COMMISSION EUROPÉENNE

Document de référence sur les meilleures techniques disponibles

Traitement de surface des métaux et matières plastiques

Août 2006

Ce document est la traduction de la version anglaise publiée par la Commission européenne qui seule fait foi.

Traduction V 1

Ce document fait partie d'une série de documents prévus, indiquée ci-dessous (au moment où ce document est composé, tous les documents n'ont pas été rédigés) :

Titre complet	Code BREF
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour l'élevage intensif des volailles et des porcs	ILF
Document de référence sur les principes généraux de surveillance	MON
Document de référence sur les meilleures techniques de tannage des peaux	TAN
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie de la fabrication du verre	GLS
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie de la pâte à papier et du papier	PP
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles sur la production de fer et d'acier	I&S
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles des industries de fabrication du ciment et de la chaux	CL
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles applicables aux systèmes de refroidissement industriel	CV
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles de l'industrie de fabrication du chlore et de la soude	CAK
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux ferreux	FMP
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans les industries de métaux non ferreux	NFM
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour l'industrie des textiles	TXT
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour des raffineries de gaz et de pétrole	REF
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie chimique organique de base	LVOC
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans les systèmes de traitement/gestion des gaz et des eaux résiduaires dans le secteur chimique	CWW
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des produits alimentaires, des boissons et du lait	FM
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie de la forge et de la fonderie	SF
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles sur les émissions provenant des stockages	ESB
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles sur l'économie et les effets de réponse croisée	ECM
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour de grandes installations de combustion	LCP
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans les abattoirs et les industries de sous-produits animaliers	SA
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour la gestion des résidus et des débris de roche dans les activités minières	MTWR
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour le traitement de surface des métaux	TSM
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour les industries de traitement des déchets	WT
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour la fabrication de produits chimiques inorganiques de base (ammoniac, acides et engrais)	LVIC-AAF
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour l'incinération des déchets	WI
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour une fabrication des polymères	POL
Document de référence sur les techniques d'efficacité énergétique	ENE
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour la fabrication de produits de chimie fine organiques	OFC
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour la fabrication de produits chimiques inorganiques spécialisés	SIC
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour le traitement de surface utilisant des solvants	STS
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour la fabrication de produits chimiques inorganiques de base (solides et autres)	LVIC-S
Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie de fabrication des céramiques	CER

RÉSUMÉ

Le document de référence sur les meilleures techniques disponibles (BREF - Best Available Techniques Reference document) intitulé «Traitement de surface des métaux et matières plastiques» rend compte de l'échange d'information mené en application de l'article 16, paragraphe 2, de la directive 96/61/CE du Conseil (directive IPPC). Le présent résumé, qu'il convient de lire à la lumière de la préface du BREF qui en explique les objectifs, l'utilisation et les termes juridiques, décrit les principales constatations faites, les principales conclusions relatives aux MTD (meilleures techniques disponibles) ainsi que les niveaux d'émission et de consommation associés. Il se suffit à lui-même mais, en tant que résumé, il ne rend pas compte de toutes les complexités du texte complet du BREF. Il n'a donc pas vocation à se substituer au BREF intégral en tant qu'outil pour la prise de décisions sur les meilleures techniques disponibles

Champ d'application du présent document

La portée du présent BREF est définie par le point 2.6 de l'annexe I de la directive IPPC (96/61/CE). «*Installations de traitement de surface de métaux et matières plastiques utilisant un procédé électrolytique ou chimique, lorsque le volume des cuves affectées au traitement mises en oeuvre est supérieur à 30 m³*». L'interprétation de la formule «lorsque le volume des cuves affectées au traitement est supérieur à 30 m^3» est déterminante pour savoir si une installation donnée requiert une autorisation au titre de la directive IPPC. L'introduction de l'annexe I de la directive est fondamentale à cet égard : «*Si un même exploitant met en oeuvre plusieurs activités relevant de la même rubrique dans une même installation ou sur un même site, les capacités de ces activités s'additionnent*». De nombreuses installations exploitent une combinaison de grandes et de petites lignes de production, toutes sortes de procédés électrolytiques et chimiques, ainsi que des activités associées. Cela signifie que l'échange d'information a porté sur tous les procédés entrant dans le champ d'application ainsi défini, quelle que soit l'échelle à laquelle ils ont été exploités.

