération d'énergie (moteur à gaz, incinérateur régénératif et récupératif).
- utilisation de techniques d'incinération thermique lorsque l'incinération catalytique n'est pas possible, par exemple à cause de la toxicité des polluants contenus dans les effluents gazeux ou lorsque l'oxydation catalytique n'est pas suffisamment efficace pour réduire la teneur en COV.
- mise en œuvre d'un traitement des gaz de combustion après incinération lorsque la présence de grandes quantités de polluants dans les effluents gazeux, à cause des polluants exposés à l'incinération, est probable (SO₂, HCl, NO_x). Les dioxines ne sont généralement pas un problème dans la combustion des effluents gazeux.
- brûlage en torchère uniquement pour éliminer en toute sécurité le surplus de gaz combustibles provenant, par exemple, des opérations de maintenance, des dispositifs de refoulement ou des circuits d'aération non reliés aux systèmes destructifs des émissions.
- utilisation de torchères basses uniquement lorsqu'il n'y a aucune substance dangereuse dans les gaz de combustion. Lorsque l'utilisation de torchères est nécessaire, malgré les conclusions énoncées auparavant, les techniques de récupération de la chaleur et de combustion à faible émission de NO_x doivent être évaluées et, le cas échéant, les équipements correspondants doivent être installés.

Composés autres que les COV

Les actions suivantes sont conformes aux MTD :

-élimination de ces polluants (halogénures d'hydrogène, Cl₂, SO₂, H₂S, CS₂, COS, NH₃, HCN, NO_x, CO, Hg) au moyen des techniques appropriées répertoriées dans le tableau 4.10.

Les techniques appropriées sont les suivantes :

- lavage humide (solution alcaline, acide ou aqueuse) pour les hydracides, Cl₂, SO₂, H₂S et NH₃
- lavage avec des solvants non aqueux pour CS₂ et COS
- adsorption pour CS₂, COS et Hg
- traitement biologique des gaz pour NH₃, H₂S et CS₂
- incinération pour H₂S, CS₂, COS, HCN et CO

- RNCS ou RCS pour NO_x
- récupération du chlorure d'hydrogène lorsque cela est possible en utilisant l'eau comme liquide de lavage au cours de la première phase de lavage, afin d'obtenir une solution d'acide chlorhydrique à utiliser comme matière première.
- récupération, lorsque cela est possible, de NH_3 au moyen d'une technique adéquate.

Les techniques conformes aux MTD sont répertoriées dans le tableau 4.10.

Le TWG n'est pas parvenu à définir des niveaux d'émission associés aux MTD pour les effluents gazeux issus des procédés de production. Il a été recommandé de traiter ce sujet dans les BREF verticaux appropriés, car ces niveaux dépendent du procédé de production. Il n'est donc pas possible de définir des niveaux pouvant être appliqués à l'ensemble du secteur chimique.

	Séparateur	Cyclone (sec et humide)	ESP (sec et humide)	Dépoussiéreur par voie humide ^a
But	Séparation par gravité	Séparation par gravité par forces centrifuges	Séparation par champ électrique	Transfert de masse de la phase gazeuse vers la phase liquide
Application	Préliminaire (technique non autonome) à divers systèmes de filtres pour empêcher l'entraînement ou l'abrasion Ne convient pas pour les gaz de combustion Récupération possible en principe	Réduction des particules ; nettoyage préliminaire avant ESP ou filtres à manches (technique non autonome) Après séchage par pulvérisation, broyage, et calcination Convient aux gaz de combustion Récupération possible en principe	Réduction des particules comme traitement final Après les chaudières ; dans les établissements de fabrication de produits chimiques, de raffinerie ; dans les systèmes d'incinération et d'injection ; Applicable aux matières humides et collantes, aux mélanges inflammables (voir section 3.5.3.3) et aux brumes acides (ESP humide) Récupération possible en principe	Réduction des particules comme traitement final Selon le type, pour les particules inférieures à PM _{2,5} et PM _{HAP} Application : voir tableau 3.16 Récupération possible en principe Applicable également pour l'élimination des gaz (COV, composés inorganiques)
Limites d'application	Débit : jusqu'à 100 000 Nm ³ /h Teneur en poussières : pas de limite Taille des particules : >PM ₅₀ , mais aussi jusqu'à PM ₁₀ Température selon le matériau de l'enceinte, généralement jusqu'à 540 °C	Débit : jusqu'à 100 000 Nm ³ /h (une seule unité) jusqu'à 180 000 Nm ³ /h (plusieurs unités) Teneur en poussières : jusqu'à 16 000 g/Nm ³ Taille des particules : jusqu'à PM _{2,5} Température selon le matériau de l'enceinte, peut être supérieure à 1 200 °C	Débit : très élevé, selon le type jusqu'à 1 800 000 Nm ³ /h Teneur en poussières : 1-10 g/Nm ³ (ESP à tube) 2-110 g/Nm ³ (ESP à plaque) Taille des particules : >PM _{1,0} Température : jusqu'à 700 °C (sec) <90 °C (humide) Résistivité : 5x10 ³ -2x10 ¹⁰ ohm cm Non applicable au Hg	Débit : selon le type jusqu'à 170 000 Nm ³ /h Teneur en poussières : voir tableau 3.16 Teneur en poussières élevée dans le cas des laveurs à plaque, des tours à pulvérisation, des laveurs à impact et à entraînement, et des laveurs Venturi Température : voir tableau 3.16

Consommables	Énergie : pour le ventilateur uniquement Chute de pression : <0,5 kPa	Énergie : 0,25-1,5 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 0,5-2,5 kPa	Eau pour ESP humide Énergie : 0,5-2 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 0,05-0,5 kPa	Eau de lavage : 0,5-5 l/Nm ³ Énergie : 1-6 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 3-20 kPa (Venturi)
Impacts croisés	Évacuation des poussières	Évacuation des poussières Émission de bruit	Évacuation des poussières ou des eaux usées (ESP humide)	Traitement de séparation supplémentaire pour les matières en suspension Émission de bruit
Encombrement	Faible			
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	10-90 (selon la taille des particules et la concentration d'alimentation)	PM 80-99 PM ₁₀ 60-95 PM ₅ 80-95 PM _{2,5} 20-70	PM 99-99,2 PM ₁₀ 97,1-99,4 PM _{2,5} 96-99,2 (ESP sec et humide)	PM 50-99 selon le type COV 50-95 selon le type SO ₂ 80-99 (voir tableau 3.17)
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/Nm³]			Poussières : 5-15	
Introduction aux installations existantes	Généralement intégré			
^a voir les détails au chapitre correspondant				

Tableau 4.9 : techniques de traitement associées aux MTD pour le traitement des particules dans les effluents gazeux normaux

	Filtre à fibres textiles	Filtre dépollueur à deux étages	Filtre HEPA	HEAF	Filtre dévésiculeur
But	Technique de filtration, gâteau de filtration améliorant l'efficacité	Technique de filtration, toile métallique, tamis métallique	Technique de filtration, papier ou de la fibre de verre à haute densité de tassement	Technique de filtration, filtre plan	Technique de filtration, filtre à matelas tissé à monofilaments métalliques ou synthétiques
Application	Élimination des particules inférieures à $PM_{2,5}$ (traitement final) Collecte des particules qui ne peuvent être traitées par le ESP Avec systèmes d'injection (gaz de combustion) Convient aux gaz de combustion Récupération possible en principe	Élimination des particules (traitement final) Avec systèmes d'injection (gaz de combustion) Convient aux gaz de combustion Récupération possible en principe	Élimination des particules submicroniques comprises entre $PM_{0,12}$ et $PM_{0,3}$ Traitement final en aval après ESP ou filtres à manche lorsque la collecte doit être très efficace Récupération possible en principe	Élimination des aérosols tels que huile, plastifiants, COV condensables Filtre dévésiculeur et séparateur de gouttelettes nécessaires en aval	Élimination des aérosols et des gouttelettes Protection des équipements en aval pour prévenir de l'usure et des frottements Équipements de collecte primaire. Les particules plus fines sont traitées par d'autres techniques En aval d'un dépollueur par voie humide
Limites d'application	Les grosses particules doivent être collectées en amont Débit : jusqu'à 1 800 000 Nm^3/h La température dépend du media filtrant (voir tableau 3.18), au-dessus du point de rosée Teneur en poussières jusqu'à 230 g/Nm^3 Éviter la présence de poussières collantes	Débit : jusqu'à 75 000 Nm^3/h par module Température : jusqu'à 400 °C Teneur en poussières : pas de limite	Débit : jusqu'à 3 600 Nm^3/h par module Température : <200 °C <530 °C (céramique) au-dessus du point de rosée Teneur en poussières : 1-30 g/Nm^3 Éviter les environnements humides	Débit jusqu'à 25 000 Nm^3/h	Débit jusqu'à 150 000 Nm^3/h Température <170 °C Teneur en poussières <1 mg/Nm^3

Consommables	Air comprimé Énergie : 0,2-2 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 0,5-2,5 kPa 5-50 kPa (céramique)	Air comprimé Énergie : 1,5 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 0,5-2,5 kPa	Énergie : <0,1 kWh/1 000 m ³ Chute de pression : 0,05-0,25 kPa	Énergie : <0,1 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 8 kPa	Énergie Chute de pression 2,5-9,0 kPa
Impacts croisés	Évacuation des poussières	Évacuation des poussières	Évacuation des modules de filtre chargés	Évacuation des rouleaux de filtre chargés	Évacuation des liquides de lavages et des matériaux filtrants chargés
Encombrement					
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	Poussières 99-99,9		PM _{0,01} >99.99 PM _{0,1} presque totalement	Gouttelettes 99 Aérosols 99	Poussières 99 Aérosols 99
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/Nm³]	Poussières 2-10 1 (filtre céramique)	Poussières 1 (indépendant de l'alimentation)	Particules 0,0001		

Tableau 4.9 : suite

	Lavage humide (voir section 3.5.1.4)	Adsorption	Condensation	Séparation par membrane
But	Transfert de masse de la phase gazeuse vers la phase liquide	Transfert de matière de la phase gazeuse vers la surface solide	Liquéfaction par refroidissement	Perméation à travers la surface membranaire
Application	Réduction des COV, des composés inorganiques et des poussières, selon le type et le liquide de lavage (eau, solution acide ou alcaline), 1 ou 2 étages Application voir section 3.5.1.4 En principe, récupération possible par désorption	Élimination des COV, des substances odorantes, des dioxines, etc. Filtre de protection après traitement final Différents types, voir section 0 En principe, récupération possible après régénération	Récupération des COV à partir des effluents gazeux concentrés Prétraitement avant systèmes d'adsorption, de lavage et de destruction Post-traitement des effluents gazeux enrichis à partir des membranes ou du stripping des eaux usées	Récupération des COV ou des vapeurs de carburant Enrichissement des effluents gazeux de COV afin qu'ils puissent être traités par un traitement tel que la condensation, par exemple, ou incinérés
Limites d'application	Débits : voir section 3.5.1.4 Températures de préférence inférieures à 40 °C pour le lavage à l'eau des gaz sans réaction chimique Teneur en poussières : selon le type de laveur, voir section 3.5.1.4	Débit : jusqu'à 100 000 Nm ³ /h Température : <80 °C (CAG) < 250 °C (zéolithes) Teneur en COV : <25 % de la LIE Teneur en poussières : faible	Débit : jusqu'à 100 000 Nm ³ /h < 5 000 Nm ³ /h (version cryogénique) Température : <80 °C Limitation due au gel et au blocage qui en découle Teneur en poussières : faible (<50 mg/Nm ³)	Débit : selon la surface membranaire La température et la pression dépendent de la matière de la membrane Teneur en poussières : très faible Teneur en COV : pas de limite

Consommables	Eau de lavage, eau de refroidissement Produits chimiques (acide, caustique, oxydant) Énergie 0,2- 1 kWh/1 000 Nm ³ Vapeur pour le stripping (désorption) Chute de pression 0,4-0,8 kPa	Vapeur ou azote (désorption) Eau de refroidissement (condensation) Énergie 35- 260 kWh/tonne de solvant Chute de pression : 2-5 kPa	fluide de refroidissement (air, eau, saumure, saumure ammoniacale, azote liquide) Énergie : 70 kWh/1 000 Nm ³ (cryogénique) Chute de pression : 0,1-0,2 kPa	Énergie : 250 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 0,1-1 MPa
Impacts croisés	Eaux usées à traiter Énergie et émissions de la régénération	Eaux usées de la régénération Évacuation des adsorbants	Traitement supplémentaire en général nécessaire après la condensation	Traitement supplémentaire du perméat
Encombrement				
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	COV 50-99 Composés inorganiques 90- 99 SO ₂ 80-99	COV 80-95 Odeurs 80-95 H ₂ S 80-95		COV jusqu'à 99,9
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/Nm³]	HF <1 HCl <10 (<50 avec de l'eau) SO ₂ <40	Hg <0,05 Dioxines <0,1 ng TEQ/Nm ³	Voir section 3.5.1.2	
Introduction aux installations existantes	Relativement facile	Relativement facile	Voir section 3.5.1.2	

Tableau 4.10 : techniques de traitement associées aux MTD pour le traitement des COV et des composés inorganiques dans les effluents gazeux normaux

	Traitement biologique (filtration/lavage/lit bactérien)	Oxydation thermique	Oxydation catalytique	Moteur à gaz/chaudière à vapeur
But	Dégradation biologique par des micro-organismes	Oxydation par l'oxygène (air) en chauffant un flux gazeux au-dessus de son point d'auto-inflammation	Oxydation par l'oxygène (air) utilisant un catalyseur pour abaisser le point d'auto-inflammation	Incinération des effluents gazeux pour récupérer de l'énergie
Application	Élimination des faibles concentrations de polluants solubles dans l'eau : NH ₃ , amines, hydrocarbures, H ₂ S, toluène, styrène, odeurs	Émissions depuis toutes les sources de COV, se prête mieux aux concentrations de COV autothermiques et au traitement final des substances dangereuses	Application semblable à l'incinération thermique ; les polluants sont limités aux polluants non toxiques Avec ou sans récupération de chaleur	Les effluents gazeux conviennent aux moteurs à gaz, générateur en aval pour produire de l'électricité (voir section 3.5.2.4)
Limites d'application	Voir sections 3.5.2.1 à 3.5.2.3 Ne convient pas si la teneur varie NH ₃ peut causer des problèmes Le gel, la pluie et des températures ambiantes élevées peuvent endommager le matériau filtrant	Débit : jusqu'à environ 86 000 Nm ³ /h Gamme de températures : 800-1 000 °C 980-1 200 °C (substances dangereuses) COV : <25 % de la LIE	Débit : jusqu'à environ 86 000 Nm ³ /h Gamme de température : 300-500 °C COV : <25 % de la LIE	Température de combustion relativement faible Limitation dues à la composition des effluents gazeux si ceux-ci contiennent des composés corrosifs ou des précurseurs
Consommables	Eau (eau de lavage et de lit bactérien) Produits chimiques (nutriments, ajustement du pH) Énergie : <1 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 0,2-2 kPa	Combustible au démarrage et si conditions non autothermiques Énergie : 3-8 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 1-5 kPa	Carburant au démarrage et si conditions non autothermiques Énergie : 1-2 kWh/1 000 Nm ³ Chute de pression : 1-5 kPa	Associé à une chaudière à vapeur pour produire la vapeur

Impacts croisés	Traitement des matériaux filtrants Eaux usées provenant du lavage et du filtrage percolateur Émission d'odeurs dues au lavage et au filtrage biologique	CO et NO _x dans les gaz de combustion Traitement nécessaire des gaz de combustion si teneur en Cl et S Les dioxines ne posent généralement pas de problèmes lorsque les conditions sont optimisées (voir section 3.5.2.4)	Teneur très faible en NO _x dans le gaz de combustion (environ 15 mg/Nm ³) Traitement nécessaire du gaz de combustion si teneur en Cl et S Les dioxines ne posent généralement pas de problèmes	Température de combustion faible si teneur faible en NO _x CO dans le gaz de combustion réduit par catalyseur
Performances pouvant être atteintes (% d'extraction de polluant)	COV 75-99 Inorganiques 80-95 (tous) Odeurs 70-95 Pour plus de détails, voir les sections 3.5.2.1 à 3.5.2.3	COV 95-99	COV 90-99 CO >98 Odeurs 80-95	
Niveaux d'émission pouvant être atteints [mg/Nm³]		COT 1-4		

Tableau 4.10 : suite

MTD pour le traitement des gaz de combustion

Les actions suivantes sont conformes aux MTD pour l'élimination des poussières :

- mise en place d'un ESP ou d'un filtre à sacs (en aval de l'échangeur de chaleur à 120-150 °C) ;
- mise en place d'une filtration catalytique ;
- mise en place d'un lavage humide.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD pour éliminer HCl, HF et SO₂ :

- récupérer ces éléments lorsque cela est possible au moyen d'un lavage humide à deux étages, en utilisant dans le premier étage une solution aqueuse ou acide comme agent de lavage afin d'éliminer HF et HCl, en la recyclant, puis en utilisant dans le second étage une suspension de carbonate de calcium pour éliminer le SO₂ sous forme de sulfate de calcium (après injection d'air). HCl et le sulfate de calcium peuvent être récupérés sous forme d'acide chlorhydrique enrichi et de gypse, respectivement. Le lavage humide à deux étages est également utilisé sans récupération de matière pour séparer les ions chlorure et fluorure avant désulfuration.
- éliminer ces éléments par une injection de sorbants secs, semi-secs ou humides (voir section 3.5.4.1), les poussières produites étant éliminées en même temps que les poussières d'incinération. Toutefois, le lavage humide est en principe la technique destructive et récupérative la plus efficace.

Il existe d'autres techniques de DGC, utilisées principalement dans les unités de production électrique. Elles sont traitées dans le BREF sur les grandes installations de combustion.

Les actions suivantes sont conformes aux MTD pour l'élimination des NO_x :

- application de la RCS plutôt que de la RNCS (du moins pour les installations les plus grandes) car le rendement d'épuration et les performances environnementales de cette technique sont meilleures (voir section 3.5.4.2). Pour les installations existantes qui fonctionnent avec des équipements de RNCS, il convient d'envisager de les changer au moment où l'on prévoit d'apporter d'importantes modifications à l'unité d'incinération. Bien que la RCS soit conforme aux MTD dans le cas général, il y a des cas (notamment lorsqu'il s'agit de petites installations) où la RNCS représente la meilleure solution sur le plan technique et économique. Il convient d'examiner d'autres mesures afin de voir si elles peuvent donner dans l'ensemble de meilleurs résultats que la modernisation d'une RNCS.

Il existe d'autres procédés d'élimination des oxydes d'azote, par exemple l'application simultanée de plusieurs techniques d'élimination du SO₂ et des NO_x, techniques également conformes aux MTD lorsqu'elles permettent d'atteindre des performances similaires.

Lorsque l'on soupçonne la présence de dioxines, il est conforme aux MTD de réduire les dioxines au moyen d'un filtre à CAG (adsorption) à la fin du traitement des gaz de combustion.

Les techniques permettant d'obtenir des résultats comparables (voir tableau 4.11) sont également conformes aux MTD.

Les niveaux d'émission associés au x MTD et les performances en matière de réduction des techniques de traitement des gaz de combustion sont répertoriés dans le tableau 4.11.

Paramètre	Niveaux d'émission [mg/Nm ³] ¹
Poussières	<5-15
HCl	<10
HF	<1
SO ₂	<40-150 ²
NO _x (chaudières à gaz/réchauffeurs)	20-150 ³
NO _x (chaudières à combustible liquide/réchauffeurs)	55-300 ³
NH ₃ ⁴	<5 ⁵

Dioxines	0,1 ng TEQ/Nm ³
¹ moyenne semi-horaire, teneur de référence en oxygène : 3 % ² valeur inférieure : combustibles gazeux ; valeur supérieure : combustibles liquides ³ valeurs plus élevées pour les petites installations appliquant la RNCS ⁴ baisse des NH ₃ avec la RCS ⁵ valeur pour les nouveaux catalyseurs ; les émissions de NH ₃ augmentent au fur et à mesure du vieillissement du catalyseur	

Tableau 4.11 : niveaux d'émission associés aux MTD et performances relatives au traitement des gaz de combustion dans l'industrie chimique

5 TECHNIQUES ÉMERGENTES

Le présent document définit une technique émergente comme une technique qui n'est pas encore employée de façon commerciale ni autrement qu'à une échelle pilote, mais dont application à grande échelle dans le secteur chimique est envisagée au cours des années à venir.

Les techniques ci-dessous sont déjà utilisées dans une certaine mesure et dans des conditions particulières dans d'autres secteurs. À l'heure actuelle, aucun élément ne permet d'affirmer qu'elles ont été mises en place avec succès dans le secteur chimique dans les conditions de fonctionnements actuelles. Cependant, cette mise en place fructueuse devrait pouvoir être appréciée dans les années à venir.

ÉLIMINATION BIOLOGIQUE DU DIOXYDE DE SOUFRE DES GAZ D'EXTRACTION

Un système d'élimination biologique du dioxyde de soufre associe un laveur de gaz (absorbeur) et une station d'épuration biologique. Dans l'absorbeur, l'effluent gazeux contenant le dioxyde de soufre est mis en contact avec de l'eau de lavage. Un mélange de sulfite et de sulfate se forme. Le procédé biologique anaérobie qui s'ensuit convertit biologiquement ce mélange en sulfure. Celui-ci est ensuite converti au cours d'une étape aérobie en soufre, lequel est séparé. L'eau surnageante est recyclée dans le laveur.

À cause de la présence d'ions sulfure, des métaux lourds précipitent sous forme de sulfures, ce qui permet de les éliminer également.

OXYDATION BASSE TEMPÉRATURE DES NO_x

L'oxydation basse température des NO_x associe un procédé d'oxydation (avec de l'ozone comme agent d'oxydation) et un lavage de gaz (avec de l'eau ou un alcali comme liquide de lavage). L'ozone (produite *in situ* dans un système à haute tension) réagit avec le NO et le NO₂ dans une conduite de réacteur pour produire du N₂O₅ très soluble. Celui-ci est ensuite éliminé dans un laveur de gaz par formation d'acide nitrique. Les niveaux d'émission de NO_x, SO_x et de HCl pouvant être atteints sont très faibles (5, 5-10 et 5-10 ppm respectivement).

Les points les plus importants en ce qui concerne l'environnement sont l'énergie nécessaire à la production d'ozone et, le cas échéant, à la production et/au stockage d'oxygène pur sec, ainsi que la quantité d'eau indispensable comme liquide de lavage.

6 CONCLUSIONS

Le présent chapitre présente :

- le calendrier des travaux
- les sources et la disponibilité des informations
- le niveau de consensus au sein du TWG
- les recommandations pour les travaux à venir

CALENDRIER DES TRAVAUX

Le présent BREF représente près de 3 années de travail. Les étapes principales ont été les suivantes :

- 12 au 14th avril 1999 : première réunion du TWG technique (TWG) à Séville.
- Mai 2000 : une première version couvrant les chapitres 1 à 3 a été envoyée aux membres du TWG pour consultation. Elle comportait :
 - des informations d'ordre général sur les eaux usées et les effluents gazeux ;
 - des informations sur la gestion des eaux usées et des effluents gazeux ;
 - des informations sur les technologies de traitement courantes, y compris des données sur les performances des traitements.

Les membres du TWG ont présenté des informations supplémentaires au cours de la consultation.

- Mars 2001 : une deuxième version a été envoyée pour consultation aux membres du TWG. Elle couvrait les chapitres 1 à 5 et les annexes. Les commentaires formulés par le TWG lors de la consultation de la première version du document ainsi que les informations issues d'autres sources sont à l'origine de la refonte complète des chapitres concernant les informations générales et la gestion, et de l'ajout de données dans le chapitre relatif aux techniques de traitement. Un chapitre sur les conclusions des MTD a été ajouté en suivant les informations des trois chapitres précédents.
- 27 au 29 juin 2001 : deuxième réunion du TWG à Séville
De nombreux problèmes portant principalement sur le chapitre 4 (Conclusions sur les MTD) ont été discutés en détail. Il a été pris note de quatre désaccords, essentiellement fondés sur le sentiment qu'avait l'un des États membres que les conclusions sur les MTD relatives à la gestion étaient trop générales et qu'elles devaient être illustrées par des chiffres, ainsi que sur son souhait de définir des niveaux d'émission associés aux MTD pour les métaux lourds et les AOX au point de déversement final, en se basant sur les informations dont il disposait.
- Août 2001 : un extrait la nouvelle version du document réalisée à la suite de la deuxième réunion du TWG a été envoyé aux membre de ce groupe pour une dernière consultation.
- 15 au 16 novembre 2001 : la dernière version du document a été présentée à la Direction générale de l'environnement lors de la 10^{ème} rencontre du Forum d'échange d'informations (IEF) sur les MTD de l'IPPC à Bruxelles.
Lors de l'IEF, il a été estimé que le présent document reflétait avec précision l'échange d'informations au sein du TWG et qu'il était conforme au modèle de référence (BREF Outline and Guide). Le présent document a été entériné par la Direction générale de l'environnement après quelques modifications rédactionnelles.

SOURCES D'INFORMATIONS ET DISPONIBILITÉ DES INFORMATIONS

Plusieurs sources ont été utilisées au cours de la rédaction du présent BREF. Les principales sources utilisées sont des manuels, l'encyclopédie ULLMANN de l'industrie chimique et des publications sur des techniques particulières. D'autres informations sont tirées du site Web de l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) fournissant des données techniques sur les techniques de traitement des effluents gazeux, y compris des informations sur les coûts, et le Programme relatif aux

meilleures pratiques en matière de technologies environnementales, fournissant des informations sur plusieurs techniques de contrôle des eaux usées et des effluents gazeux.

Chaque État membre, certaines organisations industrielles européennes (CEFIC et CONCAWE) et une entreprise chimique ont fourni des documents sur les MTD, des notes d'orientation, des documents techniques préliminaires et des données réelles sur les performances pour divers domaines. Ces documents sont cités au chapitre Références du présent document. Certains fabricants ont fourni des informations sur leurs technologies. La plupart des documents ont été fournis à des étapes très avancées des travaux. Les deux premiers documents concernant le secteur chimique ont été fournis en novembre et décembre 1999, les autres entre la publication de la première version et une semaine avant la deuxième réunion du TWG.

NIVEAU DE CONSENSUS

Le présent BREF a été approuvé par la majorité des membres du TWG, bien qu'il ait été pris note de désaccords concernant quatre conclusions sur les MTD. L'un des États membre a exprimé son désaccord quant à l'imprécision des définitions concernant les conclusions sur les MTD relatives au management environnemental et aux niveaux d'émission associés aux MTD pour les métaux lourds et les AOX au point de déversement final. Pour plus de détails, se reporter au chapitre 4.

RECOMMANDATION POUR LES TRAVAUX À VENIR

La principale faiblesse de l'échange d'informations réside dans l'absence d'informations concernant des données de performances utiles conjointement à des données opérationnelles (telles que la consommation et l'utilisation d'énergie, l'utilisation de substances auxiliaires, les impacts croisés). Lorsque, par exemple, le groupe d'experts a conclu qu'il n'existe pas de niveaux d'émission pour les techniques de contrôle des métaux lourds applicables à l'ensemble du secteur chimique, ces niveaux étant étroitement liés aux procédés, aucune donnée n'a pu être fournie pour appuyer leur conclusion. C'est la raison pour laquelle le présent BREF ne présente pas de niveaux d'émission pouvant être atteints ni associés aux MTD pour les techniques de contrôle des métaux lourds.

Il existe un manque notable d'informations relatives aux coûts. L'industrie chimique (hormis l'organisation CONCAWE) n'ayant fourni aucune donnée, le BREF présente les données tirées des sources disponibles, à savoir essentiellement les fiches techniques de l'EPA, la documentation hollandaise sur les MTD pour le traitement des effluents gazeux ainsi que la base de données VITO sur les techniques de traitement des eaux usées, ce qui laisse cependant de nombreux trous. Ainsi, aucune donnée sur les coûts suffisamment fiable, exploitable et comparable n'est pour l'heure disponible. Les éléments inclus dans les coûts fournis par les sources citées et la façon dont le calcul avait été réalisé n'était généralement pas connus avec précision. Les coûts relatifs (par m³ d'eaux usées, pour 1 000 Nm³ d'effluent gazeux ou par unité de masse de polluant) présentés dans le présent BREF doivent donc être considérés comme un ordre d'idée des coûts et non pas le coût réel. Les quelques données sur les coûts présentées sont indiquées telles qu'elles ont été reçues, c'est-à-dire que les sommes exprimées dans la monnaie de l'État membre n'ont pas été converties en euro. Le BREF sur les considérations économiques et les impacts croisés se chargera de trancher s'il y a lieu de convertir les données portant sur les coûts. La correction de ce problème fera l'objet d'un prochain travail.

La recommandation évidente pour les prochains travaux est de compléter le présent BREF. Les points méritant une attention toute particulière lors de la révision du présent document sont notamment :

- mettre l'accent sur les performances techniques, pas seulement sur les taux de performance et les niveaux d'émission, et prêter plus d'attention aux impacts croisés et aux problèmes énergétiques, et fournir les données nécessaires.
- citer des exemples concrets de systèmes de traitement dans le cadre de l'exploitation conjointe des différentes techniques sur les sites chimiques, en fournissant les données nécessaires et les

raisons sous-jacentes à la décision des exploitants. Ne pas se contenter d'une liste des installations de traitement existantes ni d'affirmations appuyées par des chiffres « corrects » pour illustrer les décisions de gestion sans donner d'explications correctes et compréhensibles.

- illustrer ce qui se cache derrière les concepts tels que « bonnes pratiques de fabrication », « problèmes de sécurité adéquats » ou « évaluation des risques » grâce à des exemples choisis de bonnes pratiques d'ingénierie.
- mettre l'accent sur l'objectif principal du BREF qui est d'aider et de donner des orientations aux autorités de réglementation pour la délivrance des autorisations, et non pas leur fournir une liste de techniques ni les inciter à prendre une décision plutôt qu'une autre. Prendre en compte les trois points précédents peut s'avérer utile pour cela.
- suivre une approche plus cohérente pour la mesure de l'azote total aiderait la comparaison et les conclusions à cet égard. Dans les présents travaux, les données disponibles concernaient essentiellement l'azote inorganique total. Cependant, ce paramètre n'est pas mondialement reconnu comme valable.

La Commission européenne a lancé et soutient, à travers ses programmes RTD, une série de projets traitant des technologies propres, des technologies émergentes de recyclage et de traitement des effluents, et des stratégies de gestion. Ces projets pourraient contribuer de manière utile aux révisions futures des BREF. Le lecteur est par conséquent invité à informer le BEPRIP des résultats de recherche qui entrent dans le cadre du présent document (voir également la préface de présent document).

En ce qui concerne la révision du BREF, il est recommandé d'attendre la finalisation de l'ensemble des BREF verticaux qui concernent le secteur chimique. Ceci permettra de s'assurer que toutes les informations nécessaires au BREF horizontal ont été rassemblées avant de lancer le processus de révision. Toutefois, cela ne signifie pas que les BREF sur les eaux usées et les effluents gazeux courants doivent être abordés de la même manière que les BREF verticaux et que les résultats peuvent être simplement répétés. Une telle méthode remettrait sérieusement en cause l'utilité d'un BREF horizontal sur les eaux usées et les effluents gazeux.

7 ANNEXES

Les annexes apportent un complément d'informations au présent document. Celles-ci sont :

Annexe I	Fonctionnement conjoint des stations d'épuration municipales et industrielles
Annexe II	Exemple d'AFEM : Technologie de pincement
Annexe III	Contrôle d'une station d'épuration centrale biologique
Annexe IV	Normes de contrôle
Annexe V	Plan d'urgence en cas de pollution involontaire
Annexe VI	Exemples de traitement des effluents gazeux et des eaux usées
Annexe VII	Législation relative aux eaux usées et aux effluents gazeux dans le secteur chimique

7.1 Annexe I. Fonctionnement conjoint des stations d'épuration municipales et industrielles

Conditions du traitement conjoint des eaux usées municipales et industrielles (France)

En France, le traitement *in situ* des effluents est le cas le plus répandu dans l'industrie chimique. Il existe toutefois des exemples de traitement conjoint des eaux usées industrielles et municipales, notamment dans la production biochimique (production de vitamines ou d'antibiotiques par voies biochimiques), et dans les activités de préparation et de conditionnement pour lesquelles le débit et la charge de l'effluent peuvent être gérés par une station d'épuration municipale. Dans ce cas, une étude de l'impact des flux industriels sur la station d'épuration municipale (impact sur le fonctionnement et l'évacuation des boues) est réalisée et une « convention de déversement industriel » est signée entre l'industrie et l'autorité locale en charge de la gestion des eaux usées.

Un décret municipal est promulgué, comportant généralement les dispositions principales suivantes de la convention :

- pH de l'effluent compris entre 5,5 et 8,5 (à terme, 9,5) ;
- température de l'effluent <30 °C ;
- effluent exempt de substances dangereuses pour le personnel de la station d'épuration municipale, le réseau de collecte, la station d'épuration elle-même et son fonctionnement, l'environnement en aval de la station d'épuration et la manipulation ultérieure des boues ;
- soit des dispositions relatives aux débits maximaux et aux charges de polluants à rejeter (DBO, DCO, MES, azote Kjeldahl total, (NO₂+NO₃)-N, N non biodégradable, inhibiteurs de nitrification, P total et autres substances qui risquent d'avoir une incidence sur le fonctionnement de la station d'épuration et la manipulation ultérieure des boues), soit des dispositions relatives aux installations de prétraitement/récupération que le site industriel doit utiliser avant de déverser ses effluents dans le réseau d'assainissement municipal ;
- conditions financières.

La convention de déversement décrit également les conditions techniques établies par le décret municipal. Elles comprennent généralement les éléments suivants :

- des dispositions relatives au réseau privé du site industriel afin d'empêcher tout rejet indésirable dans le réseau public ;
- une description des installations de prétraitement privées à utiliser pour gérer correctement les fluctuations du débit, le démarrage et l'arrêt des installations. Ces paramètres doivent faire l'objet d'un suivi dont les résultats doivent être communiqués aux autorités municipales ;
- les conditions techniques concernant les connexions entre les réseaux public et privé ;
- diverses obligations du site industriel, telles que :
 - dilution de l'effluent interdite ;

- les déversements exceptionnellement importants (par exemple en cas de maintenance) doivent être répartis sur 24 heures ;
- les effluents doivent être contrôlés et les connexions régulièrement inspectées. L'autorité locale peut contrôler l'effluent de sa propre initiative et vérifier les équipements de contrôle en collaboration avec l'exploitant industriel.
- la consommation d'eau est contrôlée et les résultats communiqués aux autorités locales ;
- un plan d'action en cas d'urgence (par exemple, la fermeture des connexions entre la station d'épuration municipale et le site industriel) doit être mis en place.
- les obligations des autorités locales sont les suivantes :
 - accepter le déversement lorsqu'il est conforme aux limites stipulées dans la convention ;
 - informer le site industriel en cas de problèmes de fonctionnement au sein de la station d'épuration municipale ;
- des questions d'ordre économique et administratif.

Exemple de collaboration entre des stations d'épuration municipale et industrielle avec un effet synergétique positif (Allemagne)

Dans la section 1.3.2.1, il a été dit qu'en général, le traitement conjoint des eaux usées municipales et industrielles ne présente ni avantages, ni inconvénients. Nous décrivons brièvement ci-dessous un exemple contraire.

Auparavant, deux stations d'épuration (l'une municipale et l'autre de l'industrie chimique) utilisaient chacune une installation de traitement biologique central et avaient différents points de déversement final dans une petite rivière réceptrice. Maintenant, elles fonctionnent conjointement de la façon suivante :

- le filtrat riche en azote et faiblement dégradable provenant des dispositifs de traitement des boues de la station d'épuration municipale est traité dans la station d'épuration industrielle qui dispose des micro-organismes capables de traiter ce type d'eau usée ;
- en retour, la station d'épuration industrielle envoie une quantité équivalente d'eaux usées à la station d'épuration municipale.

Les figures 7.1 et 7.2 montrent respectivement les procédés avant et après le début de la collaboration.

Cette collaboration présente des avantages économiques et environnementaux. L'utilisation des équipements sur un seul site permet de réaliser des économies de capital et le rejet réciproque permet de réduire la charge d'azote (somme de l'ion ammonium, du nitrite et du nitrate) dans la rivière réceptrice de 1 000 kg par jour par rapport aux rejets séparés qui avaient lieu avant.

7.2 Annexe II. Exemple d'AFEM : Technologie de pincement

Un outil d'AFEM répandu est la technologie de pincement, utilisée pour optimiser les procédés de production, économiser l'énergie et la consommation d'eau, et réduire l'incidence des rejets d'eau. Deux de ces éléments (l'optimisation de la consommation d'eau et le rejet d'eau) rentrent dans le cadre du présent BREF. L'optimisation des procédés de production est traitée par les BREF verticaux ainsi que par d'autres références [cww/tm/132].

La technologie de pincement est une méthode d'optimisation de la consommation en consommables dans les procédés et sur les sites grâce à l'introduction de techniques d'intégration de procédé. Elle était avant tout utilisée comme outil d'économie d'énergie pour améliorer le rendement thermique dans les industries de procédé et chimiques. Cette méthode a été récemment transférée dans le domaine de la réduction des eaux et des eaux usées.

Buffer I + II	Bassin de tamponnement I + II
Neutralisation	Neutralisation
Aeration I	Aération I
Intermediate clarifier	Clarificateur intermédiaire
Aeration II	Aération II
Final clarifier	Clarificateur final
Influent	Influent
Screening	Tri préliminaire
Grid removal	Dégrillage
Pre-clarifier	Préclarificateur
Aeration	Aération
Sludge	Boues
Floc filtration	Filtration des flocs
Sludge treatment	Traitement des boues
Recirculation sludge	Recirculation des boues
Recirculation	Recirculation
Excess sludge	Boues excédentaires
Process water I	Eaux de procédé 1
Pre-clarification sludge	Boues de préclarification
Municipal WWTP	Station d'épuration municipale
Industrial WWTP	Station d'épuration industrielle

Figure 7.1 : coopération entre une station d'épuration municipale et une station d'épuration industrielle : ancienne situation

Buffer I + II	Bassin de tamponnement I + II
Neutralisation	Neutralisation
Aeration I	Aération I
Intermediate clarifier	Clarificateur intermédiaire
Aeration II	Aération II
Final clarifier	Clarificateur final
Influent	Influent
Screening	Tri préliminaire
Grid removal	Dégrillage
Pre-clarifier	Préclarificateur
Aeration	Aération
Sludge	Boues

Floc filtration	Filtration des floes
Sludge treatment	Traitement des boues
Recirculation sludge	Recirculation des boues
Recirculation	Recirculation
Excess sludge	Boues excédentaires
Process water 1	Eaux de procédé 1
Pre-clarification sludge	Boues de préclarification
Municipal WWTP	Station d'épuration municipale
Industrial WWTP	Station d'épuration industrielle
Process water 2	Eaux de procédé 2
Pretreated waste water	Eaux usées prétraitées

Figure 7.2 : coopération entre une station d'épuration municipale et une station d'épuration industrielle : nouvelle situation

Cette méthode vise à définir et à repérer les possibilités d'économie d'eau, par exemple au moyen de modifications des canalisations et du contrôle, et de minimiser le rejet d'eaux usées par des modifications des procédés, permettant ainsi une régénération sélective des eaux usées et une réduction des coûts de traitement. Cette technologie est également utilisée pour concevoir ou revoir la conception de la répartition du traitement des effluents afin de réduire les coûts de capital en réduisant la charge hydraulique d'une station d'épuration centrale.

Son application peut être divisée en quatre étapes [cww/tm/86] :

Étape 1 :

Réalisation d'un diagramme des flux du cheminement complet des eaux (alimentation, déversement), en précisant tous les points où de l'eau est utilisée et tous les points où des eaux résiduelles sont produites.

Développement d'un bilan des eaux avec une précision à 10 % de la quantité des flux les plus importants.

Définition des données adaptées à l'analyse en déterminant les sources et les puits d'eau.

Un exemple est illustré à la figure 7.3 [cww/tm/86].

Purity	Pureté
Fresh water	Eau douce
Water sources	Sources d'eau
Water sinks	Puits d'eau
Waste water	Eaux usées
Water flow rate	Débit de l'eau
Waterpinch	Pincement hydraulique

Figure 7.3 : technologie de pincement : analyse, courbes des sources et des puits d'eau

Étape 2 :

- Sélection des polluants ou des propriétés clés qui empêchent la réutilisation directe des flux d'eaux usées respectifs.
- Choix des concentrations pour la conception : concentrations maximales pour les puits, concentrations pratiques minimales pour les sources.

Étape 3 :

- Développement de l'analyse de pincement multidimensionnelle pour déterminer l'adéquation optimale entre les sources et les puits. Ceci peut être réalisé à l'aide d'un logiciel. La procédure intègre l'identification des pincements ainsi que la prise en compte des modifications des procédés et des solutions de régénération conduisant à des objectifs moindres.

Étape 4 :

- Répétition de l'étape 3 jusqu'à ce qu'une conception pratique ait pu être dégagée.

L'application de la technologie de pincement a permis de réduire les eaux usées jusqu'à 60 % [cww/tm/86]. Exemples de performances de réduction des flux d'eaux usées :

- Produits chimiques et fibres 25 %
- Produits chimiques 40 %
- Raffinage du pétrole 20-30 %
- Produits chimiques dérivés du charbon 50 %
- Polymères 60 %

Un exemple de stratégie de conservation de l'eau est illustré à la figure 7.4 [cww/tm/86].

Fresh water	Eau douce
Recycle	Recyclage
Storage	Stockage
Effluent to waster water treatment	Effluent à traiter

Figure 7.4 : exemple de stratégie de conservation de l'eau avant et après analyse de pincement

Les économies financières ne se limitent généralement pas aux coûts correspondant à l'économie d'eau. Elles peuvent être importantes si la réduction des eaux usées est à l'origine de la construction d'une station d'épuration plus petite, si elle rend facultative l'agrandissement des installations de traitement des eaux usées existantes ou si elle permet l'augmentation de la capacité des unités de production sans surcharge hydraulique pour la station d'épuration centrale. La modification des procédés et la régénération sélective des eaux peuvent conduire à la récupération de produits, ce qui peut être également rentable.

La technologie de pincement est principalement appliquée pour les raisons suivantes [cww/tm/86] :

- pour éviter la diminution de la production en cas d'alimentation en eau limitée ;
- pour réduire les coûts d'alimentation en eau ;
- pour réduire les coûts de capital des nouvelles installations d'alimentation en eau (par exemple, nouveaux puits ou nouvelles canalisations) ;
- pour réduire les coûts de capital des installations de traitement des eaux usées ;
- pour réduire les coûts de traitement des eaux usées ;
- pour réduire les taxes d'égouts ;
- pour réduire les coûts de capital de l'agrandissement des installations de traitement des eaux usées du site nécessité par une augmentation des taux de production ou par l'adoption de réglementations plus strictes en matière d'émission ;
- pour aider à respecter les réglementations environnementales.

7.3 Annexe III. Contrôle d'une station d'épuration centrale biologique

Le bon fonctionnement d'une station d'épuration biologique nécessite une surveillance constante et le réglage ciblé de divers paramètres de procédé. Le contrôle des paramètres pertinents peut se faire au moyen de mesures en continu qui facilitent l'intervention et le contrôle direct, ou au moyen de résultats analytiques obtenus à partir d'échantillons d'eaux usées qui reflètent les tendances à long terme et qui sont également primordiaux à des fins de contrôle et de documentation. Les besoins relatifs aux mesures en continu et aux analyses qui s'appliquent aux diverses étapes des procédés associées à une station d'épuration sont indiqués dans le tableau 7.1. Les exigences particulières peuvent varier dans certains cas [cww/tm/132].

Paramètre	Influent	Neutralisation	Préclarification	Bassin de tamponnement de l'influent vers le procédé biologique	Procédé biologique	Effluent	Traitement des boues
Analyses à partir de mesures en continu							
débit d'eaux usées	c					c	
pH	c	c	c	c	c	c	c
température	c					c	
toxicité sur les bactéries	c						
COT				c	c	c	
azote				c	c	c	
phosphore				c	c	c	
matières solides totales [g/l]					c		
oxygène dissous					c	c	
Analyses à partir d'échantillons aléatoires							
matières solides totales [g/l]			i		i		i
volume de décantation			i		i	i	
Analyses à partir d'échantillons représentatifs							
COT	i			i		i	
DCO	i			i		i	
DBO	i			i		i	
AOX/EOX	i			i		i	
azote total	i			i		i	
NH ₄ -N	i			i		i	
NO ₃ -N	i			i		i	
phosphore total	i			i		i	
PO ₄ -P	i			i		i	
substances isolées	i			i		i	
c : en continu i : échantillons d'inhalation							

Tableau 7.1 : contrôle d'une station d'épuration

7.4 Annexe IV. Normes de contrôle

Les listes suivantes (version datée de juillet 1999) répertorient les normes CEN des paramètres à analyser en ce qui concerne le contrôle des émissions dans l'air, l'eau, les boues et les sédiments. Les normes CEN sont adoptées dans tous les États membres de l'Union européenne [cww/tm/167].