Concrètement, les procédés électrolytiques et chimiques actuellement utilisés sont à base d'eau. Les activités directement associées sont également décrites. En revanche, le BREF ne porte pas sur:

- la trempe (à l'exception du dégazage de l'hydrogène)
- d'autres traitements physiques des surfaces tels que le dépôt de métaux en phase vapeur
- la galvanisation et le décapage du fer et des aciers: ces techniques sont examinées dans le BREF relatif au traitement des métaux ferreux
- les procédés de traitement de surface qui sont examinés dans le BREF relatif aux traitements de surface par solvants, bien que le dégraissage au solvant soit évoqué dans le présent BREF en tant qu'option de dégraissage.
- l'application de peintures par électrodéposition (procédé électrophorétique) qui est également examiné dans le BREF relatif au traitements de surface par solvants.

Traitement de surface des métaux et matières plastiques

Les métaux et matières plastiques sont traités afin de modifier leurs propriétés de surface à des fins décoratives ou pour améliorer leur pouvoir de réflexion, renforcer leur dureté et leur résistance à l'usure et empêcher leur corrosion, ainsi qu'en tant que base pour améliorer l'adhésion d'autres traitements tels que peinture ou couche photosensible pour impression. Les matières plastiques dont la production est peu coûteuse et qui sont faciles à mouler ou à former conservent leurs propriétés intrinsèques telles que le pouvoir isolant et la souplesse alors que leur surface peut se voir conférer les propriétés des métaux. Les cartes de circuit imprimé sont un cas particulier dans lequel des circuits électroniques complexes sont produits à l'aide de métaux appliqués sur des surfaces en matière plastique.

Le traitement de surface des métaux proprement dit ne constitue pas un secteur vertical à part dans la mesure où il offre un service à de très nombreuses autres industries. Les cartes de circuits imprimés peuvent être considérées comme des produits, mais elles sont largement utilisées pour la fabrication, notamment, des ordinateurs, des téléphones mobiles, des appareils électroménagers, des véhicules, etc.

La structure du marché est approximativement la suivante: automobile 22 %, construction 9 %, conteneurs pour aliments et boissons 8 %, industrie électrique 7 %, produits semi-finis en acier (constituants d'autres assemblages) 7 %, équipement industriel 5 %, domaine aérospatial 5 %, autres 30 %. L'éventail des éléments traités comprend les vis, écrous et boulons, la bijouterie et les montures de lunettes, les pièces pour automobile et autres industries, y compris les rouleaux d'acier de 32 tonnes et 2 mètres de large utilisés pour l'emboutissage de carrosseries automobiles, les conteneurs pour aliments et boissons, etc. Le transport des pièces de fabrication et des substrats varie en fonction de leur taille, de leur forme et du niveau de finition requis : montages (ou crémaillères) dans le cas de pièces uniques ou en petites quantités avec finition de haute qualité, et tonneaux (tambours) dans le cas de pièces en grandes quantités avec finition de qualité inférieure, les substrats continus (du fil jusqu'aux grosses bobines d'acier) étant traités en continu. Les cartes de circuit imprimé ont des cycles de fabrication particulièrement complexes. Toutes les activités sont réalisées à l'aide de montages, par conséquent toutes les activités sont décrites et examinées pour les installations utilisant des montages, et des rubriques supplémentaires décrivent les points spécifiques pour le traitement au tonneau, sur bobines et pour les cartes de circuit imprimé.

Il n'existe pas de chiffres de production globale, mais en 2000, le volume traité de grandes bobines d'acier était d'environ 10,5 millions de tonnes et 640 000 tonnes d'éléments architecturaux avaient été anodisés. Un autre élément d'appréciation de la taille et de l'importance de l'industrie est le fait que chaque automobile contienne 4000 pièces ayant fait l'objet d'un traitement de surface, y compris les tôles de carrosserie, alors qu'un Airbus en contient plus de deux millions.

Il existe environ 18000 installations (relevant ou non de la directive IPPC) dans l'UE-15, bien que la perte de la fabrication technique, au profit de l'Asie essentiellement, ait réduit la taille du secteur d'environ 30 % ces dernières années. Plus de 55 % des exploitants sont des sous-traitants spécialisés («ateliers de travail à façon»), les autres effectuant du traitement de surface au sein d'une autre installation, généralement une PME. Quelques rares installations sont la propriété de grandes entreprises, mais la grande majorité sont des PME qui emploient classiquement entre 10 et 80 personnes. Les lignes de traitement sont habituellement modulaires et composées d'une série de cuves. Cependant, les grandes installations sont habituellement des entreprises spécialisées à forte intensité de capital.

Principaux problèmes d'environnement

Le traitement de surface des métaux contribue grandement à la prolongation de la durée de vie des métaux, notamment dans le cas des carrosseries de voitures et des matériaux de construction. Il est également utilisé pour les équipements de sécurité ou les dispositifs servant à réduire la consommation d'autres matières premières (par exemple, revêtement des systèmes de freinage et de suspension dans les industries automobile et aérospatiale, des injecteurs de carburant de précision pour les moteurs automobiles afin de réduire la consommation, ou des matériaux utilisés pour la fabrication des boîtes de conserve alimentaires etc.). Les principales incidences sur l'environnement ont trait à la consommation d'énergie et d'eau, ainsi que de matières premières, aux rejets dans les eaux de surface et les eaux souterraines, aux déchets solides et liquides sur le site et à la cessation des activités.
Les procédés couverts par le présent BREF étant essentiellement à base d'eau, la consommation d'eau et la gestion de celle-ci sont au centre des préoccupations dans la mesure où cela a également des conséquences sur la consommation de matières premières et sur les rejets de celles-ci dans l'environnement. Les techniques intégrées, tout comme celles en bout de chaîne, influent sur la quantité et la qualité des eaux résiduaires, de même que sur le type et la quantité

des déchets solides et liquides produits. Malgré une amélioration des pratiques et des infrastructures, le secteur reste responsable d'un certain nombre d'accidents écologiques, et le risque de rejets non programmés avec incidences sur l'environnement est élevé.

Il y a consommation d'électricité pour les réactions électrochimiques ainsi que pour le fonctionnement des installations. D'autres combustibles sont utilisés, essentiellement pour le chauffage des cuves de traitement et des espaces de travail, ainsi que pour le séchage.

Les rejets dans l'eau les plus problématiques sont liés aux métaux utilisés comme sels solubles. Suivant le procédé, les émissions peuvent contenir des cyanures (quoique de moins en moins), ainsi que des surfactants qui peuvent avoir une faible biodégradabilité et qui sont susceptibles de s'accumuler (par ex. NPE et SPFO). Le traitement des effluents de cyanures par de l'hypochlorite peut entraîner la production d'AOX. Les agents complexants (y compris les cyanures et l'EDTA) peuvent interférer avec l'élimination des métaux lors du traitement des eaux résiduaires ou remobiliser les métaux dans l'environnement aquatique. D'autres ions, notamment des chlorures, des sulfates, des phosphates, des nitrates et des anions contenant du bore peuvent se retrouver en quantités importantes localement.

Le secteur du traitement de surface des métaux n'est pas une source majeure d'émissions dans l'air, mais certaines émissions peuvent être importantes localement, notamment NO_x , HCl, HF, les particules acides provenant des opérations de décapage, le brouillard de chrome généré par le chromage hexavalent, les émissions d'ammoniac produites lors de l'attaque du cuivre dans la fabrication des cartes de circuit imprimé et lors de la déposition autocatalytique. De la poussière provenant des abrasifs et des produits d'abrasion est générée lors de la préparation mécanique des pièces. Des solvants sont utilisés pour certaines opérations de dégraissage.

Procédés et techniques appliqués

À de rares exceptions près, toutes les activités comportent une certaine forme de prétraitement (dégraissage, par exemple), suivi par au moins une opération de base (galvanoplastie, anodisation ou traitement chimique) et enfin le séchage. Tous les procédés ont été mis au point pour des pièces suspendues sur des crémaillères ou des montages; d'autres procédés sont également appliqués sur des pièces placées dans des tonneaux en rotation et quelques uns sont réalisés sur des dévidoirs ou de grosses bobines de substrat. La chaîne de fabrication des PCB est complexe et peut comprendre plus de 60 opérations. Des informations complémentaires sont fournies pour les activités réalisées au tonneau, sur bobines et pour la fabrication des cartes de circuit imprimé.