Le tableau répertorie les normes ratifiées par le CEN (numéro EN et date de ratification) ou les documents préliminaires en cours d'enquête publique ou d'adoption (numéro ISO ou prEN). Lorsque rien n'est précisé, cela signifie que le travail est en cours de réalisation.

Normes relatives aux eaux, aux boues et aux sédiments

Paramètre	Domaine	Normes ratifiées par le CEN	Documents préliminaires en cours d'enquête publique ou d'adoption
Paramètres de substitution, de somme et de groupe			
AOX	eau	EN 1485: 1996	
DBO	eau	EN 1899: 1998	
Solides en suspension	eau	EN 872: 1996	
COT	eau	EN 1484: 1997	
Agents formant un complexe	eau		
Indice hydrocarbure	eau		ISO DIS
Consommation d'oxygène	eau, boues	EN ISO 8192: 1995	
HAP	eau		
Indice phénol par analyse de l'écoulement	eau, boues		prEN 14402
Valeur en permanganate	eau	EN ISO 8467: 1995	
Agents de surface anioniques	eau	EN 903: 1993	
Test de simulation des boues activées	eau	EN ISO 11733: 1998	
Biodégradabilité inhérente	eau	EN ISO 9887: 1994	
Indice au bleu de méthylène par analyse de l'écoulement	eau		
Inhibition de la nitrification	eau	EN ISO 9509: 1995	
Clostridia réductrices de sulfite	eau	EN 26461: 1993	
Biodégradabilité ultime (CO ₂ émis)	eau	EN 29439: 1993	
Biodégradabilité ultime (Zahn Wellens)	eau	EN 29888: 1993	
Biodégradabilité ultime (respiromètre fermé)	eau	EN 29408: 1993	
Biodégradabilité ultime (mesure de la DCO)	eau	EN ISO 7827: 1995	
Biodégradabilité ultime (substances faiblement solubles)	eau	EN ISO 10634: 1995	
Biodégradabilité ultime (production de biogaz)	eau	EN ISO 11734: 1998	
Biodégradabilité ultime (mesure de la DBO)	eau	EN ISO 10707: 1997	
Alcalinité	eau	EN ISO 9963: 1995	
Couleur	eau	EN ISO 7887: 1994	
Conductivité électrique	eau	EN ISO 7888: 1993	

Odeur, parfum	eau	EN 1622: 1997	
Turbidité	eau	EN 27027: 1999	
Paramètres de toxicité			
Test d'inhibition de la croissance d'algues	eau	EN 28692: 1993	
Toxicité sur les bactéries (pseudomonas)	eau	EN ISO 10712: 1995	
Toxicité sur les poissons	eau	EN ISO 7346: 1998	
Inhibition de la mobilité des daphnies magna	eau	EN 6341: 1996	
Test sur les bactéries luminescentes	eau	EN ISO 11348: 1998	
Test d'inhibition de la croissance des algues marines	eau	EN ISO 10253: 1998	
Substances organiques			
Benzène et composés homologues	eau		
Tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane)	eau	EN 10301: 1997	
Chloroforme (trichlorométhane), dichloroéthane, trichloroéthène, tétrachloroéthène	eau	Voir EN 10301	
Chlorophénols, phénols polychlorés	eau	EN 12673: 1997	
Épichlorohydrine	eau		
Hexachlorobenzène, trichlorobenzène	eau	Voir EN 6468	
Hexachlorocyclohexane et isomères	eau	EN 6468: 1996	
Composés organostanniques	eau		
Pesticides			
Aldrine, dieldrine, endrine	eau	Voir EN 6468	
Atrazine, simazine par CLHP	eau	EN 11369: 1997	
Atrazine, simazine par GC	eau		ISO/DIS 10695-1
DDT, DDD, DDE	eau	Voir EN 6468	
Endosulfane	eau	Voir EN 6468	
Parathion, parathion-méthyle et composés connexes	eau		prEN 12918
Parathion et composés connexes par extraction solide/liquide	eau		
Paramètres inorganiques			
Aluminium	eau		
Arsenic	eau	EN 11969: 1996 EN 6595: 1992	
Arsenic, I sélénium, antimoine par fluorescence atomique	eau		
Cadmium	eau, boues, sédiments	EN 5961: 1995	
Calcium et magnésium	eau		
Chlore	eau		
Chrome	eau, boues,	EN 1233: 1996	

	sédiments		
Azote Kjeldahl	eau	EN 25663: 1993	
Mercure	eau, boues, sédiments	EN 1483: 1997	
Mercure (méthode d'enrichissement)	eau, boues, sédiments	EN 12338: 1998	
Mercure par fluorescence atomique	eau, boues, sédiments		
Métaux par SAA sans flammes	eau		
Thallium par SAA	eau		
Azote total, méthode instrumentale	eau	ENV 12260: 1996	
33 éléments par ICP/OES	eau, boues, sédiments	EN ISO 11885: 1997	
Paramètres inorganiques cationiques			
Ammonium par analyse de l'écoulement	eau	EN ISO 11732: 1997	
Cations par CI	eau, boues	UAP 1998	
Paramètres inorganiques anioniques			
Bromate par CI	eau		
Chlorure par analyse de l'écoulement	eau		
Cyanure par analyse de l'écoulement	eau, boues	prEN 14403	
Anions dissous par CI	eau	EN ISO 10304-1: 1995 EN ISO 10304-2: 1996 EN ISO 10304-3: 1997	prEN 10304-4
Nitrite	eau	EN 26777: 1993	
Nitrite et nitrate par analyse de l'écoulement	eau	EN ISO 13395: 1996	
Phosphate par analyse de l'écoulement	eau		
Phosphore	eau	EN 1189: 1996	
Silicate par analyse de l'écoulement	eau		
Paramètres de la qualité de l'eau			
Oxygène dissous	eau	EN 25813: 1992 EN 25814: 1992	

Normes pour les émissions dans l'atmosphère et l'air ambiant

Paramètre	Domaine	Normes ratifiées par le CEN	Documents préliminaires en cours d'enquête publique ou d'adoption
Air provenant du sol	émission atmosphérique		
Benzène	air ambiant		
Monoxyde de carbone (CO)	air ambiant		
Monoxyde de carbone	émission		

(CO) Concentration dans la tour	atmosphérique		
Echantillonneurs par diffusion Exigences et méthodes de test	air ambiant		prEN 13538-1
Echantillonneurs par diffusion Méthodes de test spécifiques	air ambiant		prEN 13538-2
Echantillonneurs par diffusion Guide de sélection, d'utilisation et d'entretien	air ambiant		
Dioxines et furannes Échantillonnage	émission atmosphérique	EN 1948-1: 1996	
Dioxines et furannes Extraction et nettoyage	émission atmosphérique	EN 1948-2: 1996	
Dioxines et furannes Identification et quantification	émission atmosphérique	EN 1948-3: 1996	
Poussières totales à faible concentration Méthode de référence	émission atmosphérique		prEN 13284-1
Poussières totales à faible concentration Validation de SMA	émission atmosphérique		
HCl (gaz) Échantillonnage et prétraitement du gaz	émission atmosphérique	EN 1911-1: 1997	
HCl (gaz) Absorption des composés gazeux	émission atmosphérique	EN 1911-2: 1997	
HCl (gaz) Analyse de solution et calcul	émission atmosphérique	EN 1911-3: 1997	
Émissions fugitives/diffuses	émission atmosphérique		
Mercure	air ambiant		
Mercure total Méthode de référence	émission atmosphérique		prEN 13211-1
Mercure total Validation de SMA	émission atmosphérique		
Métaux - métalloïdes (sauf Hg - Sn)	émission atmosphérique		
Métaux - métalloïdes Pb - Cd - As - Ni	air ambiant		
Oxyde d'azote (NO ₂)	air ambiant		
Oxydes d'azote (NO-NO ₂) Concentration dans la tour	émission atmosphérique		
Odeurs par olfactométrie dynamique	émission atmosphérique		
Carbone organique gazeux	émission		prEN 12619

total (FID) - concentration faible	atmosphérique		
Carbone organique gazeux total (FID) - concentration élevée	émission atmosphérique		prEN 13526
Carbone organique gazeux Composés individuels	émission atmosphérique		
Oxygène (O ₂) Concentration dans la tour	émission atmosphérique		
Ozone (O ₃)	air ambiant		
Particules (<PM ₁₀)	air ambiant		prEN 12341
Particules (<PM _{2,5})	air ambiant		
Assurance qualité du SMA Performances et exigences	émission atmosphérique		
Assurance qualité du SMA Inspections régulières	émission atmosphérique		
Assurance qualité du SMA Contrôle du fonctionnement	émission atmosphérique		
Systèmes de certification des SMA	émission atmosphérique et air ambiant		
Stratégie/qualité de la mesure des émissions	émission atmosphérique		
Dioxyde de soufre (SO ₂)	air ambiant		
Dioxyde de soufre (SO ₂) Concentration dans la tour	émission atmosphérique		
Vapeur d'eau (vapeur d'H ₂ O) Concentration dans la tour	émission atmosphérique		

7.5 Annexe V. Plan d'urgence en cas de pollution involontaire

Comme indiqué à la section 2.2.4.2, un exemple de plan d'urgence en cas de pollution involontaire [cww/tm/148] est détaillé dans cette annexe. Les informations demandées sont générales et donc applicables à tous les sites. Des informations supplémentaires peuvent être nécessaires selon les particularités du site ou de la production.

NAME AND ADDRESS OF COMPANY	NOM ET ADRESSE DE L'ENTREPRISE
NATURE OF BUSINESS	OBJET DE L'ENTREPRISE
DATE OF PLAN	DATE DU PLAN
REVIEW DATE	DATE DE RÉVISION
APPROVED BY	APPROUVÉ PAR
DATE	DATE
COPIES TO	COPIES À
ENVIRONMENTAL AUTHORITY	AUTORITÉ ENVIRONNEMENTALE
FIRE AUTHORITY	BRIGADE DE SAPEURS-POMPIERS
POLICE	POLICE
SEWAGE UNDERTAKING	RESPONSABLE DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT
WATER SUPPLIER	COMPAGNIE D'EAU
LOCAL AUTHORITY	AUTORITÉ LOCALE
OTHER	AUTRES
CONTACT PHONE NUMBERS DURING OFFICE AND OUT OF OFFICE HOURS	NUMÉROS À CONTACTER PENDANT OU EN DEHORS DES HEURES DE TRAVAIL
EMERGENCY SERVICES	SERVICES D'URGENCES
LOCAL POLICE	POLICE MUNICIPALE
MEDICAL SERVICE	SERVICES MÉDICAUX
ENVIRONMENTAL HOTLINE	LIGNE D'URGENCE ENVIRONNEMENTALE
ENVIRONMENTAL REGULATOR	AUTORITÉ DE RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE
GAS SUPPLIER	COMPAGNIE DE GAZ
ELECTRICITY SUPPLIER	COMPAGNIE D'ÉLECTRICITÉ
WASTE DISPOSAL CONTRACTOR	ENTREPRISE D'ÉVACUATION DES DÉCHETS
SPECIALIST ADVICE	CONSULTANT
SPECIALIST CLEAN-UP CONTRACTORS	ENTREPRISES DE NETTOYAGE SPÉCIALISÉES
COMPANY CONTACTS (OUT OF HOURS)	CONTACTS AU SEIN DE L'ENTREPRISE (EN DEHORS DES HEURES DE TRAVAIL)
SITE MANAGER	DIRECTEUR DU SITE
MANAGING DIRECTOR	ADMINISTRATEUR DÉLÉGUÉ
ENVIRONMENTAL MANAGER	AMÉNAGEUR
FOREMAN	CONTREMAÎTRE
HEAD OFFICE CONTACT	CONTACT DU SIÈGE SOCIAL
SITE DRAINAGE PLAN	PLAN DE DRAINAGE DU SITE
OIL, CHEMICAL AND PRODUCT INVENTORY	INVENTAIRE DES PRODUITS, PRODUITS CHIMIQUES ET HUILES
MAXIMUM QUANTITIES AT PEAK TIMES	QUANTITÉS MAXIMALES EN PÉRIODE DE PIC
TRADE NAME	NOM COMMERCIAL
CHEMICAL	PRODUIT CHIMIQUE
LIQUIDE/GAS/POWDER	LIQUIDE/GAZ/POUDRE
CONTAINER SIZE	TAILLE DES RÉSERVOIRS
MAXIMUM QUANTITY	QUANTITÉ MAXIMALE

7.6 Annexe VI. Exemples de traitement des effluents gazeux et des eaux usées

Les exemples suivants présentent des données sur des installations de traitement d'effluents actuellement en fonctionnement au sein de différents États membres de l'Union européenne. Toutefois, la présence de ces données ne signifie pas nécessairement que ces installations et leurs équipements sont conformes aux MTD. Les conclusions sur les MTD sont détaillées au chapitre 4.

7.6.1 Informations techniques concernant des stations d'épuration (exemples)

[cww/tm/105]

	Exemple I	Exemple II
Production	production diversifiée, principalement organique	production diversifiée
Date de construction	1988	1978
Fonction	procédé biologique à tour avec clarification finale séparée pour le traitement chimique des eaux usées	procédé biologique à tour avec clarification finale
Étapes du procédé	neutralisation traitement biologique clarification finale	égalisation neutralisation traitement biologique décantation
Caractéristiques de l'installation	- bassin de tamponnement : $V = 300 \text{ m}^3$ - bassin de neutralisation : $V = 3,0 \text{ m}^3$ - 2 bassins d'aération : $V = 3\,000 \text{ m}^3$ chacun - collecteur, 14 m de diamètre	- 2 bassins de tamponnement : $V = 1\,500 \text{ m}^3$ - 1 bassin de tamponnement : $V = 1\,700 \text{ m}^3$ - 3 cuves de neutralisation : $V = 25 \text{ m}^3$ chacune - 6 tours de traitement biologique : $V = 1\,600 \text{ m}^3$ chacune, 11 m de diamètre - 6 collecteurs : $V = 112 \text{ m}^3$ chacun, utilisés pour clarification finale
Traitement des boues	déshydratation avant incinération hors site	centrifugeuse évaporation combustion
Données du procédé		
Débit d'eaux usées [m^3/j]	5 280	3 840
Charge de DCO [tonnes/j]	4,2	3
Charge de $\text{NH}_4\text{-N}$	0,2	0,3
DBO_5 [tonnes/j]	1,75	1
N organique [tonnes/j]	0,15	
$\text{NO}_3\text{-N}$ [tonnes/j]		0,5
$\text{PO}_4\text{-P}$ [tonnes/j]	0,005	
Consommables		
Alimentation en O_2 [tonnes/j]	12,0	6,8
Floculants [tonnes/an]	6	1,57
Nutriments [tonnes/an]	1,18	
Électricité pour la station d'épuration [MWh/an]	885	2 581
Électricité pour le traitement des boues	38	105

[MWh/an]		
Vapeur pour la station d'épuration [tonnes/an]	–	1 200
Vapeur pour le traitement des boues [tonnes/an]	–	50 718
Air comprimé pour la station d'épuration [1 000 Nm ³ /an]	1 700	4 750
Air comprimé pour le traitement des boues [Nm ³ /an]	–	17,6
Effet inter-milieux		
Boues [tonnes de matières solides sèches/j]	0,11	0,13
Boues [kg de matières solides sèches par tonne de DCO éliminée]	34	118
Données de performance ^a		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	4 704	1 882
Élimination de la DCO [%]	53	81
Émission de DCO [mg/l]	616	132
^a moyenne journalière		

	Exemple III	Exemple IV
Production	production diversifiée : grandes quantités de produits chimique et chimie fine, organique et inorganique	
Date de construction	1972-74, agrandissements en 1979, 1981 et 1985-6	1978, agrandissements en 1994, 1999
Fonction	procédé biologique à tour pour le traitement des charges élevées et à bassin pour le traitement des charges faibles	procédé biologique à tour avec clarification finale
Étapes du procédé	grille à râteau neutralisation préclarification tamponnement, égalisation dénitrification partielle 1 ^{ère} phase biologique avec clarification intermédiaire 2 ^{ème} phase biologique avec clarification finale flottation traitement des effluents gazeux traitement des boues	grille à râteau neutralisation préclarification tamponnement, égalisation 1 ^{ère} phase biologique 2 ^{ème} phase biologique clarification finale traitement des boues
Caractéristiques de l'installation	- neutralisation : V = 628 m ³ - 8 préclarificateurs industriels :	- neutralisation : V = 600 m ³ - 1 bassin de tamponnement :

	<p>V = 480 m³ chacun</p> <p>-2 préclarificateurs municipaux : V = 1 950 m³ chacun</p> <p>-3 bassins de tamponnement : V = 10 000 m³ chacun</p> <p>- 2 bassins de tamponnement : V = 25 000 m³ chacun</p> <p>-1 bassin de tamponnement : V = 15 000 m³</p> <p>-1 bassin de dénitrification : V = 10 000 m³</p> <p>- 4 procédés biologiques à tour : V = 13 000 m³ chacun</p> <p>- 4 clarificateurs intermédiaires : V = 1 000 m³ chacun</p> <p>- bassin d'aération 1 : V = 11 000 m³</p> <p>- bassin d'aération 2 : V = 25 000 m³</p> <p>- 6 collecteurs : V = 1 520 m³, 18 m de diamètre chacun</p> <p>- 4 collecteurs : V = 1 520 m³, 20 m de diamètre chacun</p> <p>- 3 clarificateurs secondaires</p> <p>- 2 bassins de flottation : 12 m de diamètre</p>	<p>V = 15 600 m³</p> <p>- 1 bassin d'aération : V = 5 000 m³</p> <p>- 1 bassin d'aération : V = 5 500 m³</p> <p>- 4 bassins d'aération : V = 2 000 m³ chacun</p> <p>- 3 bassins de clarification : V = 3 500 m³, 40 m de diamètre chacun</p>
Traitement des boues	<p>épaississeur</p> <p>conditionnement à la chaux et au fer</p> <p>déshydratation mécanique avec membrane</p> <p>filtres-presses</p> <p>combustion des boues</p>	<p>épaississeur</p> <p>2 filtres-presses</p>
Données sur le procédé (partie industrielle/municipale)		
Débit des eaux usées [m ³ /j]	<p>65 000/65 000 (temps sec)</p> <p>65 000/180 000 (temps pluvieux)</p>	18 000
Charge de DCO [tonnes/j]	150/40	26
Charge de NH ₄ -N	3/2,5	0,6
DBO ₅ [tonnes/j]	80/20	8
N organique [tonnes/j]	5/1	
NO ₃ -N [tonnes/j]	3/-	2,1
PO ₄ -P [tonnes/j]	1,6/0,8	0,07
Consommables		
Alimentation en O ₂ [tonnes/j]	180 (procédé biologique à tour)/30 (à bassin)	20
Floculants [tonnes/an]	50	360
Nutriments [tonnes/an]		10,6
Électricité pour la station d'épuration [MWh/an]	39 558	4 320
Électricité pour le traitement des boues [MWh/an]	3 644	145
Électricité pour le traitement de l'air	2 812	

d'extraction [MWh/an] ^a		
Vapeur pour la station d'épuration [tonnes/an]	4 241	
Vapeur pour le traitement des boues [tonnes/an]	3	
Air comprimé pour la station d'épuration [1 000 Nm ³ /an]	199 459	
Air comprimé pour le traitement des boues [Nm ³ /an]	3 220	
Effet inter-milieux		
Boues [tonnes de matières solides sèches/j]	77,25	7,9
Boues [kg de matières solides sèches par tonne de DCO éliminée]	720	620
Données de performance ^b		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	148 615	12 269
Élimination de la DCO [%]	87	91
Émission de DCO [mg/l]	107	106
^a traitement thermique des effluents gazeux		
^b moyenne journalière		

	Exemple V	Exemple VI
Production	production diversifiée, principalement organique	production diversifiée, principalement organique
Date de construction	1977	1974-76
Fonction	traitement des eaux usées pour sites de production chimiques	dénitrification et traitement biologique
Étapes du procédé	neutralisation préclarification dénitrification traitement biologique clarification finale flottation refroidissement traitement des boues	neutralisation préclarification dénitrification clarification finale traitement biologique
Caractéristiques de l'installation	neutralisation : V = 220 m ³ / V = 110 m ³ - préclarification : V = 1 000 m ³ - 2 bassins de dénitrification : V = 1 500 m ³ chacun - 2 bassins d'aération : V = 2 500 m ³ chacun - 2 collecteurs, 14 m de diamètre chacun	- neutralisation : V = 380 m ³ - 4 bassins de préclarification : V = 750 m ³ chacun - 3 bassins de tamponnement : V = 9 100 m ³ - bassin d'aération/dénitrification : V = 28 000 m ³ chacun - 16 bassins de clarification, 15 m de diamètre
Traitement des boues	épaississeur conditionnement polyélectrolyte centrifugeuse	pré-épaississement par séparateurs déshydratations des boues excédentaires et autres

	séchage des boues	mise en décharge
Données du procédé		
Débit d'eaux usées [m ³ /j]	8 500	60 000
Charge de DCO [tonnes/j]	17,5	60
Charge de NH ₄ -N	0,96	
DBO ₅ [tonnes/j]	9,55	
N organique [tonnes/j]	0,45	
NO ₃ -N [tonnes/j]	1,9	
PO ₄ -P [tonnes/j]		
Consommables		
Alimentation en O ₂ [tonnes/j]	16	15-20
Floculants [tonnes/an]	196,2	17
Nutriments [tonnes/an]	7,71	91
Électricité pour la station d'épuration [MWh/an]	4 204	1 163
Électricité pour le traitement des boues [MWh/an]	625	3 882
Vapeur pour la station d'épuration [tonnes/an]	36	641
Vapeur pour le traitement des boues [tonnes/an]	2 380	120
Air comprimé pour la station d'épuration [1 000 Nm ³ /an]	356	337
Air comprimé pour le traitement des boues [Nm ³ /an]	39,5	166
Effet inter-milieux		
Boues [tonnes de matières solides sèches/j]	1,83	103
Boues [kg de matières solides sèches par tonne de DCO éliminée]	150	2 000
Données de performance ^a		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	8 616	61 359
Élimination de la DCO [%]	84	87
Émission de DCO [mg/l]	255	120
^a moyenne journalière		

	Exemple VII	Exemple VIII
Production	production diversifiée, principalement organique	production diversifiée, organique
Date de construction	1977	1977/78
Fonction	prétraitement des eaux usées d'une station d'épuration centrale, traitement des eaux usées à 2 phases existence d'un traitement biologique avec précipitation simultanée du	traitement des eaux usées pour les sites de production pharmaceutique et chimique

	phosphate et nitrification dans une unité fermée	
Étapes du procédé	grille à râteau neutralisation préclarification traitement biologique clarification intermédiaire nitrification clarification finale	grille à râteau tamponnement, égalisation neutralisation 1 ^{ère} étape biologique (avec oxygène pur) clarification intermédiaire 2 ^{ème} étape biologique clarification finale
Caractéristiques de l'installation	- 2 bassins de neutralisation : V = 380 m ³ - 4 bassins de préclarification : V = 750 m ³ chacun - 3 bassins de tamponnement : V = 9 000 m ³ chacun - 2 bassins d'aération : V = 5 600 m ³ chacun - 1 clarificateur intermédiaire : 20 m de diamètre, surface : 300 m ² - 2 clarificateurs finals : 20 m de diamètre, surface : 300 m ²	- neutralisation : V = 50 m ³ - 2 bassins de tamponnement : V = 4 000 m ³ chacun - 2 bassins d'aération : V = 3 100 m ³ chacun - 1 clarificateur intermédiaire : V = 4 400 m ³ - 2 bassins d'aération : V = 1 600 m ³ chacun - 2 clarificateurs finals : V = 400 m ³
Traitement des boues	boues excédentaires pompées pour déshydratation	boues excédentaires traitées hors site
Données du procédé		
Débit d'eaux usées [m ³ /j]	8 000	20 000
Charge de DCO [tonnes/j]	15	60
Charge de NH ₄ -N	1,5	0,1
DBO ₅ [tonnes/j]		34
N organique [tonnes/j]		
NO ₃ -N [tonnes/j]	1,5	
PO ₄ -P [tonnes/j]	0,2	
Consommables		
Alimentation en O ₂ [tonnes/j]	30	60
Floculants [tonnes/an]	2,1	
Nutriments [tonnes/an]	37,5	12
Électricité pour la station d'épuration [MWh/an]	6 200	5 155
Électricité pour le traitement des boues [MWh/an]		
Électricité pour le traitement de l'air d'extraction [MWh/an] ^a	675	
Vapeur pour la station d'épuration [tonnes/an]	2 323	
Vapeur pour le traitement des boues [tonnes/an]		
Air comprimé pour la station d'épuration [1 000 Nm ³ /an]	3 261	
Air comprimé pour le		

traitement des boues [Nm ³ /an]		
Effet inter-milieux		
Boues [tonnes de matières solides sèches/j]	3,75	3,08
Boues [kg de matières solides sèches par tonne de DCO éliminée]	340	300
Données de performance^b		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	5 344	3 549
Élimination de la DCO [%]	83	98
Émission de DCO [mg/l]	411	56
^a traitement thermique des effluents gazeux		
^b moyenne journalière		

	Exemple IX	
Production	production diversifiée, organique et inorganique	
Date de construction	1974/75, agrandissement 1980/81	
Fonction	traitement des eaux usées pour sites de production chimiques	
Étapes du procédé	grille à râteau neutralisation tamponnement, égalisation préclarification 1 ^{ère} phase biologique clarification intermédiaire 2 ^{ème} phase biologique clarification finale flottation traitement des effluents gazeux	
Caractéristiques de l'installation	- bassin de neutralisation : V = 240 m ³ - 2 bassins de tamponnement : V = 5 000 m ³ chacun - 2 préclarificateurs : V = 3 000 m ³ - bassin d'aération 1 : V = 6 000 m ³ - 2 clarificateurs intermédiaires : surface : 500 m ² - bassin d'aération 2 : V = 8 000 m ³ - 6 collecteurs : 15 m de diamètre - 2 cellules de flottation : 10 m de diamètre	
Traitement des boues	boues excédentaires pompées pour traitement hors site	
Données du procédé		
Débit d'eaux usées [m ³ /j]	36 000	
Charge de DCO [tonnes/j]	35	
Charge de NH ₄ -N	1	
DBO ₅ [tonnes/j]	20	
N organique [tonnes/j]		
NO ₃ -N [tonnes/j]	1	
PO ₄ -P [tonnes/j]		

Consommables		
Alimentation en O ₂ [tonnes/j]	35	
Floculants [tonnes/an]	12,87	
Nutriments [tonnes/an]	30	
Électricité pour la station d'épuration [MWh/an]	11 107	
Électricité pour le traitement des boues [MWh/an]	219	
Électricité pour le traitement de l'air d'extraction [MWh/an] ^a	788	
Vapeur pour la station d'épuration [tonnes/an]	1 615	
Vapeur pour le traitement des boues [tonnes/an]		
Air comprimé pour la station d'épuration [1 000 Nm ³ /an]	1 183	
Air comprimé pour le traitement des boues [Nm ³ /an]		
Effet inter-milieux		
Boues [tonnes de matières solides sèches/j]	4,73	
Boues [kg de matières solides sèches par tonne de DCO éliminée]	250	
Données de performance ^b		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	22 700	
Élimination de la DCO [%]	95	
Émission de DCO [mg/l]	44	
a traitement des effluents gazeux par charbon actif		
b moyenne journalière		

7.6.2 Informations sur les rejets d'eaux usées (exemples)

[cww/tm/160]

	Exemple X	Exemple XI
Production	ingrédients pharmaceutiques actifs et produits intermédiaires	produits de chimie inorganique fine, produits pharmaceutiques
Étapes du procédé	grille à râteau neutralisation tamponnement, égalisation dénitrification traitement biologique, 2 étapes microtamisage	eaux usées avec charge principalement inorganique : - neutralisation - précipitation, floculation, décantation eaux usées avec charge organique importante : traitées hors site
Installations de prétraitement		Oxydation humide (sel H ₂ O ₂ /Fe) pour flux secondaires (réduction de la DCO)
Installations d'urgence	installation de traitement biologique supplémentaire V = 13 500 m ³ (sur 3 jours)	installations de traitement et de rétention supplémentaires V = 3 800 m ³ et V = 1 800 m ³
Traitement de l'air d'extraction	installations fermées, sauf étapes biologiques	
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	3 800	3 500

Données de performance ^a	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]
DCO	1 600	100	94	150	40	
DBO ₅	1 100	7	>99	49	20	
NH ₄ -N	30	2	93			
N inorganique total		20				
N total	40	25	37,5	15	15	
P total	4,2	0,5	88	3,8	0,3	
T _p		2				
T _D		1				
T _A		1-8				
T _L		1-8				
T _M		1,5				
^a moyenne journalière						

	Exemple XII			Exemple XIII		
Production	grande quantité de produits chimiques organiques et inorganiques, polymères, colorants, ingrédients pharmaceutiques et produits intermédiaires, eaux usées municipales (13 %)			ingrédients pharmaceutiques, pesticides, colorants		
Étapes du procédé	neutralisation décantation traitement biologique clarification finale (décantation)			neutralisation décantation procédé biologique à tour avec clarification finale		
Installations de prétraitement	stripping (ammoniac des flux secondaires) extraction (flux secondaires pour la production de pesticides) précipitation des métaux lourds			adsorption centrale au CAG (flux secondaires de la production de nitroaromatiques chlorés avec charge d'AOX élevée), régénération sur site		
Installations d'urgence	possibilité d'isoler 2 bassins d'aération volume de rétention 60 000 m ³			installation de rétention V = 12 000 m ³		
Traitement de l'air d'extraction	Étapes biologiques fermées			Installations biologiques fermées combustion des effluents gazeux		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	430 000			11 000		
Données de performance ^a	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]
DCO	1 050	112	91	160	18	89 ^b
DBO ₅	500	7	98,6		1	
NH ₄ -N	27	22	19,5	4,2	0,9	78
N inorganique total		22		50	28	44
N total						
P total	9	0,5	94		0,13	
AOX				1,1	0,16	85 ^c
T _P		2			2	
T _D		2			1	
T _A		2			3	

T _L		8				
T _M		1,5				
^a moyenne journalière ^b 96 % en tenant compte du prétraitement ^c 99 % en tenant compte du prétraitement						

	Exemple XIV			Exemple XV		
Production	polymères, fibres, azurants optiques, détergents, ingrédients pharmaceutiques			photostabilisants, antioxydants, inhibiteurs de corrosion, additifs, stabilisants		
Étapes du procédé	neutralisation clarification préliminaire traitement biologique : lits bactériens, bassin de boues activées clarification finale			neutralisation séparation huile/eau floculation, clarification dénitrification procédé biologique à 2 phases clarification finale flottation		
Installations de prétraitement	décantation des résines naturelles des flux secondaires distillation des flux secondaires provenant de la production pharmaceutique avec recyclage des solvants			précipitation, floculation, décantation-filtration (flux secondaire provenant de la production de composés organostanniques) distillation (flux secondaire provenant de la production d'amine)		
Installations d'urgence	bassin(s) de rétention V = 9 500 m ³			2 bassins de tamponnement V = 250 m ³		
Traitement de l'air d'extraction	combustion des effluents gazeux des lits bactériens et des épaisseurs de boues			biofiltre combustion des effluents gazeux de l'épaisseur de boues		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	14 700			1 300		
Données de performance ^a	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]
DCO	2 300	350	85	4 750	220	95,4
DBO ₅	920	18	98	2 430	18	99,3
NH ₄ -N						
N inorganique total	65	7	89	88	14,7	83,3
N total						
P total	4,4	0,5	88,4	16	1,5	90,6
AOX	0,4	0,16	60	1,5	0,25	83,3
T _P		2			3	
T _D		2			5	
T _A		8			12	
T _L		2			8	
T _M						
^a moyenne journalière						

	Exemple XVI	Exemple XVII
Production	chimie organique et inorganique de spécialités	ingrédients pharmaceutiques, vitamines, chimie organique fine

Étapes du procédé	neutralisation clarification préliminaire dénitrification traitement biologique avec clarification finale intégrée	neutralisation clarification préliminaire traitement biologique avec dénitrification clarification finale
Installations de prétraitement	oxydation humide avec H ₂ O ₂ des flux secondaires issus de la production de fongicides oxydation des flux secondaires contenant du Na ₂ S concentration des flux secondaires contenant de l'acide sulfurique précipitation des flux secondaires contenant du Ni et recyclage du Ni	précipitation de Hg et de Ni des flux secondaires stripping des flux secondaires avec des concentrations élevées d'AOX et de solvants
Installations d'urgence	installations de rétention V = 18 000 m ³	installations de rétention V = 23 000 m ³ installations de traitement au charbon actif
Traitement de l'air d'extraction	biofiltre pour les effluents gazeux des bassins de tamponnement, de la clarification préliminaire et de l'épaississeur de boues	procédés biologiques et bassins de tamponnement fermés biolaveur
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	4 300	5 750
Données de performance ^a	alimentation [mg/l] sortie [mg/l] performance [%]	alimentation [mg/l] sortie [mg/l] performance [%]
DCO	1 750 68 96	1 740 98 94,4
DBO ₅	820 9 99	890 5 99,4
NH ₄ -N		
N inorganique total	35 3,7 89,5	45 2,7 94
N total		
P total	5 0,7 86	7 0,9 87
AOX		0,4
T _p	2	
^a moyenne journalière		

	Exemple XVIII	Exemple XIX
Production	colorants textiles, produits intermédiaires, plastiques, résines	colorants organiques et produits intermédiaires, azurants optiques, agents antimicrobiques, eaux usées municipales (50 %)
Étapes du procédé	neutralisation décantation procédé biologique à tour avec clarification finale intégrée	neutralisation à 2 étapes clarification préliminaire procédé biologique à 2 phases avec dénitrification/nitrification clarification finale

Installations de prétraitement	recyclage de l'acide nitrique des flux secondaires filtration, extraction, stripping			oxydation humide centrale haute pression pour les flux secondaires avec charge de COT récalcitrant stripping de l'ammoniac précipitation du Cu de l'effluent de l'oxydation humide précipitation des métaux lourds de plusieurs flux secondaires adsorption de certains flux secondaires extraction de certains flux secondaires, concentration pour oxydation humide NF des flux secondaires de la production de colorants (concentration pour oxydation humide, raffinage pour station d'épuration)		
Installations d'urgence	bassins de rétention V = 10 000 m ³ et V = 7 500 m ³			bassins de rétention V = 6 000 m ³		
Traitement de l'air d'extraction	installations fermées			installations fermées, sauf procédé biologique et clarification finale technologie plasmacat pour le traitement des effluent gazeux (ozone, ionisation)		
Quantité d'eaux usées [m ³ /j]	16 000			11 000		
Données de performance ^a	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]
DCO	620	117	83	1 000	250	75 ^b
DBO ₅	280	7	97,5	370	6	98,4
NH ₄ -N				152	13	91,5
N inorganique total	42	24	43	153	18	88
N total						
P total		1,6		7	1,1	84
AOX		1,2		8,5	1,7	80
T _P		2			2	
T _D		2			1-4	
T _A		1			1-32	
T _L		19			4-32	
T _M					1,5	

^a moyenne journalière
^b 89 % en tenant compte de l'oxydation humide

	Exemple XX
Production	vitamines, produits intermédiaires
Étapes du procédé	neutralisation clarification primaire, essentiellement au charbon actif lits bactériens unités de boues activées, nitrification, dénitrification clarification finale

Installation de prétraitement	oxydation humide basse pression pour les flux secondaires contenant du COT récalcitrant évaporation des flux d'eaux usées à forte charge organique suivi de l'incinération des résidus distillation de solvant, recyclage extraction du COT récalcitrant des flux secondaires hydrolyse des flux secondaires contenant du COT récalcitrant		
Installations d'urgence	bassin de rétention $V = 10\,000\text{ m}^3$ possibilité d'isoler et de contourner un bassin		
Traitement de l'air d'extraction	traitement des effluents gazeux par adsorption au CAG installations fermées		
Quantité d'eaux usées [m^3/j]	8 000		
Données de performance ^a	alimentation [mg/l]	sortie [mg/l]	performance [%]
DCO	3 300	167	95
DBO ₅	1 400	7	99,5
NH ₄ -N	100	5	95
N inorganique total	100	7	93
N total	155 ^b	23 ^b	85
P total	5	0,9	82
AOX	1,1	0,13	88
T _p		2	
T _D		1-2	
T _A		1	
T _L		1	
T _M		1,5	
^a moyenne journalière			
^b azote Kjeldahl			

7.6.3 Informations sur les systèmes de traitement des eaux usées de sites complexes (exemples)

Exemple XXI

L'exemple XXI décrit un site industriel chimique finlandais partagé par cinq entreprises chimiques (A-E). Les caractéristiques de leurs productions sont les suivantes :

Entreprise	Production principale	Capacité [tonnes/an]
A	produits pétroliers et lubrifiants	
B	plastiques et produits pétrochimiques	
C	polyesters	max. 20 000
	agents plastifiants	max. 30 000
	PVC	70 000-90 000
D	PSE (polystyrène encapsulé)	40 000
E	Latex styrène butadiène	17 000

Chaque entreprise a mis en place ou met en place actuellement un système de management environnemental conforme à la norme ISO 14001.

La situation est illustrée à la figure 7.5.

Les informations relatives aux flux d'eaux usées, aux techniques de traitement utilisées et à leur efficacité sont indiquées dans le tableau 7.2.

Flux d'eaux usées	Techniques de traitement	Quantité d'eaux usées [m ³ /h]	Concentration d'alimentation [mg/l]	Concentration de sortie [mg/l]	Taux de performance [%]
EU-1 + EE-4	Traitement au CAG, régénération ; prétraitement par API, filtre à sable	10 000	DCO : 300-400 phénols : 5	DCO : <100 phénols : 1-2	DCO : 67-75 phénols : 60-80
EU-2 + EU-3	traitement biochimique, traitement consécutif des boues, incinération ; prétraitement par stripping, plusieurs API, floculation, flottation	2 000	DCO : 500-900 phénols : 30	DCO : <100 phénols : 0,02-0,04	DCO : 80-89 phénols : >99,8
R-1		12 000		DCO : <100 phénols : 1-2	
EU-6 (R-3)	traitement biochimique	88	DCO : 870	DCO : 118	DCO : 86,5
EU-7 (R-4)	stripping	16-20	CVM : 100-200	CVM : 0,20	CVM : >98
EU-8 (R-5)	décantation, floculation, précipitation, biologique aérobie traitement, décantation comme clarification finale	240			DCO : 99,1 DBO ₇ : 98,8 MES : 99,7 Styrène : 99,3 Phosphore : 98,4

Tableau 7.2 : flux d'eaux usées et données relatives aux traitements pour un site chimique complexe (Exemple XXI)

Company A	Entreprise A
Oil refinery	Raffinerie
Company A: WWTP	Entreprise A : station d'épuration
WW-1 Hydrocarbons, COD, phenols	EU-1 Hydrocarbures, DCO, phénols
WW-2 Hydrocarbons, COD, phenols	EU-2 Hydrocarbures, DCO, phénols
GAC treatment	Traitement au CAG
Biochemical treatment	Traitement biochimique
D-1	R-1
DISCHARGE	REJET
Stripping	Stripping
Oil skimmer	Récupérateur d'huile
WW-3 phenols, COD	EU-3 phénols, DCO
WW-4 benzene, hydrocarbons	EU-4 benzène, hydrocarbures
Company B Petrochemicals	Entreprise B Produits pétrochimiques
Company B Plastics	Entreprise B Plastiques

Rainwater D-2	Eaux pluviales R-2
Company D Polystyrene	Entreprise D Polystyrène
Company E SB-latex	Entreprise E Latex styrène butadiène
Company C Polyester / Plastizing agents	Entreprise C Polyester/agents plastifiants
WW-5 VOC	EU-5 COV
Catalytic ww incineration	Incinération catalytique des eaux usées (EU)
WW-6 COD	EU-6 DCO
Company C PVC	Entreprise C PVC
WW-7 COD, TSS, VCM	EU-7 DCO, MES, CVM
VCM stripping	Stripping du CVM
WW-8 COD, BOD, TSS, styrene	EU-8 DCO, DBO, MES, styrène
D-3	R-3
D-4	R-4
D-5	R-5

Figure 7.5 : situation d'un site de production chimique complexe (Exemple XXI)

Exemple XXII

Traitement central des eaux usées d'un site chimique fabricant des produits de chimie organique et inorganique fine tels que les produits pharmaceutiques, les pesticides et le fluorure d'hydrogène.

Quantité d'eaux usées : environ 300 m³/h

Le traitement des eaux usées est réalisé ainsi :

- processus de neutralisation à étapes avec de la chaux à un pH de 9,5 pour précipiter le fluorure, le sulfate et les métaux lourds, floculation et décantation ;
- aération des boues activées fortement chargées avec clarificateur ;
- aération des boues activées faiblement chargées avec clarificateur ;
- troisième étape biologique, procédé biologique avec support Biocarb pour éliminer la DCO réfractaire, les phénols et les AOX ;
- épuration de l'air d'extraction par adsorption au CAG, traitement supplémentaire par incinération ;
- déshydratation des boues, boues expédiées vers l'industrie du ciment ou vers des décharges.

Émissions :

DCO : 123 mg/l
 DBO₅ : 13 mg/l
 phénols : 0,5 mg/l
 AOX : 1,1 mg/l
 N total : 16 mg/l

La station d'épuration centrale est illustrée à la figure 7.6.

Rain and cooling water	Eaux pluviales et de refroidissement
Sedimentation tank	Bassin de décantation
GAC filter	Filtre au CAG
Return to aeration 1	Retour vers Aération 1
Storage tank 20000 m ³	Réservoir de stockage 20 000 m ³
Process water	Eau de procédé
Entry tank / pre-neutralisation	Bassin d'entrée/préclarification

Neutralisation	Neutralisation
Step 1	Étape 1
Step 2	Étape 2
Thickener	Épaississeur
Aeration 1	Aération 1
Clarifier 1	Clarificateur 1
Sludge recycling 1	Recyclage des boues 1
Excess sludge 1	Boues excédentaires 1
Aeration 2	Aération 2
Clarifier 2	Clarificateur 2
Sludge recycling 2	Recyclage des boues 2
Excess sludge 2	Boues excédentaires 2
Biocarb carrier biology	Procédé biologique avec support Biocarb
Air compressor	Compresseur d'air
Lime milk preparation	Préparation du lait de chaux
Sludge basin	Bassin de boues
Pure oxygen	Oxygène pur
Sludge dewatering	Déshydratation des boues

Figure 7.6 : station d'épuration centrale d'un site chimique fabricant des produits pharmaceutiques et des pesticides

7.6.4 Exemples de rejets de métaux lourds

[cww/tm/160]

Le tableau 7.3 ci-dessous présente les concentrations de métaux lourds de 23 rejets d'eaux usées. Les valeurs indiquées sont des moyennes annuelles d'échantillons mixtes de 24 heures ; les valeurs entre crochets sont les valeurs les plus élevées trouvées. Les concentrations sont celles au point de déversement final, après traitement à la source, sans dilution par des eaux pluviales ou de refroidissement. Elles dépendent de la quantité de métaux lourds dans le mélange totale des eaux usées.