Consommations et émissions

Les meilleures données se rapporteraient au flux de production rapporté à la surface traitée (m^2), mais peu d'informations sont disponibles sur cette base. La plupart des données se rapportent aux concentrations d'émission de certaines installations ou indiquent des fourchettes pour des secteurs ou des régions/pays. Mis à part dans certains systèmes de refroidissement, l'eau est principalement utilisée pour le rinçage. L'énergie (combustibles fossiles et électricité) est utilisée pour les procédés thermiques et pour le séchage. Dans certains cas, l'électricité sert également au refroidissement, aux procédés électrochimiques, à l'alimentation des pompes et des dispositifs, au chauffage auxiliaire des cuves, ainsi qu'au chauffage et à l'éclairage des espaces de travail. En ce qui concerne les matières premières, l'utilisation des métaux est importante (mais pas d'une manière générale, par exemple, 4% seulement du nickel commercialisé en Europe sert au traitement de surface). Les acides et les bases sont également utilisés en très grandes quantités, tandis que d'autres matières comme les surfactants sont généralement fournis sous forme de mélanges commerciaux.

Les rejets dans l'eau sont les plus importants, et environ 300 000 tonnes de déchets dangereux sont produits chaque année (en moyenne 16 tonnes par installation), essentiellement sous forme

de boues résultant du traitement des eaux résiduaires ou de solution usée. Certaines émissions dans l'air sont importantes localement, y compris le bruit.

Techniques à prendre en considération pour la détermination des MTD

Les aspects importants pour la mise en œuvre de la directive IPPC dans ce secteur sont: des systèmes de gestion efficaces (y compris pour prévenir les accidents écologiques et limiter le plus possible leurs conséquences, en particulier pour les sols, les eaux souterraines et le déclassement des sites), une utilisation rationnelle des matières premières, de l'énergie et de l'eau; la substitution par des substances moins nocives, ainsi que la réduction, la récupération et le recyclage des déchets et des eaux résiduaires.

Ces aspects sont pris en compte grâce à diverses techniques intégrées au procédé ou en fin de chaîne. Plus de 200 techniques de prévention et réduction de la pollution sont présentées dans le présent BREF, regroupées sous les 18 rubriques thématiques suivantes :

1. Outils de gestion environnementale: les systèmes de gestion de l'environnement sont essentiels pour réduire au minimum les incidences environnementales des activités industrielles en général, et certaines mesures sont plus particulièrement importantes pour le secteur du traitement de surface des métaux, y compris le déclassement des sites. D'autres outils comprennent la réduction au minimum du refaçonnage pour éviter les incidences sur l'environnement, l'évaluation comparative des consommations, l'optimisation des lignes de traitement (ce qui s'obtient le plus aisément grâce à des outils logiciels) et le contrôle de procédés.

2. Conception, construction et exploitation de l'installation: plusieurs mesures générales peuvent être prises pour prévenir et réduire les rejets imprévus, ce qui permet d'éviter la contamination des sols et des eaux souterraines.

3. Questions générales d'exploitation: les techniques destinées à protéger les matériaux à traiter limitent les traitements requis et par conséquent les consommations et les émissions. La présentation correcte des pièces dans le liquide de traitement réduit la perte par entraînement des substances chimiques contenues dans les solutions de traitement, et l'agitation des solutions assure une concentration homogène en surface tout en dissipant la chaleur à la surface de l'aluminium dans le cas de l'anodisation.

4. Les consommables et leur gestion: certaines techniques permettent de rationaliser la consommation d'électricité ainsi que la quantité d'énergie et/ou d'eau utilisée pour le refroidissement. D'autres combustibles sont utilisés essentiellement pour chauffer les solutions, au moyen de systèmes directs ou indirects, et il est possible de limiter les déperditions de chaleur.