(Numéro du site) Caractérisation	Hg [µg/l] [max.]	Cr [µg/l] [max.]	Ni [µg/l] [max.]	Zn [µg/l] [max.]	Cu [µg/l] [max.]	Cd [µg/l] [max.]	Pb [µg/l] [max.]	As [µg/l] [max.]
(1) pas de procédé biologique central	0,32 [1,96]	-	- [20]	4 [27]	-	0,057 [0,4]	- [7]	- [1]
(2) pas de procédé biologique central	1,01 [2,82]	- [10]	30 [180]	54 [230]	50 [100]	0,395 [1,2]	- [32]	4 [28]
(3) pas de procédé biologique central	0,23 [0,7]	- [40]	60 [180]	145 [470]	20 [180]	0,276 [3,8]	-	-
(4) pas de procédé biologique central	0,50 [3,6]	- [60]	-	158 [540]	-	-	100 [100]	-
(5) pas de procédé biologique central	0,84 [2,95]	- [20]	10 [20]	-	-	-	-	-
(6) pas de procédé biologique central	0,10 [0,3]	-	40 [60]	-	-	0,2 [0,6]	- [6]	-
(7) pas de procédé biologique central	-	-	- [20]	74 [380]	30 [180]	0,083 [1,0]	10 [36]	-
(8) pas de procédé biologique central	-	30 [120]	80 [190]	174 [490]	60 [280]	0,833 [8,2]	10 [16]	-
(9) pas de procédé	0,01	-	-	5	-	-	-	-

biologique central	[0,2]			[70]			[7]	
(10) pas de procédé biologique central	- [0,2]	- [20]	10 [40]	61 [190]	20 [50]	0,023 [1,0]	- [12]	-
(11) pas de procédé biologique central	-	- [20]	- [10]	30 [70]	- [20]	-	- [38]	-
(12) pas de procédé biologique central	0,02 [0,35]	10 [60]	10 [90]	111 [230]	20 [90]	0,031 [0,8]	20 [110]	-
(13) pas de procédé biologique central	0,11 [2,3]	- [10]	20 [95]	18 [40]	10 [20]	0,042 [0,3]	- [18]	3 [9]
(14) procédé biologique central	- [0,1]	-	- [8]	4 [20]	- [50]	0,012 [0,1]	- [10]	-
(15) procédé biologique central	0,01 [0,1]	20 [50]	50 [85]	117 [360]	30 [70]	0,212 [1,3]	- [16]	-
(16) procédé biologique central	- [0,1]	- [5]	- [13]	13 [390]	- [30]	0,006 [0,1]	- [10]	- [1]
(17) procédé biologique central	0,09 [1,3]	-	- [13]	-	20 [70]	0,018 [0,3]	- [7]	-
(18) procédé biologique central	0,01 [0,1]	-	-	-	-	0,16 [0,8]	-	-
(19) procédé biologique central	0,45 [1,2]	-	-	64 [150]	-	-	-	-
(20) procédé biologique central	0,49 [1,6]	-	-	4 [29]	-	0,064 [1,61]	- [7]	-
(21) procédé biologique central	0,05 [0,3]	-	50 [130]	23 [60]	- [20]	0,017 [0,4]	-	-
(22) procédé biologique central	-	-	10 [30]	613 [1 350]	- [50]	0,106 [0,6]	10 [34]	-
(23) procédé biologique central	<0,17	2,7	34	39	38	<0,3	<2,6	

Tableau 7.3 : niveaux d'émission des métaux lourds au point de déversement final [cww/tm/160]

7.6.5 Exemples d'installations de traitement des effluents gazeux

Exemple 1

Traitement des effluents gazeux d'un site chimique ; plusieurs entreprises partagent les équipements.

Effluents gazeux	Méthode de traitement	Rejet [mg/Nm ³]	Réduction [%]
Incineration des boues de la station d'épuration biologique	ESP et laveur de gaz	SO ₂ : 500 CO : 250 HCl : 1	
Effluents de la production de phénols	Incineration	Hydrocarbures : 14-15	Hydrocarbures : 99,5
Émissions fugitives de la production d'hydrocarbures	Incineration	Hydrocarbures : 5-6	Hydrocarbures : environ 99

aromatiques			
Effluent de la production de PVC	Adsorption au CAG	CV monomère : 0-5	
Entreprise X (production de latex)	Destruction thermique		95
Effluent de la production de polystyrène	Destruction thermique	COV : 25	COV : environ 95

Production :

- plastiques et produits pétrochimiques
- produits pétroliers et lubrifiants
- polyester
- agents plastifiants
- PVC
- Latex styrène butadiène
- polystyrène encapsulé

Exemple 2

Traitement des effluents gazeux d'un procédé d'incinération.

Le système de traitement se compose des éléments suivants :

- laveur à Venturi avec solution d'alcali pour éliminer le HCl, certains composés gazeux et une partie des matières solides. La solution acide du laveur est neutralisée avec de la chaux, les matières solides sont extraites de la solution au moyen d'additifs, puis mis en décharge ;
- laveur à écoulement radial pour éliminer le SO₂ au moyen d'une solution/suspension d'alcali ou de chaux ;
- ESP humide ; les résidus solides sont mis en décharge.

Les niveaux d'émission sont les suivants :

PM : 2-12 mg/Nm³
 SO₂ : 58-84 mg/Nm³
 CO : 2-55 mg/Nm³
 HCl : 7-22 mg/Nm³
 dioxines : 0,007-0,02 ng TEQ/Nm³

Exemple 3

RCS haute efficacité pour contrôler les teneurs en NO_x initiales élevées.

[commentaires de la France pour la version 2]

Production	Abrasif de décapage haute performance pour la fabrication de meules et de papiers abrasifs
Procédé de production	Processus Norton SG utilisant de l'acide nitrique et rejetant un effluent gazeux nitreux fortement concentré
Conditions	Débit de l'effluent gazeux : 800 Nm ³ /h, concentration en NO _x : 10 000 ppm
Procédé de réduction des NO _x choisi	RCS
Autre procédé de réduction	Lavage avec peroxyde/eau, conversion des NO _x en acide nitrique

Raison du choix du procédé RCS	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts de capital et coûts d'exploitation de la RCS semblent raisonnables • Plus d'effluents polluants • Simplicité du fonctionnement et de la maintenance de la RCS
Procédé de réduction	<p>Le gaz (à 70-90 °C) est d'abord dilué pour réduire la concentration en NO_x à moins de 5 000 ppm. Le mélange est chauffé à environ 240 °C, puis la quantité stœchiométrique de NH₃ (NH₃/NO_x jusqu'à 1,24) est pulvérisée sous forme d'une solution d'ammoniac à 25 %. Le mélange est aussitôt envoyé à travers le lit catalytique composé de granules. Enfin, l'effluent gazeux est à nouveau dilué avec de l'air selon un facteur >10 (réduction de la concentration en NO_x de 200 mg/Nm³ à 20 mg/Nm³) pour éliminer toute trace de rouille colorant le gaz de combustion.</p>

Données de performance	
Température du catalyseur en amont	215-225 °C
Concentration en NO _x en aval du catalyseur	1 240-1 450 ppm
Concentration en NO _x après dilution	50-100 ppm
Rapport NH ₃ /NO _x (mol/mol)	1,17-1,24
Fuite de NH ₃	jusqu'à 15 mg/Nm ³
Conversion des NO _x	93,1-96,2 %

Coûts	
Coûts de capital	2,4 millions F
équipements et génie civil	1,755 millions F
conception	0,645 millions F
Coûts d'exploitation annuels	2 176 F/t de NO _x convertis
Coûts totaux	5 182 F/t de NO _x réduits

7.7 Annexe VII. Législation des États membres relative aux eaux usées et aux effluents gazeux de l'industrie chimique

L'annexe VII examine les limites concernant les émissions des eaux usées et des effluents gazeux dans le secteur chimique au sein des États membres. Il est à noter que les critères derrière les chiffres indiqués peuvent varier, notamment en ce qui concerne le temps d'intégration, les conditions de référence, les techniques, mesures et analyses d'échantillonnage, et les méthodes de test de conformité.

1. AUTRICHE

Émissions atmosphériques

Il n'existe aucune législation particulière en Autriche sur les normes d'émission en ce qui concerne les émissions atmosphériques de l'industrie chimique. Dans la plupart des cas, l'ordonnance « Gewerbeordnung » (BGBl. 194/1994) permet de délivrer les autorisations relatives aux installations chimiques présentant des performances « de pointe ». Les normes d'émission pour les émissions atmosphériques des installations chimiques sont généralement basées sur la norme allemande « TA - Luft » (Instructions techniques sur la qualité de l'air).

Les installations de combustion sont réglementées par l'ordonnance « Feuerungsanlagenverordnung » (BGBl. II 1997/331), sauf pour les chaudières à vapeur, notamment les chaudières de récupération, les dispositifs de post-combustion des gaz d'extraction, les turbines à gaz et les moteurs à combustion.

Les normes d'émission relatives aux chaudières sont réglementées par la « Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen » (BGBl. 1988/380 i.d.F. BGBl. 1993/185, BGBl. I 1997/115, BGBl. I 1998/158) et la « Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen » (BGBl. 1989/19 i.d.F. BGBl. 1990/134, BGBl. 1994/785, BGBl. II 1997/324).

- Feuerungsanlagenverordnung (Ordonnance pour les installations de combustion) (BGBl. II 1997/331)

La « Feuerungsanlagenverordnung » régleme les émissions des installations de combustion dont la puissance thermique nominale est supérieure ou égale à 50 kW. Cette ordonnance est basée sur l'article 82, alinéa 1 de la « Gewerbeordnung ». Comme mentionné précédemment, les chaudières à vapeur, notamment les chaudières de récupération, les dispositifs de post-combustion des gaz d'extraction, les turbines à gaz, les moteurs à combustion et les installations utilisant des déchets comme combustibles ne sont pas réglementées par cette ordonnance.

La « Feuerungsanlagenverordnung » fournit différentes normes d'émission en fonction du combustible utilisé et de la puissance thermique. Les normes d'émission des installations de combustion fonctionnant au charbon ou au coke, des fours à mazout et des installations de combustion des combustibles gazeux sont présentées à la section suivante.

a) Installations fonctionnant au charbon ou au coke

Normes d'émission des fours au charbon ou à coke							
Polluants		Capacité ^a [MW]					
		≤0,35	>0,35-1	>12	>2-10	>10-50	>50
Poussières	[mg/m ³]	150	150	150	50	50	50
SO ₂	[mg/m ³]	-	-	-	-	400	200
CO	[mg/m ³]	1 000	1 000	150	150	150	150
NO _x	[mg/m ³]	-	400	400	400	350	100

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible
Les normes d'émission s'appliquent aux gaz d'extraction secs à 0 °C, à une pression de 101,3 kPa et avec une teneur en oxygène de 6 % dans le gaz d'extraction.

b) Installations au mazout

Quatre différents types de mazout sont utilisés en Autriche. La teneur en soufre des différents types de mazout est fixée par l'ordonnance « Verordnung über den Schwefelgehalt von Heizölen » (BGBl. 1989/94 i.d.F. BGBl. 1994/545). Le tableau ci-dessous présente la teneur en soufre maximale pour les différents types de mazout utilisés en Autriche.

Teneur maximale en soufre de différents types de mazout	
Type de mazout	Teneur maximale en soufre
Mazout extra léger	0,10 wt.-%
Mazout léger	0,20 wt.-%
Mazout moyen	0,60 wt.-%
Mazout lourd	1,00 wt.-%

Pour les installations de combustion de faible puissance, il existe des restrictions concernant la qualité du mazout à utiliser. Les mazouts avec une teneur en soufre plus élevée peuvent être utilisés dans une installation avec une capacité énergétique plus faible si les niveaux d'émission de SO₂ indiqués dans le tableau suivant sont assurés par d'autres mesures.

Capacités énergétiques pour l'utilisation de différents types de mazout	
Capacité ^a	Mazout
≤0,07 MW	extra léger
>0,075 MW	extra léger léger
5-10 MW	extra léger léger moyen
>10 MW	tous types de mazout

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible

Certaines normes d'émissions diffèrent selon le type de mazout. Les quatre tableaux ci-dessous présentent les normes d'émission pour les poussières, le SO₂, le CO et les NO_x pour les installations à mazout.

Normes d'émission de poussières [mg/Nm ³] avec du mazout comme combustible			
Combustible	Capacité ^a [MW]		
	>2-30 MW	>30-50 MW	>50 MW
Mazout extra léger	30	30	30
Mazout léger	50	35	35
Mazout moyen	60	50	35
Mazout lourd	60	50	35

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible
Les normes d'émission pour les combustibles liquides s'appliquent aux gaz d'extraction secs à 0 °C, à une pression de 101,3 kPa et avec une teneur en oxygène de 3 % dans le gaz d'extraction

Les normes d'émission pour le SO₂ et le CO sont fonction de la capacité thermique des installations de combustion.

Normes d'émission de SO ₂ [mg/Nm ³] avec du mazout comme combustible		
Polluant	Capacité ^a [MW]	
	>50-300 MW	>300 MW
SO ₂	350	200

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible
 Les normes d'émission pour les combustibles liquides s'appliquent aux gaz d'extraction secs à 0 °C, à une pression de 101,3 kPa et avec une teneur en oxygène de 3 % dans le gaz d'extraction

Normes d'émission de CO [mg/Nm ³] avec du mazout comme combustible		
Polluant	Capacité ^a [MW]	
	≤1 MW	>1 MW
CO	100	80

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible
 Les normes d'émission pour les combustibles liquides s'appliquent aux gaz d'extraction secs à 0 °C, à une pression de 101,3 kPa et avec une teneur en oxygène de 3 % dans le gaz d'extraction

Pour les NO_x, il existe différentes normes d'émission en fonction du type de mazout. À nouveau, la capacité thermique est un critère de la norme d'émission. Le tableau suivant présente les différentes normes d'émission pour les NO_x.

Normes d'émission de NO _x [mg/Nm ³] avec du mazout comme combustible				
Combustible	Capacité ^a [MW]			
	≤3 MW	>3-10 MW	>10-50 MW	>50 MW
Mazout extra léger	150	150	150	100
Mazout léger	450	400	350	100
Mazout moyen	450	450	350	100
Mazout lourd	450	450	350	100

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible
 Les normes d'émission pour les combustibles liquides s'appliquent aux gaz d'extraction secs à 0 °C, à une pression de 101,3 kPa et avec une teneur en oxygène de 3 % dans le gaz d'extraction.

c) Installations au gaz

Pour les installations qui utilisent des combustibles gazeux (gaz naturel ou gaz de pétrole liquéfié), la « Feuerungsanlagenverordnung » ne stipule des normes d'émission que pour les NO_x et le CO.

Normes d'émission pour les combustibles gazeux			
Polluant	Combustible	Capacité ^a [MW]	
		≤3 MW	>3 MW
CO [mg/Nm ³]	Gaz naturel	80	80
	Gaz de pétrole liquéfié	80	80
NO _x [mg/Nm ³]	Gaz naturel	120	100
	Gaz de pétrole liquéfié	160	130

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible
 Les normes d'émission pour les combustibles liquides s'appliquent aux gaz d'extraction secs à 0 °C, à une pression de 101,3 kPa et avec une teneur en oxygène de 3 % dans le gaz d'extraction.

Pour les installations de combustion avec des procédés à haute température, des émissions de NO_x plus élevées sont autorisées. Lorsque du gaz naturel est utilisé, la limite autorisée est de 200 mg/Nm³ de NO_x, et pour le gaz de pétrole liquéfié, cette limite est de 260 mg/Nm³.

Les exigences relatives aux mesures en continu de différents polluants dépendent du type de combustible et de la capacité de l'installation.

Seuils à partir desquels une mesure continue est obligatoire				
Combustible	Polluant			
	Poussières	CO	SO ₂	NO _x
Solide	>10 MW	>10 MW	>30 MW	>30 MW
Liquide	>10 MW	>10 MW	>50 MW	>30 MW
Gazeux	-	>10 MW	-	>30 MW

Cette ordonnance est entrée en vigueur le 1 juin 1998. Les installations de combustion auxquelles des améliorations ont été apportées avant cette date doivent se conformer aux valeurs d'émission de cette ordonnance dans un délai de cinq ans, ou, si elles ne dépassent pas ces valeurs de plus de 50 %, dans un délai de huit ans.

- Luftreinhaltegesetz et Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen (Loi sur la protection de l'air et Ordonnance sur la protection de l'air pour les chaudières à vapeur) (LRG-K et LRV-K)

En Autriche, les émissions des chaudières à vapeur et des chaudières de récupération sont réglementées par la loi « Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen » (BGBl. 1988/380 i.d.F. BGBl. 1993/185, BGBl. I 1997/115, BGBl. I 1998/158) et l'ordonnance « Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen » (BGBl. 1989/19 i.d.F. BGBl. 1990/134, BGBl. 1994/785, BGBl. II 1997/324). Les normes d'émission pour les poussières, le SO₂, le CO et les NO_x imposées par la Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen dépendent du type de combustible et de la capacité thermique des installations.

Normes d'émission pour les poussières [mg/Nm ³]				
Combustible	Capacité ^a [MW]			
	<2 MW	>2-30 MW	>30-50 MW	>50 MW
Combustibles solides ^b	150	50		
Combustibles gazeux	-	5	5	5
Mazout extra léger	-	30	30	30
Mazout léger	-	50	35	35
Mazout moyen	-	60	50	35
Mazout lourd	-	60	50	35

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible
^b à l'exception du bois

Normes d'émission pour le SO ₂ [mg/Nm ³]			
Combustible	Capacité ^a [MW]		
	10-50 MW	50-300 MW	>300 MW
Charbon de lignite	400	400	400
Autres combustibles	400	200	200

solides			
Combustibles liquides	1 700	350	200

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible

Normes d'émission pour le CO [mg/Nm ³]		
Combustible	Capacité ^a [MW]	
	≤1 MW	>1 MW
Combustibles solides	1 000	150
Combustibles liquides	100	80
Gaz de pétrole liquéfié	100	
Gaz naturel	80	

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible

Normes d'émission pour le NO _x [mg/Nm ³]				
Combustible	Capacité ^a [MW]			
	0,35-3 MW	3-10 MW	10-50 MW	>50 MW
Combustibles solides	400		350	200
Combustibles gazeux	125	100		
Mazout extra léger	150			
Mazout léger	400	400	350	100
Mazout moyen	450		350	100
Mazout lourd	450		350	100

^a La capacité est définie comme la moyenne des quantités cumulées horaires de chaleur en fonction de la capacité calorifique du combustible

Les normes d'émission des combustibles liquides correspondent à une teneur en oxygène de 6 % dans le gaz d'extraction. Pour les combustibles liquides et gazeux, elles correspondent à une teneur en oxygène de 3 %. Toutes les valeurs d'émission s'appliquent à des gaz d'extraction secs à 0 °C et une pression de 101,3 kPa.

Émissions dans l'eau

En Autriche, le rejet d'eaux usées dans des eaux de surface ou dans le réseau d'assainissement public est réglementé par l'ordonnance « Allgemeine Abwasseremissionsverordnung » (Ordonnance générale sur les émissions d'eaux usées) (BGBl. 1996/186) et par des ordonnances spécifiques à différents secteurs industriels.

Ces ordonnances sont basées sur la loi « Wasserrechtsgesetz » (Loi sur l'eau) (BGBl. I 155/1999). Les ordonnances particulières qui s'appliquent aux installations de production de produits chimiques organiques sont :

- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von Kohlenwasserstoffen und organischen Grundchemikalien BGBl. II 1999/7 (Ordonnance pour la limitation des émissions d'eaux usées de la production d'hydrocarbures et de produits chimiques organiques de base) ;
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Erdölverarbeitung BGBl. II 1997/344 (Ordonnance sur la limitation des émissions d'eaux usées du raffinage du pétrole) ;
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von technischen Gasen BGBl. 1996/670 (Ordonnance sur la limitation des émissions d'eaux usées de la production de gaz industriels) ;

- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von anorganischen Düngemitteln sowie von Phosphorsäure und deren Salzen BGBl. 1996/669 (Ordonnance sur la limitation des émissions d'eaux usées de la production d'engrais inorganiques ou d'acide phosphorique et ses sels).

- Hydrocarbures et produits chimiques organiques de base

L'ordonnance sur la limitation des émissions d'eaux usées de la production d'hydrocarbures et de produits chimiques organiques de base réglemente les normes d'émission correspondantes. Cette ordonnance est entrée en vigueur le 13 janvier 2000. Les installations ayant reçu une autorisation antérieurement à cette date doivent se conformer aux nouvelles exigences dans un délai de 6 ans. Cette ordonnance réglemente :

- le stockage des produits du traitement du pétrole brut ou d'une partie du pétrole brut et qui sont utilisés dans les procédés de production énumérés aux sections ii à vi ;
- la production d'alcènes, d'alcines ou d'hydrocarbures aromatiques des produits traitement du pétrole brut ou d'une partie du pétrole brut avec craquage, avec apport supplémentaire de vapeur (vapocraquage) ;
- la production d'hydrocarbures chimiquement purs ou leur mélange à partir des produits de craquage de la section ii en utilisant des procédés de séparation physiques ;
- la production de produits chimiques organiques de base à partir des produits de la section ii ou iii en utilisant des procédés d'alkylation, de désalkylation, de déshydrogénation, de dismutation, d'hydratation, d'hydroxylation, d'hydrodésalkylation, d'hydrogénation, d'isomérisation, d'oxydation ou d'éthérification ;
- la production d'azote contenant des produits chimiques organiques de base à partir des hydrocarbures des sections ii ou iii, ou à partir des substances de la section iv (par exemple, amides, amines, cyanates, isocyanates, lactames, nitriles, composés nitrés, nitrosés ou de nitrate, azote contenant des hydrocarbures aromatiques) ;
- la production de soufre ou de phosphore contenant des produits chimiques organiques de base à partir des hydrocarbures des sections ii ou iii, ou des substances de la section iv ;
- la production de produits chimiques organiques halogénés de base à partir des produits de la section ii ou iii, ou des substances de la section iv ;
- le stockage des produits des sections ii à vii ;
- l'épuration de l'air de purge et des condensats aqueux provenant des activités mentionnées à la section viii ;
- l'épuration des gaz de combustion des activités mentionnées aux sections i à viii avec utilisation de substances aqueuses dans le cas de réactions physiques et chimiques simultanées utilisées à des fins de synthèse ou de production, ou lorsque le gaz d'extraction est mélangé à un autre effluent gazeux et que la composition du gaz d'extraction résiduel est significativement différente de celle du gaz de combustion.

Normes d'émission pour la production d'hydrocarbures		
Paramètres généraux	Normes pour le rejet dans des eaux de surface	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
Température	30 °C	40 °C
T _A	8	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique
T _L	4	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique
T _D	4	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique
T _P	2	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique

MES	30 mg/l	150 mg/l
pH	6,5 – 8,5	6,5 - 10
Paramètres inorganiques	Normes pour le rejet dans des eaux de surface	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
Aluminium (calculé comme Al)	2 mg/l	Limité par la norme sur les MES
Plomb (calculé comme Pb)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Fer (calculé comme Fe)	3,0 mg/l	Limité par la norme sur les MES
Cuivre (calculé comme Cu)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Nickel (calculé comme Ni)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Mercure (calculé comme Hg)	0,01 mg/l	0,01 mg/l
Zinc (calculé comme Zn)	1 mg/l	1 mg/l
Étain (calculé comme Sn)	1 mg/l	1 mg/l
Ammonium (calculé comme N)	5 mg/l	
Chlorure (calculé comme Cl)	Limité par la norme sur la toxicité	
Cyanure (facilement rejeté et calculé comme CN)	0,1 mg/l	0,5 mg/l
Fluorure (calculé comme F)	30 mg/l	30 mg/l
Azote lié total (y compris azote-ammonium, nitrite et nitrate)	40 mg/l	-
Phosphore total (calculé comme P)	2 mg/l	-
Sulfate (calculé comme SO ₄)	-	200 mg/l
Sulfure (facilement rejeté et calculé comme S)	0,5 mg/l	1 mg/l
Paramètres organiques	Normes pour le rejet dans des eaux de surface	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
COT (calculé comme C)	25 mg/l	-
DCO (calculé comme O ₂)	75 mg/l	-
DBO ₅ (calculé comme O ₂)	20 mg/l	-
AOX (calculé comme Cl)	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Somme des hydrocarbures	5 mg/l	20 mg/l
POX (calculé comme Cl)	0,1 mg/l	0,1 mg/l
Indice phénol (calculé comme phénol)	0,2 mg/l	20 mg/l
Somme des tensides anioniques et non ioniques	2 mg/l	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique
Somme des hydrocarbures aromatiques volatils (BTEX)	0,1 mg/l	1 mg/l
Pour respecter ces limites d'émission, quatre sur cinq mesures successives doivent être inférieures à la limite d'émission et une seule valeur peut la dépasser (maximum 50 % de la limite d'émission). La majorité des paramètres doivent être déterminés au moyen d'échantillons représentatifs quotidiens homogènes proportionnels à la masse. Les paramètres température, MES, pH, cyanure, sulfure, POX et somme des hydrocarbures aromatiques volatils (BTEX) sont déterminés par des échantillons aléatoires.		

Les eaux usées de la production des substances suivantes doivent respecter les limites d'émission particulières suivantes. Les limites d'émission spécifiques à la production sont données en fonction de la capacité de production installée, en tonne.

Limites d'émission pour la production de plusieurs substances organiques			
Substance		Limite d'émission	
		[mg/l]	[g/tonne de capacité de production installée]
1.	Éthylbenzène, cumène	1,0	20
2.	Acétaldéhyde, acétate de vinyle	1,0	30
3.	Chlorure de vinyle (CV)	1,0	2
4.	Trichlorophénols (TCP, tous les isomères)	1,0	20
5.	Trichlorobenzènes (TCP, tous les isomères)	0,2	2
6.	Tétrachlorométhane	1,5	3
7.	Hexachlorobutadiène (HCBd)	1,5	2
8.	1,2-dichlorure d'éthane (DCE)	1,0	2
9.	Trichloroéthène (TRI)	1,0	3
10.	Perchloroéthène (PER)	1,0	3
11.	Solvants organiques halogénés sauf 1,2,4-trichlorobenzène et substances 6 - 11	1,0	10

Pour respecter ces limites d'émission, quatre sur cinq mesures successives doivent être inférieures à la limite d'émission et une seule valeur peut la dépasser (maximum 50 % de la limite d'émission). La majorité des paramètres doivent être déterminés au moyen d'échantillons représentatifs quotidiens homogènes proportionnels à la masse. Les paramètres température, MES, pH, cyanure, sulfure, POX et somme des hydrocarbures aromatiques volatils (BTEX) sont déterminés par des échantillons aléatoires.

Pour la production d'acétylène avec du carbure de calcium comme matière brute, les limites d'émission sont fixées par l'ordonnance « Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von technischen Gasen » (BGBl. 1996/670). Toutes les usines d'acétylène d'Autriche utilisent des procédés à base de carbure de calcium pour la production d'acétylène.

Normes d'émission pour la production d'acétylène à partir de carbure de calcium		
Paramètres généraux	Normes pour le rejet dans des eaux de surface	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
Température	35 °C	40 °C
T _L	4	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique
T _P	2	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique
MES	50 mg/l	Pas d'incidence sur le fonctionnement du réseau d'assainissement public ou la station d'épuration
pH	6,5 - 9	6,5 - 10
Paramètres inorganiques	Normes pour le rejet dans les eaux courantes	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
Fer (calculé comme Fe)	2 mg/l	Limité par la norme sur les MES
Ammonium (calculé comme N)	10 mg/l	-
Cyanure (facile à rejeter et	0,1 mg/l	0,1 mg/l

calculé comme CN)		
Phosphore total (calculé comme P)	1 mg/l	-
Sulfate (calculé comme SO ₄)	-	200 mg/l
Sulfure (calculé comme S)	0,1 mg/l	1 mg/l
Sulfite (calculé comme SO ₃)	1 mg/l	10 mg/l
Paramètres organiques	Normes pour le rejet dans les eaux courantes	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
DCO (calculé comme O ₂)	50 mg/l	-
Somme des hydrocarbures	10 mg/l	20 mg/l
Indice phénol (calculé comme phénol)	0,1 mg/l	10 mg/l
Pour respecter ces limites d'émission, quatre sur cinq mesures successives doivent être inférieures à la limite d'émission et une seule valeur peut la dépasser (maximum 50 % de la limite d'émission). La majorité des paramètres doivent être déterminés au moyen d'échantillons représentatifs quotidiens homogènes proportionnels à la masse. Les paramètres température, MES, pH, cyanure et sulfure sont déterminés par des échantillons aléatoires.		

L'ordonnance « Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von anorganischen Düngemitteln sowie von Phosphorsäure und deren Salzen » (BGBl. 1996/669) réglemente les limites d'émission pour le rejet d'eaux usées de la production d'urée et de mélamine.

Normes d'émission pour les eaux usées de la production d'urée et de mélamine		
Paramètres généraux	Normes pour le rejet dans des eaux de surface	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
Température	30 °C	35 °C
T _p	4	Pas d'incidence sur la station d'épuration publique
MES	30 mg/l	150 mg/l
pH	6,5-8,5	6,5-9,5
Paramètres inorganiques	Normes pour le rejet dans des eaux de surface	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
Ammonium (calculé comme N)	0,5 kg/t	0,5 kg/t
Nitrate (calculé comme N)	0,5 kg/t	0,5 kg/t
Nitrite (calculé comme N)	0,02 kg/t	0,02 kg/t
Paramètres organiques	Normes pour le rejet dans des eaux de surface	Normes pour le rejet dans le réseau d'assainissement public
DCO (calculé comme O ₂)	0,5 kg/t	-
Les normes d'émissions sont fonction de la capacité de production installée de l'usine (fonction de la quantité d'azote, en tonne, dans le produit fini). Pour respecter ces limites d'émission, quatre sur cinq mesures successives doivent être inférieures à la limite d'émission et une seule valeur peut la dépasser (maximum 50 % de la limite d'émission). La majorité des paramètres doivent être déterminés au moyen d'échantillons représentatifs quotidiens homogènes proportionnels à la masse. Les paramètres température, matériau filtrant, pH et nitrite doivent être déterminés par des échantillons aléatoires.		

2. BELGIQUE

Législation flamande sur les eaux usées et les effluents gazeux de l'industrie chimique

Dans la législation environnementale flamande, le VLAREM, le secteur chimique est classé dans différentes sous-sections :

- classification numéro 7 « Produits chimiques » (voir annexe 1)
- classification numéro 17 « Substances dangereuses » (voir annexe 2)
- classification numéro 20.4 « Industrie chimique, activités industrielles réglementées par la directive 84/360/EEG » (voir annexe 3)

Les installations chimiques sont soumises à des législations spécifiques à certains secteurs qui peuvent être différentes de la législation environnementale générale spécifiée dans le VLAREM :

- Vlarem II, Hoofdstuk 5.7 « Produits chimiques » (classification numéro 7) (voir annexe 4)
- Vlarem II, Hoofdstuk 5.17 « Substances dangereuses » (classification numéro 17) (voir annexe 5)
- Vlarem II, Hoofdstuk 5.20 « Activités industrielles à l'origine d'une pollution atmosphérique » (classification numéro 20) (voir annexe 6)

Annexe 1

7.	PRODUITS CHIMIQUES (voir également les sections 17 et 20.4)					
7.1	Établissements non répertoriés ailleurs pour la production ou le traitement de produits chimiques organiques ou inorganiques impliquant : - alkylation - amination avec de l'ammoniac - carbonylation - condensation - déshydrogénation - estérification - halogénéation et fabrication d'halogènes - hydrogénation - hydrolyse - oxydation - polymérisation - désulfuration, synthèse et conversion de composés contenant du soufre - nitration et synthèse de composés contenant de l'azote - synthèse de composés contenant du phosphore - distillation - extraction - solvation - mélange avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 1 000 tonnes inclus	3				
	2. de 1 000 à 10 000 tonnes inclus	2	A,G			
	3. supérieure à 10 000 tonnes	1	G,M	A	P	J

7.2	Installations chimiques intégrées, c'est-à-dire pour la fabrication de substances par conversion chimique à l'échelle industrielle, dans lesquelles différentes unités coexistent et sont fonctionnellement interconnectées, et dont le but est la fabrication de : 1. produits chimiques organiques de base 2. produits chimiques inorganiques de base 3. engrais contenant du phosphate, de l'azote ou du potassium (engrais simples ou composés) 4. produits de base pour la protection des cultures et biocides 5. produits pharmaceutiques de base avec procédé chimique ou biologique 6. explosifs	1	G,M	A	P	J
7.3	Usines ou installations pétrochimiques basées sur ceux-ci pour le craquage ou la vaporisation de naphtha, de gasoil, de GPL ou autres dérivés du pétrole, ainsi que les usines ou installations de chimie organique basées sur ceux-ci et non classées ailleurs, avec une capacité de traitement de :					
	1. jusqu'à 500 000 tonnes par an inclus	2	A			
	2. plus de 500 000 tonnes par an	1	M	A	P	J
7.4	Établissements de préparation de l'un des produits suivants : a) phénols, sulfures de carbone et mercaptanes, avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
	b) amines et composés organiques halogénés avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.5	Production de chlore par électrolyse et/ou par procédé à mercure ou à diaphragme avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.6	Fabrication de peroxydes organiques et inorganiques avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.7	Production de chlorure d'hydrogène et ses dérivés, ainsi que ses polymères, autres que ceux mentionnés à la section 5, avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.8	Production de pentachlorophénol de sodium par électrolyse ou à partir d'hexachlorobenzène, avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.9	Production de soude (carbonate de sodium) comme produit fini et/ou de calcium et de chlorure de sodium comme produits dérivés, avec une capacité annuelle de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.10	Production de méthylcellulose par action du chlorure de méthyle sur la cellulose, avec une capacité annuelle de :					

	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2				
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.11	Installations chimiques pour la fabrication de ^{1,2} :		G,M,X	A	P	J
	1. produits chimiques organiques de base tels que : a) les hydrocarbures simples (linéaires ou cycliques, saturés ou non saturés, aliphatiques ou aromatiques) b) les hydrocarbures contenant de l'oxygène tels que les alcools, les aldéhydes, les cétones, les acides carboxyliques, les esters, les acétates, les éthers, les peroxydes et les résines époxy c) les hydrocarbures contenant du soufre d) les hydrocarbures contenant de l'azote tels que les amines, les amides, les composés nitrosés, nitrés et de nitrate, les nitriles, les cyanates et les isocyanates e) les hydrocarbures contenant du phosphore f) les hydrocarbures contenant de l'halogène g) les composés organométalliques h) les produits à base de plastique (polymères, fibres artificielles, fibre de cellulose) i) le caoutchouc synthétique j) les colorants et les pigments k) les agents de surface et les tensides	1	G,M,X	A	P	J
	2. produits chimiques inorganiques de base tels que : a) les gaz tels que l'ammoniac, le chlore ou le chlorure d'hydrogène, le fluorure ou le fluorure d'hydrogène, les oxydes de carbone, les composés de soufre, les oxydes d'azote, l'hydrogène, le dioxyde de soufre et le dichlorure de carbonyle b) les acides tels que l'acide chromique, le fluorure d'hydrogène, l'acide phosphorique, l'acide nitrique, le chlorure d'hydrogène, l'acide sulfurique, l'oléum et l'acide sulfureux c) les bases telles que l'hydroxyde d'ammonium, de potassium et de sodium d) les sels tels que le chlorure d'ammonium, le chlorate de potassium, le carbonate de potassium, le carbonate de sodium, le perborate et le nitrate d'argent e) les non-métaux, les oxydes de métal ou autres composés inorganiques tels que le carbure de calcium, le silicium et le carbure de silicium	1	G,M,X	A	P	J
	3. les engrais contenant du phosphate, de l'azote ou du potassium (engrais simples ou composés)	1	G,M,X	A	P	J
	4. produits pharmaceutiques de base utilisant un procédé chimique ou biologique	1	G,M,X	A	P	J
	5. explosifs	1	G,M,X	A	P	J
¹ Possibilité de chevauchement avec d'autres sous-sections des sections 7, 13 et 38						
² Le mot « fabrication » tel qu'employé dans la présente section fait référence à la fabrication de substances ou groupes de substances mentionnées dans la présente section par conversion chimique, à l'échelle industrielle						

Annexe 2

17	Produits dangereux ¹ (rejet d'eaux usées contenant au moins une des substances dangereuses mentionnées dans la liste 2C de l'annexe 2, titre I du Vlarex : voir la section 3.5)					
17.2	Activités industrielles et dépôts de stockage avec risques					

	d'accidents majeurs (directive de l'Union européenne 96/82/CE du 9 décembre 1996 relative au contrôle des risques d'accidents majeurs impliquant des substances dangereuses)					
17.2.1	Établissement dans lesquels des produits dangereux sont présents en quantité égale ou supérieure à la quantité indiquée dans l'annexe 6, sections 1 et 2, colonne 2 en annexe du titre I du VLAREM (voir également l'article 7 du titre I du VLAREM)	1	G	A	P	J
17.2.2	Établissement soumis à une obligation de rapport de sécurité dans lesquels des produits dangereux sont présents en quantité égale ou supérieure à la quantité spécifiée à l'annexe 6, sections 1 et 2, colonne 3 en annexe du titre I du VLAREM (voir également l'article 7 du titre I du VLAREM)	1	G	A	P	J
17.3	Établissement ou dépôts de stockage de produits dangereux non classés dans les sections 17.2 ou 17.4 ^{2,3}					
17.3.1	Établissements de production industrielle de substances très toxiques, toxiques, extrêmement inflammables, hautement inflammables, explosives ou dangereuses pour l'environnement avec une capacité annuelles de :					
	1. jusqu'à 10 tonnes inclus	2			P	J
	2. supérieure à 10 tonnes	1	G	A	P	J
17.3.2	Établissements de stockage de substances très toxiques, toxiques et explosives à l'exception de celles mentionnées à la section 48, avec une capacité de stockage de :					
	1. de 10 kg à 100 kg inclus	3				
	2. de 100 kg à 1 tonne inclus	2				
	3. supérieure à 1 tonne	1	G	B	P	J
17.3.3	Dépôts de stockage de matières comburantes, dangereuses, corrosives et irritantes, à l'exception de celles mentionnées à la section 48, avec une capacité totale de :					
	1. de 200 kg à 1 000 kg inclus	3				
	2. de 1 000 kg à 50 000 kg inclus	2				
	3. supérieure à 50 000 kg	1	G	B	P	J
17.3.4	Dépôts de stockage de liquides extrêmement inflammables et hautement inflammables, à l'exception de ceux mentionnés à la section 48, avec une capacité totale de :					
	1. de 50 l à 500 l inclus	3				
	2. de 500 l à 30 000 l inclus	2				
	3. supérieure à 30 000 l	1		B		
17.3.5	Dépôts de stockage de liquides inflammables à l'exception de ceux mentionnés à la section 48, avec une capacité totale de :					
	1. de 100 l à 5 000 l inclus	3				
	2. de 5 000 l à 100 000 l inclus	2				
	3. supérieure à 100 000 l	1		B		
17.3.6	Dépôts de stockage de liquides dont le point d'inflammabilité est supérieur à 55 °C et inférieur à 100 °C, à l'exception de ceux mentionnés à la section 48, avec une capacité totale de :					
	1a) de 5 000 l à 20 000 l inclus si l'établissement est connecté à une propriété principalement utilisée à des fins résidentielles.	3				
	1b) de 100 l à 20 000 l inclus pour les établissements autres que ceux mentionnés en a)	3				
	2. de 20 000 l à 500 000 l inclus	2				
	3. supérieure à 500 000 l	1		B		

17.3.7	Dépôts de stockage de liquides dont le point d'inflammabilité est supérieur à 100 °C, à l'exception de ceux mentionnés à la section 48, avec une capacité totale de :					
	1. de 200 l à 50 000 l inclus	3				
	2. de 50 000 l à 5 000 000 l inclus	2				
	3. supérieure à 5 000 000 l	1		B		
17.3.8	Dépôts de stockage de substances dangereuses pour l'environnement, à l'exception de celles mentionnées à la section 48, avec une capacité de stockage de :					
	1. de 100 kg à 1 tonne inclus	3				
	2. de 1 tonne à 100 tonnes inclus	2	G			
	3. supérieure à 100 tonnes	1	G	A	E	J
17.3.9	Stations-service pour véhicules à moteur, c'est-à-dire les installations destinées au remplissage de réservoirs de carburant de véhicules motorisés avec des hydrocarbures liquides destinés à alimenter le(s) moteur(s) dudit véhicule.					
	1. Établissement de distribution des liquides mentionnés à la section 17.3.6.1 avec au maximum 1 conduite de distribution	3				
	2. Établissements de distribution : a) des carburants mentionnés à la section 17.3.6.2 avec au maximum 1 tuyau de distribution et/ou b) des carburants mentionnés aux sections 17.3.4.1 et 2 avec au maximum 1 tuyau de distribution	2				
	Destinés uniquement à l'alimentation des véhicules de l'entreprise	2				
	3 autre établissements	1		B		
17.4	Dépôts de stockage, à l'exception de ceux mentionnés à la section 48, et/ou points de vente des substances dangereuses mentionnées à l'annexe 7 du titre I du VLAREM, conditionnées, avec une capacité maximale de 25 litres ou 25 kilogrammes, à condition que le stockage maximal soit compris entre 50 kg ou 50 l et 5 000 kg ou 5 000 l (Directive CE 67/548/CEE du 27 juin 1967 relative à l'application des dispositions légales et administratives sur la classification, le conditionnement et le marquage des substances dangereuses).	3				
17.5	Réservoirs contenant plus de 5 dm ³ de BPC et réservoirs pour lesquels il peut être raisonnablement estimé que le fluide contenu renferme entre 0,05 et 0,005 % par masse de BPC (directive CE 96/59/CE du 16 septembre 1996) ⁴	3				

¹ La présente section ne concerne que les substances solides et liquides. Les gaz sont répertoriés à la section 16.

² Dans le cadre de l'application de la présente section, les « produits dangereux » dont il est ici question sont les substances mentionnées à l'annexe 7 du titre I du VLAREM.

³ Dans le cadre de l'application des critères de classification de cette sous-section, la propriété principale et le point d'inflammabilité doivent être pris en compte. Toutefois, pour les combustibles liquides, seul le point d'inflammabilité doit être pris en compte.

Dans ce contexte, la notion de « propriété principale » fait référence à la nomenclature conforme à la directive CE 67/548/CEE du 27 juin 1967 relative à la classification, au conditionnement et au marquage de substances dangereuses et à la directive CE 88/379/CEE du 7 juin 1988 relative à la classification, au conditionnement et au marquage de préparations dangereuses. Si un produit est marqué d'au moins deux symboles de danger, c'est le risque le plus important qui prime. Sauf mention contraire dans la directive CE susmentionnée, la classification des réglementations ADR doit être conforme aux principes stipulés dans le décret royal du 16 septembre 1991 relatif au transport routier de matières dangereuses, à l'exception des substances explosives et radioactives telles qu'identifiées dans la Gazette de l'État belge du 18 juin 1997.

⁴ Pour les condensateurs de courant, le seuil s'applique au total des composants séparés d'un dispositif combiné.

Annexe 3

20.4	Industrie chimique (voir également la section 7)					
20.4.1	Établissements chimiques de production d'oléfine et ses dérivés, ses monomères et ses polymères non répertoriés à la section 7.3					
	1. avec une capacité de production jusqu' à 10 tonnes par an inclus	2				
	2. avec une capacité de production supérieure à 10 tonnes par an	1	G,M	A	P	J
20.4.2	Établissements chimiques de fabrication de produits intermédiaires organiques non répertoriés à la section 7					
	1. avec une capacité de production jusqu'à 10 tonnes par an	2				
	2. avec une capacité de production supérieure à 10 tonnes par an	1	G,M	A	P	J
20.4.3	Établissements de fabrication de produits chimiques inorganiques de base non répertoriés à la section 7					
	1. avec une capacité de production jusqu' à 10 tonnes par an inclus	2				
	2. avec une capacité de production supérieure à 10 tonnes par an	1	G,M	A	P	J
	(Établissements pour l'évacuation de déchets dangereux et toxiques par incinération : voir la section 2.3.4) (Établissements pour le traitement d'autres déchets solides et liquides par incinération : voir la section 2.3.4)					

Annexe 4

CHAPITRE 5.7 : PRODUITS CHIMIQUES

Section 5.7.1. Dispositions générales

Art. 5.7.1.1.

§ 1. Les dispositions du le présent chapitre s'appliquent aux établissements mentionnés à la section 7 de la nomenclature.

§ 2. Les substances soumises aux réglementations relatives aux substances dangereuses, en particulier les dispositions du chapitre 5.17, ne peuvent être livrées à, stockées dans, utilisés dans et évacuées de

Traitement des eaux usées et effluents gazeux

l'établissement qu'à condition que les dispositions des réglementations susmentionnées soient strictement observées.

§ 3. Dans le cadre de l'application des présentes dispositions, le terme « capacité de production » signifie : la capacité totale sur une durée de travail ininterrompue de 24 heures, multipliée par le nombre moyen de jours par an au cours desquels les installations peuvent être exploitées, dans des conditions normales de maintenance et de sécurité. Cette capacité est exprimée en tonne.

Art. 5.7.1.2

§ 1. L'exploitant est responsable de l'acceptation, de la fabrication, de la production, de la préparation, du traitement, de la manipulation, de la nomenclature, du conditionnement et/ou de l'évacuation des substances et des produits.

§ 2. La production de biphényles polychlorés (BPC) et de terphényles polychlorés (TPC) est interdite.

§ 3. La production de chlorofluorocarbones (CFC), de bromofluorocarbones (BFC ou halons) ou le mélange de ces substances, spécifiées à l'annexe 5.7, est interdite.

§ 4. Conformément à l'article 11 de la réglementation du Conseil de l'union européenne n° 3322/88 du 14 octobre 1988, les exploitants des établissements dans lesquels les CFC et les BFC mentionnés au § 3 sont fabriqués doivent fournir les informations suivantes à la commission de la Communauté européenne ainsi qu'à la Direction des autorisation écologiques, et ceci pour chaque CFC et BFC mentionné au § 3 :

1. au moins deux mois après la date d'entrée en vigueur du présent arrêté, pour l'année 1986, et pour toute la période concernée :

- a) les quantités produites ;
- b) les quantités commercialisées ;
- c) les quantités utilisés pour leur propre compte ;
- d) les quantités importées ;
- e) les quantités exportées ;
- f) les quantités évacuées ;

enfin, les quantités en stock au 31 décembre de l'année concernée doivent être indiquées.

2. concernant les CFC, au plus tard le 31 août de chaque année, pour la période précédente courant du 1 juillet au 30 juin :

- a) les quantités produites ;
- b) les quantités commercialisées ;
- c) les quantités utilisés pour leur propre compte ;
- d) les quantités importées ;
- e) les quantités exportées ;
- f) les quantités évacuées ;

enfin, les quantités en stock au 30 juin de l'année concernée doivent être indiquées.

3. concernant les BFC, au plus tard le 28 février de chaque année, pour l'année civile précédente :

- a) les quantités produites ;
- b) les quantités commercialisées ;
- c) les quantités utilisés pour leur propre compte ;
- d) les quantités importées ;
- e) les quantités exportées ;
- f) les quantités évacuées ;

enfin, les quantités en stock au 31 décembre de l'année civile précédente doivent être indiquées.

§ 5. La production des substances suivantes est interdite sauf si l'autorisation écologique autorise explicitement la production d'une ou plusieurs de ces substances :

1. bromométhane ;
2. cyanogène, acide cyanhydrique (acide prussique) et ses sels (cyanures) ;
3. cyanures organiques (nitriles).

Art. 5.7.1.3

§ 1. Si un établissement est soumis à l'obtention d'une licence de par sa classification à la section 7 de la nomenclature, tout stockage de substances dangereuses doit également satisfaire aux conditions du chapitre 5.17 « Substances dangereuses » du présent arrêté, à condition que les quantités stockées correspondent aux conditions énoncées dans ledit chapitre. Toutefois, dans l'autorisation écologique, des exceptions peuvent être indiquées concernant les distances de séparation entre deux groupes et/ou sous-groupes avec des quantités de stockage non classées. Dans de tels cas, les raisons de l'exception doivent également être précisées.

§ 2. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, le bromométhane doit être stocké dans des cuves sous pression avec un contenu maximal de 100 kg de bromométhane par fût ; les fûts de bromométhane doivent être disposés verticalement, le dispositif de fermeture du fût vers le haut ; les fûts de bromométhane doivent être protégés des conditions extérieures telles que le soleil et la pluie, et ne doivent pas être empilés ; pendant le stockage, les systèmes de fermeture des fûts de bromométhane doivent être protégés contre les dommages mécaniques par des chapeaux de fermeture ; les fûts vides doivent être stockés de la même manière que les fûts pleins ;

§ 3. La construction de toutes les pièces destinées au traitement de produits dangereux est réalisée de sorte à pouvoir récolter les substances renversées accidentellement ou les fuites de liquides. Pour empêcher la propagation des incendies, les pièces destinées à la manipulation de liquides extrêmement inflammables et hautement inflammables doivent être construites de telle sorte que les substances renversées accidentellement et les fuites de liquides soient collectées par un système approprié et acheminées, par la suite vers un ou plusieurs puits de collecte par le biais de rigoles. Ce système de collecte ne doit en aucune manière être connecté directement ou indirectement à un réseau d'assainissement public, à des eaux de surface, à un bassin de collecte des eaux de surface, à un fossé ou à une couche d'eau souterraine. Le système et les puits de collecte doivent être vidés régulièrement et au moins après chaque incident. Les flux résiduels résultants doivent être évacués de manière appropriée.

§ 4. Sans préjudice aux autres dispositions légales ou réglementaires pertinentes, l'exploitant prend toutes les mesures nécessaires afin de protéger le voisinage de façon suffisante contre tout risque d'incendie ou d'explosion. Ceci inclut l'obligation de disposer des équipements nécessaires à la lutte contre les incendies. Le type d'équipement de lutte contre les incendies et l'emplacement où ceux-ci sont entreposés sont déterminés après concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente, indépendamment de l'autorisation écologique.

Les équipements de lutte contre les incendies doivent être entreposés dans des conditions de fonctionnement correctes, protégés contre le gel, marqués de façon adéquate, facilement accessibles et judicieusement placés. Ils doivent pouvoir être opérationnels immédiatement.

§ 5. Au sein de l'établissement, les dispositions nécessaires doivent être prises pour empêcher que les eaux d'incendie polluées par des produits chimiques s'écoulent vers le sol, le réseau d'assainissement public, les eaux de surface ou les eaux souterraines. Les eaux d'incendies polluées collectées doivent être évacuées de façon appropriée. La capacité de collecte des eaux d'incendie polluées doit être déterminée en concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente.

§ 6. Toute personne et tout membre du personnel travaillant au sein de l'établissement doit être informé de la nature des substances et des produits fabriqués et des dangers associés. Le personnel doit

être informé des mesures à suivre en cas de dysfonctionnement. L'exploitant doit fournir des instructions à jour à cet effet. La connaissance de ces instructions doit être évaluée par l'exploitant au moins une fois par an.

Art. 5.7.1.4

§ 1. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, et en dérogation aux valeurs limites d'émission générales indiquées au chapitre 4.4, les limites d'émission présentées ci-dessous, exprimées en mg/Nm³ et relatives aux conditions suivantes : température 0 °C, pression 101,3 kPa, gaz sec, ou gaz humide si des éjecteurs à vapeur sont utilisés, s'appliquent aux effluents gazeux rejetés. Les quantités d'air fourni à une partie de l'installation pour la dilution ou le refroidissement de l'effluent gazeux ne sont pas prises en compte dans le calcul des valeurs d'émission.

1. propènenitrile :

- dans l'effluent gazeux des installations de combustion pour la production de propènenitrile, quel que soit le débit massique : 0,2 mg/Nm³
- restant, avec un débit massique de 25 g/h ou plus : 5,0 mg/Nm³

2. la substance organique suivante, à un débit massique par substance de 100 g/h ou plus :

1,2-dichloroéthane :

- avec la production de ce composé : 5,0 mg/Nm³
- dans les autres cas : 20,0 mg/Nm³

3. poussières totales :

installations de production de biocides ou de ses matières actives, à un débit massique de 25 g/h ou plus :

- pour les biocides hautement toxiques ou hautement bioaccumulatifs et persistants : 5,0 mg/Nm³
- pour les biocides hautement toxiques, dangereux ou corrosifs : 20,0 mg/Nm³
- pour les biocides non dangereux : 100,0 mg/Nm³

§ 2. Les effluents gazeux doivent être collectés à l'endroit où ils sont produits puis, après toute épuration nécessaire pour respecter les dispositions relatives aux conditions d'émissions et d'immissions principales, rejetés dans l'air ambiant via une cheminée. Cette cheminée doit être suffisamment haute pour, d'un point de vue environnemental, disperser correctement les substances rejetées sans affecter la santé publique. La hauteur minimale doit être déterminée conformément au système de calcul de la hauteur d'une cheminée spécifié à l'article 4.4.2.3.

Section 5.7.2 Production de dioxyde de titane

Art. 5.7.2.1

Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements mentionnés à la sous-section 7.1 de la nomenclature, pour autant que ces établissements appartiennent au secteur de la production de dioxyde de titane.

Art. 5.7.2.2

§ 1. Le rejet de tout déchet solide, de tout déchet fortement acide, de toute matière épurante, de tout déchet faiblement acide ou de tout déchet neutralisé est interdit.

§ 2. Pour les établissements existants, les dispositions transitoires suivantes s'appliquent :

1. Pour les installations existantes utilisant un procédé avec sulfate :

le rejet dans une eau quelconque de déchets faiblement acides et neutralisés est limité à une valeur maximale de 800 kg de sulfate total, c'est-à-dire correspondant aux ions SO_4 dans l'acide sulfurique et les sulfates de métal, par tonne de dioxyde de titane produit.

2. Pour les installations existantes utilisant un procédé avec chlorure :

le rejet dans une eau quelconque de déchets faiblement acides, de matières épurantes et de déchets neutralisés est limité aux valeurs suivantes pour la quantité totale de chlorure, c'est-à-dire correspondant aux ions Cl dans l'acide chlorhydrique et les chlorures de métal, par tonne de dioxyde de titane produit :

- 130 kg si du rutile naturel est employé ;
- 228 kg si du rutile artificiel est employé ;
- 450 kg si du mâchefer est employé.

Dans le cas d'un établissement utilisant plusieurs types de minerai, on appliquera les valeurs proportionnellement aux quantités de minerai utilisées.

Art. 5.7.2.3

Pour les émissions atmosphériques, les limites d'émission suivantes s'appliquent :

1. Pour les installations existantes utilisant un procédé avec sulfate :

- limite d'émission pour les poussières : 50 mg/Nm^3 ;
- des dispositions doivent être prises afin d'empêcher l'émission de gouttelettes acides ;
- les émissions de SO_x provenant des phases de dissolution et de calcination de la production de dioxyde de titane sont limitées à un maximum de 10 kg équivalent SO_2 par tonne de dioxyde de titane produit ;
- les installations dans lesquels les acides résiduels sont concentrés ne peuvent rejeter plus de 500 mg/Nm^3 de SO_x , calculé comme équivalent SO_2 ;
- les installations de calcination des sels provenant de l'épuration de déchets doivent être équipées des meilleures techniques disponibles pour la réduction des émissions de SO_x .

2. Pour les installations existantes utilisant un procédé avec chlorure :

- | | |
|---|----------------------|
| • limite d'émission pour les poussières | 50 mg/Nm^3 |
| • chlore : moyenne journalière | 5 mg/Nm^3 |
| • valeur instantanée | 40 mg/Nm^3 |

Art. 5.7.2.4

En ce qui concerne l'industrie du dioxyde de titane, et en particulier les déchets dont le rejet dans l'eau ou dans l'air est interdit, les mesures nécessaires doivent être prises afin de garantir :

1. qu'ils ne soient pas créés ou qu'ils soient réutilisés, pour autant que cela soit possible techniquement et économiquement.
2. qu'ils soient réutilisés ou évacués sans qu'ils présentent de danger pour la santé de l'homme et d'effets négatifs pour l'environnement.

Les mêmes dispositions s'appliquent aux déchets produits durant le recyclage ou l'épuration des déchets susmentionnés.

Art. 5.7.2.5

§ 1. Les quantités de SO_2 , de SO_3 et de gouttelettes acides (exprimées en équivalent SO_2) émises par certaines installations doivent être calculées en tenant compte du volume de gaz émis pendant les activités particulières concernées et de la teneur moyenne en SO_2/SO_3 mesurée au cours de la même période. La détermination du débit et de la teneur en SO_2/SO_3 doit être réalisée dans les mêmes conditions de température et d'humidité.

§ 2. Sans préjudice aux dispositions de l'article 5.7.1.4 et aux chapitres 2.5 et 4.4, dans une ou plusieurs stations de mesure situées à proximité de l'établissement à un emplacement représentatif de la pollution produite par l'installation, les éléments suivants doivent être contrôlés :

1. les immissions de dioxyde de soufre, si le procédé au sulfate est utilisé pour la production de dioxyde de titane ;
2. les immissions de chlore, si le procédé de chloration est utilisé pour la production de dioxyde de titane.

Si aucune station de mesure des immissions telle que mentionnée dans le premier paragraphe n'est installée, des mesures de la quantité totale des émissions gazeuses de dioxyde de soufre et de chlore doivent être effectuées au moins 12 fois par an dans le site de production.

§ 3. À compter du 1^{er} janvier 1995, sauf indication contraire dans l'autorisation écologique et en dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, les émissions de SO_x provenant des phases de dissolution et de calcination de la production de dioxyde de titane doivent être limitées à une valeur maximale de 10 kg d'équivalent SO₂ par tonne de dioxyde de titane produit.

Section 5.7.3. Production de dioxyde de soufre, de trioxyde de soufre, d'acide sulfurique ou d'oléum (acide sulfurique fumant)

Art. 5.7.3.1.

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux installations de production de dioxyde de soufre, de trioxyde de soufre, d'acide sulfurique ou d'oléum mentionnées à la sous-section 7.1 de la nomenclature.

§ 2. Pour l'application des présentes dispositions, l'expression « rendement de conversion du SO₂ en SO₃ » est définie ainsi :

$$\text{rendement de conversion} = \frac{\text{SO}_2(\text{entrée}) - \text{SO}_2(\text{sortie})}{\text{SO}_2(\text{entrée})} \times 100 (\%)$$

Art. 5.7.3.2.

§ 1. Si, les gaz étant utilisés comme matière brute, cela est techniquement possible du point de vue des meilleurs techniques disponibles, le procédé à double contact doit être utilisé pour convertir le SO₂ en SO₃. Si cela s'avère indispensable, pour atteindre les limites d'émission correspondant aux valeurs du rendement de conversion prévues au § 4 du présent article, les émissions de SO₂ et de SO₃ peuvent être réduites davantage au moyen d'un cinquième lit de contact ou au moyen de mesures équivalentes. L'utilisation d'un procédé alternatif est autorisée, à condition qu'un tel procédé soit au moins équivalent du point de vue de la lutte contre la pollution et qu'il garantisse en particulier un taux de conversion identique ou supérieur.

§ 2. Le procédé à contact simple (sans absorption intermédiaire) n'est autorisé que si des gaz dont la teneur en SO₂ est inférieure à 10 % sont traités, ou pour des gaz dont la teneur en SO₂ est très variable. Si cela s'avère indispensable, pour atteindre les limites d'émission correspondant aux valeurs du rendement de conversion prévues au § 4 du présent article, les émissions de SO₂ et de SO₃ peuvent être réduites davantage par lavage alcalin ou par des mesures équivalentes.

§ 3. Le procédé catalytique par voie humide n'est autorisé que pour la calcination du sulfure de molybdène et la désulfuration des gaz de combustion.

§ 4. Le taux de conversion moyen journalier doit être au moins égal aux valeurs suivantes :

1. si le procédé à contact simple est utilisé :

a) avec un gaz d'alimentation contenant moins de 6 % de SO₂, le taux de conversion atteint doit être au moins égal à 97,5 % ;

b) avec un gaz d'alimentation contenant au moins 6 % de SO₂, le taux de conversion atteint doit être au moins égal à 98,5 % ;

2. si le procédé à double contact est utilisé :

a) avec un gaz d'alimentation contenant moins de 8 % de SO₂, le taux de conversion atteint doit être au moins égal à 99 % ;

b) avec un gaz d'alimentation contenant au moins 8 % de SO₂, le taux de conversion atteint doit être au moins égal à :

- 99,5 % dans le cas de conditions du gaz variables ;
- 99,6 % dans le cas de conditions du gaz constantes ;

3. si le procédé catalytique par voie humide est utilisé, le taux de conversion atteint doit être au moins égal à 97,5 % ;

4. si un autre procédé est utilisé, le taux de conversion atteint doit être au moins égal à 99 %.

§ 5. En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, on appliquera les valeurs limites d'émission suivantes :

1. pour le dioxyde de soufre :	1 700 mg/Nm ³ , sans préjudice aux taux de conversion prescrits à l'article 5.7.5.1
--------------------------------	--

2. pour le trioxyde de soufre :

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • si les conditions du gaz sont constantes : • dans les autres cas : | <p>60 mg/Nm³</p> <p>120 mg/Nm³</p> |
|---|--|

§ 6. En outre, l'autorisation écologique peut imposer des valeurs limites pour le débit massique des émissions de SO₃ et de H₂SO₄ (exprimé en SO₃) dans l'effluent gazeux émis.

§ 7. Les valeurs du rendement de conversion indiquées au § 4 du présent article ne s'appliquent pas aux générateurs de SO₃ de catégorie 3 utilisés pour stimuler les émissions d'envols par injection de SO₃ dans les gaz de combustion des installations de réchauffement. Pour les gaz de combustion ainsi traités, les normes d'émission de SO₃ de l'installation de réchauffement correspondante s'appliquent.

Section 5.7.4 Production d'acide nitrique

Art. 5.7.4.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux installations de production d'acide nitrique mentionnées à la sous-section 7.1 de la nomenclature.

§ 2. En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, pour les oxydes d'azote présents dans les effluents gazeux émis, exprimés en NO₂, la limite d'émission suivante s'applique : 450 mg/Nm³.
En outre, les effluents gazeux émis dans l'air ambiant doivent obligatoirement être incolores. Pour cela, et sans préjudice à la valeur limite stipulée dans le premier paragraphe, l'émission de NO₂ ne doit pas dépasser la valeur calculée grâce à la formule ci-dessous :

$$\text{concentration en NO}_2 = \frac{1\,200}{\text{largeur ouverte de l'embouchure de la cheminée en dm}}$$

Section 5.7.5 Production de chlore

Art. 5.7.5.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements mentionnés à la sous-section 7.5 de la nomenclature.

§ 2. En dérogation et en tant que complément aux dispositions de la section 4.4.3, on appliquera les valeurs limites d'émission suivantes pour :

1. le chlore :
 - a) installations de production de chlore avec liquéfaction totale : 6 mg/Nm³
 - b) autres cas : 1 mg/Nm³
2. le mercure et ses composés :
 - a) pour un débit massique égal ou supérieur à 1 g/h : 0,2 mg/Nm³
 - b) avec une électrolyse chlore-alcali selon le procédé de l'amalgame, les émissions de mercure dans l'air expulsé de la salle des cellules ne doivent pas dépasser une valeur moyenne annuelle de :
 - i. 1.5 g par tonne de chlore produit pour les installations nouvelles ;
 - ii. 2 g par tonne de chlore produit pour les installations existantes ;
 - iii. le mercure dans l'hydrogène rejeté dans l'atmosphère ou brûlé est compris dans cette valeur limite.

§ 3. La construction d'installations nouvelles pour la production de chlore selon le procédé à cathode de mercure ne sera plus autorisée. Après l'année 2010, le procédé à cathode de mercure ne pourra plus être utilisé.

Section 5.7.6 Production de soufre

Art. 5.7.6.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux installations de production de soufre mentionnées à la sous-section 7.1 de la nomenclature.

§ 2. Pour les installations utilisant le procédé Claus, les rendements de conversion du soufre suivants doivent être atteints :

1. avec une capacité de production jusqu' à 20 tonnes de soufre par jour : 97 %
2. avec une capacité de production comprise entre 20 et 50 tonnes de soufre par jour : 98 %
3. avec une capacité de production supérieures à 50 tonnes de soufre par jour : 99 %

Le rendement de conversion du soufre doit être compris comme étant la proportion entre le soufre produit et le soufre présent dans le gaz d'alimentation.

§ 3. En dérogation aux dispositions de la section 4.4.3, les émissions de sulfure d'hydrogène dans les effluents gazeux ne doivent pas dépasser 10 mg/Nm³. Pour cela, les effluents gazeux doivent passer à travers un incinérateur.

§ 4. Les concentrations d'émission des installations de procédé Claus qui font partie des raffineries de pétrole sont réglementées par l'article 5.20.2.2 (« Raffineries de pétrole ») du chapitre 5.20.

Section 5.7.7 Production de solvants ou de produits chimiques organiques

Art. 5.7.7.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements de production de solvants ou de produits chimiques organiques mentionnés à la section 7 de la nomenclature.

§ 2. Les effluents gazeux des installations de production de 1,2-dichloroéthane et de chlorure de vinyle doivent être acheminés jusqu'à une installation de réduction des émissions atmosphériques. En dérogation aux dispositions de la section 4.4.3, pour le 1,2-dichloroéthane présent dans les effluents gazeux émis, on appliquera une valeur limite d'émission de 5 mg/Nm³.

§ 3. Les effluents gazeux du réacteur et de l'absorbeur d'une installation de production de propénitrile doivent être acheminés jusqu'à un incinérateur. En dérogation aux dispositions de la section 4.4.3, pour le propénitrile présent dans les effluents gazeux émis, on appliquera une valeur limite d'émission de 0,2 mg/Nm³. Les effluents gazeux produits par l'épuration des produits de réaction (distillation) ainsi que ceux générés pendant le remplissage doivent être acheminés jusqu'à un laveur.

Section 5.7.8 Production d'hydrocarbures dans les installations pétrochimiques ne faisant pas partie d'une raffinerie de pétrole

Art. 5.7.8.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements de production d'hydrocarbures mentionnés à la section 7.3 de la nomenclature.

§ 2. Les effluents gazeux rejetés en discontinu par des installations de procédé, par exemples les effluents gazeux produits par la régénération de catalyseurs ou par les activités de nettoyage et d'inspection, doivent être acheminés jusqu'à une installation de combustion, ou des mesures de réduction équivalentes doivent être prises.

§ 3. Les effluents gazeux rejetés lors du démarrage ou de l'arrêt d'une installation doivent être acheminés, dans la mesure du possible, jusqu'à un système de collecte des effluents gazeux ou incinérés dans des installations de réchauffage de procédé. Si cela n'est pas possible, ils doivent être acheminés jusqu'à une torchère dans laquelle un niveau d'émission des substances organiques de 1 % par rapport à la teneur en carbone totale ne doit pas dépassé.

§ 4. Les effluents gazeux provenant des installations de désulfuration ou d'autres sources avec un niveau de volume de sulfure d'hydrogène supérieur à 0,4 % et un débit massique de sulfure d'hydrogène supérieur à 2 tonnes/jour doivent subir un traitement supplémentaire.

Les effluents gazeux qui ne subissent pas de traitement supplémentaire doivent être acheminés jusqu'à un incinérateur.

En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, les émissions de sulfure d'hydrogène dans l'effluent gazeux rejeté ne doivent pas dépasser 10 mg/Nm³.

Le traitement des eaux contenant du sulfure d'hydrogène doit être réalisé de sorte à éviter le rejet d'effluents gazeux dans l'atmosphère.

§ 5. Pour le transfert de produits de base, intermédiaires et finis, les émissions de substances organiques avec une pression de vapeur supérieure à 13,3 kPa et une température de 35 °C doivent être réduites au moyen de mesures appropriées, par exemple grâce à des systèmes de déplacement de gaz, par extraction et par transfert vers une installation d'épuration des effluents gazeux.

§ 7. Les eaux de procédé ne peuvent être rejetées dans un système ouvert qu'après dégazage. Les effluents gazeux collectés doivent être épurés par lavage ou incinération.

Section 5.7.9 Production de carbone

Art. 5.7.9.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux installations de production de carbone (lignite dure) ou de carbone électrographitique (par exemple, utilisé dans les électrodes, les collecteurs de courant ou les pièces d'appareils) mentionnées à la sous-section 7.1 de la nomenclature.

§ 2. En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, on appliquera les valeurs limites d'émission suivantes pour les substances organiques présentes dans les effluents gazeux :

1. dans le cas du mélange et du moulage, pour les effluents gazeux provenant des installations de mélange et de moulage dans lesquelles de l'asphalte, du goudron ou d'autres liants et liquéfacteurs volatils sont traités avec augmentation de la température, exprimées en carbone total : 100 mg/Nm³
2. pour la combustion, pour les effluents gazeux provenant des fours à chambre unique, à chambres combinées et des fours tunnels, exprimées en carbone total : 500 mg/Nm³
3. pour la combustion, pour les effluents gazeux provenant des fours annulaires pour les électrodes en graphite et les blocs de carbone, exprimées en carbone total : 200 mg/Nm³
4. pour l'imprégnation, pour les effluents gazeux provenant des installations d'imprégnation dans lesquelles des agents d'imprégnation à base de goudron sont utilisés, exprimées en carbone total : 50 mg/Nm³.

Section 5.7.10 Fabrication de peroxydesArt. 5.7.10.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements mentionnés à la sous-section 7.6 de la nomenclature.

§ 2. Les peroxydes organiques ne peuvent être fabriqués que si l'autorisation écologique l'autorise explicitement.

Les peroxydes organiques susceptibles de provoquer des explosions thermiques très violentes et/ou des détonations seront conservés au sein de l'établissement à une température inférieure à la température maximale admissible pour la sécurité, selon la nature de la substance concernée ; pour les substances indiquées ci-dessous, cette température maximale s'élève à :

- | | |
|--|----------------------|
| • peroxyde d'acétylcyclohexane sulfonyle : | -10 °C |
| • peroxyde d'acide succinique : | +10 °C |
| • peroxyde de carbonate d'isopropyle de butyle tertiaire : | température ambiante |
| • peroxyde de pivalate de butyle tertiaire : | -10 °C |
| • peroxyde de dibenzoyl : | température ambiante |
| • peroxyde de dicarbonate dicyclohexylique : | +5 °C |
| • peroxyde de dicarbonate diisopropylique : | -15 °C |

§ 3. Les peroxydes mentionnés au § 2 qui doivent être conservés au sein de l'établissement à une température inférieure à la température ambiante seront entreposés :

1. dans des armoires frigorifiques ou des congélateurs-armoires installés dans le bâtiment de production, chaque armoire pouvant contenir au maximum 30 kg de peroxyde organique non réfrigéré ;
2. dans des armoires frigorifiques ou des congélateurs-armoires installés dans un bâtiment de stockage isolé où sont entreposés uniquement les peroxydes en question. Chaque armoire contiendra une quantité maximale de peroxyde organique non réfrigéré de 150 kg ;
3. dans un entrepôt frigorifique isolé réservé à cette fin. Dans ce cas, et sauf indication contraire spécifiée dans l'autorisation écologique, la quantité maximale de peroxyde organique non réfrigéré qui peut être stockée dans chaque entrepôt est de 500 kg.

Section 5.7.11 Production de polychlorure de vinyle

Art. 5.7.11.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements de production de polychlorure de vinyle mentionnés à la section 7 de la nomenclature.

§ 2. À la jonction entre le système fermé réservé à la polymérisation ou au séchage et le système ouvert, les résidus de chlorure de vinyle (CV) dans le polymérisat doivent être aussi faibles que possible. Ainsi, les valeurs moyennes mensuelles maximales suivantes ne doivent pas être dépassées :

- | | |
|--|--------------------------|
| • masse de PVC : | 10 mg de CV /kg de PVC |
| • homopolymérisats en suspension : | 0,10 g de CV / kg de PVC |
| • copolymérisats en suspension : | 0,40 g de CV / kg de PVC |
| • micro-suspension de PVC et émulsion de PVC : | 1,5 g de CV / kg de PVC |

§ 3. Pour réduire davantage la concentration massique de chlorure de vinyle dans l'effluent gazeux, pour autant que cela soit possible, le gaz résiduaire de l'installation de séchage doit être utilisé comme gaz de combustion dans les installations de réchauffage.

Section 5.7.12 Production de caprolactame

Art. 5.7.12.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements de production de caprolactame mentionnés à la section 7 de la nomenclature.

§ 2. Pour la production de caprolactame selon le procédé Raschig, les émissions de NO₂ ne doivent pas dépasser 15 kg de NO_x/tonne de caprolactame produit.

Section 5.7.13 Production de matières synthétiques à base de polyacrylonitrile

Art. 5.7.13.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements de production de matières synthétiques à base de polyacrylonitrile mentionnés à la section 7 de la nomenclature.

§ 2. Production et traitement de polymérisats de propénitrile pour les fibres.

1. Pour les émissions de propénitrile dans les effluents gazeux des installations de séchage, on appliquera une valeur limite d'émission de 20 mg/Nm³.

2. Les gaz résiduaires contenant du propénitrile qui proviennent des réacteurs, du lavage intensif des effluents gazeux, du réservoir de suspension et du filtre de lavage seront acheminés jusqu'à un laveur de gaz ou un adsorbeur. Pour les émissions de propénitrile dans les effluents gazeux de l'adsorbeur, on appliquera une valeur limite de 10 mg/Nm³.

3. Pour le filage du polymère en fibre, les effluents gazeux dont la teneur en propénitrile est supérieure à 5 mg/Nm³ doivent être acheminés jusqu'à une installation de réduction des émissions des effluents gazeux.

§ 3. Production de résines ABS

1. Polymérisation d'émulsion :

Les effluents gazeux contenant du propénitrile émis au cours de la polymérisation, de la précipitation ou du nettoyage du réacteur doivent être acheminés jusqu'à un incinérateur ; pour les

émissions de propénitrile dans les effluents gazeux des installations de séchage, on appliquera une valeur moyenne mensuelle de 25 mg/Nm^3 pour la limite d'émission ;

2. Polymérisation de solution/émulsion combinée :

Les effluents gazeux contenant du propénitrile émis au niveau du réacteur, au cours du stockage intermédiaire, de la précipitation, de la déshydratation, du recyclage des solvants et au niveau des mélangeurs doivent être acheminés jusqu'à un incinérateur ; pour les émissions de propénitrile se produisant au niveau de l'échappement des mélangeurs, on appliquera une valeur moyenne mensuelle de 10 mg/Nm^3 comme limite d'émission.

§ 4. Production de caoutchouc nitrile

Les gaz résiduels contenant du propénitrile émis par le recyclage du butadiène, le stockage intermédiaire du latex et le lavage du caoutchouc solide doivent être acheminés jusqu'à un incinérateur.

Les gaz résiduels émis au cours du recyclage du propénitrile doivent être acheminés jusqu'à un laveur de gaz.

Pour les émissions de propénitrile dans les effluents gazeux des installations de séchage, on appliquera une valeur limite d'émission de 15 mg/Nm^3 .

§ 5. Production de dispersions par polymérisation d'émulsion de propénitrile

Les effluents gazeux contenant du propénitrile émis au niveau des cuves réceptrices de monomère, des réacteurs, des réservoirs de stockage intermédiaire et des condenseurs doivent être acheminés jusqu'à une installation d'épuration des effluents gazeux lorsque la teneur en propénitrile est supérieure à 5 mg/Nm^3 .

Section 5.7.14 Production et traitement de la viscose

Art. 5.7.14.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements de production de viscose mentionnés à la section 7 de la nomenclature.

§ 2. Les gaz résiduels rejetés lors de la production de viscose, du retraitement du bain de filage et du post-traitement destiné à produire de la rayonne (textile) doivent être acheminés jusqu'à une installation de réduction des émissions atmosphériques.

En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, on appliquera les valeurs limites d'émission suivantes pour les effluents gazeux :

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. sulfure d'hydrogène : | 5 mg/Nm^3 (valeur moyenne journalière) |
| 2. sulfure de carbone : | $0,10 \text{ g/Nm}^3$ (valeur moyenne journalière) |

§ 3. Pour la production de laine de cellulose et de cellophane, les effluents gazeux des machines de filage et du post-traitement doivent être acheminés jusqu'à une installation de réduction des émissions atmosphériques.

En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, on appliquera les valeurs limites d'émission suivantes pour les effluents gazeux :

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. sulfure d'hydrogène : | 5 mg/Nm^3 (valeur moyenne journalière) |
| 2. sulfure de carbone : | $0,15 \text{ g/Nm}^3$ (valeur moyenne journalière) |

§ 4. Pour la fabrication de produits de la viscose, les valeurs limites d'émission sont applicables jusqu'au 31 décembre 2001 à l'ensemble des effluents gazeux, y compris l'air aspiré des locaux et à proximité des machines :

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. sulfure d'hydrogène : | 100 mg/Nm^3 (valeur moyenne journalière) |
|--------------------------|--|

2. sulfure de carbone : 600 mg/Nm³
3. somme du sulfure d'hydrogène et du sulfure de carbone : 650 mg/Nm³

Les meilleures techniques disponibles seront employées afin de réduire au maximum et de prévenir dans la mesure du possible les émissions de sulfure d'hydrogène et de sulfure de carbone.

À compter du 1^{er} janvier 2002, et en dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, les valeurs limites d'émission suivantes s'appliqueront aux effluents gazeux :

1. sulfure d'hydrogène : 50 mg/Nm³ (valeur moyenne journalière)
2. sulfure de carbone : on appliquera différentes valeurs selon le produit de la viscosité :
 - a) laine de cellulose : 150 mg/Nm³
 - b) cellophane : 150 mg/Nm³
 - c) rayonne (textile) : 150 mg/Nm³
 - d) boyau synthétique : 400 mg/Nm³
 - e) chamois artificiel : 400 mg/Nm³
 - f) rayonne (technique) : 600 mg/Nm³

Section 5.7.15 Production d'email

Art. 5.7.15.1

Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements de production d'email mentionnés à la section 7 de la nomenclature.

Art. 5.7.15.2

§ 1. En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, on appliquera les valeurs limites d'émission suivantes pour les effluents gazeux de la production d'email :

1. pour les fluorures gazeux inorganiques, exprimés en fluorure d'hydrogène : 15 mg/Nm³, avec une valeur guide de 5 mg/Nm³
2. pour les oxydes d'azote (NO_x), exprimés en NO₂ : 15 kg par tonne d'email produit en tant que moyenne mensuelle, avec une concentration maximale de 2 200 mg/Nm³ et une valeur guide de 500 mg/Nm³.

§ 2. En dérogation à l'article 1.1.2, les concentrations indiquées au § 1^{er} sont fonction de la teneur réelle en oxygène des effluents gazeux rejetés.

§ 3. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, les valeurs d'émission des substances susmentionnées seront mesurées en continu à l'aide d'un équipement de mesure installé, construit et exploité aux frais de l'exploitant suivant un code de bonne pratique approuvé par un expert en environnement agréé dans la discipline de l'air.

Section 5.7.16 Procédés par cuvée dans la production des produits de chimie fine et pétrochimiques

Art. 5.7.16.1

Pour les procédés de production de produits de chimie fine et pharmaceutiques, les conditions de valeur limite d'émission en mg/Nm³ pour les procédés par cuvée de moins de 500 kg de produit fini pur par cuvée sont remplacées par la réglementation suivante :

le procédé doit satisfaire à une émission totale maximale de 15 % de l'alimentation en solvants.

Annexe 5**CHAPITRE 5.17 STOCKAGE DES PRODUITS DANGEREUX****Section 5.17.1. Dispositions générales****Art. 5.17.1.1**

§ 1. Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aux établissements mentionnés à la section 17 de la nomenclature. Pour l'application des dispositions du présent chapitre, il convient de tenir compte de la propriété principale et du point d'éclair. Pour les combustibles liquides, seul le point d'éclair est à prendre en compte.

§ 2. Le stockage à court terme lié au transport routier, ferroviaire, fluvial, maritime ou aérien, y compris le chargement, le déchargement et le transfert depuis et vers un autre moyen de transport dans les ports, sur les quais ou dans les gares de triage, n'est pas soumis aux dispositions du présent règlement. Toutefois, si les produits dangereux mentionnés dans le présent règlement sont entreposés dans des installations de stockage situées dans des ports, le long de quais ou dans des gares de triage destinées au stockage régulier et à court terme desdits produits, alors ces installations de stockage sont soumises aux dispositions du présent règlement.

Art. 5.17.1.2

§ 1. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, l'exploitation d'un établissement de catégorie 1 pour le stockage de produits autres que les produits P1, P2, P3 ou P4 est interdite :

1. dans une zone de captage d'eau, ou une zone protégée de type I, II ou III
2. dans une zone autre qu'industrielle
3. à une distance inférieure à 100 mètres par rapport à :
 - a) une zone résidentielle
 - b) un espace vert
 - c) une zone de loisirs

§ 2. Les règles d'interdiction énoncées au § 1^{er} ne s'appliquent pas aux :

1. installations existantes mentionnées à l'article 3.2.1.1 ou parties de celles-ci ;
2. produits dangereux dont l'état physico-chimique n'est pas de nature à provoquer un accident majeur, dans la mesure où ceci est confirmé par un expert agréé dans la discipline de la sécurité externe et des risques d'accidents majeurs ;
3. produits dangereux faisant partie de l'exploitation proprement dite d'un captage d'eau public.

§ 3. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, l'exploitation d'un parc à réservoirs destiné au stockage de produits autres que P1, P2, P3 ou P4 est interdite dans une zone de captage d'eau ou une zone protégée de type I, II ou III.

§ 4. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, le stockage des substances suivantes est interdit :

1. bromométhane
2. cyanogène, acide cyanhydrique (acide prussique) et ses sels (cyanures)
3. cyanures organiques (nitriles).

Art. 5.17.1.3

§ 1. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, à l'entrée des établissements soumis à l'application de l'article 7 du titre I du Vlarem, un panneau d'identification et d'information d'au moins 1 m² doit être installé, indiquant, de manière claire et lisible, les informations ci-dessous :

1. « VR-PLICHTIG BEDRIJF » (Entreprise soumise à une obligation de rapport de sécurité), s'il s'agit d'un établissement devant établir un rapport de sécurité en vertu de l'article 7, § 3 du titre I du VLAREM, ou
« GEVAARLIJKE STOFFEN » (Substances dangereuses), pour les établissements soumis à l'application de l'article 7, § 1 et 2, du titre I du VLAREM ;
2. le nom, l'adresse et le numéro de téléphone de l'exploitant ;
3. les numéros de téléphone des personnes à contacter et des services d'urgence (sapeurs-pompier).

§ 2. À l'entrée des établissements soumis à l'application de l'article 7 du titre I du VLAREM, un plan du site de l'établissement à jour doit être conservé dans une armoire résistant au feu et facilement accessible aux services d'urgence. Pour toutes les installations de stockage des produits dangereux de l'établissement, ce plan du site doit indiquer clairement les informations suivantes :

1. l'emplacement exact ;
2. la dénomination technique et/ou chimique du produit dangereux, avec indication du classement conformément aux directives CE 67/548/CEE du 27 juin 1967 ou 88/379/CEE du 7 juin 1988, et du numéro UN ;
3. le type de réservoir utilisé pour le stockage :
 - a) réservoirs mobiles
 - b) réservoirs fixes aériens
 - c) réservoirs enterrés
 - d) réservoirs placés dans une fosse
4. la capacité de stockage maximale, en tonne ou en m³ ;
5. la température de stockage normale en °C et la pression de stockage en Pa.

§ 3. L'armoire mentionnée au § 2 porte la mention « GS-SITUATIEPLAN » (« Plan du site des matières dangereuses ») écrite en lettres noires d'au moins 8 centimètres de haut sur fond jaune. Si cette armoire est verrouillée :

1. la clé du verrou doit être conservée à proximité de l'armoire, derrière un verre de sécurité pouvant être brisé en cas d'urgence à l'aide d'un petit marteau ;
2. ou l'armoire doit être enfermée derrière un verre de sécurité à briser en cas d'urgence à l'aide d'un petit marteau.

§ 4. Il ne peut être dérogé aux conditions précisées aux § 2 et 3 que si un système alternatif est prévu et accepté par la Direction des autorisations écologiques, dans la mesure où il garantit au minimum un même niveau d'information.

§ 5. Les dispositions nécessaires doivent être prises pour rendre l'installation inaccessible aux personnes non autorisées.

§ 6. Les dispositions du § 5 ne s'appliquent pas aux installations de stockage des combustibles liquides faisant partie d'une station-service pour véhicules à moteur.

Art. 5.17.1.4

§ 1. L'étanchéité des conduites, des raccords, des vannes et de tous les accessoires doit être assurée. Ces éléments doivent être protégés efficacement contre la corrosion.

§ 2. Les conduites non accessibles doivent être aménagées dans une tranchée comblée avec un matériau inerte à grain fin. Cette tranchée doit être étanche et inclinée vers un puits collecteur également étanche.

Ce système peut être remplacé par un système alternatif présentant le même niveau de garantie concernant la prévention de la pollution du sol et/ou des nappes phréatiques. Ce système alternatif doit être accepté par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses. Un certificat attestant de cette acceptation sera établi et signé par l'expert en environnement susmentionné. Ce certificat sera tenu à la disposition du fonctionnaire chargé du contrôle. Une copie du certificat sera transmise par l'exploitant à la Direction des autorisations écologiques.

§ 3. Il est interdit d'aménager des conduites pour le transport des produits P1 et/ou P2 à l'intérieur des locaux, sauf si celles-ci sont d'un seul tenant (par de raccords avec joints d'étanchéité) ou si les locaux sont aménagés conformément aux dispositions énoncées dans le règlement général sur les installations électriques, en particulier aux articles traitant des espaces à atmosphère potentiellement explosive.

Art. 5.17.1.5

§ 1. Sans préjudice à d'autres dispositions, les mesures de précaution nécessaires seront prises pour empêcher que les produits entrent en contact les uns avec les autres si un tel contact :

1. risque de produire des réactions chimiques dangereuses ;
2. risque de former des gaz et des vapeurs toxiques ou dangereuses par réaction entre lesdits produits ;
3. risque de provoquer des explosions et/ou des incendies.

§ 2. Si des produits dont les propriétés principales sont différentes sont stockés au sein de l'établissement, l'installation de stockage doit être subdivisée en plusieurs compartiments, chaque compartiment ne pouvant stocker que les produits présentant les mêmes propriétés principales. Ces compartiments seront délimités par des murs, des écrans de sécurité, des marquages au sol, des chaînes ou des barrières fixes installées à une hauteur d'un mètre.

Toutefois, les produits dont les propriétés principales sont différentes peuvent être stockés dans le même compartiment à condition que la distance de séparation minimale entre les produits soit de 0 mètres, conformément à l'annexe 5.17.1.

§ 3. Toute opération de fabrication ou autre traitement sans rapport avec le stockage ou le transfert des produits sont interdits dans les installations de stockage et les zones délimitées par les distances de séparation et/ou les écrans prévus à l'annexe 5.17.1

§ 4. Les produits ne peuvent pas être stockés en dehors des espaces de stockage prévus à cet effet. Les réservoirs mobiles vides pollués ayant contenu des produits dangereux doivent être stockés dans un endroit réservé à cet effet et clairement indiqué comme tel.

Art. 5.17.1.6

§ 1. Pour les compartiments aériens destinés à des produits présentant une certaine propriété principale, les distances de séparation minimales mentionnées à l'annexe 5.17.1 doivent être respectées.

§ 2. Les distances indiquées au § 1^{er} peuvent être réduites par la construction d'un écran de sécurité, à condition que la distance mesurée horizontalement autour de cet écran, entre le compartiment en question et les éléments précisés à l'annexe 5.17.1, soit supérieure ou égale aux distances de sécurité minimales prévues au § 1^{er}.

L'écran de sécurité se compose soit d'un ouvrage de maçonnerie d'une épaisseur d'au moins 18 cm, soit d'un mur en béton d'une épaisseur d'au moins 10 cm, soit d'une construction en tout autre

matériau d'une épaisseur suffisante pour présenter un coefficient de résistance au feu équivalent. L'écran est d'une hauteur d'au moins 2 m et doit dépasser la hauteur maximale des réservoirs ou des conteneurs stockés d'au moins 0,5 m.

§ 3. Les distances de séparation susmentionnées peuvent être modifiées par l'autorisation écologique, si nécessaire et en particulier, en se basant sur les résultats du rapport de sécurité ou sur une analyse des risques établie par un expert agréé dans la discipline de la sécurité externe et des risques d'accidents majeurs.

§ 4. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, les dispositions à respecter concernant les distances ne s'appliquent pas aux :

1. produits stockés dans des laboratoires ;
2. produits dont la capacité de stockage totale pour une caractéristique principale particulière est inférieure, par installation de stockage, à la limite inférieure indiquée dans la catégorie 3 de la section de la classification correspondante ;
3. installations de stockage mentionnées à la section 17.4.

Art. 5.17.1.7

§ 1. Toutes les mesures nécessaires (mise à la terre, par exemple) doivent être prises pour empêcher la formation de charges électrostatiques dangereuses lors du stockage et de la manipulation de produits explosifs, extrêmement inflammables, hautement inflammables et inflammables.

§ 2. Les locaux dans lesquels les produits dangereux sont stockés ne peuvent être chauffés qu'au moyen d'appareils dont l'emplacement et l'utilisation offrent des garanties suffisantes pour éviter tout risque d'incendie et d'explosion.