5. et 6. Prévention et réduction des pertes par entraînement: techniques de rinçage et de récupération des matières entraînées. Les matières premières entraînées hors des solutions de traitement par les pièces à usiner, puis introduites dans les eaux de rinçage, constituent la principale source de contamination dans le secteur. Il est essentiel, pour réduire la consommation de matières premières et d'eau, ainsi que pour limiter les émissions dans l'eau et les quantités de déchets, d'assurer la rétention des matières dans les solutions et d'utiliser des techniques de rinçage permettant de récupérer les matières entraînées.

7. Autres méthodes pour rationaliser l'utilisation des matières premières: tout comme la perte de matières par entraînement (voir ci-dessus), un mauvais contrôle des processus peut entraîner des surdosages qui augmentent la consommation de matières et les pertes dans les eaux résiduaires.

8. Techniques par électrodes: dans certains procédés électrolytiques, l'anode métallique a un débit supérieur au dépôt, ce qui entraîne une accumulation de métal et augmente les pertes, d'où une production accrue de déchets et des problèmes de qualité.

9. Substitution: pour se conformer à la directive IPPC, il convient d'envisager l'utilisation de substances moins dangereuses. Diverses options de substitution de substances chimiques et de procédés sont examinées.

10. Entretien de la solution de traitement: des contaminants introduits dans les solutions par entraînement ou résultant de la décomposition des matières premières finissent par s'accumuler dans les solutions. Des techniques sont proposées pour éliminer ces contaminants; cela permet d'améliorer la qualité du produit fini et de limiter la reprise des rebuts, ainsi que d'économiser des matières premières.

11. Récupération des métaux servant au traitement: ces techniques sont souvent utilisées en association avec des contrôles des pertes par entraînement afin de récupérer les métaux.

12: Activités post-traitement: il s'agit notamment du séchage et du dégazage, mais aucune information n'a été communiquée.

13: Bobinage continu - grosses bobines d'acier: Il s'agit de techniques spécifiques qui s'appliquent au traitement à grande échelle de bobines d'acier et qui viennent s'ajouter aux techniques applicables présentées dans les autres rubriques. Elles peuvent également s'appliquer à d'autres activités sur bobines.

14: Cartes de circuit imprimé: ces techniques sont spécifiques de la fabrication des cartes de circuit imprimé, quoique la discussion générale des techniques s'applique aussi à la production des cartes de circuit imprimé.

15: Réduction des émissions dans l'air: certaines activités génèrent des émissions dans l'air qui doivent être maîtrisées pour respecter les normes de qualité environnementale locales. Les techniques intégrées sont examinées, ainsi que l'extraction et le traitement.

16: Réduction des rejets dans les eaux résiduaires: il est possible de limiter les eaux résiduaires et la perte de matières premières, mais très rarement au point d'exclure tout rejet. Les techniques supplémentaires de traitement des eaux résiduaires sont fonction de l'espèce chimique présente, notamment cations métalliques, anions, huiles et graisse, ainsi qu'agents complexants.

17: Gestion des déchets: les techniques visant à limiter les pertes par entraînement et à assurer l'entretien des solutions permettent de réduire au minimum les déchets. Les principaux flux de déchets sont les boues issues du traitement des eaux résiduaires, les solutions usées et les déchets provenant de la maintenance du procédé. Des techniques internes peuvent compléter le recours à des techniques de recyclage par des tiers (mais celles-ci sortent du cadre du présent document).

18: Gestion du bruit: les bonnes pratiques et/ou les techniques intégrées permettent de réduire les nuisances sonores.

MTD pour le traitement de surface des métaux et matières plastiques

Le chapitre relatif aux MTD (chapitre 5) recense les techniques considérées comme MTD en général, sur la base essentiellement des informations fournies dans le chapitre 4, et compte tenu de la définition des meilleures techniques disponibles énoncée au point 11 de l'article 2, ainsi que des éléments de réflexion figurant à l'annexe IV de la directive. Le chapitre relatif aux MTD ne fixe pas de valeurs limites d'émission et n'en propose pas, mais suggère des valeurs de consommation et d'émission qui sont associées à l'utilisation de certaines MTD.