§ 3. Dans les locaux où les produits dangereux sont stockés :

1. il est interdit de procéder à des travaux nécessitant l'utilisation d'un appareil à flamme nue ou susceptible de créer des étincelles, à l'exception des opérations de maintenance et/ou de réparation, à condition de prendre toutes les précautions nécessaires et pour autant que des instructions écrites aient été établies et/ou sanctionnées par le chef du service Prévention et protection ou par l'exploitant ;
2. il est strictement interdit de fumer ; cette interdiction doit être affichée en lettres claires et lisibles ou à l'aide de panneaux réglementaires sur le côté extérieur des portes d'accès et à l'intérieur des locaux concernés ; l'obligation d'apposer le pictogramme « Interdiction de fumer » ne s'applique pas lorsque celui-ci est apposé à l'entrée de l'entreprise ou lorsque l'interdiction de fumer et de faire du feu s'applique à l'ensemble de l'entreprise ;
3. les cheminées et conduits d'évacuation des vapeurs et émanations aspirées doivent être réalisés en matériaux ininflammables ou autoextinguibles.

§ 4. Il est interdit :

1. de fumer, faire du feu ou stocker des substances inflammables au-dessus ou à proximité des réservoirs, des pompes, des conduites, des unités de distribution, ainsi que des zones de remplissage et de déchargement des camions-citernes dans les limites des zones indiquées dans le plan de zonage et délimitées conformément au règlement général sur les installations électriques ;
2. de porter des chaussures ou des vêtements susceptibles de provoquer des étincelles, aux endroits non accessibles au public ;
3. de stocker des produits inflammables aux endroits de l'établissement où la température peut dépasser 40 °C suite à une chaleur d'origine technologique.

§ 5. Les règles d'interdiction énoncées au § 4 doivent être clairement indiquées au moyen de pictogrammes de sécurité prévus dans le Code sur le bien-être au travail, dans la mesure où de tels pictogrammes existent.

Art. 5.17.1.8

§ 1. Sans préjudice aux autres dispositions légales ou réglementaires pertinentes, l'exploitant est tenu de prendre toutes les mesures qui s'imposent pour protéger suffisamment les environs contre les risques d'incendie et d'explosion.

Ceci implique notamment de fournir les équipements de lutte contre les incendies nécessaires. Le type de ces équipements ainsi que l'emplacement où ils sont entreposés doivent être déterminés après concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente, indépendamment de l'autorisation écologique.

Les équipements de lutte contre les incendies doivent être entreposés dans des conditions de fonctionnement correcte, protégés contre le gel, marqués de façon adéquate, facilement accessibles et placés à des endroits appropriés. Les équipements de lutte contre les incendies doit pouvoir être déployés immédiatement.

§ 2. Au sein de l'établissement et en concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente, les dispositions nécessaires doivent être prises pour éviter l'écoulement des eaux d'incendies polluées par des produits dangereux dans le sol, le réseau d'assainissement public, les eaux de surface ou les eaux souterraines. Les eaux d'incendies polluées collectées doivent être évacuées de manière adéquate. La capacité de collecte des eaux d'incendies polluées doit être déterminée en concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente.

Art. 5.17.1.9

§ 1. Les installations, appareils et systèmes d'éclairage électriques doivent satisfaire aux dispositions du Règlement général pour la protection du travail ou au Règlement général sur les installations électriques, en particulier aux articles traitant des zones à atmosphère potentiellement explosive.

§ 2. Sans préjudice aux dispositions réglementaires, au sein des zones présentant un danger d'incendie ou d'explosion dû à la présence éventuelle d'un mélange explosif, les installations électriques doivent être conçues et installées conformément aux exigences d'un plan de zonage.

§ 3. Les installations non encore couvertes par le Règlement général sur les installations électriques sont divisées en zones conformément aux dispositions de l'article 105 dudit Règlement général.

Art. 5.17.1.10

§ 1. Les réservoirs destinés au stockage de liquides extrêmement toxiques, toxiques, dangereux ou corrosifs, avec une tension de vapeur supérieure à 13,3 kPa à une température de 35 °C, doivent être équipés d'un système efficace visant à limiter la pollution atmosphérique au cours du stockage et de la manipulation, par exemple un système de récupération des vapeurs, un toit flottant ou tout autre système équivalent.

§ 2. Le chargement et le déchargement des réservoirs de stockage et/ou des camions-citernes, des wagons-citernes ou des bateaux-citernes contenant les liquides mentionnés au § 1^{er} doivent être effectués de sorte à limiter au maximum la pollution atmosphérique.

Art. 5.17.1.11

§ 1. Sans préjudice aux obligations de l'article 7 du titre I du VLAREM, l'exploitant d'un établissement de catégorie 1 doit tenir un registre ou tout autre support de données alternatif dans

lequel sont indiquées, par propriété principale, au moins la nature et les quantités des produits dangereux stockés.

Ces informations doivent être conservées de façon à pouvoir déterminer à tout moment les quantités de produits dangereux présents au sein de l'établissement.

§ 2. Le registre ou le support de données alternatif mentionnés au § 1^{er} doit être tenu, sur place, à la disposition du fonctionnaire chargé du contrôle pendant au moins un mois.

Art. 5.17.1.12

Le personnel de l'établissement doit être informé de la nature des produits dangereux stockés et des dangers associés, ainsi que des mesures à prendre en cas d'anomalie.

L'exploitant doit pouvoir prouver qu'il diffuse les instructions à jour à cette effet.

La connaissance de ces instructions doit être évaluée par l'exploitant au moins une fois par an.

Art. 5.17.1.13

Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, les produits solides dangereux en raison de la concentration en substances lixiviables, telles que mentionnées à l'annexe 2B et/ou à l'annexe 7 du titre I du VLAREM, qu'ils renferment doivent être stockés sur un sol étanche équipé d'un système de collecte des eaux pluviales potentiellement polluées.

Les produits extrêmement toxiques, toxiques, susceptible de s'auto-enflammer, qui risquent de réagir avec l'eau et ainsi former des gaz combustibles, et les produits explosifs doivent être stockés dans un local ou sous un toit, sur un sol imperméable.

Les mesures nécessaires doivent en tout cas être prises pour empêcher que le produit s'infilte ou soit rejeté dans le réseau d'assainissement public, une couche d'eau souterraine ou des eaux de surface.

Art. 5.17.1.14

§ 1. Toutes les mesures doivent être prises pour garantir une surveillance efficace des différents locaux et installations de stockage de l'établissement.

Si la capacité de stockage totale de l'établissement est d'au moins un million de litres de produits P1 et P2, la surveillance doit être assurée en permanence par un personnel de sécurité affecté à cette tâche ou par un système de surveillance permanent équipé de détecteur de fumées, de gaz ou de flammes efficace, qui donne l'alerte à un service de sécurité permanent. Ceci doit se faire en consultation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente et un expert agréé dans la discipline de la sécurité externe et des risques d'accidents majeurs.

§ 2. Les bâtiments, réservoirs, cuvettes de rétention, berges, appareils, etc., doivent être maintenus en parfait état de fonctionnement. Tout défaut susceptible de mettre en danger la protection de l'homme et de l'environnement doit être immédiatement remédié.

Art. 5.17.1.15

§ 1. Avant de procéder à des réparations ou à l'inspection de l'intérieur d'un réservoir ayant contenu des produits P1 et/ou P2, l'établissement doit élaborer une procédure pour la réalisation de ces opérations. Cette procédure doit être sanctionnée par l'exploitant ou par le chef du service Prévention et protection. Cette procédure doit prévoir notamment le nettoyage du réservoir conformément à une méthode offrant des garanties de sécurité suffisantes sur le plan de la protection contre les incendies et les explosions, et de la protection de l'environnement.

§ 2. Dans l'atelier où a lieu la réparation des réservoirs de produits P1 et/ou P2, aucun produit P1 et/ou P2 ne doit être stocké.

Art. 5.17.1.16

§ 1. Le transfert de produits P1 et/ou P2 dans des réservoirs mobiles doit être effectué en plein air ou dans un local correctement ventilé construit en matériaux ininflammables. Toutes les mesures nécessaires doivent être prises afin d'empêcher la formation de charges électrostatiques en cours de transfert. Cet endroit ou ce local doit être pourvu de panneaux conformément aux dispositions du Règlement général pour la protection du travail afin d'indiquer un risque d'incendie.

§ 2. Le sol du local mentionné au § 1^{er} doit être imperméable et construits en matériaux ininflammables. Il doit être construit de sorte que les substances renversées accidentellement et les fuites de liquide s'écoulent dans un système de collecte pour ensuite être évacuées vers un ou plusieurs puits de collecte. Ce système de collecte ne doit en aucune manière être relié à un réseau d'assainissement public, des eaux de surface, un bassin de collecte des eaux de surface, un fossé ou une couche d'eau souterraine, que ce soit directement ou indirectement.

§ 3. Si des produits P1 et/ou P2 sont stockés dans des réservoirs aériens, le remplissage des réservoirs mobiles doit être effectué dans une zone de remplissage adaptée située à au moins 10 mètres des réservoirs ou complètement en dehors de la cuvette de rétention.

§ 4. Les produits P1 et/ou P2 doivent être manipulés de façon à éviter tout renversement de liquides sur le sol.

§ 5. Les produits P1 et/ou P2 doivent être stockés dans des récipients fermés présentant toutes les garanties d'étanchéité. En outre, cette étanchéité doit être contrôlée immédiatement après le remplissage. Les récipients défectueux à cet égard doivent être immédiatement vidés et évacués du local où s'effectue le remplissage.

§ 6. Les quantités maximales de produits P1 et/ou P2 (nombre de réservoirs mobiles, etc.) qui peuvent être présents dans les locaux où s'effectue le remplissage des réservoirs mobiles peuvent être limitées par l'autorisation écologique.

Art. 5.17.1.17

Les règles ci-dessous s'appliquent au remplissage des réservoirs fixes et des camions-citernes :

1. toutes les mesures nécessaires doivent être prises pour empêcher le renversement de liquides et la pollution du sol, des nappes phréatiques et des eaux de surface ;
2. le tuyau souple utilisé pour le remplissage doit être raccordé à l'ouverture du réservoir ou à la canalisation au moyen d'un dispositif à raccord vissable ou de tout autre système équivalent ;
3. toute opération de remplissage doit être réalisée sous la surveillance de l'exploitant ou de son représentant ; ladite supervision doit être exécutée de sorte que le remplissage puisse être contrôlé et que toute action puisse être prise immédiatement en cas d'incident ;
4. pour empêcher tout débordement, les réservoirs fixes doivent être équipés d'une protection adéquate, par exemple :
 - a) un système d'avertissement émettant un signal sonore toujours audible par le fournisseur dans la zone de remplissage et qui l'informe dès que le réservoir est rempli à 95 % de sa capacité ; ce système peut être mécanique ou électronique ;
 - b) un système de sécurité qui coupe automatiquement le flux dès que le réservoir est rempli à 98 % maximum de sa capacité ; ce système peut être mécanique ou électronique ;
 - c) pour les installations de stockage faisant partie d'une station-service pour véhicules à moteur, un système de sécurité du type décrit au point b) doit être utilisé ;
5. chaque réservoir doit être équipé d'une jauge de niveau ;

6. l'emplacement du camion-citerne, les zones où sont groupées les bouches de remplissage et les zones de remplissage près des stations-service doivent toujours se situer sur les lieux de l'établissement et doivent :
- a) fournir une portance et une étanchéité suffisante ;
 - b) être équipés des pentes et des bordures éventuellement nécessaires pour garantir l'écoulement de la totalité du liquide renversé jusqu'à un système de collecte ; l'élimination des liquides collectés s'effectue conformément aux dispositions réglementaires, en particuliers celles relatives à l'évacuations des déchets ;
- pour les produits P1 et/ou P2, cet emplacement et ces zones de remplissage doivent toujours se situer en plein air ou sous un toit de protection ; aucune fosse, aucun vide sanitaire ou aucun local ne peuvent être aménagés sous l'emplacement et les zones de remplissage susmentionnées. S'il existe des ponts-bascules, toutes les dispositions nécessaires doivent être prises pour limiter la dispersion des fuites et prévenir le risque d'explosion ; les dispositions du présent paragraphe ne s'appliquent pas aux sites de stockage des produits destinés uniquement au chauffage des bâtiments ;
7. lors du remplissage avec des produits P1 ou P2, toutes les mesures doivent être prises afin d'éliminer l'électricité statique ; le raccordement électrique entre le camion-citerne et le réservoir doit être effectué avant de commencer l'opération de remplissage et ne sera débranché qu'après avoir enlevé le tuyau de remplissage ;
8. des mesures adéquates doivent être prises pour garantir que le stockage se fasse à pression atmosphérique ; les canalisations de ventilation et de récupération de vapeur enterrées doivent satisfaire aux mêmes exigences que les autres canalisations. En outre, les canalisations de ventilation aériennes doivent présenter une résistance mécanique suffisante ;
9. il est interdit de remplir un réservoir avec un autre liquide que celui pour lequel il a été conçu, à moins qu'un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, ou tout autre expert compétent, ait prouvé que le réservoir en question convient à cet autre liquide.

Art. 5.17.1.18

La protection contre le débordement décrite à l'annexe 5.17.7 doit être réalisée conformément à un code de bonne pratique accepté par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses.

Le contrôle de la construction doit être effectué conformément au code de bonne pratique choisi par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses.

Le contrôle de la construction des dispositifs de protection contre le débordement fabriqués en série peut se limiter à l'homologation d'un prototype unique. Cette homologation se fera par l'un des experts en environnement susmentionnés et conformément aux procédures de l'annexe 5.17.7.

Le rapport d'homologation doit mentionner les contrôles effectués et doit être signé par ledit expert. Pour chaque dispositif de protection contre le débordement, l'exploitant doit disposer d'un certificat signé par le constructeur. Ce certificat doit mentionner le numéro du certificat d'homologation du prototype ainsi que le nom de l'expert en environnement qui a délivré le certificat (ainsi que son numéro d'agrément). Le constructeur doit également confirmer dans le certificat que la protection contre le débordement a été construite et contrôlée conformément aux dispositions du titre II du VLAREM.

Art. 5.17.1.19

§ 1. Les peroxydes organiques susceptibles de provoquer des explosions thermiques très violentes et/ou des détonations doivent être conservés au sein de l'établissement à une température inférieure à la température maximale admissible pour la sécurité, selon la nature de la substance concernée. Pour les substances indiquées ci-dessous, cette température maximale s'élève à :

1. peroxyde d'acétylcyclohexane sulfonyle :	-10 °C
2. peroxyde d'acide succinique :	+10 °C
3. peroxyde de carbonate d'isopropyle de butyle tertiaire :	température ambiante
4. peroxyde de pivalate de butyle tertiaire :	-10 °C
5. peroxyde de dibenzoyl :	température ambiante
6. peroxyde de dicarbonate dicyclohexylique :	+5 °C
7. peroxyde de dicarbonate diisopropylique :	-15 °C

§ 2. Les peroxydes qui doivent être conservés pour des raisons de sécurité au sein de l'établissement à une température inférieure à la température ambiante doivent être stockés :

1. dans des armoires frigorifiques ou des congélateurs-armoires installés dans le bâtiment de production, chaque armoire pouvant contenir au maximum 30 kg de peroxyde organique non réfrigéré ;
2. dans des armoires frigorifiques ou des congélateurs-armoires installés dans un bâtiment de stockage isolé où sont entreposés uniquement les peroxydes en question. Dans chaque cas, l'armoire contiendra une quantité maximale de peroxyde organique non réfrigéré de 150 kg ;
3. dans un entrepôt frigorifique isolé réservé à cette fin. Dans ce cas, et sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, la quantité maximale de peroxyde organique non réfrigéré qui peut être stockée dans chaque entrepôt est de 500 kg.

Art. 5.17.1.20

Pour les permis de construire, les inspections et les tests prévus au présent chapitre, l'exploitant doit disposer de certificats indiquant clairement les codes de bonne pratique appliqués, les contrôles effectués et les observations adéquates. Il doit pouvoir présenter à tout moment les certificats en question au fonctionnaire chargé du contrôle.

Art. 5.17.1.21

Sans préjudice aux dispositions du présent chapitre, le transport, l'installation et le raccordement des réservoirs doivent être effectués conformément aux normes belges ou européennes en vigueur.

Section 5.17.2 Stockage de liquides dangereux dans des réservoirs enterrés

Art. 5.17.2.1

§ 1. Toutes les mesures nécessaires doivent être prises pour protéger au maximum les réservoirs contre les dommages mécaniques et la corrosion.

§ 2. Il est interdit de placer les réservoirs destinés au stockage des produits P1 et/ou P2 directement sous un bâtiment ou dans la projection verticale de celui-ci. Un appentis n'est pas considéré comme un bâtiment.

§ 3. La distance entre le réservoir et les limites des terrains de tiers doit être d'au moins 3 mètres. La distance entre le réservoir et les caves des bâtiments de l'entreprise doit être d'au moins 2 m. La distance entre le réservoir et le mur d'un bâtiment de l'établissement doit être d'au moins 0,75 m. La distance entre les réservoirs doit être d'au moins 0,5 m.

La distance entre les réservoirs destinés au stockage des produits P3 et/ou P4 ne faisant pas partie de la station-service et les limites des terrains de tiers doit être d'au moins 1 m.

§ 4. Les dispositions nécessaires doivent être prises pour éviter que les réservoirs vides se soulèvent en cas d'inondation ou de niveaux d'eau élevés.

§ 5. Sans préjudice aux dispositions de la présente section, les sites de stockage d'essence et leurs installations connexes doivent être conformes aux dispositions de la section 5.17.4.

Art. 5.17.2.2

§ 1. Une plaque signalétique doit être apposée à un endroit bien visible à proximité du réservoir, conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2.

§ 2. Les informations suivantes doivent être affichées près de l'orifice de remplissage et du trou d'homme :

1. le numéro du réservoir ;
2. le nom et les numéros ou lettres de code du liquide stocké ;
3. les symboles de danger ;
4. la capacité à ras bords du réservoir.

Les informations doivent être parfaitement lisibles.

Les dispositions du présent paragraphe ne s'appliquent pas aux sites de stockage des produits P3 et/ou P4 destinés uniquement au chauffage des bâtiments.

Art. 5.17.2.3

1. Le tuyau d'évacuation doit déboucher en plein air, à au moins 3 mètres au-dessus du sol et à au moins 3 mètres de chaque ouverture dans un local et des limites des terrains de tiers. Les sorties des tuyaux d'évacuation ne doivent pas se trouver en dessous d'éléments de construction tels qu'un avant-toit.

§ 2. Les dispositions du § 1^{er} ne s'appliquent pas aux tuyaux d'évacuation faisant partie des sites de stockage de produits P3 et/ou P4 n'appartenant pas à une station-service pour véhicules à moteur. Pour ces sites de stockage, les sorties des tuyaux d'évacuation doivent être placées de sorte à ne pas incommoder exagérément le voisinage, en particulier à la suite du remplissage des réservoirs.

§ 3. Pour le stockage des produits P1 et/ou P2, le système d'alimentation et d'évacuation d'air doit être fermé par un dispositif empêchant la propagation des incendies.

Art. 5.17.2.4

§ 1. Le stockage dans des réservoirs enterrés n'est autorisé que :

1. dans des réservoirs métalliques à double paroi, fabriqués conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2 ;
2. dans des réservoirs en plastique armé thermdurcissable, fabriqués conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2 ;
3. dans des réservoirs en acier inoxydable, fabriqués conformément à un code de bonne pratique validé par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses ou par un expert compétent ;
4. dans un système de stockage qui présente les mêmes garanties de prévention de la pollution du sol et/ou des nappes phréatiques que les réservoirs susmentionnés.

Ce système de stockage doit être validé par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses ; un certificat prouvant cette validation est établi et signé par ledit expert en environnement ; ce certificat est tenu à disposition du fonctionnaire chargé du

contrôle ; une copie du certificat doit être transmise par l'exploitant à la Direction des autorisations écologiques.

§ 2. Tous les réservoirs doivent être équipés d'un système de détection des fuites permanent. Cette obligation ne s'applique pas aux réservoirs en plastique armé thermoudurcissable ou en acier inoxydable situés en dehors d'une zone de captage d'eau ou d'une zone de protection et dont la capacité à ras bords est inférieure à 5 000 l ou à 10 000 l si ces réservoirs sont destinés au stockage des produits P3 et/ou P4.

Le système de détection doit permettre de détecter toute fuite dans un espace interstitiel formé par une enveloppe supplémentaire étanche, solide ou flexible, placée à l'intérieur ou à l'extérieur du réservoir, ou par un revêtement étanche sur les parois et le fond de l'excavation, tout en répondant aux dispositions correspondantes de l'annexe 5.17.3.

§ 3. Afin d'installer un réservoir métallique d'une capacité à ras bords de 5 000 l et plus, ou pour stocker des produits P3 et/ou P4 de 10 000 l et plus, y compris les conduites s'y rapportant :

1. dans une zone de captage d'eau ou une zone protégée de type I ou II, ou
 2. dans une zone à proximité de conducteurs électriques où d'importants courants vagabonds sont susceptibles de se trouver,
- il est essentiel de faire évaluer la corrosivité du sol et de la terre de remblai par un expert en environnement agréé dans la discipline de la corrosion du sol et d'en déterminer la classe en suivant la méthode mentionnée à l'annexe 5.17.5.

Lors de cette opération, la corrosivité du sol ou de la terre de remblai, au point le plus bas où le réservoir doit être installé, doit être classée comme « peu corrosive », « moyennement corrosive », « corrosive » ou « très corrosive ».

La détermination de la corrosivité ne peut se faire dans des conditions extrêmes de sécheresse ou de gel.

Il peut être dérogé aux dispositions du présent si la corrosivité du sol et de la terre de remblai a déjà été déterminée au cours des cinq années précédentes ou si une protection cathodique a été aménagée sans examen préalable de la corrosivité du sol. L'aménagement de cette protection cathodique doit être réalisé sous le contrôle d'un expert en environnement agréé dans la discipline de la corrosion du sol.

§ 4. Protection cathodique :

1. si l'étude mentionnée au § 3 conclut à un sol « corrosif » ou « très corrosif », une protection cathodique doit être installée ;
2. si l'étude mentionnée au § 3 conclut à un sol « moyennement corrosif » ou « peu corrosif », il est permis, dans un premier temps, de ne pas installer de protection cathodique. Dans ce cas, le contrôle de la corrosion doit se faire au moyen de mesures du potentiel, en permanence ou de manière régulière ; si la mesure du potentiel est plus positive que -500 mV par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄, ce qui indique la présence d'une corrosion ou de courants vagabonds, une protection cathodique doit être installée ;
3. si l'étude mentionnée au § 3 conclut à un sol « peu corrosif » et que le réservoir est correctement recouvert, il n'est pas nécessaire d'installer de protection cathodique.

La protection cathodique doit amener toute la surface du réservoir, y compris les conduites métalliques (le cas échéant) à un potentiel de -850 mV ou à une valeur négative plus grande mesurée par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄. Dans les sols anaérobies, ce potentiel doit être d'au moins -950 mV.

§ 5. Les réservoirs doivent être recouverts d'une couche de terre, de sable ou de tout autre matière inerte d'une épaisseur minimale de 50 cm.

Toutes les mesures doivent être prises pour empêcher le passage de véhicules ou le stockage de matières au-dessus des réservoirs, sauf si ceux-ci sont protégés par un revêtement de sol non inflammable et suffisamment résistant.

Art. 5.17.2.5

§ 1. Le stockage dans des réservoirs installés dans des fosses n'est autorisé que dans :

1. des réservoirs métalliques à simple ou double paroi, fabriqués conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2 ;
2. dans des réservoirs en plastique armé thermdurcissable, fabriqués conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2 ;
3. des réservoirs en acier inoxydable, fabriqués conformément à un code de bonne pratique validé par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, ou par un expert compétent ;
4. dans un système de stockage qui présente les mêmes garanties de prévention de la pollution du sol et/ou des nappes phréatiques que les réservoirs susmentionnés ; ce système de stockage doit être accepté par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses. Un certificat attestant de cette acceptation sera établi et signé par l'expert en environnement précité ; ce certificat doit être tenu à disposition du fonctionnaire chargé du contrôle ; une copie du certificat sera transmise par l'exploitant à la Direction des autorisations écologiques.

§ 2. Tous les réservoirs doivent être équipés d'un système de détection des fuites permanent. Cette obligation ne s'applique pas aux réservoirs en plastique armé thermdurcissable ou en acier inoxydable situés en dehors d'une zone de captage d'eau ou d'une zone protégée et dont la capacité à ras bords est inférieure à 5 000 l, ou à 10 000 l si ces réservoirs sont destinés au stockage des produits P3 et/ou P4.

Le système de détection des fuites doit être conforme aux dispositions de l'annexe 5.17.3.

§ 3. La fosse doit être construite conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.6. Les parois ne peuvent pas être attenantes aux murs mitoyens.

§ 4. Au point le plus bas de la fosse, les dispositions nécessaires doivent être prises pour pouvoir détecter et éliminer toute fuite de liquide ou d'eau.

§ 5. La fosse ne doit pas servir à autre chose qu'à l'enfouissement des réservoirs. Seules les conduites nécessaires à l'exploitation des réservoirs peuvent traverser la fosse.

§ 6. Si la capacité du réservoir est supérieure à 2 000 l, une zone libre doit être aménagée autour du réservoir. Elle devra mesurer au moins 50 cm de large pour permettre l'examen du réservoir.

§ 7. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, le remblayage de la fosse est obligatoire pour le stockage des produits P1 et/ou P2.

Si la fosse est remblayée, une distance d'au moins 30 cm doit être prévue entre le réservoir et les parois de la fosse, et les dispositions de l'annexe 5.17.6 du présent arrêté doivent être prises en compte.

§ 8. Toutes les mesures doivent être prises pour empêcher le passage de véhicules ou le stockage de matières au-dessus de la fosse, sauf si celle-ci est protégée par un revêtement de sol non inflammable et suffisamment résistant.

§ 9. Une construction en préfabriqué, composée d'un réservoir cylindrique en béton dans lequel un réservoir métallique à simple paroi est disposé, n'est autorisée que pour le stockage de produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments, pour autant que leur capacité à ras bords soit inférieure à

5 300 l et que le réservoir métallique et le réservoir en béton préfabriqué aient été conçus comme prototype accepté par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, ou par un expert compétent

Art.5.17.2.6

§ 1. Le contrôle de la construction doit se faire conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2. Le contrôle de réservoirs construits séparément est réalisé par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, ou par un expert compétent. Le contrôle de réservoirs installés en série peut être limité à un seul prototype. L'homologation du prototype est réalisée par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, et dont l'agrément lui permet d'homologuer des prototypes. Le rapport d'homologation doit mentionner les contrôles effectués et doit être signé par ledit expert.

§ 2. Pour chaque réservoir, l'exploitant doit disposer d'une « déclaration de conformité du réservoir » signée par le constructeur et établie conformément au modèle de formulaire présenté à l'annexe 5.17.2.

Les réservoirs doivent être pourvus d'une plaque signalétique apposée par le constructeur.

Art. 5.17.2.7

Avant l'installation du réservoir, soit directement dans le sol, soit dans une fosse, il convient de s'assurer que le réservoir et, le cas échéant, la fosse répond aux dispositions du présent règlement. Après l'installation, mais avant la mise en service du réservoir, il convient de s'assurer que le réservoir, les conduites et leurs accessoires, le système de sécurité ou de détection de débordement, le système de détection des fuites et, le cas échéant, la protection cathodique et les équipements nécessaires à la récupération de vapeur sont conformes aux dispositions du présent règlement. Les contrôles spécifiés doivent être réalisés sous la surveillance d'un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, ou par un expert compétent ou, dans le cas du stockage de produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments, par un technicien agréé.

Le contrôle de toute protection cathodique doit être réalisé en collaboration avec un expert en environnement agréé dans la discipline de la corrosion du sol.

Art. 5.17.2.8

§ 1. Une inspection partielle doit être effectuée au moins une fois par an pour les réservoirs situés dans des zones de captage d'eau ou protégées, et tous les deux ans pour les réservoirs situés dans d'autres zones. Cette inspection comprend, si approprié :

1. l'examen du rapport ou du certificat précédent ;
2. le contrôle de l'état de fonctionnement de la protection contre les débordements ;
3. le contrôle de la présence d'eau et de boues dans les réservoirs à paroi simple destinés aux combustibles liquides (annexe 5.17.4) ;
4. un examen visuel ou organoleptique de la pollution à la surface extérieure du réservoir (annexe 5.17.4) ;
5. un examen de l'état des parties extérieures visibles du réservoir, des vannes, des canalisations, des pompes, etc. ;
6. le contrôle de l'efficacité de la protection cathodique éventuelle ou de la surveillance de la corrosion ;
7. le contrôle de l'efficacité du système de détection des fuites ;
8. le contrôle de l'efficacité des équipements de récupération de vapeur.

§2. Sauf pour les réservoirs en plastique armé thermodurcissable, une inspection générale doit avoir lieu au moins tous les 10 ans pour les réservoirs situés dans des zones de captage d'eau et des zones protégées, et tous les 15 ans pour les réservoirs situés dans d'autres zones. Cette inspection générale comprend :

1. l'examen partiel tel que précisé au § 1^{er} ;
 2. l'état de la paroi interne en cas de présence importante d'eau ou de boues ; si une inspection interne est nécessaire, l'intérieur du réservoir doit être nettoyé ; dans la mesure où ceci est techniquement réalisable, la paroi et les parties internes du réservoir doivent être examinées et, le cas échéant, une inspection non destructive doit être réalisée afin de déterminer l'épaisseur de la paroi du réservoir ;
 3. l'état du revêtement extérieur, dans la mesure où ceci est techniquement réalisable sans qu'il soit nécessaire d'exposer le réservoir à l'air libre ;
 4. le cas échéant, en particulier dans la situation décrite à l'article 5.17.2.4, § 3, la détection d'une corrosion éventuelle en se basant sur une mesure du potentiel et de la corrosivité du sol adjacent ;
 5. un test d'étanchéité des réservoirs à paroi simple enfouis directement dans le sol à une surpression d'au moins 30 kPa pendant une durée minimale d'une heure, ou à une sous-pression maximale de 30 kPa ; le test à une surpression supérieure à 30 kPa ne peut être réalisé que si les réservoirs sont préalablement remplis d'eau ;
- les conduites à paroi simple non accessibles doivent être testées à une surpression d'au moins 30 kPa pendant une heure ;
- un test d'étanchéité équivalent, réalisé conformément au code de bonne pratique validé par la Direction des autorisations écologiques est également autorisé.

§ 3. Les examens périodiques, tels que mentionnés aux § 1 et 2, doivent être effectués par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, par un expert compétent ou, dans le cas des installations de stockage des produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments, par un technicien agréé.

Les inspections concernant la corrosion et la protection cathodique doivent être réalisées en collaboration avec un expert en environnement agréé dans la discipline de la corrosion du sol.

Art. 5.17.2.9

Suite aux inspections décrites à l'article 5.17.2.7 lors de l'installation et/ou des examens périodiques mentionnés à l'article 5.17.2.8, les experts ou le technicien agréé établiront un certificat qui devra montrer, sans la moindre ambiguïté, si l'installation est conforme ou non aux dispositions du présent règlement. Le certificat de conformité susmentionné doit également indiquer le nom et le numéro d'agrément de l'expert ou du technicien agréé ayant réalisé l'inspection.

Celui-ci apposera ensuite un autocollant ou une plaque parfaitement lisibles sur la conduite de remplissage qui doit indiquer son numéro d'agrément, l'année et le mois de la dernière inspection de l'installation.

L'autocollant ou la plaque doit être d'une des couleurs suivantes :

1. verte, si le réservoir et l'installation sont conformes aux dispositions du présent règlement ;
2. orange, si le réservoir et l'installation ne sont pas conformes aux dispositions du présent règlement, mais que les vices constatés ne peuvent pas engendrer de pollution en dehors du réservoir ;
3. rouge, si le réservoir et l'installation ne sont pas conformes aux dispositions du présent règlement et que les vices constatés peuvent engendrer ou avoir engendré une pollution en dehors du réservoir.

Art. 5.17.2.10

Seuls les réservoirs dont la conduite de remplissage est pourvue d'un autocollant ou d'une plaque verte, comme indiqué à l'article 5.17.2.9, peuvent être remplis, réapprovisionnés et exploités.

Les réservoirs dont la conduite de remplissage est pourvue d'un autocollant ou d'une plaque orange, comme indiqué à l'article 5.17.2.9, peuvent être remplis ou réapprovisionnés pendant une période

transitoire maximale de 6 mois à compter du premier jour du mois suivant celui qui est indiqué sur l'autocollant ou la plaque orange. Dans ce cas, un nouveau contrôle doit être réalisé avant la date d'expiration du délai susmentionné.

Les réservoirs dont la conduite de remplissage est pourvue d'un autocollant ou d'une plaque rouge, comme indiqué à l'article 5.17.2.9, ne peuvent en aucun cas être remplis ou réapprovisionnés.

Art. 5.17.2.11

§ 1. Sont considérés comme réservoirs existants pour le stockage des produits P1, P2, P3 ou P4 :

1. les réservoirs dont l'exploitation était autorisée au 1^{er} janvier 1993 ou pour lesquels la demande de renouvellement de l'autorisation écologique avait été déposée à la date susmentionnée par l'autorité compétente ;
2. les réservoirs déjà mis en service au 1^{er} septembre 1991 et non classés comme dangereux, insalubres ou incommodes au sens du titre I du Règlement général pour la protection du travail ;
3. les réservoirs déclarés conformément aux dispositions du titre I du VLAREM avant le 1^{er} juillet 1993.

Ces réservoirs sont toujours considérés comme existants, y compris lors du renouvellement de l'autorisation écologique.

§ 2. Sont considérés comme réservoirs existants pour le stockage de produits autres que les produits P1, P2, P3 ou P4 les réservoirs dont l'exploitation était autorisée au 1^{er} mai 1999 ou dont la demande de renouvellement de l'autorisation écologique avait été déposée à la date susmentionnée par l'autorité compétente.

Ces réservoirs sont toujours considérés comme existants, y compris lors du renouvellement de l'autorisation écologique.

§ 3. Les règles de distance et d'interdiction, ainsi que les dispositions de la présente section relatives à la méthode de construction et d'installation des réservoirs, des conduites s'y rapportant et du point de remplissage ne s'appliquent pas aux réservoirs existants.

§ 4. L'inspection générale mentionnée à l'article 5.17.2.8, § 2 doit être réalisée une première fois au plus tard aux dates mentionnées dans le tableau ci-dessous, en fonction de l'emplacement, de la nature du liquide stocké et de la catégorie.

		Emplacement des zones de captage d'eau ou protégées	
Produit	Catégorie	Intérieur	Extérieur
P1, P2	1, 2, 3	1 ^{er} août 1997	1 ^{er} août 1999
P3, P4	1, 2	1 ^{er} août 1997	1 ^{er} août 1999
P3, P4	3	1 ^{er} août 1998	1 ^{er} août 2000
Autres	1, 2, 3	1 ^{er} janvier 2002	1 ^{er} janvier 2003

Dans l'attente de cette inspection générale, les réservoirs peuvent continuer à être utilisés.

Avant cette même date, un examen de la corrosivité doit être effectué conformément à l'article 5.17.2.4, § 3 sur les réservoirs métalliques enterrés suivants, d'une capacité à ras bords de 5 000 l et plus, ou pour stocker des produits P3 et/ou P4 de 10 000 l et plus, y compris les conduites s'y rapportant :

1. les réservoirs à simple paroi ;
2. les réservoirs à double paroi situés dans une zone de captage d'eau ou une zone protégée de type I ou II ;

3. les réservoirs à double paroi situés à proximité des conducteurs électriques susceptibles de produire d'importants courants vagabonds.

À partir de la date de la première inspection générale, les inspections périodiques doivent être effectuées conformément aux dispositions des articles 5.17.2.8 et 5.17.2.9.

§ 5. Sans préjudice aux dispositions particulières fixées par l'autorisation écologique, les réservoirs doivent être conformes aux dispositions du présent chapitre au plus tard aux dates mentionnées dans le tableau ci-dessous concernant :

1. le système de sécurité ou de protection contre le débordement ;
2. la détection des fuites ;
3. la protection cathodique.

		Emplacement des zones de captage d'eau ou protégées	
Produit	Catégorie	Intérieur	Extérieur
P1, P2	1, 2, 3	1 ^{er} août 1998	1 ^{er} août 2000
P3, P4	1, 2	1 ^{er} août 1998	1 ^{er} août 2000
P3, P4	3	1 ^{er} août 1999	1 ^{er} août 2001
Autres	1, 2, 3	1 ^{er} janvier 2003	1 ^{er} janvier 2005

§ 6. Lors du remplacement des réservoirs mentionnés au § 1^{er} ou au § 2, les nouveaux réservoirs doivent être conformes à toutes les dispositions du présent règlement, à l'exception des règles de distance.

§ 7. Pour les sites de stockage faisant partie d'une station-service pour véhicules à moteurs, il peut être dérogé aux dispositions du § 5, conformément aux dispositions de l'article 5.17.5.7.

Art. 5.17.2.12

§ 1. Si des fuites sont constatées, l'exploitant devra prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter le risque d'explosion et limiter, dans la mesure du possible, l'étendue de la pollution du sol et des nappes phréatiques.

§ 2. Après réparation par des professionnels, le réservoir ne peut être remis en service qu'après avoir passé avec succès un test d'étanchéité tel que spécifié à l'article 5.17.2.8.

§ 3. Lors de la mise hors service définitive d'un réservoir, pour cause de fuites ou non, le réservoir en question doit être vidé, nettoyé et évacué dans un délai de 36 mois, sans préjudice aux dispositions du décret du 2 juillet 1981 relatif à la prévention et à la gestion des déchets et de ses arrêtés d'exécution. En cas d'impossibilité matérielle d'évacuer le réservoir dans le délai imparti, après concertation avec un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, un expert compétent ou un technicien agréé dans le cas du stockage de produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments, le réservoir doit être vidé, nettoyé et rempli de sable, de mousse ou de tout autre matériau inerte équivalent. À cet effet, toutes les mesures nécessaires seront prises en ce qui concerne la protection contre les explosions et la pollution des nappes phréatiques.

§ 4. Les liquides à l'origine d'une pollution du sol ou déversés dans le réseau d'assainissement, les eaux de surface, les couches d'eaux souterraines ou dans les propriétés avoisinantes doivent être aussitôt signalés par l'exploitant à la Direction de l'inspection de l'environnement, au Gouverneur de la province et au Bourgmestre.

Section 5.17.3 Stockage de liquides dangereux dans des réservoirs aériens

Art. 5.17.3.1

§ 1. Les réservoirs doivent être placés dans ou au-dessus d'une cuvette de rétention afin d'empêcher la propagation des incendies, la pollution du sol et/ou des nappes phréatiques. Des systèmes de collecte équivalents peuvent être autorisés par l'autorisation écologique.

Il n'est pas nécessaire de placer les réservoirs à double paroi équipés d'un système de détection des fuites permanent dans ou au-dessus d'une cuvette de rétention.

§ 2. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, le stockage des produits P1 et/ou P2 dans des réservoirs fixes installés dans des caves ou des locaux en surface est strictement interdit. Il est interdit d'installer des sites de stockage de produits P1 et/ou P2 dans des réservoirs mobiles en sous-sol.

Art. 5.17.3.2

§ 1. Les réservoirs fixes doivent être construits conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2.

§ 2. Toutes les parties métalliques des réservoirs destinés au stockage des produits P1 et/ou P2, y compris leur toit flottant, doivent être équipotentielles.

Art. 5.17.3.3

§ 1. Le contrôle de la construction des réservoirs fixes doit être effectué conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2.

Le contrôle des réservoirs construits séparément doit être effectué par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, ou par un expert compétent. Le contrôle des réservoirs installés en série peut se limiter à un seul prototype ; l'homologation du prototype est confiée à un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, et dont l'agrément lui permet d'homologuer des prototypes.

Le rapport d'homologation doit mentionner les contrôles effectués et doit être signé par ledit expert.

§ 2. Pour chaque réservoir, l'exploitant doit disposer d'une « déclaration de conformité du réservoir » signée par le constructeur et établie conformément au modèle de formulaire présenté à l'annexe 5.17.2.

Les réservoirs doivent être pourvus d'une plaque signalétique apposée par le constructeur.

Art. 5.17.3.4

Avant l'installation du réservoir fixe, il convient de s'assurer que le réservoir et/ou les fondations sont conformes aux dispositions du présent règlement.

Après l'installation, mais avant la mise en service du réservoir, il convient de s'assurer que le réservoir, les conduites et leurs accessoires, le système de sécurité ou de protection contre le débordement, la cuvette de rétention, les équipements de lutte contre les incendies et, le cas échéant, le système de détection des fuites et les équipements nécessaires à la récupération de vapeur sont conformes aux dispositions du présent règlement.

Les contrôles spécifiés doivent être réalisés sous la surveillance d'un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, par un expert compétent ou, dans le cas du stockage de produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments, par un technicien agréé.

Art. 5.17.3.5

§ 1. Un plaque signalétique doit être apposée sur les réservoirs fixes, à un endroit parfaitement visible et accessible, conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.2.

§ 2. Les informations suivantes doivent être indiquées à côté de l'orifice de remplissage, à un endroit parfaitement visible, sur le réservoir fixe :

1. le numéro du réservoir ;
2. le nom et les numéros ou lettres de code du liquide stocké ;
3. les symboles de danger ;
4. la capacité à ras bords du réservoir.

Les dispositions du présent paragraphe ne s'appliquent pas aux sites de stockage des produits P3 et/ou P4 destinés uniquement au chauffage des bâtiments.

§ 3. Sur les réservoirs mobiles, le nom du produit et sa propriété principale doivent être indiqués.

Art. 5.17.3.6

§ 1. La cuvette de rétention et les fondations des réservoirs fixes d'une capacité à ras bords supérieure ou égale à 10 000 l doivent être construites conformément à un code de bonne pratique sous le contrôle et conformément aux directives d'un architecte, d'un ingénieur architecte, d'un ingénieur civil ou d'un ingénieur industriel.

Pour les sites de stockage classés catégorie 1 ou 2, les experts susmentionnés doivent confirmer, dans un certificat, leur accord quant au code de bonne pratique utilisé et le respect de celui-ci.

§ 2. Les réservoirs fixes doivent être installés sur des blocs de support ou une surface portante dont les dimensions sont suffisantes pour empêcher tout affaissement inégal dû à la charge et pouvant être à l'origine du renversement ou d'une rupture du réservoir. Pour installer un réservoir d'une capacité à ras bords de 50 000 l et plus, une étude de la stabilité doit être réalisée par l'expert mentionné au § 1^{er}.

§ 3. La cuvette de rétention doit être étanche et résistante à l'action des liquides stockés. Elle doit être suffisamment solide pour supporter la masse de liquide qui pourrait s'échapper en cas de rupture du plus grand réservoir installé qui y est installé.

Le sol doit être aménagé de sorte que la dispersion des liquides, en cas de fuite, soit minimale et qu'ils puissent être évacués rapidement.

§ 4. Si la cuvette de rétention est constituée de digues de terre, celles-ci doivent être réalisées dans une terre très argileuse, solide et fortement tassée, avec des pentes de 4/4 au maximum et une épaisseur minimale de la face supérieure de 50 centimètres. Le sol peut être réalisé à partir des mêmes matériaux. Les digues seront semées de gazon. À la base, des murs de soutènement, calculés avec précision, d'une hauteur maximale d'un mètre peuvent être construits.

§ 5. Le passage de conduites à travers la cuvette de rétention n'est autorisé que si son étanchéité reste assurée.

§ 6. Si la largeur de la cuvette de rétention est supérieure à 30 mètres, les échelles et escaliers de secours doivent être installés de sorte qu'une personne qui s'échappe ne doit pas parcourir une distance supérieure à la moitié de la largeur de la cuvette de rétention plus 15 mètres pour atteindre une échelle ou un escalier de secours.

Art. 5.17.3.7

§ 1. Pour le stockage dans des réservoirs fixes ou mobiles situés dans une zone de captage d'eau et/ou une zone protégée, la capacité minimale de la cuvette de rétention doit être égale à la capacité totale à ras bords de tous les réservoirs et/ou récipients qui y sont placés.

§ 2. Pour le stockage dans des réservoirs fixes situés en dehors d'une zone de captage d'eau et/ou une zone protégée, la capacité minimale de la cuvette de rétention doit être déterminée comme suit (les réservoirs à double paroi équipés d'un système de détection des fuites permanent ne sont pas inclus) :

1. pour le stockage de produits P1, P2, hautement toxiques, toxiques et explosifs, la plus grande des valeurs suivantes :
 - a) la capacité à ras bords du plus grand réservoir, majorée de 25 % de la capacité totale à ras bord des autres réservoirs placés dans la cuvette de rétention ;
 - b) la moitié de la capacité totale à ras bords des réservoirs installés ;
2. pour le stockage des produits P3, dangereux, irritants, comburants, corrosifs et dangereux pour l'environnement : la capacité à ras bords du réservoir le plus grand ;
3. pour le stockage de produits P4 et du mazout extra lourd, quel que soit le point d'éclair : la présence de bordures est la seule condition requise ;
4. pour le stockage de produits P1 et/ou P2 dans des locaux en surface et des caves : la capacité à ras bords totale de tous les réservoirs installés.

Pour le stockage de produits présentant des propriétés principales différentes, il convient de suivre les dispositions les plus strictes. Il convient également de tenir compte du point d'éclair.

§ 3. Pour les sites de stockage situés en dehors d'une zone de captage d'eau et/ou une zone protégée destinés au stockage de produits autres que les produits P1 et/ou P2 dans des réservoirs mobiles, la capacité de la cuvette de rétention doit être limitée à 10 % de la capacité à ras bords totale des réservoirs qui y sont stockés. Dans chaque cas, la capacité de la cuvette de rétention doit être au moins égale à la capacité du réservoir le plus grand installé dans la cuvette.

§ 4. Pour les sites de stockage situés en dehors d'une zone de captage d'eau et/ou une zone protégée destinés au stockage de produits P1 et/ou P2 dans des réservoirs mobiles, la capacité de la cuvette de rétention doit être égale à 25 % de la capacité à ras bord totale des réservoirs qui y sont stockés. La capacité peut être réduite à 10 % si, après concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente, une installation de lutte contre les incendies est aménagée. Dans chaque cas, la capacité de la cuvette de rétention doit être au moins égale à la capacité du réservoir le plus grand installé dans la cuvette.

Art. 5.17.3.8

Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, la distance entre les réservoirs doit être au moins de 0,5 m, et celle entre les réservoirs et les parois intérieures de la cuvette de rétention ou la partie inférieure des digues doit être égale à au moins la moitié de la hauteur des réservoirs. Cette dernière obligation ne s'applique pas :

1. pour le stockage de liquides dangereux dans des réservoirs à double paroi ou entourés d'une enveloppe circulaire ou d'une protection équivalente qui assure le maintien des fuites de liquide éventuelles à l'intérieur de la cuvette, ou
2. pour le stockage des produits P4 ou du mazout extra lourd, quel que soit le point d'éclair.

Art. 5.17.3.9

Sans préjudice aux autres dispositions du présent règlement, les sites de stockage des produits P1 et/ou P2 dans des réservoirs mobiles doivent être conformes aux dispositions suivantes :

1. l'installation de stockage doit être protégée contre les effets négatifs des rayons du soleil ou du rayonnement de toute autre source de chaleur ;
 2. le stockage des produits P1 et/ou P2 avec d'autres liquides est autorisé à condition que ces liquides n'augmentent pas le risque d'accident ;
 3. les sites de stockage à l'intérieur d'un bâtiment sont construits comme stipulé à l'article 52 du Règlement général pour la protection du travail ;
 4. les sites de stockage en dehors des bâtiments spécialement construits pour le stockage de ces liquides et qui ne satisfont pas aux dispositions de l'article 52 du Règlement général pour la protection du travail doivent être placés à au moins 10 m de tout bâtiment voisin ;
 5. les portes des sites de stockage fermés doivent s'ouvrir vers l'extérieur et sont pourvues d'un dispositif de fermeture automatique ; dans le cas des doubles portes, l'une d'entre elles doit rester verrouillée en permanence, l'autre devant être équipée d'un dispositif de fermeture automatique ; les portes peuvent rester temporairement ouvertes si cela s'avère nécessaire pour des raisons techniques. En cas d'incendie, elles doivent se fermer automatiquement. L'utilisation de portes coulissantes est autorisée à condition que celles-ci ou que le local de stockage comportent au moins une porte conforme aux dispositions susmentionnées ;
 6. tous les sites de stockage doivent être correctement aérés, soit naturellement, soit artificiellement.
- Art. 5.17.3.10

§ 1. La construction des locaux destinés au traitement des produits dangereux est réalisée de manière à pouvoir collecter les fuites de liquide et les substances accidentellement renversées.

Pour empêcher la propagation des incendies, la construction des locaux destinés au traitement des produits P1 doit être réalisée de sorte que les substances renversées accidentellement et les fuites de liquide s'écoulent vers un système de collecte pour être ensuite évacuées via des rigoles dans un ou plusieurs puits de collecte.

Ce système de collecte ne doit en aucune manière être connecté directement ou indirectement à un réseau d'assainissement public, des eaux de surface, un réservoir pour les eaux de surface, un fossé ou une couche d'eau souterraine.

§ 2. Le contenu d'un réservoir qui fuit doit être immédiatement pompé ou transvasé dans un autre réservoir approprié. Les liquides renversés doivent être immédiatement localisés et récupérés dans un fût conçu à cet effet. L'établissement doit disposer de tous les moyens d'intervention en cas d'urgence nécessaires tels que des matériaux d'absorption et de neutralisation, des fûts surdimensionnés, des moyens de protection, etc., afin de pouvoir intervenir rapidement en cas de fuite, de mauvais conditionnement, de renversements accidentels et autres incidents, et de limiter au maximum les conséquences négatives.

§ 3. Les dispositifs et les bassins de collecte doivent être vidés régulièrement et au moins après chaque incident. Les déchets qui s'écoulent doivent être évacués de façon appropriée.

Art. 5.17.3.11

Toutes les mesures nécessaires doivent être prises afin d'évacuer régulièrement les eaux pluviales présentes dans la cuvette de rétention.

Avant d'évacuer les eaux pluviales, l'exploitant doit s'assurer que les eaux ne contiennent aucun des produits stockés. Si les eaux contiennent des produits stockés, il doit prendre toutes les mesures nécessaires pour empêcher toute pollution du sol, des nappes phréatiques et des eaux de surface.

Art. 5.17.3.12

§ 1. Lorsque les parcs à réservoirs se trouvent dans des zones de captage d'eau et/ou protégées, après concertation avec la compagnie d'eau locale ou un expert en environnement agréé dans la discipline des eaux souterraines ou du sol, des tuyaux d'observation (puits de mesure) doivent être installés

conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.3 relatives à la détection des fuites de gaz ou de liquides en dehors du réservoir de stockage.

Les tuyaux d'observation (puits de mesure) doivent être fabriqués dans un matériau insensible à l'action des liquides stockés.

La totalité de la longueur des canalisations sera réalisée comme un tuyau de filtrage ; son diamètre intérieur doit être au moins de 5 cm, elle doit descendre à 1 m au moins en dessous du niveau le plus bas de la nappe phréatique et doit être fermée dans sa partie supérieure.

Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, au moins trois tuyaux d'observation doivent être installés.

Les plans des travaux et les rapports de forage doivent être tenus à la disposition du fonctionnaire chargé du contrôle.

§ 2. L'exploitant est tenu de contrôler régulièrement l'eau souterraine à l'intérieur des puits de mesure afin de détecter toute pollution éventuelle.

Pour les parcs à réservoirs, un contrôle des eaux souterraines doit être effectué au moins tous les 2 ans, soit par l'exploitant à l'aide d'équipements appropriés et conformément à une méthode validée par un expert en environnement agréé dans la discipline des eaux souterraines, soit par ledit expert en environnement.

Art. 5.17.3.13

§ 1. Équipements d'extinction et de refroidissement minimaux

Les parcs à réservoirs destinés au stockage des produits P1 et/ou P2 doivent être équipés, après concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente, d'une installation permanente efficace utilisant de la mousse, et/ou d'une installation d'extinction ou de refroidissement adaptée aux circonstances.

L'établissement doit disposer d'une quantité d'eau permettant d'arroser et/ou de refroidir les réservoirs pendant un laps de temps suffisant. En cas de dysfonctionnement de l'alimentation électrique normale, le fonctionnement des installations d'extinction ou de refroidissement doit être assuré par des groupes électrogènes ou des installations de secours équivalentes.

§ 2. Les établissements de catégorie 1 possédant des réservoirs de stockage des produits P1, qui ne sont pas occupés par du personnel ou seulement pendant les heures normales de travail, doivent être équipés, après concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétente, d'un système efficace de détection des flammes, de gaz ou de fumée qui donne l'alerte à un service de surveillance.

§ 3. Pour le stockage des produits P1 et/ou P2 dans des parcs à réservoirs, les équipements de lutte contre les incendies doivent être contrôlés lors de la mise en service par un expert agréé dans la discipline de la sécurité externe et des risques d'accidents majeurs ou par un expert compétent, sauf si ce contrôle est effectué partiellement ou en totalité par la brigade de sapeurs-pompiers compétente, par le chef du service Prévention et protection ou par son représentant, après concertation avec la brigade de sapeurs-pompiers compétentes.

Art. 5.17.3.14

L'accessibilité du parc à réservoirs doit être conçue de manière à :

1. réduire au maximum la circulation dans les zones à risque d'incendie ou d'explosion ;
2. faciliter l'accès au parc à réservoirs ;
3. faciliter l'accès pour le matériel d'intervention ;
4. obliger les véhicules qui livrent ou évacuent des produits à rester, pendant le chargement ou le déchargement, dans la mesure où cela s'avère techniquement possible, sur une zone de chargement/déchargement plus large qu'une piste réglementaire.

Art. 5.17.3.15

§ 1. L'exploitant d'un parc à réservoirs tient à la disposition de la brigade de sapeurs-pompiers compétente, à des emplacements judicieux, un dossier contenant au moins les informations suivantes :

1. un plan du parc à réservoirs et des routes d'accès ;
2. une description des équipements de lutte contre les incendies et leur emplacement sur un plan ;
3. une description des produits stockés avec leurs principales propriétés physiques et chimiques (cartes des dangers) avec indication du numéro UN et du code ADR, conformément à la classification de la directive CE 67/548/CEE du 27 juin 1967 ou 88/379/CEE du 7 juin 1988 ;
4. la capacité à ras bord des réservoirs ;
5. la composition du service d'incendie de l'établissement, le cas échéant.

Toute autre méthode de diffusion des informations est autorisée, à condition d'avoir obtenu l'accord du fonctionnaire en charge du contrôle et de la brigade de sapeurs-pompiers compétente.

Art. 5.17.3.16

§ 1. Au moins tous les 3 ans, sans jamais dépasser 40 mois entre deux contrôles consécutifs, les installations doivent subir une inspection limitée.

Cette inspection comporte, le cas échéant :

1. l'examen du rapport ou du certificat précédent ;
2. le contrôle de l'état de fonctionnement de la protection contre les débordements ;
3. un examen visuel ou organoleptique de la pollution à la surface extérieure du réservoir, conformément aux dispositions de l'annexe 5.17.4 ;
4. L'inspection de l'état général de l'installation, comportant :
 - a) la détection et le signalement des fuites ;
 - b) l'inspection de l'état des tôles, des raccords et des bouchons du réservoir ;
 - c) l'inspection de l'état des accessoires tels que : vannes, thermomètres, jauges de pression, jauges de niveau et mise à la terre ;
 - d) l'inspection des systèmes de sécurité de pression et des systèmes d'alarme ;
 - e) l'inspection de l'état du revêtement extérieur, de la peinture et/ou de l'isolation ;
 - f) l'inspection de la stabilité et de l'évacuation de l'eau au niveau des fondations et/ou des blocs de support ;
 - g) l'examen du contenu, de l'étanchéité et de la pollution de la cuvette de rétention, et l'inspection des puits de mesure ;
 - h) l'inspection de l'état des conduites et des accessoires à l'intérieur de la cuvette de rétention.

pour les réservoirs verticaux, également :

- a) le cas échéant, un examen non destructif du revêtement et de la tôle du toit des réservoirs afin d'en déterminer l'épaisseur et de détecter toute corrosion, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur ;
- b) à la demande de l'expert en environnement ou de l'expert compétent, un examen de l'affaissement sera réalisé en mesurant la hauteur d'un certain nombre de points répartis de manière régulière sur la périphérie du bord inférieur.

§ 2. Au moins tous les 20 ans, les installations doivent subir une inspection générale. Avant cette inspection, l'intérieur du réservoir doit être nettoyé.

Cette inspection comporte :

1. l'inspection limitée mentionnée au § 1^{er} ;
2. l'inspection de l'état de la paroi interne ;
3. pour les réservoirs verticaux, l'inspection comporte également :

- a) l'inspection de l'état de l'ossature et des accessoires internes tels que les vannes, les serpentins de chauffage, les évacuations d'eau sur le toit et au sol, et les joints d'étanchéité des toits flottants ;
- b) l'inspection des tôles de fond pour détecter toute trace de corrosion interne et externe ;
- c) l'inspection de la déformation du fond et la mesure éventuelle du profil ;
- 4. un test de pression sur les tuyaux de chauffage éventuels.

Pour le stockage de catégorie 3 des produits P3 et/ou P4, seule l'inspection limitée mentionnée au § 1^{er} doit être effectuée.

§ 3. Les examens périodiques doivent être effectués par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, par tout autre expert compétent ou, dans le cas de locaux de stockage de produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments, par un technicien agréé.

Art. 5.17.3.17

Suite aux inspections décrites à l'article 5.17.3.4 lors de l'installation et/ou des examens périodiques mentionnés à l'article 5.17.3.16, les experts ou le technicien agréé établiront un certificat qui devra montrer, sans la moindre ambiguïté, si l'installation est conforme ou non aux dispositions du présent règlement. Le certificat susmentionné doit également préciser le nom et le numéro d'agrément de l'expert ou du technicien ayant réalisé l'inspection.

Sauf dans le cas d'un parc à réservoirs, un autocollant ou une plaque doit être apposée à un endroit parfaitement visible sur ou à proximité de la conduite de remplissage. Le numéro d'agrément, l'année et le mois de la dernière inspection limitée de l'installation doivent être indiqués.

L'autocollant ou la plaque doivent être d'une des couleurs suivantes :

- 1. verte, si le réservoir et l'installation sont conformes aux dispositions du présent règlement ;
- 2. orange, si le réservoir et l'installation ne sont pas conformes aux dispositions du présent règlement, mais que les vices constatés ne peuvent pas engendrer de pollution en dehors du réservoir ;
- 3. rouge, si le réservoir et l'installation ne sont pas conformes aux dispositions du présent règlement et que les vices constatés peuvent engendrer ou avoir engendré une pollution en dehors du réservoir.

Art. 5.17.3.18

Seuls les réservoirs dont la conduite de remplissage est pourvue d'un autocollant ou d'une plaque verte, comme indiqué à l'article 5.17.3.17, peuvent être remplis, réapprovisionnés et exploités.

Les réservoirs dont la conduite de remplissage est pourvue d'un autocollant ou d'une plaque orange, comme indiqué à l'article 5.17.3.17, § 3, point 2, peuvent être remplis ou réapprovisionnés pendant une période transitoire maximale de six mois. Cette période court à compter du premier jour du mois suivant celui mentionné sur la plaque ou l'autocollant orange correspondant. Dans ce cas, un nouveau contrôle doit être effectué avant l'expiration du délai susmentionné.

Les réservoirs dont la conduite de remplissage est pourvue d'un autocollant ou d'une plaque rouge, comme indiqué à l'article 5.17.3.17, troisième sous-section, point 3, ne peuvent en aucun cas être remplis ou réapprovisionnés.

Art. 5.17.3.19

§ 1. Sont considérés comme réservoirs existants pour le stockage des produits P1, P2, P3 ou P4 :

- 1. les réservoirs dont l'exploitation était autorisée au 1^{er} janvier 1993 ou pour lesquels la demande de renouvellement de l'autorisation écologique avait été déposée à la date susmentionnée par l'autorité compétente ;
- 2. les réservoirs déjà en service au 1^{er} septembre 1991 et non classés comme dangereux, insalubres ou incommodants au sens du titre I du Règlement général pour la protection du travail ;

3. les réservoirs déclarés conformément aux dispositions du titre I du VLAREM avant le 1^{er} juillet 1993.

Ces réservoirs sont toujours considérés comme existants, y compris lors du renouvellement de l'autorisation écologique.

§ 2. Sont considérés comme réservoirs existants pour le stockage de produits autres que les produits P1, P2, P3 ou P4 les réservoirs dont l'exploitation est autorisée à la date d'entrée en vigueur du présent arrêté ou pour lesquels la demande de renouvellement de l'autorisation écologique a été déposée à la date susmentionnée auprès de l'autorité compétente. Ces réservoirs sont toujours considérés comme existants, y compris lors du renouvellement de l'autorisation écologique.

§ 3. Les règles de distance et d'interdiction, ainsi que les dispositions de la présente section relatives à la méthode de construction et d'installation des réservoirs, des conduites s'y rapportant et du point de remplissage ne s'appliquent pas aux réservoirs existants.

§ 4. L'inspection générale mentionnée à l'article 5.17.3.16 doit être réalisée une première fois au plus tard aux dates mentionnées dans le tableau ci-dessous, en fonction de l'emplacement, de la nature du liquide stocké et de la catégorie.

		Emplacement des zones de captage d'eau ou protégées	
Produit	Catégorie	Intérieur	Extérieur
P1, P2, P3, P4	1, 2, 3	1 ^{er} août 1998	1 ^{er} août 2000
Autres	1, 2, 3	1 ^{er} janvier 2003	1 ^{er} janvier 2005

Dans l'attente de cette inspection générale, les réservoirs peuvent continuer à être utilisés. À partir de la date de la première inspection générale, les inspections périodiques doivent être effectuées conformément aux dispositions des articles 5.17.3.16 et 5.17.3.17.

§ 5. Sans préjudice aux dispositions particulières fixées par l'autorisation écologique, les réservoirs doivent être conformes aux dispositions du présent chapitre au plus tard aux dates mentionnées dans le tableau ci-dessous, à l'exception des dispositions relatives à :

1. la construction et l'installation des réservoirs et des canalisations, à condition qu'elles soient conformes aux dispositions du § 4 ;
2. la construction et l'étanchéité de la cuvette de rétention des parcs à réservoirs.

		Emplacement des zones de captage d'eau ou protégées	
Produit	Catégorie	Intérieur	Extérieur
P1, P2, P3, P4	1, 2, 3	1 ^{er} août 1999	1 ^{er} août 2001
Autres	1, 2, 3	1 ^{er} janvier 2004	1 ^{er} janvier 2006

§ 6. Lors du remplacement des réservoirs mentionnés au § 1^{er} et § 2, les nouveaux réservoirs doivent être conformes à toutes les dispositions du présent chapitre, à l'exception des règles de distance.

§ 7. En dérogation aux dispositions du § 5, les réservoirs existants qui ne font pas partie d'un parc à réservoirs doivent satisfaire aux dispositions des articles 5.17.3.6, 5.17.3.7 et 5.17.3.8 au plus tard le 1^{er} janvier 2003.

§ 8. Dans les parcs à réservoirs existants pour le stockage des produits P1, P2, P3 ou P4 situés dans une zone de captage d'eau ou une zone protégée, des tuyaux d'observation doivent être installés conformément aux dispositions de l'article 5.17.3.12 au plus tard le 1^{er} août 1997.

Dans les parcs à réservoirs existants pour le stockage des produits P1, P2, P3 ou P4 situés dans une zone de captage d'eau ou une zone protégée, des tuyaux d'observation doivent être installés dans un délai de 24 mois après la date d'entrée en vigueur du présent arrêté, conformément aux dispositions de l'article 5.17.3.12.

Ces obligations s'appliquent également dans un délai de 24 mois après la date d'entrée en vigueur de l'arrêté relatif à la délimitation des zones de captage d'eau et/ou des zones protégées.

§ 9. Dans les parcs à réservoirs qui ne disposent pas d'une cuvette de rétention étanche et situés en dehors d'une zone de captage d'eau ou une zone protégée, des tuyaux d'observation doivent être installés dans un délai de 24 mois après la date d'entrée en vigueur du présent arrêté, conformément aux dispositions de l'article 5.17.3.12.

Art. 5.17.3.20

§ 1. Si des fuites sont constatées, l'exploitant devra prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter le risque d'explosion et limiter, dans la mesure du possible, l'étendue de la pollution du sol et des nappes phréatiques.

§ 2. Après réparation par des professionnels, le réservoir ne peut être remis en service que si un certificat a été délivré par un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, un expert compétent ou un technicien agréé, dans le cas du stockage de produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments. Ce certificat doit clairement indiquer que le réservoir et l'installation sont conformes aux dispositions du présent arrêté.

§ 3. Lors de la mise hors service définitive d'un réservoir, pour cause de fuites ou non, le réservoir en question doit être vidé, nettoyé et évacué dans un délai de 36 mois, sans préjudice aux dispositions du décret du 2 juillet 1981 relatif à la prévention et à la gestion des déchets et de ses arrêtés d'exécution. S'il est impossible d'évacuer le réservoir au cours de cette période, après concertation avec un expert en environnement agréé dans la discipline des réservoirs à gaz ou à substances dangereuses, un expert compétent ou avec un technicien agréé dans le cas du stockage de produits P3 et/ou P4 destinés au chauffage des bâtiments, le réservoir doit être vidé, nettoyé et rempli de sable, de mousse ou de tout autre matériau inerte équivalent. À cet effet, toutes les mesures seront prises pour garantir la protection contre l'explosion, et la pollution du sol et des eaux souterraines.

§ 4. Les liquides à l'origine d'une pollution du sol ou déversés dans le réseau d'assainissement, les eaux de surface, les couches d'eaux souterraines ou dans les propriétés adjacentes doivent être aussitôt signalés par l'exploitant à la Direction de l'inspection de l'environnement, au Gouverneur de la province et au Bourgmestre.

Section 5.17.4 Contrôle des émissions de composés organiques volatils (COV) dues au stockage et au chargement de l'essence

Art. 5.17.4.1

Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements mentionnés à la sous-section 17.3.4 et aux établissements mentionnés à la sous-section 17.3.9 de la nomenclature, dans la mesure où ils ont un rapport avec la réception, le stockage et le chargement d'essence.

Art. 5.17.4.2

§ 1. Sans préjudice aux autres dispositions du présent règlement, les installations de stockage doivent être conformes aux dispositions techniques de l'annexe 5.17.9, § 2.

§ 2. En dérogation au § 1^{er}, les installations de stockage existantes doivent être conformes aux dispositions du § 1^{er} :

1. à compter du 1^{er} janvier 1999 pour les installations de stockage présentant un débit supérieur à 50 000 tonnes par an, mesuré au cours des années 1996 et 1997 ;
2. à compter du 1^{er} janvier 2002 pour les installations de stockage présentant un débit supérieur à 25 000 tonnes par an, mesuré au cours des années 1996 à 2000 ; toutefois, si le débit mesuré au cours des années 1998 à 2000 dépasse la limite de 50 000 tonnes par an, les dispositions du § 1^{er} du présent article s'appliquent à partir du 1^{er} janvier de la deuxième année suivant l'année pour laquelle la valeur limite a été dépassée ;
3. à compter du 1^{er} janvier 2005 pour les autres installations de stockage.

Art. 5.17.4.3

§ 1. Sans préjudice aux autres dispositions du présent règlement, les installations de chargement de réservoirs mobiles situés dans des terminaux doivent être conformes aux dispositions techniques de l'annexe 5.17.9, § 3.

§ 2. Tous les terminaux disposant d'installations pour le chargement de camions-citernes doivent être équipés d'au moins un portique de chargement satisfaisant aux spécifications relatives aux installations de remplissage en source stipulées à l'annexe 5.17.9, § 5.

§ 3. En dérogation au § 1^{er} du présent article, les installations existantes pour le chargement de camions-citernes, de wagons-citernes et/ou de bateaux-citernes doivent être conformes aux dispositions du § 1^{er} et du § 2 :

1. à compter du 1^{er} janvier 1999 pour les installations de chargement présentant un débit supérieur à 150 000 tonnes par an, mesuré au cours des années 1996 et 1997 ;
2. à compter du 1^{er} janvier 2002 pour les installations de chargement présentant un débit supérieur à 25 000 tonnes par an, mesuré au cours des années 1996 à 2000 ; toutefois, si le débit mesuré au cours des années 1998 à 2000 dépasse la limite de 150 000 tonnes par an, les dispositions du § 1^{er} du présent article s'appliquent à partir du 1^{er} janvier de la deuxième année suivant l'année pour laquelle la valeur limite a été dépassée ;
3. à compter du 1^{er} janvier 2005 pour les autres installations de chargement de terminaux.

§ 4. Au plus tard trois mois après la date de mise en service, puis au mois une fois par an, un expert en environnement agréé dans la discipline de l'air doit établir un rapport qui reprendra les résultats des mesures réalisées pour déterminer la concentration moyenne de vapeurs dans le rejet de l'unité de récupération de vapeurs, les discutera et les comparera aux conditions d'émission spécifiées à l'annexe 5.17.9, § 3. Le délai entre deux mesures de contrôle ne peut en aucun cas dépasser 15 mois. Ce rapport doit être envoyé à la Direction des autorisations écologiques, à la Direction de l'inspection de l'environnement et à la Société flamande de l'environnement.

Art. 5.17.4.4

§ 1. Sans préjudice aux autres dispositions du présent règlement, les stations-service doivent être conformes aux dispositions techniques fixées à l'annexe 5.17.9, § 4.

§ 2. En dérogation au § 1^{er} du présent article, les stations-service existantes doivent être conformes aux dispositions du § 1^{er} :

1. à compter du 1^{er} janvier 1999 pour les stations-service présentant un débit supérieur à 1 000 m³ par an, mesuré au cours des années 1996 et 1997, ainsi que pour les stations-service, quel que soit leur débit, situées dans un bâtiment utilisé comme lieu permanent d'habitation ou de travail ;

2. à compter du 1^{er} janvier 2002 pour les stations-service présentant un débit supérieur à 500 m³ par an, mesuré au cours des années 1996 à 2000 ; toutefois, si le débit mesuré au cours des années 1998 à 2000 dépasse la limite de 1 000 m³ par an, les dispositions du § 1^{er} du présent article s'appliquent à partir du 1^{er} janvier de la deuxième année suivant l'année pour laquelle la valeur limite a été dépassée ;
3. à compter du 1^{er} janvier 2005 pour les autres stations-service.

§ 3. Les dispositions du présent article ne s'appliquent pas aux stations-service dont le débit est inférieur à 100 m³ par an.

§ 4. Les installations de stockage faisant partie des stations-service qui, conformément aux dispositions du présent article, doivent être conformes aux dispositions techniques de l'annexe 5.17.9, § 4, ne peuvent être remplies qu'au moyen de réservoirs mobiles satisfaisant à la réglementation fédérale en exécution de la directive CE 94/63/CE du 20 décembre 1994 relative au contrôle des émissions de composés organiques volatils (COV) dues au stockage et à la distribution d'essence des terminaux aux stations-service.

Art. 5.17.4.5

L'exploitant doit tenir un registre indiquant les informations relatives au débit. Ce registre doit être tenu à la disposition des fonctionnaires chargés du contrôle.

Art. 5.17.4.6

L'exploitant d'une installation de récupération de vapeurs doit tenir un registre indiquant avec précision chaque période de mise hors service de ladite installation, ainsi que la raison de cette mise hors service et les mesures qui ont été prises. Ce registre doit pouvoir être consulté sur le lieu d'exploitation.

Section 5.17.5 Stations-service pour véhicules à moteur

Art. 5.17.5.1

Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements mentionnés à la sous-section 17.3.9 de la nomenclature.

Art. 5.17.5.2

Sans préjudice aux dispositions du présent règlement, les mesures nécessaires doivent être prises pour empêcher le renversement de combustibles liquides, ainsi que la pollution du sol, des nappes phréatiques et des eaux de surface.

En cas d'incident, il convient de prendre immédiatement des mesures efficaces pour empêcher la dispersion des combustibles liquides.

Art. 5.17.5.3

Les installations électriques doivent satisfaire aux dispositions du Règlement général sur les installations électriques, en particulier à celles des articles traitant des espaces à atmosphère potentiellement explosive. Ces installations doivent pouvoir être arrêtées manuellement depuis un endroit sûr et toujours facile d'accès.

Art. 5.17.5.4

Le remplissage d'un véhicule, quel qu'il soit, ne peut se faire qu'après avoir coupé le moteur.

Art. 5.17.5.5

Les zones d'approvisionnement des véhicules à moteur pour les produits P1 et/ou P2 se situent toujours en plein air et sur les lieux de l'établissement. Le sol de la zone susmentionnée doit être étanche et d'une portance suffisante. Ce sol est suffisamment incliné et dispose éventuellement de bordures afin que les combustibles inflammables liquides renversés puissent s'écouler jusqu'à un collecteur et être éliminés conformément aux dispositions réglementaires.

Aucune fosse, aucun vide sanitaire ou aucun local ne peuvent être aménagés sous la zone de remplissage susmentionnée.

Art. 5.17.5.6

Chaque réservoir fixe faisant partie d'une station-service pour l'approvisionnement des véhicules à moteur doit être équipé de sa propre conduite de remplissage.

Le point de remplissage des produits P1 et/ou P2 :

1. se situe à au moins 2 m du bord du réservoir, dans la projection horizontale de celui-ci ;
2. ne peut se situer dans un bâtiment fermé ou ouvert ;
3. doit se situer à au moins 3 m de toute cave et de toute limite de propriété de tiers.

Art. 5.17.5.7

§ 1. Concernant les stations-service existantes, la période transitoire prévue à l'article 3.2.1.2, § 3, b) pour les exigences de construction spécifiées dans les articles 5.17.5.5 et 5.17.1.17, 6. peut être ramenée au :

1. 1^{er} janvier 1999 pour toutes les stations-service équipées de réservoirs métalliques à simple paroi enterrés situés dans des zones de captage d'eau et des zones protégées ;
2. 1^{er} janvier 2002 pour toutes les stations-service autres que celles mentionnées au point 1, équipées de réservoirs métalliques à double paroi enterrés construits avant 1975 ou supposés construits avant cette date si leur âge ne peut être prouvé ;
3. 1^{er} janvier 2005 pour toutes les autres stations-service.

La même dérogation aux articles 5.17.1.4, § 2, 5.17.2.11, § 5 et 3.2.1.2, § 3, b, peut s'appliquer aux réservoirs existants ou aux déversements d'eaux usées industrielles existants, en ce qui concerne la réalisation des exigences fixées à l'annexe 5.3.2, 52°, c).

§ 2. L'exploitant ne peut obtenir la dérogation spécifiée au § 1^{er} qu'à la condition explicite de s'engager, par lettre recommandée adressée au plus tard le 1^{er} janvier 1998 à la Direction des autorisations écologiques et à la Direction de l'inspection de l'environnement, à ce que :

1. les réservoirs répondent aux dispositions du présent règlement, pour le cas des nouveaux réservoirs, avant la date fixée au § 1^{er}, à l'exception des dispositions relatives à l'emplacement (en particulier, les règles d'interdiction et de distances à respecter) ;
2. un terme définitif soit mis à l'exploitation ultérieure de la station-service à partir de la date fixée au § 1^{er} dans le cas où l'engagement énoncé au point 1 n'est pas respecté.

Annexe 6**CHAPITRE 5.20 : ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS POUVANT CAUSER UNE POLLUTION ATMOSPHERIQUE****Section 5.20.1 Dispositions générales**

Art. 5.20.1.1

§ 1. Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aux établissements mentionnés à la section 20 de la nomenclature.

§ 2. En dérogation aux valeurs limites d'émission générales mentionnées au chapitre 4.4, les valeurs limites d'émission indiquées dans les autres chapitres du présent arrêté pour certaines catégories d'établissement s'appliquent également aux catégories d'établissement couvertes par les sections spécifiées au § 1^{er} pratiquant la même activité industrielle. Ceci concerne en particulier les valeurs limites d'émission mentionnées aux chapitres 5.7 « Produits chimiques » et 5.29 « Métaux » qui concernent les établissements mentionnés aux sous-sections 20.4 et 20.2, respectivement.

Section 5.20.2 Raffineries de pétroleArt. 5.20.2.1 Champ d'application

Les dispositions de la présente section s'appliquent aux établissements mentionnés aux sous-sections 1.1 et 20.1.2. de la nomenclature.

Art. 5.20.2.2

§ 1. En dérogation aux dispositions de l'article 5.7.6.1, chapitres 5.31 et 5.43, et des valeurs limites d'émission générales stipulées au chapitre 4.4. relatives aux raffineries de pétrole [¼], les valeurs limites d'émission suivantes s'appliquent en ce qui concerne la somme des émissions provenant d'installations de chauffage, y compris les turbines à gaz et à vapeur, et les installations de traitement :

1. à compter du 1^{er} janvier 1994 :

a) pour le dioxyde de soufre :

- jusqu'au 31 décembre 1997 :	2 000 mg/Nm ³
- à compter du 1 ^{er} janvier 1998 :	1 300 mg/Nm ³

b) pour les oxydes d'azote :

- jusqu'au 31 décembre 1997 :	900 mg/Nm ³
- à compter du 1 ^{er} janvier 1998 :	450 mg/Nm ³

c) pour les particules en suspension :

- jusqu'au 31 décembre 1997 :	300 mg/Nm ³
- à compter du 1 ^{er} janvier 1998 :	150 mg/Nm ³

2. à compter du 1^{er} janvier 1997 :

pour le CO :

- jusqu'au 31 décembre 1997 :	250 mg/Nm ³
- à compter du 1 ^{er} janvier 1998 :	150 mg/Nm ³

3. à compter du 1^{er} janvier 1999 :

- pour le Ni et ses composés :	2 mg/Nm ³ exprimé en Ni
- pour V et ses composés :	7 mg/Nm ³ exprimé en V

Les installations de traitement mentionnées à la première sous-section comprennent notamment :

- les unités de récupération du soufre ;
- les installations de transformation et de craquage catalytique ;
- les incinérateurs ;
- les torchères, les oxydateurs d'asphalte et toute autre unité de traitement avec émissions de SO₂, de NO_x, de CO et de poussières.

Pour les nouvelles grandes installations de chauffage, les dispositions de la section 5.43.2 s'appliquent, sauf pour les valeurs limites d'émission incluses dans la présente section. Celles-ci sont remplacées par les valeurs limites d'émission stipulées à l'annexe 5.20.2.

En dérogation à l'article 3.2.1.2, § 3, a), pour les établissements existants, des valeurs limites d'émission plus strictes mentionnées à la troisième sous-section s'appliquent à compter du 1^{er} janvier 2005.

§ 2. À compter du 1^{er} janvier 1994, les conditions d'exploitation fixées dans les autorisations d'exploitation de raffineries de pétrole concernant les émissions de SO₂, de NO_x, de CO et de poussières sont remplacées par les dispositions du § 1^{er}.

§ 3. Pour l'application des dispositions du § 1^{er} du présent article, il convient de respecter les spécifications suivantes :

1. Pour les définitions des gaz de combustion, des valeurs limites d'émission, des installations de chauffage nouvelles et existantes, ainsi que pour les turbines à gaz et à vapeur, les définitions concernées de l'article 1.1.2 s'appliquent, en particulier en ce qui concerne les établissements industriels pouvant causer une pollution atmosphérique.

Pour les installations de traitement, les débits réels exprimés en m³/heure doivent être convertis à la température normale (273 K) et à la pression normale (101,3 kPa), mais sur une base sèche, comme spécifié à l'article 4.4.3.1., avec la quantité réelle du surplus d'oxygène.

2. Stratégies de mesure des particules en suspension, du SO₂, des NO_x, du CO, du Ni et du V :

- pour les installations de chauffage, y compris les machines avec incinération interne, les dispositions de l'article 5.43.2.3, § 1^{er} et § 2, s'appliquent ;

- pour les installations de traitement, les mesures des effluents gazeux sont effectuées en continu, ou les émissions sont calculées en se basant sur des paramètres pertinents mesurés de manière régulière ou continue, conformément aux codes de bonne pratique énoncés à l'article 5.43.2.3., § 1^{er} et § 2 ;

3. Évaluation des résultats des mesures :

pour l'évaluation des résultats des mesures, les dispositions suivantes s'appliquent :

- pour le SO₂ : les dispositions de l'article 5.43.2.4 pour des mesures en continu ou de l'article 4.4.4.5 pour des mesures en discontinu ;

- pour les NO_x et le CO : les dispositions de l'article 5.43.5.1, § 4 pour des mesures en continu ou de l'article 4.4.4.5 pour des mesures en discontinu ;

- pour les particules en suspension : les dispositions de l'article 5.43.5.1, § 4 pour des mesures en continu ou de l'article 4.4.4.5 pour des mesures en discontinu ;

- pour le Ni et le V : les mêmes dispositions que celles mentionnées pour les NO_x dans l'article 5.43.5.1, § 4 pour des mesures en continu ou à l'article 4.4.4.5 pour des mesures en discontinu.

§ 4. Les effluents gazeux rejetés en discontinu par un procédé, par exemple les effluents gazeux résultant de la régénération de catalyseurs, et des activités d'inspection et de nettoyage, doivent être acheminés jusqu'à une installation de combustion ou une torchère, ou des mesures équivalentes doivent être prises pour réduire les émissions.

Les effluents gazeux rejetés au démarrage ou à l'arrêt d'une installation doivent être acheminés, dans la mesure du possible, jusqu'à un système de collecte des effluents gazeux ou incinérés dans des installations de chauffage. Si une telle mesure s'avère irréalisable, les gaz doivent être acheminés jusqu'à une torchère où un niveau d'émission des substances organiques de 1 % par rapport à la teneur en carbone totale ne pourra pas être dépassé.

Les effluents gazeux provenant des installations de désulfuration ou d'autres sources, dont la teneur en sulfure d'hydrogène est supérieure à 0,4 % du volume avec un débit massique supérieur à 2 tonnes/jour, doivent subir un traitement ultérieur.

Les effluents gazeux non soumis à un traitement ultérieur doivent être acheminés jusqu'à un incinérateur.

En dérogation aux dispositions du chapitre 4.4, les émissions de sulfure d'hydrogène dans les effluents gazeux rejetés ne peuvent pas dépasser 10 mg/Nm³.

Les eaux contenant du sulfure d'hydrogène doivent être traitées de sorte à empêcher le rejet d'effluents gazeux dans l'atmosphère.

Lors du transvasement de matières premières, de produits intermédiaires et de produits finis, les émissions de substances organiques ayant une tension de vapeur supérieure à 13,3 kPa à une température de 35 °C doivent être réduites au moyen de mesures appropriées telles que la pendule à gaz, l'extraction de gaz et le transfert des gaz vers une installation d'épuration des effluents gazeux.

Les eaux de procédé ne peuvent être déversées dans un système ouvert qu'après dégazage. Les effluents gazeux collectés lors de cette opération doivent être épurés par lavage ou par incinération.

§ 5. En dérogation au § 1^{er}, les émissions dans les effluents gazeux des installations de craquage catalytique selon la méthode « à lit fluidisé » avec régénération du catalyseur, ne peuvent pas dépasser les valeurs limites d'émission suivantes pour les particules en suspension :

- | | |
|--|--|
| 1. jusqu'au 1 ^{er} janvier 2005 : | 300 mg/Nm ³ comme moyenne mensuelle |
| 2. à compter du 1 ^{er} janvier 2005 : | 50 mg/Nm ³ comme moyenne mensuelle |

§ 6. La concentration de dibenzodioxines polychlorées (DDPC) et de dibenzofurannes polychlorés (DFPC) calculée conformément à l'article 5.2.3.1.5, § 6 et exprimée comme nanogramme d'équivalent toxique de dioxine par Nm³ (ng TEQ/Nm³), ne peut dépasser une valeur limite de 0,5 ng TEQ/Nm³ pour aucune des valeurs moyennes mesurées sur une durée d'échantillonnage de 6 heures au minimum et de 8 heures au maximum. La valeur guide d'émission est de 0,1 ng TEQ/Nm³.

En dérogation aux dispositions de la première sous-section, les valeurs suivantes s'appliquent aux établissements existants :

- une valeur guide d'émission de 0,4 ng TEQ/Nm³ ;
- une valeur limite d'émission de 2,5 ng TEQ/Nm³ à compter du 1^{er} janvier 2002.

Les valeurs guides susmentionnées doivent être atteintes suite à l'application des meilleures techniques disponibles.

La concentration massique de DDPC et de DFPC doit être mesurée conformément aux dispositions de la norme belge T95-R-NBN EN 1948-1, 2 ou 3. Cette concentration doit être mesurée au moins une fois par an par un expert en environnement agréé pour effectuer ce type de mesures. Ces mesures ne sont pas obligatoires pour les flux de constituants qui ne contribuent pas aux émissions ou n'y contribuent pas de manière significative. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, la non réalisation de mesures de certains flux de constituants n'est autorisée que si ceci a été préalablement approuvé par l'autorité chargée du contrôle.

Chaque mesure réalisée conformément à la méthode susmentionnée doit, après calcul de la précision mentionné à l'article 4.4.4.2, § 5, être conforme aux valeurs limites d'émission prescrites. Si la concentration mesurée, après calcul de la précision précitée, dépasse la valeur limite d'émission, une nouvelle prise d'échantillon et une nouvelle analyse doivent être effectuées dans les trois mois.

Art. 5.20.2.3 Procédures de contrôle des immissions

§ 1. Sans préjudice aux dispositions du chapitre 4.4, à chaque fois que les conditions atmosphériques apparaissent défavorables pour une dispersion correcte des gaz de combustion, en particulier au niveau de l'établissement, l'opérateur est tenu de prendre toutes les mesures nécessaires pour limiter au maximum les émissions de SO₂ et de NO_x des installations.

§ 2. Chaque modification du combustible, de la teneur en soufre du combustible liquide et des heures de mise hors service est inscrite dans un registre que l'exploitant tient à la disposition du fonctionnaire chargé du contrôle.

§ 3. Lorsque le rendement thermique nominal installé dans un établissement s'élève à plus de 300 MW, des appareils destinés à mesurer les immissions de SO₂ et de NO₂ dans l'air à hauteur du sol doivent être installés aux alentours de l'installation et entretenus aux frais de l'exploitant. Le type, le lieu de la mesure, la méthode de contrôle et les autres conditions d'utilisation des appareils sont déterminés dans l'autorisation écologique.

§ 4. Sans préjudice aux dispositions du § 1^{er}, chaque fois que la valeur moyenne des immissions mesurées sur 24 heures à l'aide des équipements indiqués au § 3 s'élève à plus de 300 mg/m³ pour le SO₂ et/ou 150 mg/m³ pour le NO₂, l'exploitant est tenu de prendre toutes les mesures prescrites au § 1^{er} et de les maintenir en place tant que les valeurs moyennes des immissions de SO₂ et de NO₂ mesurées sur 24 heures sont supérieures à 300 mg/m³ et/ou 150 mg/m³, respectivement.

§ 5. Pour garantir la conformité des émissions d'oxydes d'azote aux valeurs limites stipulées à l'article 5.20.2.2, des dispositions concernant la construction technique peuvent être fixées dans les autorisations écologiques.

Si les mesures de contrôle font apparaître une non conformité de la valeur limite d'émission à cause de circonstances imprévisibles, l'exploitant doit prendre toutes les mesures qui conviennent pour assurer au plus tôt la conformité des émissions aux valeurs limites. L'exploitant doit signaler cette non-conformité à la Direction de l'inspection de l'environnement, en précisant les mesures prises pour remédier à la situation. La Commission européenne doit être informée immédiatement via les moyens habituels de tels événements, ainsi que des mesures prises pour y remédier.

Section 5.20.3 Installations pour la distillation sèche du charbon (fours à coke)

Art. 5.20.3.1 Gaz de chauffage et de fours à coke et installations de chauffage

§ 1. Valeur de référence

Les valeurs d'émission des effluents gazeux provenant des installations de chauffage correspondent à un niveau de volume d'oxygène dans l'effluent gazeux de 5 %.

§ 2. Gaz et combustibles des fours à coke

En dérogation à la valeur limite d'émission générale de SO₂ définie à l'article 4.4.3.1, la moyenne pondérée de la concentration massique des composés de soufre présents dans les gaz provenant du chauffage ou des fours à coke et utilisés comme combustibles ne peut pas dépasser 0,80 g/m³ exprimé sous forme de soufre, sur une année civile.

§ 3. Oxydes d'azote

Pour la première mesure, les émissions de monoxyde et de dioxyde d'azote dans l'effluent gazeux des installations de chauffage ne peuvent pas dépasser 0,50 g/m³ exprimé sous forme de dioxyde d'azote. Les meilleures techniques disponibles permettant de minimiser l'augmentation des émissions due au vieillissement de l'installation doivent être employées.

Les premières mesures après mise en place ou modification importante de l'installation doivent être réalisées après que l'installation a atteint un niveau de fonctionnement continu, mais au plus tôt après trois mois d'exploitation et au plus tard avant douze mois d'exploitation.

Art. 5.20.3.2 Chargement des fours à coke

Les émissions de poussières doivent être évitées lors du déchargement du charbon provenant des silos et transporté par des wagons à charbon.

Les gaz de remplissage doivent être collectés.

Lors du rejet, les gaz de remplissage doivent être conduits vers le gaz brut ou vers un four à proximité, dans la mesure du possible, pour un traitement ultérieur du goudron de houille.

Lors de l'emboutissage, les gaz de remplissage doivent être transférés dans le gaz brut, dans la mesure du possible.

Les gaz de remplissage ne pouvant être transférés doivent être acheminés vers une installation d'incinération. Les émissions de poussières dans les effluents gazeux de l'incinération ne peuvent pas dépasser 25 mg/m³.

Pour les activités de nivellement liées au rejet de charbon, les émissions des gaz de remplissage doivent être réduites grâce à l'étanchéité de l'ouverture de nivellement.

Art. 5.20.3.3 Fermetures des orifices de chargement

Les émissions liées aux systèmes de fermeture des orifices de chargement doivent être évitées autant que possible, par exemple grâce à des système de fermeture présentant une grande surface d'étanchéité, en recouvrant le système de fermeture avec de l'argile après chaque chargement du four, et en nettoyant régulièrement les bords et les systèmes de fermeture des orifices de chargement avant de les fermer. Les résidus de charbon doivent être enlevés régulièrement du toit du four.

Art. 5.20.3.4 Bouchons des tubes de dégagement

Pour éviter les émissions de gaz et de goudron de houille, les bouchons des tubes de dégagement doivent être équipés de dispositifs d'humidification constante avec de l'eau ou de dispositifs équivalent.

Art. 5.20.3.5 Machines d'exploitation de fours à coke

Les machines d'exploitation des fours à coke doivent être équipées de dispositifs de nettoyage des surfaces d'étanchéité de l'encadrement des portes du four.

Art. 5.20.3.6 Portes des fours à coke

Il convient d'utiliser des portes de fours à coke avec une grande étanchéité, par exemple des portes à diaphragme ou toute autre porte avec une étanchéité équivalente. Les surfaces d'étanchéité des portes des fours doivent être nettoyées régulièrement.

Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, les batteries des fours à coke doivent être disposées de manière à pouvoir installer des unités d'extraction pourvues de dispositifs de dépoussiérage sur la porte, côté machine et côté coke.

Art. 5.20.3.7 Extraction du coke

Lors de l'extraction du coke, les gaz résiduels doivent être collectés, puis acheminés jusqu'à une installation de dépoussiérage.

Sauf indication contraire dans la licence écologique, la concentration en poussières dans les émissions ne doit pas dépasser la valeur limite d'émission de 50 mg/Nm³ et les émissions contenant des poussières ne doivent pas dépasser 5 grammes par tonne de coke produit.

Art. 5.20.3.8 Refroidissement du coke

§ 1. Si un refroidissement par voie sèche est employé, et sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, les émissions de poussières dans l'effluent gazeux ne doivent pas dépasser 20 mg/m³.

§ 2. Si un refroidissement par voie humide est utilisé, la tour de refroidissement doit être équipée d'extracteurs de poussières intégrés.

En dérogation aux valeurs limites d'émission générales stipulées à l'article 4.4.3.1, les valeurs limites d'émission sont exprimées en gramme par tonne de coke. Sauf indication contraire dans l'autorisation écologique, une valeur limite d'émission de 60 grammes de particules en suspension par tonne de

coke, mesurée selon la directive VDI 2303 ou toute autre méthode de mesure équivalente approuvée par un expert en environnement agréé dans la discipline de l'air, ne peut pas être dépassée.

Art. 5.20.3.9 Manuel d'utilisation

Un manuel d'utilisation doit contenir les mesures relatives à la réduction des émissions lors de l'utilisation du four à coke, en particulier concernant :

1. l'étanchéité des ouvertures ;
2. la garantie que seules des matières entièrement cokéfiées seront extraites ;
3. l'évitement du rejet dans l'atmosphère de gaz non brûlés.

Art. 5.20.3.10 Installations existantes

Pour les installations existantes, les dispositions de la présente section s'appliquent à compter du 1^{er} janvier 1998.

Section 5.20.4 Production de fibre de verre ou de fibre de roche et de laine de verre, fabrication de verre (plat, concave et spécial) et fabrication de céramiques brutes

Sous-section 5.20.4.1 Production de verre (plat, concave et spécial) et de fibre de verre ou de roche

Art. 5.20.4.1.1

§ 1. Valeur de référence

Les valeurs limites d'émission des fours de fusion de verre à flammes correspondent à un niveau de volume d'oxygène de 8 %, et, pour les fours à creuset à flammes et les revêtement ouverts, à un niveau de volume d'oxygène dans le gaz résiduaire de 13 %.

§ 2. Oxydes d'azote

Les émissions de monoxyde et de dioxyde d'azote, exprimées comme dioxyde d'azote, dans les effluents gazeux ne peuvent pas dépasser les valeurs suivantes :

	Pétrole comme combustible [g/Nm³]	Gaz comme combustible [g/Nm³]
Fours à creuset	1,2	1,2
Revêtement avec récupération de chaleur récupérative	1,2	1,4
Revêtement ouvert	1,6	1,6
Revêtement avec brûleurs en U, avec récupération de chaleur régénérative	1,8	2,2
Revêtement à feux croisés avec récupération de chaleur régénérative	3,0	3,5

Dans la mesure où l'épuration des nitrates est nécessaire pour des raisons de qualité de la production, les émissions ne peuvent dépasser le double des valeurs stipulées dans la sous-section précédente. Toutes les possibilités de réduction des émissions d'oxydes d'azote au moyen de mesures techniques de la chaleur et d'autres mesures disponibles doivent être appliquées.

§ 3. Oxydes de soufre

Les émissions de dioxyde et de trioxyde de soufre dans les gaz résiduaux, exprimées comme dioxyde de soufre, ne peuvent pas dépasser les valeurs suivantes à un débit massique de 10 kg/h ou plus lors de la cuisson :

- | | |
|---|-----------------------|
| a) fours de fusion de verre : | 1,8 g/Nm ³ |
| b) fours à creuset et revêtement ouvert : | 1,1 g/Nm ³ |

Sous-section 5.20.4.2 Production de céramiques brutes

Art. 5.20.4.2.1

§ 1. Valeur de référence

Les valeurs limites d'émission correspondent à un niveau de volume d'oxygène dans l'effluent gazeux de 18 %.

§ 2. Oxydes de soufre

Lorsque les matières premières contiennent moins de 0,12 % de soufre, les émissions de dioxyde et de trioxyde de soufre, exprimées comme dioxyde de soufre dans l'effluent gazeux à un débit massique supérieur ou égal à 10 kg/h, ne peuvent pas dépasser 0,5 g/Nm³.

Lorsque les matières premières contiennent au moins 0,12 % de soufre, les émissions de dioxyde et de trioxyde de soufre, exprimées comme dioxyde de soufre dans l'effluent gazeux à un débit massique de 10 kg/h ou plus, ne peuvent pas dépasser 1,5 g/Nm³.

Toutes les possibilités de réduction des émissions en utilisant des installations de nettoyage des effluents gazeux doivent être appliquées.

§ 3. Pour les établissements existants mentionnés à la section 30.9 de la nomenclature, les dispositions du chapitre 5.30 s'appliquent également.

Section 5.20.5 Installations pour la production d'énergie hydroélectrique et installations de captage de l'énergie éolienne pour la production d'énergie

Art. 5.20.5.1

§ 1. Les dispositions de la présente section s'appliquent aux sous-sections 20.1.5 et 20.1.6 de la nomenclature.

§ 2. En dérogation aux dispositions du chapitre 4.5, aucune norme de bruit n'est applicable à ces installations. L'autorisation écologique peut néanmoins imposer des limites d'émission de bruit selon les conditions locales.

3. DANEMARK

Aucune information fournie

4. FINLANDE

La législation finlandaise relative à la protection de l'environnement a récemment été révisée et une loi sur la protection de l'environnement est entrée en vigueur le 1^{er} mars 2000. Cette nouvelle loi met en application la directive UE sur la prévention et la réduction intégrées de la pollution (PRIP) et suit une approche intégrée pour le contrôle des émissions causées par l'industrie. Selon la Loi sur la protection de l'environnement, une autorisation environnementale est nécessaire pour les installations de l'industrie chimique.

Pour la procédure de délivrance de l'autorisation, l'environnement est considéré comme un tout et tous les effets de l'activité sur l'environnement sont évalués simultanément. Toutes les conditions d'autorisation nécessaires sont fixées dans une seule autorisation. La demande d'autorisation est gérée par une seule autorité compétente.

En Finlande, les conditions d'autorisation sont définies essentiellement au cas par cas. Pour le moment, il n'existe aucune réglementation particulière concernant les émissions atmosphériques ou d'eaux usées provenant de l'industrie chimique. Cependant, il existe quelques décisions du Conseil d'État sur le rejet de certains composés dans le réseau d'assainissement public et les masses d'eaux naturelles. À celles-ci viennent s'ajouter des réglementations interdisant ou limitant l'utilisation de certains produits chimiques dangereux. Toutes ces réglementations sont valables dans l'industrie chimique et dans d'autres secteurs industriels.

Les recommandations internationales telles que les recommandations HELCOM (HELSINKI COMMISSION, Commission de protection du milieu marin de la Baltique) sont également prises en compte lors de la définition des conditions de délivrance de l'autorisation.

5. FRANCE

La législation du secteur chimique se compose des éléments suivants :

- le cadre général du contrôle de la pollution industrielle et de la prévention des risques, fixé par la « Loi relative aux installations classées pour la protection de l'environnement » du 19 juillet 1976 et par l'arrêté du 2 février 1998. Cet arrêté stipule que les valeurs limites d'émission doivent être basées sur les MTD et les conditions locales de l'environnement. Il fournit des valeurs limites d'émission générales pour l'air et pour l'eau pour toutes les installations classées, ainsi que des valeurs limites particulières pour de nombreuses activités industrielles, un grand nombre faisant partie du secteur chimique.
- des législations spécifiques, chacune concernant un secteur particulier de l'industrie chimique, et détaillant les dispositions générales du cadre générale pour le secteur en question. Les principaux secteurs régis par ces législations spécifiques sont :

- la production de superphosphates
- la production de composés organiques sulfuriques
- la production de détergents et de savons
- l'extraction à la vapeur de parfums et d'huiles essentielles
- la production de colorants
- la production de produits pharmaceutiques
- la production de plastiques et de caoutchoucs
- l'utilisation ou la réutilisation de plastiques et de caoutchoucs
- le stockage de plastiques et de caoutchoucs
- le stockage de pneumatiques
- la production d'accumulateurs

6. ALLEMAGNE

En Allemagne, les dispositions importantes qui concernent les installations industrielles sont fixées par la Loi fédérale sur la protection contre les immissions (Bundesimmissionsschutzgesetz - BImSchG), la Loi fédérale sur l'eau (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) et la Loi sur la gestion des déchets et du recyclage (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG). L'Allemagne applique un système d'autorisation distinct par milieu pour différents milieux environnementaux, mais ce sont les autorités locales qui prennent la décision finale concernant une demande en se basant sur une évaluation de l'impact environnemental sur tous les milieux. La procédure d'autorisation tient également compte des

exigences en matière de nuisances sonores. Le « principe de précaution » est reconnu par la loi, ce qui permet de fixer des normes. En Allemagne, les normes légales ne peuvent faire l'objet d'aucune négociation dans le cadre de la procédure d'autorisation.

Conformément à la structure fédérale de l'Allemagne, la mise en œuvre des lois et décrets sur l'environnement est du ressort des États fédéraux (Bundesländer), qui peuvent appliquer de manières différentes la procédure administrative. Pour les installations nouvelles, qui sont considérées comme relevant de la législation concernant les émissions et les rejets dans l'environnement, la procédure d'autorisation requiert également une évaluation de l'impact sur l'environnement [« Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung » (UVPg, Loi sur le contrôle de la compatibilité avec l'environnement)].

Règlements sur la qualité de l'air

La loi fondamentale en matière de lutte contre la pollution atmosphérique est la Loi fédérale sur la protection contre les immissions (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG). Cette loi est précisée par 21 ordonnances et les Instructions techniques sur la qualité de l'air (TA Luft).

Les Instructions techniques sur la qualité de l'air (TA Luft) ont été élaborées en tant que règlements administratifs généraux en liaison avec le § 48 de la BImSchG. Les TA Luft précisent encore les exigences que les installations soumises à autorisation doivent satisfaire. C'est pourquoi elles précisent des valeurs limites d'émission pour pratiquement tous les polluants de l'air, ainsi que des exigences structurelles et opérationnelles visant à limiter les émissions diffuses.

Les valeurs limites d'émission stipulées dans les TA Luft représentent les mesures techniques de pointe en matière de réduction des émissions (datant de 1986). Ces valeurs ont été développées en se basant sur des résultats scientifiques et des recherches en tenant compte des aspects toxicologiques, bioaccumulatifs et épidémiologiques.

Exigences relatives à la lutte contre les émissions fixées par les TA Luft					
Substance émise (section TA Luft)	Classe	Substances		Seuil du débit massique [g/h]	Limite de concentration [mg/m]
Poussières totales				≤500 ≥500	150 50
Particules de poussières inorganiques (3.1.4)	I	(Hg, Cd, Tl)	Somme des substances	≥1	0,2
	II	(As, Co, Ni, Te, Se)	Somme des substances	≥5	1
	III	(par ex. Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, Pt, Pd, Rn, V, Sn, substances fortement suspectées d'être cancérogènes)	Sommes des substances	≥25	5
	I+II		Somme des substances		1
	I+III, II+III		Somme des substances		5
Substances inorganiques sous forme de vapeur ou de gaz (3.1.6)	I	(par ex. AsH ₃)	Par substance	≥10	1
	II	(par ex. HF, Cl ₂ , H ₂ S)	Par substance	≥50	5
	III	(par ex. composés de Cl sous forme de HCl)	Par substance	≥300	30
Traitement des eaux usées et effluents gazeux					- 446 -

	IV	(par ex. SO ₂ + SO ₃ sous forme de SO ₂ , NO + NO ₂ sous forme de NO ₂)	Par substance	≥5 000	500
Substances organiques (3.1.7)	I	(par ex. chlorométhane)	Nomenclature selon l'annexe E des TA Luft	≥100	20
	II	(par ex. chlorobenzène)		≥2 000	100
	III	(par ex. alkyl-alcools)		≥3 000	150
Émissions de gaz ou de vapeurs pendant le traitement et le remplissage de substances organiques (3.1.8)	Conditions requises pour minimiser les émissions organiques diffuses par la mise en place d'équipements techniques, par exemple des unités de pompage, des compresseurs, des joints à bride, des robinets d'arrêt et dans les stations d'échantillonnage				
Cancérogènes (2.3)	I	(par ex. Cd ¹⁾ , As ¹⁾ , amiante, benzo(a)pyrène)	Somme des substances	≥0,5	0,1
	II	(par ex. Ni, chrome VI)	Somme des substances	≥5	1
	III	(par ex. acrylonitrile, benzène)	Somme des substances	≥25	5

¹⁾ sur la base de la décision adoptée par la Conférence du gouvernement fédéral/ministres de l'environnement des États fédéraux des 21/22 novembre 1991, on a stipulé une valeur de concentration d'émission de 0,1 mg/m³ pour le Cd et ses composés, donnés sous forme de Cd, ainsi que pour l'As et ses composés, donnés sous forme d'As.

Les limites d'émission requises sont données en masse de substances émises par rapport au volume de gaz émis dans les conditions normales (0 °C, 101,3 kPa), après soustraction de la teneur en vapeur d'eau.

Lorsque des substances organiques de plusieurs classes sont présentes, la concentration massique dans le gaz émis ne doit pas dépasser un total de 0,15 mg/Nm³ pour un débit massique total supérieur ou égal à 3 kg/h.

Dans le cas de débits massiques élevés des émissions, celles-ci doivent être contrôlées en permanence.

Aucune valeur moyenne quotidienne des différentes substances émises ne doit dépasser les limites d'émission requises, 97 % de toutes les moyennes des demi-heures ne doivent pas dépasser les six
☐ iniquièmes des limites d'émission requises et aucune moyenne des demi-heures ne doit être supérieure à deux fois les limites d'émissions requises.

Exigences particulières relatives à la lutte contre les émissions pour l'industrie chimique organique fixées par les TA Luft	
Secteur	Exigences
Production de 1,2-dichloroéthane (EDC) et de chlorure de vinyle (CV) (3.3.4.1.g.1)	Limite de concentration des émissions : 5 mg/Nm ³ EDC ou CV
Production d'acrylonitrile (AN) (3.3.4.1.g.2)	Limite de concentration des émissions : 0,2 mg/Nm ³ AN Les effluents gazeux des opérations de distillation ou de remplissage doivent être réduits
Production de pesticides (3.3.4.1.g.3)	Poussières Dans le cas de la production de pesticides persistants, accumulatifs ou limités conformément à la directive relative à l'interdiction de mise sur le marché et d'utilisation des produits phytopharmaceutiques contenant certaines substances actives Limite de concentration des émissions : 5 mg/Nm ³ (seuil du

	débit massique : ≥ 25 g/h)
Installation de broyage, de mélange, de remplissage et de conditionnement des pesticides (3.3.4.2.1)	Limite de concentration des émissions : 5 mg/Nm ³ de poussières

Réglementations sur la qualité de l'eau

Le cadre légal régissant la gestion des eaux est la Loi fédérale sur l'eau (Wasserhaushaltsgesetz WHG). Elle s'applique aux eaux usées produites par différents procédés industriels. L'utilisation des eaux de surface, côtières et souterraines nécessitent une autorisation des autorités compétentes. Les rejets dans l'eau sont réglementés par l'ordonnance sur les eaux usées et ses annexes (Abwasserverordnung, AbwV). Cette ordonnance précise les exigences minimales qui doivent être stipulées lors de la délivrance d'une autorisation de rejet dans un milieu aquatique récepteur d'eaux usées provenant de catégories de sources répertoriées dans les annexes.

Promulguées par le gouvernement fédéral en accord avec les États fédéraux (Länder), ces exigences minimales engagent les autorités compétentes chargées de la délivrance des autorisations et du contrôle des rejets. Selon les conditions locales, des exigences plus strictes peuvent être établies. Les exigences minimales sont basées sur le « principe de l'émission » et le principe de précaution. Les exigences générales fixées par l'ordonnance sur les eaux usées sont couvertes par l'article 3 reproduit ci-dessous :

Dispositions générales

- i. Sauf indication contraire dans les annexes, l'autorisation de rejet d'eaux usées dans des milieux aquatiques ne sera délivrée que si la charge de polluants au site d'apparition, sur la base d'un examen des conditions au cas par cas, est maintenue à un niveau aussi bas que le permettent l'utilisation de méthodes d'économie d'eau, par exemple les opérations de lavage et de nettoyage, le refroidissement indirect et l'utilisation de matières premières et auxiliaires peu polluantes.
- ii. Il ne faut pas satisfaire aux exigences de la présente ordonnance au moyen de procédures qui entraînent un transfert de la pollution de l'environnement dans d'autres compartiments de l'environnement tels que l'air ou le sol, contrairement aux règles de l'art.
- iii. Il ne faut pas satisfaire aux exigences stipulées sous la forme de niveaux de concentration au moyen d'une dilution, contrairement aux règles de l'art.
- iv. Si des exigences avant mélange sont spécifiées, le mélange sera autorisé en vue d'un traitement conjoint, à condition d'atteindre au moins le même niveau de réduction global de la charge de polluants par paramètre que dans le cas où l'on observerait pour chacun les dispositions correspondantes.
- v. Si des exigences sont spécifiées pour le site d'apparition, le mélange n'est autorisé qu'à condition de respecter ces exigences.
- vi. Si des flux d'eaux usées soumis à différentes exigences sont rejetés conjointement, l'exigence finale applicable à chaque paramètre sera définie au moyen de la règle des mélanges.
- vii. Si les annexes applicables imposent des exigences pour le site d'apparition des eaux usées ou avant mélange, les paragraphes iv et v ne sont pas affectés.

Les exigences s'appliquent au point de déversement des eaux usées dans le milieu aquatique et également, lorsque cela est spécifié dans les annexes de la présente ordonnance, au site d'apparition des eaux usées ou au site avant son mélange. Le point de déversement correspond à la sortie de la station d'épuration où les eaux usées ont subi leur dernier traitement. Le site avant mélange est également le point de déversement dans une station d'épuration publique.

Si, sur la base des résultats de l'analyse effectuée dans le cadre du contrôle gouvernemental, on n'atteint pas un niveau spécifié dans la présente ordonnance, il sera néanmoins considéré comme étant atteint, à condition que les résultats de l'analyse considérée et des quatre analyses officielles

précédentes ne dépassent pas le niveau prescrit dans quatre cas et qu'aucun résultat ne dépasse le niveau de plus de 100 %. Les analyses réalisées plus de trois ans auparavant ne seront pas prises en compte.

Les productions des secteurs spécifiques sont couvertes par les annexes du présent règlement. Les annexes intéressant le secteur chimique sont :

- l'annexe 22 (Industrie chimique)
- l'annexe 36 (Production d'hydrocarbures)

Annexe 22 Industrie chimique

A. Champ d'application

- (1) La présente annexe s'applique aux eaux usées provenant essentiellement de la production de substances par des techniques chimiques, biochimiques ou physiques, y compris le prétraitement associé, le traitement intermédiaire et le traitement final.
- (2) La présente annexe ne s'applique pas aux rejets d'eaux usées inférieurs à 10 m³ par jour.
- (3) Pour les eaux usées générées par les activités de préparation (c'est-à-dire la fabrication de substances et de préparations par mélange, dissolution ou embouteillage) rejetées sans être mélangées à d'autres eaux usées couvertes par le champ d'application de la présente annexe, seule la partie B de la présente annexe s'applique.

B. Dispositions générales

Une autorisation de rejets des eaux usées dans un milieu aquatique ne sera délivrée qu'après examen de la situation au cas par cas, à condition que la charge de polluants sur le site d'apparition soit maintenue au niveau le plus bas que les mesures suivantes le permettent :

- utilisation de techniques d'économie d'eau, par exemple lavage à contre-courant ;
- utilisations multiples et recirculation, par exemple pour les procédés de lavage et d'épuration ;
- refroidissement indirect, par exemple pour refroidir les phases vapeur, au lieu de condenseurs ou de refroidisseurs par injection ;
- utilisation de techniques ne produisant pas d'eaux usées pour la production du vide et pour l'épuration de l'air rejeté ;
- rétention ou récupération de substances via la préparation de liqueurs mères et l'utilisation de techniques optimisées ;
- utilisation de matières brutes et auxiliaires peu polluantes.

Un registre des eaux usées doit permettre de prouver le respect des dispositions générales.

C. Exigences concernant les eaux usées au point de déversement

(1) Les exigences suivantes s'appliquent aux eaux usées au point de déversement dans un milieu aquatique :

1. Demande chimique en oxygène (DCO)

- a) Pour les flux d'eaux usées dont la concentration en DCO au site d'apparition des eaux usées est supérieure à 50 000 mg/l, une concentration de DCO de 2 500 mg/l s'appliquera ;
- b) supérieure à 750 mg/l, une concentration en DCO équivalente à une réduction de 90 % de la DCO s'appliquera ;
- c) inférieure à 750 mg/l, une concentration en DCO de 75 mg/l s'appliquera ;
- d) inférieure à 75 mg/l, la concentration en DCO réelle au site d'apparition s'appliquera.

Les exigences sont considérées comme étant atteintes à condition qu'une concentration en DCO de 75 mg/l dans l'échantillon aléatoire qualifié ou dans l'échantillon représentatif moyen de 2 heures soit respectée, conformément à la partie B.

2. Azote total sous la forme de la somme d'ammoniac, de nitrite et de nitrate (N_{tot}) : 50 mg/l dans l'échantillon aléatoire qualifié ou l'échantillon représentatif moyen de 2 heures. Une concentration plus élevée jusqu'à 75 mg/l peut être spécifiée dans l'autorisation de rejet d'eaux usées, à condition qu'une réduction de 75 % de la charge d'azote soit respectée. La valeur fixée sera également réputée comme étant atteinte à condition que le niveau défini comme « azote lié total » soit respecté.

3. Phosphore total : 2 mg/l dans l'échantillon aléatoire qualifié ou l'échantillon représentatif moyen de 2 heures. Cette exigence sera également réputée comme étant atteinte à condition que le niveau défini comme « composés de phosphore sous forme de phosphore total » soit respecté.

4. Toxicité

Toxicité sur les poissons	$T_P = 2$
Toxicité sur les daphnies	$T_D = 8$
Toxicité sur les algues	$T_A = 16$
Test sur les bactéries luminescentes	$T_L = 32$
Mutagenicité (test Umu)	$T_M = 1,5$

Les exigences s'appliquent à l'échantillon aléatoire qualifié ou à l'échantillon représentatif moyen de 2 heures.

(2) Si des mesures intégrées aux procédés sont employées pour réduire la charge de DCO en accord avec la compagnie d'eau, la charge finale avant application de la mesure servira de base.

(3) Pour la demande chimique en oxygène (DCO), la charge totale en ½ h ou 2 heures sera limitée par l'autorisation de rejet des eaux usées. La charge totale correspond à la somme de chaque charge pour chaque flux d'eaux usées. La charge totale ne devant pas être dépassée s'applique à la concentration dans l'échantillon aléatoire qualifié ou dans l'échantillon représentatif moyen de 2 heures, et au débit volumétrique d'eaux usées en ½ h ou 2 heures correspondant à l'échantillonnage.

D. Exigences relatives aux eaux usées avant mélange

(1) Les exigences suivantes s'appliquent aux eaux usées avant mélange avec d'autres eaux usées :

Halogénures organiques adsorbables (AOX)	
a) Eaux usées provenant de la fabrication d'épichlorhydrine, d'oxyde de propylène et d'oxyde de butylène	3 mg/l
b) Eaux usées provenant de la fabrication en deux phases de l'acétaldéhyde	80 g/t
c) Eaux usées provenant de la fabrication en une phase de l'acétaldéhyde	30 g/t
d) Eaux usées provenant de la fabrication de colorants organiques contenant des AOX et de produits aromatiques intermédiaires, lorsque ceux-ci sont essentiellement utilisés pour la fabrication de colorants organiques	8 mg/l
d) Eaux usées provenant de la fabrication d'ingrédients pharmaceutiques actifs contenant des AOX	8 mg/l
f) Eaux usées provenant de la fabrication d'hydrocarbures polychlorés C1 par chloration du méthane et estérification du méthanol, et de tétrachlorure de carbone et de perchloroéthane par perchloration	10 g/t
g) Eaux usées de la fabrication de 1,2-dichloroéthane, y compris la transformation ultérieure en chlorure de vinyle	2 g/t
Les niveaux de charge s'appliquent à la capacité de production pour le 1,2-dichloroéthane purifié. La capacité doit être spécifiée concernant la fraction de 1,2-dichloroéthane non craquée dans l'unité de chlorure de vinyle liée à l'unité de production de 1,2-dichloroéthane et renvoyée dans le cycle de production dans l'installation d'épuration du 1,2-dichloroéthane.	

h) Eaux usées provenant de la fabrication du polychlorure de vinyle (PVC)	5 g/t
i) Flux d'eaux usées ayant une concentration en AOX comprise entre 0,1 mg/l et 1 mg/l sans mesures ciblées	0,3 mg/l
j) Flux d'eaux usées provenant de la fabrication, du traitement ultérieur et de l'utilisation de substances non réglementées ailleurs, avec une concentration supérieure à 1 mg/l ou inférieure à 1 mg/l si des mesures ciblées sont employées	1 mg/l ou 20 g/t
Le niveau de charge s'applique à la capacité des produits organiques cibles. Il ne s'applique pas à l'utilisation des substances.	

Autres substances		
	Échantillon aléatoire qualifié ou échantillon représentatif moyen de 2 heures [mg/l]	
Mercure	0,05	0,001
Cadmium	0,2	0,005
Cuivre	0,5	0,1
Nickel	0,5	0,05
Plomb	0,5	0,05
Chrome total	0,5	0,05
Zinc	2	0,2
Étain	2	0,2
Les exigences de la colonne I s'appliquent aux flux d'eaux usées provenant de la fabrication, du traitement ultérieur ou de l'utilisation de ces substances. Les exigences de la colonne II s'appliquent aux flux d'eaux usées qui ne proviennent pas de la fabrication, du traitement ultérieur ou de l'utilisation de ces substances mais qui sont quand même pollués par ces substances en dessous des niveaux de concentration de la colonne I.		

(2) Les exigences de l'annexe 48, partie 10 sont réputées atteintes si les exigences relatives aux AOX et les dispositions générales conformément à la partie B sont satisfaites.

(3) Les exigences relatives aux AOX ne s'appliquent pas aux substances iodées organiques présentes dans les eaux usées provenant de la fabrication et de l'embouteillage de produits de contraste aux rayons X.

(4) Pour les halogénures organiques adsorbables (AOX) et les substances limitées au paragraphe (1), point 2, la charge totale par paramètre en ½ h ou 2 heures sera limitée dans l'autorisation de rejet d'eaux usées. La charge respective totale est tirée de la somme de chaque charge des différents flux d'eaux usées. La charge totale ne devant pas être dépassée s'applique à la concentration dans l'échantillon aléatoire qualifié ou l'échantillon représentatif moyen de 2 heures, et au débit volumétrique d'eaux usées en ½ ou 2 heures correspondant à l'échantillonnage.

(5) Un flux d'eaux usées ne peut être mélangé à d'autres eaux usées qu'à condition d'apporter la preuve que la charge de carbone organique lié total (COT) du flux d'eaux usées en question constatée pour le site d'apparition soit réduite de 80 % au total. Cette exigence ne s'appliquera pas lorsque la charge de COT résiduaire rejetée par les flux d'eaux usées respectifs dans des milieux aquatiques ne dépasse pas 20 kilogrammes par jour, 300 kilogrammes par an, ou 1 kilogramme par tonne de capacité de production du produit organique cible. Lorsque la réduction de la charge est prouvée, dans le cas de stations d'épuration physico-chimiques, le niveau d'élimination du COT de telles installations servira de base, alors que dans le cas de stations d'épuration biologiques, les résultats d'une étude précisée au point 407 de l'annexe à l'article 4 servira de base.

E. Exigences relatives aux eaux usées sur le site d'apparition

(1) Pour le chrome VI, une concentration de 0,1 mg/l dans l'échantillon aléatoire sera respectée.

(2) Pour les halogènes volatils organiquement liés, une concentration de 10 mg/l dans l'échantillon aléatoire sera respectée. Cette exigence sera réputée satisfaite à condition qu'elle soit atteinte en amont

de l'arrivée dans les égouts, sans risque préalable de pertes dues à des fuites et sans que les eaux usées n'aient été diluées.

F. Exigences relative aux déversements existants

(1) Pour les rejets d'eaux usées existants provenant d'installations exploitées en conformité avec la loi avant le 1^{er} janvier 1999 ou dont la construction a débuté conformément à la loi avant cette date, les dispositions des parties A, B, C et D ne s'appliqueront que dans la mesure où aucune exigence contraire n'est spécifiée aux paragraphes (2) à (5).

(2) Nonobstant la partie B, la preuve de la conformité aux dispositions générales dans le registre des eaux usées ne doit être fournie que pour 90 % des charges totales liées aux paramètres dans chaque cas. L'utilisation de techniques ne produisant pas d'eaux usées pour la production du vide et pour l'épuration de l'air rejeté ne doit être testée que pour les paramètres stipulés aux parties D et E. Tout autre test de paramètre est inutile.

(3) Les exigences de la partie C relatives à la DCO ne s'appliqueront pas aux eaux usées provenant de la fabrication de polyacrylonitrile.

(4) Nonobstant la partie D, les exigences suivantes relatives aux AOX s'appliqueront aux flux d'eaux usées mentionnés avant mélange avec d'autres eaux usées :

1. Eaux usées provenant de la production de 1,2-dichloroéthane, y compris la transformation ultérieure en chlorure de vinyle : 5 g/t (capacité de production de 1,2-dichloroéthane purifié) ;

2. Eaux usées provenant de la fabrication du PVC : 1 mg/l ou 20 g/t.

(5) Les exigences relatives à la mutagénicité (test Umu) conformément à la partie C, paragraphe (1) et relatives au COT conformément à la partie D, paragraphe (5) ne s'appliqueront pas.

Annexe 36 Production d'hydrocarbures

A. Champ d'application

(1) La présente annexe s'applique aux eaux usées dont la charge de polluants provient principalement des parties suivantes de la production d'hydrocarbures :

- La production de certains hydrocarbures, principalement les hydrocarbures d'oléfines, avec 2 ou 4 atomes de carbone, ainsi que le benzène, le toluène et le xylène des produits d'huile minérale par craquage avec apport de vapeur (vapocraquage) ;
- La production d'hydrocarbures purs ou de certains mélanges d'hydrocarbures de produits d'huile minérale en utilisant des méthodes de séparation physiques ;
- La transformation d'hydrocarbures en d'autres hydrocarbures à l'aide de techniques chimiques telles que l'hydratation, la déshydratation, l'alkylation, la désalkylation, l'hydrodésalkylation, l'isomérisation ou la dismutation.

Sont également incluses les eaux de précipitation qui entrent en contact avec des hydrocarbures dans la zone de traitement de l'installation de production.

(2) La présente annexe ne s'applique pas aux eaux usées provenant de la production de paraffines pures à partir de gatsch, du raffinage du pétrole, du refroidissement indirect ou des installations de traitement des eaux de procédé.

B. Dispositions générales

Aucune exigence au-delà de celles de l'article 3 n'est imposée.

C. Exigences concernant les eaux usées au point de déversement

(1) Les exigences suivantes s'appliquent aux eaux usées au point de déversement dans un milieu aquatique :

	<p align="center">Échantillon aléatoire qualifié ou Échantillon représentatif moyen de 2 heures [mg/l]</p>
--	--

Demande chimique en oxygène (DCO)	120
Demande biochimique en oxygène sur 5 jours (BOD ₅)	25
Azote total sous la forme de la somme d'ammoniac, de nitrite et de nitrate (N _{tot})	25
Phosphore total	1,5
Hydrocarbures totaux	2

(2) Pour la DCO, une concentration de 190 mg/l au maximum dans l'échantillon aléatoire qualifié ou l'échantillon représentatif moyen de 2 heures peut être acceptée, à condition que la charge de DCO soit réduite d'au moins 80 % dans une station d'épuration centrale. La réduction de la charge de DCO s'applique au rapport entre la charge de DCO de l'effluent du séparateur huile/eau à gravité et celle de l'effluent de la station d'épuration biologique sur une période représentative ne dépassant pas 24 heures.

(3) Pour l'azote total, une concentration plus élevée est autorisée, à condition que la charge d'azote soit réduite d'au moins 75 % dans une station d'épuration centrale. La réduction de la charge d'azote s'applique au rapport entre la charge d'azote de l'effluent du séparateur huile/eau à gravité et celle de l'effluent de la station d'épuration biologique sur une période représentative qui ne doit pas dépasser 24 heures. L'azote lié total sera utilisé comme base pour le calcul des charges.

D. Exigences relatives aux eaux usées avant mélange

Les exigences suivantes s'appliqueront aux eaux usées avant mélange à d'autres eaux usées :

	Échantillon aléatoire qualifié ou échantillon représentatif moyen de 2 heures [mg/l]	Échantillon aléatoire [mg/l]
Halogénures organiques adsorbables (AOX)	-	0,1
Indice phénol après distillation et extraction des colorants	0,15	-
Benzène et produits dérivés	0,05	-
Soufre de sulfure et soufre de mercaptane	0,6	-

Si la production d'hydrocarbure intègre également la fabrication d'éthylbenzène et de cumène, on appliquera un niveau d'AOX de 0,15 mg/l.

E. Exigences relatives aux eaux usées sur le site d'apparition

Le niveau d'halogénures organiques adsorbables présents dans les eaux usées provenant de la production d'éthylbenzène et de cumène ne doit pas dépasser 1 mg/l dans l'échantillon aléatoire.

7. GRÈCE

Aucune information fournie

8. IRLANDE

Rejets dans l'air :

Conditions de référence pour les concentrations de substances dans les émissions atmosphériques provenant de sources confinées :

Pour les gaz autres que les gaz de combustion :

Température : 273 °K

Pression : 101,3 kPa

pas de correction pour la vapeur d'eau

Pour les gaz de combustion :

Température : 273 °K

Pression : 101,3 kPa

gaz sec

Teneur en oxygène : 3 % (sec) pour les combustibles liquides et gazeux,

6 % (sec) pour les combustibles solides

Il est interdit d'atteindre les concentrations des valeurs limites d'émission (VLE) par un apport d'air de dilution.

Pour les émissions contrôlées en permanence, les conditions suivantes sont requises pour être en conformité avec les mesures basées sur des valeurs moyennes de 30 minutes (sauf indication contraire) :

i. 97 % de toutes les mesures moyennes de 30 minutes doivent être inférieures à 1,2 fois la limite d'émission ;

ii. aucune mesure de 30 minutes ne doit être supérieure à 2,0 fois la limite d'émission ;

iii. chaque valeur moyenne quotidienne doit être inférieure à la limite d'émission.

Lorsque la conformité est vérifiée par un contrôle périodique, tous les échantillons doivent satisfaire aux conditions approuvées.

Valeurs limites d'émission pour la production d'engrais		
Procédé	Source	VLE (mg/Nm³)
Production de nitrate d'ammonium	Tours de grelonage	
	- particules	15
	- ammoniac	10
Production de nitrate d'ammonium	Neutraliseurs/réacteurs/refroidisseurs/séchoirs	
	- particules	30
	- ammoniac	50
Production de nitrate d'ammonium	Évaporateurs	
	- particules	15
	- ammoniac	50
Production de phosphate d'ammonium	- particules	15
	- ammoniac	10
Production d'autres engrais	- particules	50
	- oxydes de soufre (sous forme de SO ₂)	200
	- oxydes d'azote (sous forme de NO ₂)	200
	- ammoniac	50
	- fluorures (sous forme de HF)	10

Valeurs limites d'émission pour la production d'acide sulfurique	
Procédé	Taux de conversion minimal (SO₂ en SO₃)
Nouveau procédé	État stable : 99,7 % Démarrage : 98 % (moyenne horaire pour les 5 premières heures)

Valeurs limites d'émission pour la production d'ammoniac		
Source	Émission	VLE (mg/Nm³)
Installations de reformatage à	Oxydes d'azote (sous forme de NO ₂ à 3 %	450

la vapeur	d'O ₂)	
	Dioxyde de soufre (alimentation au gaz naturel)	2
	Monoxyde de carbone	10
	Émissions diffuses	1 t/an
	Oxydes d'azote (émissions non continues sous forme de NO ₂)	20 kg/h
	Laveur de gaz de purge	40 g de NH ₃ par tonne de NH ₃ produit
Installations d'oxydation partielle – gaz de combustion des chaudières auxiliaires	Dioxyde de soufre	1 700
	Oxydes d'azote (sous forme de NO ₂)	700
	Monoxyde de carbone (maximum horaire) (moyenne quotidienne)	175 10
	Particules (maximum horaire) (matière active) (moyenne quotidienne)	50 10
Installations d'oxydation partielle – gaz de combustion des surchauffeurs de vapeur	Oxydes d'azote (sous forme de NO ₂)	450
	Dioxyde de soufre (alimentation au gaz naturel)	2
	Monoxyde de carbone	30
	Sulfure d'hydrogène	0,3
	Méthanol	100

Valeurs limites d'émission pour certains composés		
Paramètre	mg/Nm ³	Seuil du débit massique pour les VLE
Cadmium	0,1	>1 g/h
Chlorures (sous forme de HCl)	10	>0,3 kg/h
Iodures (sous forme de HI)	5	>50 g/h
Sulfure de carbone	5	>0,1 kg/h
Cyanure d'hydrogène	2	>50 g/h
Mercaptanes	2	>0,1 kg/h
Amines (total)	10	>0,1 kg/h
Triméthylamine	2	>0,1 kg/h
Phénols/crésols/xylols	10	>0,1 kg/h
1,2-dichloroéthane	5	>0,1 kg/h
Poussières – pollution par pesticides ^a	0,15	>1 g/h
Poussières – produits pharmaceutiques ^a	0,15	>1 g/h
Brome	10	>50 g/h
Chlore	10	>50 g/h
Iode	10	>50 g/h
Mercur	0,1	>1 g/h
Métaux lourds totaux	1,5	>5 g/h
Oxydes d'azote (sous forme de NO ₂)	300	>3 kg/h
Oxydes de soufre (sous forme de SO ₂)	300	>3 kg/h
Particules - générales	20	>0,5 kg/h
1,1-dichloroéthène	5	>0,1 kg/h
Acrylonitrile	20	>0,1 kg/h

Toluène-diisocyanate	1	>0,1 kg/h
Acrylate d'éthyle	1	^b
Acrylate d'isobutyle	1	^b
Acrylate de méthyle	5	^b
Acrylate de n-butyle	5	^b
Acrylate de t-butyle et esters d'acrylate supérieurs	20	^b
^a Poussières sous forme de matière active		
^b Ne s'applique qu'aux circuits d'aération du stockage en vrac (>20 tonnes)		

Valeurs limites d'émission atmosphérique générales (à l'exclusion des émissions des incinérateurs) pour les substances non couvertes par les tableaux précédents			
Groupe de composé ^a ou paramètre	Classe	Seuil du débit massique pour les VLE ^b	VLE (mg/Nm³)
Substances cancérogènes	T.A. Luft I	>0,5 g/h	0,1
	T.A. Luft II	>5,0 g/h	1,0
	T.A. Luft III	>25,0 g/h	5,0
	Substances (autres que celles ci-dessus) avec désignation R45	>0,5 kg/h	5,0
Particules de poussières inorganiques	T.A. Luft I	>1 g/h	0,2
	T.A. Luft II	>5 g/h	1,0
	T.A. Luft III	>25 g/h	5,0
Substances inorganiques sous forme de gaz ou de vapeur	T.A. Luft I	>10 g/h	1
	T.A. Luft II	>50 g/h	5
	T.A. Luft III	>0,3 kg/h	30
	T.A. Luft IV	>5,0 kg/h	500
Substances organiques avec potentiel de création d'ozone photochimique - PCOP	U.K. AEA 1	>0,5 kg/h	20
	U.K. AEA 2	>2,0 kg/h	50
Substances organiques ^c	T.A. Luft I	>0,1 kg/h	20
	T.A. Luft II	>2,0 kg/h	100
	T.A. Luft III	>3,0 kg/h	150
Poussières générales		<0,5 kg/h	150
		>0,5 kg/h	20
Poussières de pesticides et de produits pharmaceutiques (sous forme de matière active)		>1 g/h	0,15
Émissions fugitives			^d

Notes du tableau :

^a lorsqu'une substance appartient à plusieurs catégories, le seuil d'émission le plus bas s'applique.

^b Le débit massique est calculé en kg/h pour le gaz brut et est déterminé en amont de toute installation de réduction ou de nettoyage de gaz, mais en aval de tout dispositif inhérent au procédé (par exemple, après les condenseurs de tête des réacteurs ou après les cyclones). Le débit massique correspond à l'émission maximale qui peut se produire pendant une heure quelconque de fonctionnement de l'installation, sur la totalité du site. Lorsque le débit massique dépasse le seuil, une réduction est

nécessaire afin d'atteindre la VLE adéquate, sauf si la concentration du gaz brut est déjà inférieure à la VLE, auquel cas aucune réduction supplémentaire n'est nécessaire.

^c Lorsque des substances organiques appartenant à plusieurs classes sont présentes, outre la limite ci-dessus, la somme des classes I et II ne doit pas dépasser la limite de la classe II, et la somme des classes I, II et III ne doit pas dépasser la limite de la classe III.

^d Les émissions fugitives de solvant doivent respecter les dispositions de la directive relative aux solvants (Directive 1999/13/CE [cww/tm/88]) ou de l'autorisation, le cas échéant.

Rejets dans l'eau :

Les valeurs limites d'émission concernant les rejets dans l'eau se basent sur des échantillons représentatifs moyens proportionnels à l'écoulement, sur 24 heures, sauf indication contraire.

La charge de l'effluent doit être minimisée par récupération de matière, lorsque cela est possible. L'utilisation d'eau de qualité inférieure est possible dans certaines parties du procédé en remplacement de l'eau de source.

À l'exclusion des eaux non polluées, tous les rejets dans des eaux font l'objet d'une autorisation délivrée par l'Agence de protection de l'environnement. Toutefois, tout rejet dans des égouts nécessite l'accord des autorités locales ou du responsable du réseau d'assainissement. Les BATNEEC visant à minimiser le rejet de substances incluent généralement la réduction à la source et soit le traitement spécifique des flux résiduels pollués pour éliminer certaines substances, soit le traitement conjoint d'effluents combinés, soit les deux.

Valeurs limites d'émission pour les rejets dans l'eau ^a		
Groupe de composé ou paramètre	VLE	Notes
pH	6-9	5
Nombre d'unités de toxicité	10	2, 5
Azote total (sous forme de N)	élimination >80 % ou 15 mg/l	5
Phosphore total (sous forme de P)	élimination >80 % ou 2 mg/l	5
Ammoniac total (mg/l sous forme de N)	10	5
Huiles et graisses (mg/l)	10	5
Halogènes organiques (mg/l)	0,1 (moyenne mensuelle)	4, 5
Phénols (mg/l)	1,0	5
Cyanure (mg/l sous forme de CN)	0,2	5
Mercurure (mg/l)	0,05	5, 7
Étain (mg/l)	2,0	5, 7
Plomb (mg/l)	0,5	5, 7
Chrome (VI) (mg/l sous forme de Cr)	0,1	5, 7
Chrome total (mg/l sous forme de Cr)	0,5	5, 7
Cadmium (mg/l)	0,05	5, 7
Zinc (mg/l)	0,5	5, 7
Cuivre (mg/l)	0,5	5, 7
Intercepteurs d'huile minérale (mg/l)	20	5
Traitement biologique des huiles minérales (mg/l)	1,0	5
Directive 76/464/CE, liste 1	conformément à la liste 1	
BTX (mg/l combiné)	0,1 (moyenne mensuelle)	
Organismes génétiquement modifiés	conformément à la directive 90/219/CEE et S.I. n°345 de 1994	
DBO	élimination ≥91 %	1
DCO	élimination ≥75 %	1, 6
Altération sur les poissons	Pas d'altération	3

Notes du tableau :

^a Toutes les valeurs correspondent à des moyennes quotidiennes, sauf indication contraire et sauf le pH qui correspond à des valeurs constantes.

¹ La charge résiduaire brute quotidienne de DBO/DCO est définie comme étant la masse moyenne quotidienne émise par un traitement sur une durée quelconque de trois mois. Le calcul des taux d'extraction de la DBO/DCO doit être basé sur les différences entre les charges résiduaire à rejeter et leur rejet dans des eaux réceptrices. Les quantités éliminées par traitement (physique, chimique, biologique) peuvent être incluses dans le calcul. Le calcul des charges résiduaire brutes pour la DBO/DCO devra exclure toute charge résiduaire liée à l'élimination de la biomasse des cellules microbiennes et à la récupération de solvants. Toutefois, les quantités résiduelles restant après application de ces techniques peuvent être incluses dans le calcul de la charge résiduaire brute. Les effluents pour lesquels les taux d'extraction de DBO/DCO ne peuvent être atteints se verront appliquer une limite de concentration. Ce point devra être précisé dans l'autorisation.

² Unité de toxicité = 100/x heure E(L)C50 en v-%, où x est défini par la procédure de test. La toxicité de l'effluent doit être déterminée sur au moins deux espèces aquatiques.

³ Il est interdit de décharger une substance d'une manière ou à une concentration qui, après dilution initial, provoque une altération des poissons, des mollusques ou des crustacés, qui interfère avec les schémas de migration des poissons, ou qui s'accumule dans les sédiments ou les tissus biologiques au détriment des poissons, de la faune ou de leurs prédateurs.

⁴ Dans les 6 mois suivants le démarrage de la production (ou d'un critère équivalent dans le cas de procédés de campagne), l'effluent doit être examiné afin de détecter les polluants les plus importants inscrits sur une liste.

⁵ Pour ces paramètres, les conditions de l'autorisation de rejet dans des stations d'épuration municipales peuvent être établies en collaboration avec l'autorité délivrant les autorisations et des valeurs différentes peuvent s'appliquer.

⁶ Cette limite ne s'applique que pour la fabrication :

- de produits chimiques dans une installation chimique intégrée ;
- d'oléfines et leurs dérivés ou de monomères et de polymères, y compris le styrène et le chlorure de vinyle ;
- de produits chimiques organiques ou organométalliques par des réactions chimiques ;
- de pesticides, de produits pharmaceutiques ou de produits vétérinaires et leurs intermédiaires.

⁷ Lorsque la teneur en métal de l'effluent correspond à une pollution inévitable de matière brute, ces limites ne s'appliquent pas.

9. ITALIE**Émissions atmosphériques****« Valeurs limites d'émission pour la lutte contre les émissions de polluants des installations existantes »**

(Supplemento ordinario N. 51 alla Gazzetta Ufficiale Italiana n. 176 del 30 luglio 1990 - Serie generale)

Les valeurs limites d'émission pour les installations existantes (c'est-à-dire construites ou autorisées avant l'adoption de la loi précitée) sont fixées par trois annexes :

L'annexe 1 traite des valeurs limites d'émission générales.

Les annexes 2 et 3 répertorient les limites et les dispositions particulières pour les activités qui y sont indiquées.

L'annexe 4 traite des méthodes d'échantillonnage, d'analyse et d'évaluation des émissions.

L'annexe 5 traite des techniques de réduction.

L'annexe 6 traite des émissions diffuses.

L'annexe 7 traite des émissions fugitives.

Remarque :

Nous n'avons reproduit qu'une partie de l'annexe 2 dans le présent document.

L'Italie n'a pas encore fixé de valeurs limites d'émission pour les nouvelles installations.

ANNEXE 1 (VALEURS LIMITES D'ÉMISSION GÉNÉRALES)

- 1.1 Substances réputées cancérogènes et/ou tératogènes et/ou mutagènes (tableau A1)
- 1.2 Substances à toxicité et bioaccumulabilité très élevées (tableau A2)
2. Substances inorganiques, de préférence sous forme de poussières (tableau B)
3. Substances inorganiques, de préférence sous forme de gaz ou de vapeur (tableau C)
4. Substances organiques sous forme de gaz, de vapeur ou de poussières (tableau D)
5. Poussières totales

ANNEXE 2 (LIMITES D'ÉMISSION PARTICULIÈRES POUR LES INSTALLATIONS RÉPERTORIÉES CI-DESSOUS)

1. Installations de combustion d'une puissance thermique <50 MW
2. Installations d'essiccation
3. Moteurs à combustion interne
4. Turbines à gaz fixes
5. Incinérateurs de déchets
6. Cimenteries
7. Fours destinés à la calcination de bauxite, de dolomie, de gypse, de calcaire, de diatomite, de magnésite ou de quartzite
8. Fours pour la production de verre
9. Fours de cuisson des produits en céramique d'argile
10. Installations de fusion des produits minéraux, en particulier du basalte, de la diabase ou du mâchefer
11. Installations de production de carreaux de céramique
12. Installations d'agglomération de perlite, de schiste ou d'argile expansée
13. Installations de production ou de fusion de composés de bitume de goudrons et de produits minéraux, y compris les installations de préparation de matières pour les travaux routiers à base de bitume et les installations de production de blocs de goudron
14. Installations de distillation sèche du charbon (cokeries)
15. Installations d'agglomération de minéraux de fer
16. Installations de production de gueuse de fonte
17. Installations de production d'acier par convertisseur. Fours à arc électrique et à fours à fusion sous vide
18. Fonderie de fer et d'acier
19. Fours à traitement thermique pour les installations de lamination et autres traitements
20. Installations de finition des surfaces métalliques par du zinc fondu
21. Installations de traitement des surfaces métalliques par acide nitrique
22. Installations de production d'alliages de fer par procédé électrothermique ou pyrométallurgique
23. Installations de production primaire de métaux non ferreux
24. Installations de production d'aluminium
25. Installations de fusion d'aluminium
26. Installations de fusion secondaire d'autres métaux non ferreux et leurs alliages
27. Installations de production d'accumulateurs au plomb
28. Installations de production d'oxyde de soufre, d'acide sulfurique et d'oléum
29. Installations de production de chlore
30. Installations Claus pour la production du soufre
31. Installations de production, de granulation et d'essiccation d'engrais contenant du phosphore, de l'azote ou du potassium
32. Installations de production d'acrylonitrile

33. Installations de production de matières actives de pesticides
34. Installations de production de polychlorure de vinyle (PVC)
35. Installations de production de polymères de polyacrylonitrile
36. Installations de production et de fabrication de viscose
37. Installations de production d'acide nitrosylsulfurique
38. Installations de production de polyesters
39. Installations de production de fibres d'acétate de cellulose
40. Installations de production de fibres polyamidiques
41. Installations de préparation de pesticides spéciaux
42. Installations de nitration de la cellulose
43. Installations de production de dioxyde de titane
44. Installations de production de fibres acryliques
45. Installations de production de polycarbonate
46. Installations de production de noir de carbone
47. Installations de production de carbone ou d'électrographite avec combustion, par exemple production d'électrodes
48. Installations de peinture en série des carrosseries d'automobiles et de leurs composants, à l'exception des carrosseries de bus
49. Autres installations de peinture
50. Installations de production de produits en caoutchouc
51. Installations d'imprégnation des fibres de verre ou minérales avec des résines
52. Installations de production de sucre
53. Installations d'extraction et de raffinage de l'huile de grignon d'olive
54. Installations d'extraction et de raffinage d'huiles de graines

ANNEXE 3 (GRANDES INSTALLATIONS ET DOMAINES PARTICULIERS)

A : Grandes installations de combustion

Domaine d'application

Valeurs d'émission exigences relatives aux délais pour la conformité

Technique de réduction mauvais fonctionnement des installations de réduction

B : Raffineries d'huiles minérales

Domaine d'application

Valeurs d'émission

Mesures

Autres dispositions

Exigences relatives aux délais pour la conformité des raffineries

C : Installation de culture d'hydrocarbures et de fluides géothermiques

Domaine d'application

Culture d'hydrocarbures

Installations utilisant des fluides géothermiques

ANNEXE 4 (MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE, D'ANALYSE ET D'ÉVALUATION DES ÉMISSIONS)

ANNEXE 5 (TECHNIQUES DE RÉDUCTION)

Tableau récapitulatif

Critères d'application

ANNEXE 6 (ÉMISSIONS DIFFUSES)

ANNEXE 7 (ÉMISSIONS FUGITIVES)

ANNEXE 1 : Seuils de débit massique et limites de concentration

(conditions standard : 0 °C, 101,3 kPa ; valeurs horaires)

1.1 Substances réputées cancérigènes et/ou tératogènes et/ou mutagènes (tableau A1)

Tableau A1

Classe I

Si le débit massique est supérieur ou égal à 0,5 g/h :	0,1 mg/Nm ³
- Amiante (chrysotile, crocidolite, amosite, antophyllite, actinolite et tremolite)	- Béryllium et ses composés, exprimés sous forme de Be
- Benzo(a)pyrène	- Dibenzo(a,h)anthracène
- Benzo(a)anthracène	- 2-naphthylamine et ses sels
- Benzo(b)fluoranthène	- Dibenzo(a)pyrène
- Benzo(j)fluoranthène	- Diméthylnitrosamine
- Benzo(k)fluoranthène	- 5-nitroacénaphthène
- Dibenzo(a,h)acridine	- 2-nitronaphthalène
	- 1-méthyl-3-nitro-1-nitrosoguanidine

Classe II

Si le débit massique est supérieur ou égal à 5 g/h :	1 mg/Nm ³
- Arsenic et ses composés, exprimés sous forme d'As	- Benzidine et ses sels
- Chrome (VI) et ses composés, exprimés sous forme de Cr	- 4,4'-méthylène-bis(2-chloroaniline) et ses sels
- Cobalt et ses composés, exprimés sous forme de Co	- Sulfate de diéthyle
- 3,3'-dichlorobenzidine et ses sels	- 3,3'-diméthylbenzidine et ses sels
- Sulfate de diméthyle	- Hexaméthylphosphotriamide
- Éthylèneimine	- 2-méthylaziridine
- Nickel et ses composés, exprimés sous forme de Ni	- Acétate de méthylazoxyméthyle
- 4-aminobiphényle et ses sels	- Sulfallate
	- Chlorure de diméthyl carbamoyl
	- 3,3'-diméthoxybenzidine et ses sels

Classe III

Si le débit massique est supérieur ou égal à 25 g/h :	5 mg/Nm ³
- Acrylonitrile	- Chlorométhyl-méthyl-éther
- Benzène	- N,N-diméthylhydrazine
- 1,3-butadiène	- Hydrazine
- 1-chloro-2,3-époxypropane (épichlorohydrine)	- Oxyde d'éthylène
- 1,2-dibromoéthane	- Éthylène thiourée
- 1,2-époxypropane	- 2-nitropropane
- 1,2-dichloroéthane	- Bis-chlorométhyléther
- CVM	- 3-propanolide
- 1,3-dichloro-2-propanol	- 1,3-propanesultone
	- Oxyde de styrène

1.2 Substances à toxicité et bioaccumulabilité très élevées (tableau A2)

Tableau A2Classe I

Si le débit massique est supérieur ou égal à 0,02 g/h : 0,01 mg/Nm³
 - DDPC - DFPC

Classe II

Si le débit massique est supérieur ou égal à 0,5 g/h : 0,5 mg/Nm³
 - BPC - Polychloronaphtènes
 - TPC

2. Substances inorganiques, de préférence sous forme de poussières (tableau B)**Tableau B**Classe I

Si le débit massique est supérieur ou égal à 1 g/h : 0,2 mg/Nm³
 - Cadmium et ses composés, exprimés sous forme de Cd - Thallium et ses composés, exprimés sous forme de Tl
 - Mercure et ses composés, exprimés sous forme de Hg

Classe II

Si le débit massique est supérieur ou égal à 5 g/h : 1 mg/Nm³
 - Sélénium et ses composés, exprimés sous forme de Se - Tellure et ses composés, exprimés sous forme de Te

Classe III

Si le débit massique est supérieur ou égal à 25 g/h : 5 mg/Nm³
 - Antimoine et ses composés, exprimés sous forme de Sb - Platine et ses composés, exprimés sous forme de Pt
 - Cyanures, exprimés sous forme de CN - Quartz, pulvérisé, si sous forme de silicium cristallisé, exprimé sous forme de SiO₂
 - Chrome (III) et ses composés, exprimés sous forme de Cr - Cuivre et ses composés, exprimés sous forme de Cu
 - Manganèse et ses composés, exprimés sous forme de Mn - Rhodium et ses composés, exprimés sous forme de Rh
 - Palladium et ses composés, exprimés sous forme de Pd - Étain et ses composés, exprimés sous forme de Sn
 - Plomb et ses composés, exprimés sous forme de Pb
 - Vanadium et ses composés, exprimés sous forme de V

3. Substances inorganiques, de préférence sous forme de gaz ou de vapeur (tableau C)

Les débits massiques et les concentrations s'appliquent aux substances seules ou aux familles de substances.

Tableau CClasse I

Si le débit massique est supérieur ou égal à 10 g/h :	1 mg/Nm ³
- Chlorocyanure	- Phosgène
- Phosphine	

Classe II

Si le débit massique est supérieur ou égal à 50 g/h :	5 mg/Nm ³
- Acide hydrocyanhydrique	- Fluor et ses composés, exprimés sous forme d'acide fluorhydrique
- Brome et ses composés, exprimés sous forme d'acide hydrobromique	- Sulfure d'hydrogène
- Chlore	

Classe III

Si le débit massique est supérieur ou égal à 0,3 kg/h :	30 mg/Nm ³
- composés de chlore inorganiques sous forme de gaz ou de vapeur, à l'exclusion du chlorocyanure et du phosgène, exprimés sous forme d'acide chlorhydrique.	

Classe IV

Si le débit massique est supérieur ou égal à 2 kg/h :	250 mg/Nm ³
- Ammoniac	

Classe V

Si le débit massique est supérieur ou égal à 5 kg/h :	500 mg/Nm ³
-NO _x (NO et NO ₂), exprimés sous forme de NO ₂	- SO _x (SO ₂ et SO ₃), exprimés sous forme de SO ₂

4. Substances organiques sous forme de gaz, de vapeur ou de poussières (tableau D)**Tableau D**Classe I

Si le débit massique est supérieur ou égal à 25 g/h :	5 mg/Nm ³
- Anisidine	- Éther de diglycidyle
- Butylmercaptane	- Acrylate d'éthyle
- Chloropicrine	- Éthylèneimine
- Diazométhane	- Éthylmercaptane
- Dichloroacétylène	- Isocyanates
- Dinitrobenzène	- Acrylate de méthyle
- Dinitrocresol	- Nitroglycérine
- Hexachlorobutadiène	- Perchlorométhylmercaptane
- Hexachlorocyclopentadiène	- 1,4-dioxanne
- Hexafluoroacétone	

Classe II

Si le débit massique est supérieur ou égal à 0,1 kg/h :	20 mg/Nm ³
---	-----------------------

- Acétaldéhyde
- Acide chloroacétique
- Acide formique
- Acide thioglycolique
- Acide trichloroacétique
- Anhydride phthalique
- Anhydride maléique
- Aniline
- Chlorure de benzyle
- Biphényle
- Acrylate de butyle
- Butylamine
- Camphre synthétique
- Tétrabromométhane
- Tétrachlorométhane
- Cyclohexylamine
- Éthanolamine
- 2-éthoxyéthanol
- Acétate de 2-éthoxyéthyle
- Phénol
- Phthalates
- 2-furaldéhyde
- Furfurol
- Triiodométhane
- Isophorone
- Isopropylamine
- Méthylacrylonitrile
- Méthylamine
- Méthylaniline
- Bromométhane
- Méthyl-n-butylbromure
- Chlorométhane
- Méthyl-2-cyanoacrylate
- Méthylstyrène
- 2-méthoxyéthanol
- Acétate de 2-méthoxyéthanol
- Nitroéthane
- Chloroacétaldéhyde
- 1-chloro-1-nitropentane
- Crésol
- Crotonaldéhyde
- 1,2-dibutylaminoéthanol
- Dibutylphosphate
- o-dichlorobenzène
- 1,1-dichloroéthène
- Éther de dichloroéthyle
- Dichlorophénol
- Dichlorométhane
- Diéthylamine
- Diphenylamine
- Diisopropylamine
- Diméthylamine
- Éthylamine
- Nitrométhane
- 1-nitropropane
- Nitrotoluène
- Pyrètre
- Pyridine
- Alkyles de plomb
- 2-propénal
- 1,1,2,2-tétrachloroéthane
- Tétrachloroéthène
- Tétranitrométhane
- m- et p-toluidine
- Phosphate de tributyle
- Trichlorophénol
- Trichloroéthène
- Trichlorométhane
- Triéthylamine
- Triméthylphosphine
- Bromure de vinyle
- Xylènes (sauf 2,4-xylène)
- Formaldéhyde

Classe III

Si le débit massique est supérieur ou égal à 2 kg/h :

- Acide acrylique
- Acétonitrile
- Acide propionique
- Acide acétique
- n-butanol
- i-butanol
- sec-butanol
- tert-butanol
- Méthanol
- Butyraldéhyde
- p-tert-butyltoluène
- 2-butoxyéthanol
- Caprolactame
- 150 mg/Nm³
- N,N-diméthylacétamide
- N,N-diméthylformamide
- Dipropylcétone
- Hexaméthylènediamine
- n-hexane
- Éthylamylcétone
- Éthylbenzène
- Éthylbutylcétone
- Éthylèneglycol
- Éther d'isobutylglycidyle
- Isopropoxyéthanol
- Méthacrylate de méthyle
- Méthylamylcétone

- Sulfure de carbone
- Cyclohexanone
- Cyclopentadiène
- Chlorobenzène
- 2-chloro-1,3-butadiène
- o-chlorostyrène
- o-chlorotoluène
- p-chlorotoluène
- Cumène
- Diacétonalcool (4-hydroxy-4-méthyl-2-pentanone)
- 1,4-dichlorobenzène
- 1,1-dichloroéthane
- Dichloropropane
- Diéthanamine
- Diéthylformamide
- Diisobutylcétone
- 2,4-xylène
- o-méthylcyclohexanone
- Chloroforme de méthyle
- Méthylformiate
- Méthylisobutylcétone
- Méthylisobutylcarbinol
- Naphthalène
- Propylène glycol
- Éther monométhylque de propylène glycol
- Propionaldéhyde
- Styène
- Tétrahydrofuranne
- Triméthylbenzène
- n-vératraldéhyde
- Acétate de vinyle
- Toluène de vinyle

Classe IV

Si le débit massique est supérieur ou égal à 3 kg/h :

- Propanol
- Isopropanol
- Acétate de n-amyle
- Benzoate de méthyle
- Acétate de n-butyle
- Acétate d'isobutyle
- Diéthylcétone
- Difluorodibromométhane
- Acétate de sec-hexyle
- Formiate d'éthyle

300 mg/Nm³

- Acétate de méthyle
- Méthyléthylcétone
- Méthylisopropylcétone
- N-méthylpyrrolidone
- Pinène
- Acétate de n-propyle
- Acétate d'isopropylène
- Toluène
- Xylène

Classe V

Si le débit massique est supérieur ou égal à 4 kg/h :

- Acétone
- Éthanol
- Butane
- Cyclohexane
- Cyclohexène
- Chloropentane
- Chlorobromométhane
- Chlorodifluorométhane
- Chloropentafluoroéthane
- Dibromodifluoroéthane
- Éther butylique
- Dichlorofluorométhane
- Dichlorotétrafluoroéthane
- Éther diéthylique
- Éther diisopropylique

600 mg/Nm³

- Diméthyléther
- Heptane
- Hexane (technique)
- Éther d'isopropyle
- Acétate d'éthyle
- Méthylacétylène
- Méthylcyclohexane
- Pentane
- 1,1,1,2-tétrachloro-2,2-difluoroéthane
- 1,1,2,2-tétrachloro-1,2-difluoroéthane
- Trichlorofluorométhane
- 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroéthane
- Trifluorométhane
- Trifluorobromométhane

5. Poussières totales

Les valeurs d'émissions sont :

Classe I

Si le débit massique est supérieur ou égal à 0,5 kg/h : 50 mg/Nm³

Classe II

Si le débit massique est compris entre 0,1 kg/h et 0,5 kg/h : 150 mg/Nm³

Amiante (particules en suspension et fibres) : la valeur limite d'émission ne doit pas dépasser 0,1 mg/Nm³ (DLGS 17/03/1995, n. 114 Gazz. Uff. Serie generale n. 92 del 20 Aprile 1995)

Extrait de l'annexe 2**32. Installations de production d'acrylonitrile**

L'effluent gazeux produit par le réacteur et l'absorbeur doit être brûlé. Les émissions gazeuses produites au cours de l'épuration des produits de distillation par réaction et celles provenant du transfert doivent être conduites à des systèmes de réduction adaptés.

34. Installations de production de PVC

Les résidus de CVM (chlorure de vinyle monomère) présents dans le polymère doivent être réduits au maximum, en particulier au niveau des limites entre les systèmes ouverts et fermés ; la valeur finale doit permettre de réduire davantage la concentration de chlorure de vinyle dans l'effluent gazeux provenant du séchoir.

Débit massique de PVC	10 mg CVM/kg PVC
Homopolymères en suspension	100 mg CVM/kg PVC
Copolymères en suspension	400 mg CVM/kg PVC
PVC en micro-suspension et émulsion de PVC	1 500 mg CVM/kg PVC

L'effluent gazeux provenant du séchoir doit être utilisé comme matière brute dans une installation de combustion afin de réduire davantage la concentration de chlorure de vinyle.

Émissions dans l'eau

Dispositions relatives à la protection de l'eau contre la pollution et adoption de la directive du Conseil 91/271/CEE relative au traitement des eaux urbaines résiduaires et de la directive du Conseil 91/676/CEE relative à la protection des eaux contre la pollution causée par des nitrates d'origine agricole (Decreto legislativo du 11 mai 1999, n°152, mise à jour par D. Lgs le 18 août 2000, n. 258).

Valeurs limites d'émission pour les rejets d'eaux usées dans les eaux de surface et les réseaux d'assainissement municipaux

Paramètre	Unité	Rejet dans des eaux de surface	Rejet dans un système de collecte municipal	Rejet dans la baie de Venise et dans des eaux de surface de ses zones de drainage (extrait)
pH		5,5-9,5	5,5-9,5	6,0-9,0
Température	°C	(1)	(1)	
Couleur		non perceptible après dilution de 1:20	non perceptible après dilution de 1:40	non perceptible après dilution de 1:10
Odeurs		ne doivent pas	ne doivent pas	ne doivent pas causer de

		causer de nuisances	causer de nuisances	nuisances
Matières grossières		sans	sans	sans
MES	mg/l	80	200	35
DBO ₅ (sous forme d'O ₂)	mg/l	40	250	25
DCO (sous forme d'O ₂)	mg/l	160	500	120
Aluminium	mg/l	1	2,0	
Arsenic	mg/l	0,5	0,5	
Barium	mg/l	20	-	
Bore	mg/l	2	4	
Cadmium	mg/l	0,02	0,02	
Chrome total	mg/l	2	4	
Chrome (VI)	mg/l	0,2	0,20	
Fer	mg/l	2	4	
Manganèse	mg/l	2	4	
Mercure	mg/l	0,005	0,005	
Nickel	mg/l	2	4	
Plomb	mg/l	0,2	0,3	
Cuivre	mg/l	0,1	0,4	
Sélénium	mg/l	0,03	0,03	
Étain	mg/l	10		
Zinc	mg/l	0,5	1,0	
Cyanure total (sous forme de CN)	mg/l	0,5	1,0	
Chlore actif libre	mg/l	0,2	0,3	
Sulfure (sous forme de S)	mg/l	1	2	
Sulfite (sous forme de SO ₂)	mg/l	1	2	
Sulfate (sous forme de SO ₃) (2)	mg/l	1 000	1 000	
Chlorure (2)	mg/l	1 200	1 200	
Fluorure	mg/l	6	12	
Phosphore total (sous forme de P) (3)	mg/l	10	10	
Ammonium (sous forme de NH ₄) (3)	mg/l	15	30	
Nitrite (sous forme de N) (3)	mg/l	0,6	0,6	
Nitrate (sous forme de N) (3)	mg/l	20	30	
Graisse et huile végétale/animale	mg/l	20	40	
Hydrocarbures totaux	mg/l	5	10	
Phénols	mg/l	0,5	1	
Aldéhydes	mg/l	1	2	
Solvants organiques aromatiques	mg/l	0,2	0,4	
Solvants inorganiques	mg/l	0,1	0,2	

contenant de l'azote				
Agents de surface totaux	mg/l	2	4	
Pesticides (contenant du phosphore)	mg/l	0,10	0,10	
Pesticides totaux (uniquement ceux contenant du phosphore), mais aussi :	mg/l	0,05	0,05	
- Aldrine	mg/l	0,01	0,01	
- Dieldrine	mg/l	0,01	0,01	
- Endrine	mg/l	0,002	0,002	
- Isodrine	mg/l	0,002	0,002	
Solvants chlorés organiques	mg/l	1	2	
Escherichia coli (4)	cfu/100 ml	Voir notes		
Test de toxicité aiguë (5)		Échantillon considéré comme non acceptable si, après 24 heures, le pourcentage d'organismes de test immobilisés est de 50 %	Échantillon considéré comme non acceptable si, après 24 heures, le pourcentage d'organismes de test immobilisés est de 80 %	

Notes du tableau :

(1) Selon les eaux réceptrices, les dispositions suivantes s'appliquent :

- Eaux courantes : la différence de température maximale en amont et aval du point de déversement est de 3 °C ;
- Lacs : la température des eaux usées doit être de 30 °C et à plus de 50 mètres du point de déversement, l'augmentation de température du milieu aquatique doit être de 3 °C ;
- Canaux artificiels : la température moyenne maximale ne doit pas dépasser 35 °C, quelle que soit la section ;
- Mers et estuaires/deltas de rivières : la température des eaux usées ne doit pas dépasser 35 °C, et à plus de 1 000 mètres du point de déversement, l'augmentation de la température du milieu aquatique doit être de 3 °C.

(2) Ces limites ne s'appliquent pas aux eaux usées rejetées dans la mer (assimilation fournie pour les eaux côtières).

(3) Les eaux usées industrielles rejetées dans des zones fragiles doivent respecter des limites de 1 mg/l et 10 mg/l pour le phosphore total et l'azote total, respectivement.

(4) Une valeur limite générale de 5 000 cfu/100 ml est recommandée. Les autorités compétentes fixeront la limite la plus appropriée en fonction de la situation environnementale, hygiénique et sanitaire du milieu aquatique et des utilisations existantes.

(5) Le test de toxicité est obligatoire. Outre sur *Daphnia magna*, les tests de toxicité aiguë peuvent être effectués sur *Ceriodaphnia dubia*, *Selenastrum capricornutum*, sur des bactéries bioluminescentes ou sur d'autres organismes tels que *Artemia salina* pour les eaux usées contenant des sels, ou d'autres organismes qui seront indiqués. Il convient de tenir compte du moins bon résultat. Un test positif n'est pas aussitôt pénalisé, mais les actions suivantes doivent être entreprises : un examen analytique en profondeur, la recherche des sources de toxicités et leur élimination.

10. LUXEMBOURG

Aucune information fournie

11. PAYS-BAS

Deux lois-cadres principales existent aux Pays-Bas : la « **Loi sur le management environnemental** » et la « **Loi sur la pollution des eaux de surface** ». Ces deux lois constituent le cadre régissant les autorisations environnementales et permettent de fixer les conditions liées à l'autorisation. Ces deux lois satisfont aux exigences de la directive IPPC et une autorisation intégrée est assurée par une procédure de délivrance coordonnée par les autorités compétentes. Les deux lois-cadres régissent un certain nombre de décrets et de règlements qui fixent les dispositions relatives aux activités potentiellement polluantes.

La **réglementation néerlandaise sur les émissions** (NeR) s'applique aux émissions industrielles dans l'air et fournit les lignes directrices concernant les conditions de délivrance et/ou de modification des autorisations. La NeR est utilisée comme référence dans l'octroi des autorisations depuis le 1er mai 1992. Elle fournit des normes de concentration pour différentes substances, qui représentent les limites supérieures pour différentes sources ponctuelles, en fonction du débit massique. En outre, dans ces « règlement spéciaux », on trouve aussi des règles en dérogation aux « normes générales d'émission » pour certaines industries ou installations spécifiques.

Les normes d'émissions stipulées dans la NeR n'ont pas un caractère juridiquement contraignant et la NeR ne remplace pas les accords contraignants existants. Toutefois, si l'autorité accordant l'autorisation souhaite déroger à la NeR, elle doit en indiquer explicitement les raisons dans le préambule de l'autorisation.

Accords amiables

Les accords amiables ou pactes (en néerlandais : Convenanten) sont des déclarations d'intention sur la mise en œuvre de la politique environnementale pour certains secteurs industriels. Ces déclarations d'intention sont des accords conclus entre les autorités et l'industrie. La conclusion d'un tel accord présente, pour les autorités comme pour les sociétés, l'avantage d'une orientation plus transparente, plus cohérente et plus prévisible des mesures d'amélioration et des investissements en matière d'environnement. Ces accords s'appliquent dans deux domaines :

- les performances environnementales générales relatives aux polluants « classiques » ;
- le rendement énergétique.

Performances environnementales générales relatives aux polluants « classiques »

Dans la déclaration d'intention de cet accord amiable, les autorités ont élaboré un **Plan cible intégral pour l'environnement** (Integral Environmental Target Plan, IETP), basé sur le **Plan national de politique environnementale** (National Environmental Policy Plan, NEPP), le **Mémoire sur la gestion de l'eau**, le **Plan d'action pour la Mer du nord**, le **Programme d'action pour le Rhin**, le **Mémoire sur la conservation des ressources énergétiques** et d'autres plans officiels existant à la date de la signature.

Le Plan cible intégral traite de la pollution de l'environnement par les polluants classiques (SO_x, NO_x, COV, métaux lourds, HAP, etc.) engendrée par le secteur industriel correspondant. L'IETP a été élaboré en 1994/1995, et sera modifié en 2000 et 2010. Outre la réduction des émissions dans l'air, l'eau et le sol, l'IETP intègre également une politique relative à la conservation des ressources énergétiques et de l'eau, la décontamination du sol, le risque de danger, les nuisances olfactives, le bruit et les systèmes de gestion internes. Cependant, deux autres accords ont été conclus qui portent plus spécialement sur la conservation des ressources énergétiques et la réduction du CO₂.

Pour l'industrie chimique, une déclaration d'intention a été signée le 2 avril 1993. Un point important est la reconnaissance que, compte tenu de la grande diversité des entreprises qui composent l'industrie chimique, la contribution de chacune d'elles à la mise en œuvre de l'IETP dans le secteur peut varier. La responsabilité de chaque entreprise dans cette mise en œuvre nécessite de leur part un engagement actif. La contribution d'une entreprise sera définie dans les Plans environnementaux des entreprises (BMP) qui sont élaborés par chaque entreprise. Ces BMP sont renouvelés tous les quatre ans et doivent être approuvés par l'autorité en charge de la délivrance des autorisations.

Rendement énergétique : Accords à long terme sur le rendement énergétique

Aux Pays-Bas, des « **Accords à long terme sur le rendement énergétique** » (MJA) ont été conclus entre le Ministère des affaires économiques et des organisations représentatives de nombreux secteurs industriels. L'aspect le plus important des MJA est la valeur cible fixée en vue d'améliorer le rendement énergétique dans le secteur industriel considéré, dans un délai imparti. Pour élaborer les MJA, des accords bilatéraux sont conclus entre les entreprises et l'organisme d'aide, le NOVEM. Pour l'industrie chimique, un MJA a été signé le 24 novembre 1993, prévoyant une amélioration du rendement énergétique de 20 % sur la période de 1989 à 2000. Le secteur a atteint cet objectif et une deuxième série de MJA est actuellement en préparation, bien que la plupart des entreprises de l'industrie chimique signeront probablement l'accord « de référence ».

Rendement énergétique : Accord de référence

L'accord de référence est un accord conclu entre les autorités néerlandaises et l'industrie à forte intensité énergétique néerlandaise. Contrairement aux MJA cités précédemment, aucune cible quantifiée pour l'amélioration du rendement énergétique n'est fixée. Au lieu de cela, l'industrie accepte de faire partie de l'élite mondiale pour le rendement énergétique et les autorités s'abstiendront d'entraver toute mesure supplémentaire de taxe énergétique. La raison de cette approche différente est que, étant donné la concurrence internationale, l'industrie a demandé au gouvernement de tenir compte de l'effort relatif concernant le rendement énergétique de l'industrie néerlandaise par rapport à ses concurrents étrangers. Cet accord est ouvert à toutes les entreprises consommant plus de 0,5 PJ par an. L'accord de principe a été signé le 6 juillet 1999 entre les organisations industrielles et les autorités. Maintenant que l'accord de principe a été signé, il est ouvert à la signature des entreprises qui souhaitent adhérer au pacte.

Niveaux d'émission associés aux MTD pour les émissions industrielles

Catégories**	Niveau d'émission associé aux MTD (mg/Nm ³)	Seuil (kg/h)	Remarque
Substances extrêmement dangereuses			
Dioxines et furannes	0-0,1 ng/Nm ³ I-TEQ	pas de seuil	Minimisation obligatoire
BPC	0-0,1 ng/Nm ³ pcb-TEQ	pas de seuil	Minimisation obligatoire
Particules			
Matières particulaires	5-25	pas de seuil	Selon la technique employée et les conditions du procédé
Substances cancérigènes*			
Σ C1	0-0,1	0,0005	Minimisation obligatoire
Σ C1 + C2	0-1,0	0,005	Minimisation obligatoire
Σ C1 + C2 + C3	0-5,0	0,025	Minimisation obligatoire
Substances organiques (gaz)			

et vapeur)*			
Σ gO1	20	0,1	
Σ gO1 + gO2	100	2,0	
Σ gO1 + gO2 + gO3	100-150	3,0	
Substances organiques (solides)*			
Σ sO1	5-10	pas de seuil	Voir matières particulières
Σ sO2 et sO3	5-25	pas de seuil	Voir matières particulières
Substances inorganiques (gaz et vapeur)			
gI1	1,0	0,01	
gI2	5,0	0,05	
gI3	30	0,3	
gI4	200	5	
Substances inorganiques (solides)*			
Σ sI1	0,2	0,001	
Σ sI1 + sI2	1,0	0,005	
Σ sI1 + sI2 + sI3	5,0	0,025	
* Pour la catégorie de substances marquée d'un astérisque, la règle de sommation s'applique. Cela signifie que le niveau d'émission donné s'applique à la somme des substances de la catégorie considérée plus celles de la catégorie inférieure.			
** Les différentes substances sont répertoriées ci-dessous.			

Classification des substances cancérigènes

Catégorie	Substance
C1	benzo(a)anthracène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(j)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, dibenzo(a,h)anthracène, 2-naphtylamine, 2-nitropropane, béryllium (et ses composés) sous forme de Be, chrome (VI) (et ses composés) sous forme de Cr.
C2	3,3-dichlorobenzidine, sulfate de diéthyle, sulfate de diméthyle, oxyde d'éthylène, nickel (et ses composés) sous forme de Ni.
C3	acrylonitrile, benzène, buta-1,3-diène, 1,2-dibromométhane, 1,2-dichloroéthane, épichlorohydrine, hydrazine, oxyde de propylène, chlorure de vinyle.

Substances organiques

Les substances organiques ont été classées selon leur écotoxicité. Une distinction a été établie entre les gaz et les vapeurs d'une part, et les solides d'autre part (gO et sO). La norme s'applique à l'émission de la somme des substances (appelée « règle de sommation »). Il est à noter que la classification ci-dessus est incomplète (la liste complète comporte plusieurs centaines de substances), mais certaines substances intéressantes ont été reproduites ici.

Classification des substances organiques

Catégorie	Substance
O1	de nombreuses substances (par ex. acétaldéhyde, acroléine, acide acrylique, amino-benzène/éthane/méthane, aniline, anthracène, bisphénol A, caprolactame, 1,2-dichlorobenzène, dichlorophénols, formaldéhyde, méthylamine, nitroaromatiques monocycliques, composés organostanniques, phénol, pyridine, tétrachlorométhane, trichlorométhane).
O2	de nombreuses substances (par ex. 1,3/4-dichlorobenzène, cumène, éthylbenzène, monochlorobenzène, styrène, tétrachloroéthène, toluène, 1,1,1-trichloroéthane,

	trichloréthène, xylènes)
O3	de nombreuses substances (par ex. dichlorométhane, de nombreux alcools, alcanes et cétones)

Substances inorganiques

Une distinction a été établie entre les substances inorganiques gazeuses d'une part et solides d'autre part (gI et sI, respectivement). La raison à cela est que les techniques qui peuvent être employées pour réduire les émissions de composés gazeux ou solides sont différentes. Les substances ont été classées selon leur écotoxicité. La norme pour les composés inorganiques solides s'applique à l'émission de la somme des substances (appelée « règle de sommation »).

Classification des substances inorganiques

Catégorie	Substance
gI1	arsine, chlorocyanure, dioxyde de chlore, diborane (B ₂ H ₆), phosphine, phosgène.
gI2	brome (et ses composés) sous forme de HBr, trichlorure/trifluorure de bore, chlore, acide cyanique, fluor (et ses composés) sous forme de HF, acide phosphorique, hydruure de germanium, tétrafluorure/tétrahydruure de silicium, trifluorure d'azote, sulfure d'hydrogène, acide sulfurique.
gI3	composés de chlore sous forme de HCl, hydruure de dichlorosilicium, acide nitrique, tétrachlorure de silicium, hydruure de trichlorosiliciumhexafluorure de soufre (SF ₆)
gI4	ammoniac, oxydes d'azote (sous forme de NO ₂), oxydes de soufre (sous forme de SO ₂)
sI1	fibres d'amiante*, arsenic (et ses composés) sous forme de As*, cadmium (et ses composés) sous forme de Cd*, pentacarbonyl de fer, mercure (et ses composés) sous forme de Hg, composés de platine sous forme de Pt, composés de rhodium sous forme de Rh, silice (cristoballite, tridymite)*, argent (et ses composés) sous forme de Ag, thallium (et ses composés) sous forme de Tl, composés de vanadium (plus spécialement les oxydes, les halogénures, les sulfates et les vanadates) sous forme de V.
sI2	chlorure de chromyle, cobalt (fumées et composés) sous forme de Co, fumées de cuivre sous forme de Cu, plomb (et ses composés inorganiques) sous forme de Pb, silice (cristoballite et tridymite) sous forme de poussières respirables, rhodium (et ses composés non solubles dans l'eau) sous forme de Rh, sélénium (et ses composés) sous forme de Se, tellure (et ses composés) sous forme de Te.
sI3	antimoine (et ses composés) sous forme de Sb, barium (et ses composés) sous forme de Ba, oxyde de calcium, chrome(et ses composés, par ex. Cr (VI)) sous forme de Cr, cuivre (et ses composés, fumées, par ex.) sous forme de Cu, cyanures sous forme de CN, fluorures sous forme de F, manganèse (fumées et composés) sous forme de Mn, palladium (et ses composés) sous forme de Pd, platine (et ses composés non solubles dans l'eau) sous forme de Pt, hydroxyde de potassium/sodium, étain (et ses composés inorganiques) sous forme de Sn, vanadium (et ses alliages et carbures) sous forme de V, chlorure de zinc (fumées).
* Les composés marqués d'un astérisque sont considérés comme cancérogènes à partir d'une valeur seuil. Une attention toute particulière doit être portée sur ces composés.	

12. PORTUGAL

Aucune information fournie

13. ESPAGNE

Aucune information fournie

14. SUÈDE

1. La législation suédoise est fixée par le Code de l'environnement. Chaque installation est testée à part et les exigences relatives au traitement des gaz et des eaux sont fixées individuellement en prenant en compte la situation du milieu récepteur, etc. Les exigences stipulées par ce code sont formulées comme une série de principes :

- le principe de charge de la preuve : l'exploitant doit démontrer que ses activités sont exercées de façon acceptable pour l'environnement ; la charge de la preuve incombe toujours à l'exploitant ;
- l'exigence de connaissance : les personnes pratiquant une activité doivent posséder les connaissances nécessaires relatives à la nature et au champ d'application de cette activité. L'objectif de cette disposition est de garantir que les exploitants acquièrent le savoir faire adéquat avant de démarrer une exploitation, afin d'éviter tout dommage et dégât ;
- la principe de précaution : le simple risque de dommage ou de dégât implique l'obligation de prendre les mesures nécessaires pour combattre ou empêcher les effets néfastes sur l'environnement et la santé ;
- la meilleure technologie possible : concerne la technologie utilisée pour l'exploitation en elle-même et pour la construction, le fonctionnement et le déclassement de l'installation. Une condition essentielle est la faisabilité en termes industriels et économiques pour le type d'activité concerné ;
- le principe du pollueur payeur : l'exploitant doit payer les mesures préventives et curatives nécessaires ;
- les principes de gestion des ressources et de l'écocycle : l'exploitation doit être telle qu'elle garantit une utilisation efficace des matières brutes et de l'énergie, ainsi que la minimisation de la consommation et des déchets ;
- le principe de raisonabilité : toutes les règles doivent être appliquées en fonction des avantages et des coûts. Conformément au principe de charge de la preuve, l'exploitant doit démontrer que le coût d'une mesure préventive n'est pas justifié du point de vue de l'environnement ou qu'il représente une charge déraisonnable.

C'est pourquoi, dans la procédure d'autorisation, l'exploitant devra démontrer quelles sont les techniques de traitement valables et proposer une ou plusieurs d'entre elles pour traiter les eaux usées, les effluents gazeux, etc., selon les cas. Les technologies et conditions choisies dépendront des MTD dans la mesure où elles sont disponibles pour l'industrie chimique, où la technologie est éprouvée ailleurs dans une production similaire, etc. De nombreuses solutions et conditions sont possibles, selon l'emplacement, la technologie des procédés, etc.

2. C'est plus ou moins pour cela qu'il n'existe pas de documents de référence générale concernant l'élaboration d'une autorisation. L'agent technique de l'autorité environnementale doit avoir une bonne maîtrise des technologies utilisées et disponibles (ou doit pouvoir accéder à ces connaissances), ainsi que de l'incidence sur l'environnement et de ce qui peut être fait pour contrer cette incidence. Ces agents déclarent devant la cour ce qui peut être considéré comme un effet acceptable sur l'environnement et comment contrôler cet effet. L'autorisation est rédigée par un Tribunal de l'environnement pour la plupart des grandes industries. La décision du tribunal se base sur les informations et les avis donnés par les autorités nationales, régionales et locales, ainsi que par l'exploitant lui-même.

15. ROYAUME-UNI

Aucune information fournie