Les paragraphes ci-après récapitulent les principales conclusions en matière de MTD eu égard aux problèmes d'environnement les plus pertinents. Malgré la complexité du secteur du point de vue de la taille et de la gamme des activités, les mêmes MTD génériques s'appliquent à toutes,

et d'autres MTD sont proposées pour des procédés spécifiques. Les éléments de MTD doivent être adaptés au type spécifique d'installation.

MTD génériques

Il est considéré comme MTD de mettre en œuvre et de conserver des systèmes de gestion environnementale ou autre. Cela suppose notamment de procéder à l'évaluation comparative des consommations et des émissions (dans le temps, par rapport aux données internes et externes). Il est considéré comme MTD de protéger l'environnement, en particulier le sol et les eaux souterraines, en recourant à un système simple de gestion des risques pour concevoir, construire et exploiter une exploitation, tout en appliquant les techniques décrites dans ce document et dans le document de référence sur les MTD concernant les émissions dues au stockage, lors de l'entreposage et de l'utilisation des produits chimiques et des matières premières nécessaires au procédé. Ces MTD facilitent le déclassement des sites car elles permettent de réduire les émissions imprévues dans l'environnement, de consigner les antécédents en matière d'utilisation de substances chimiques prioritaires et dangereuses et de réagir rapidement en cas de contamination potentielle.

Il est également considéré comme MTD de réduire au minimum les pertes électriques dans le système d'alimentation ainsi que de réduire les pertes de chaleur dans les procédés thermiques. Pour le refroidissement, il est considéré comme MTD de réduire le plus possible la consommation d'eau en recourant à l'évaporation et/ou à des systèmes en circuit fermé, ainsi que de concevoir et d'utiliser des systèmes empêchant la formation et la prolifération des légionelles.

Font également partie des MTD, le fait de réduire au minimum les pertes de matières en retenant les matières premières dans les cuves de traitement tout en réduisant la consommation d'eau par un contrôle des apports et des pertes par entraînement dans les solutions de traitement, ainsi que les phases de rinçage. Cela peut être réalisé en suspendant les pièces à l'aide de montages ou en les plaçant dans des tambours pour permettre un égouttage rapide, en évitant le surdosage des solutions de traitement et en utilisant des cuves de rinçage économiques et des rinçages multiples avec débit à contre-courant permettant notamment le retour de l'eau de rinçage dans la cuve de traitement. Ces techniques peuvent être améliorées par des techniques permettant la récupération de matières lors des phases de rinçage. En utilisant une combinaison de ces techniques, la valeur de référence pouvant être obtenue pour la consommation d'eau est comprise entre 3 et 20 litres/m^2 de surface de substrat/phase de rinçage, et les facteurs limitant l'utilisation de ces techniques sont décrits. Des valeurs de rendement d'utilisation des matériaux associées à ces techniques de rétention et de récupération sont indiquées pour un échantillon d'installations.

Dans certains cas, il est possible de réduire le flux de rinçage pour un procédé donné dans une ligne de traitement, jusqu'à ce que le circuit des matériaux soit bouclé: cela est considéré comme MTD pour les métaux précieux, le chrome hexavalent et le cadmium. Il ne s'agit pas du principe «zéro rejet» qui s'applique à l'ensemble d'une ligne de traitement ou d'une installation. Cela peut être obtenu dans certains cas, mais n'est pas considéré comme MTD en général.

D'autres MTD destinées à faciliter le recyclage et la récupération consistent à repérer les flux de déchets potentiels en vue de leur séparation et de leur traitement, à réutiliser en externe les matières telles que les suspensions d'hydroxyde d'aluminium et à récupérer en externe certains acides et métaux.

Les MTD comprennent la prévention, la séparation des différents types de flux d'eaux résiduaires en maximisant le recyclage interne (en procédant au traitement en fonction des besoins) et en appliquant un traitement adéquat à chaque flux final. Cela inclut les techniques telles que le traitement chimique, le déshuilage, la sédimentation et/ou la filtration. Avant de faire appel à de nouveaux types ou de nouvelles sources de solutions chimiques, il est considéré

comme MTD de rechercher leurs éventuels effets sur le système de traitement des eaux résiduaires et, le cas échéant, de résoudre les problèmes.

Les valeurs ci-après ont été obtenues pour un échantillon d'installations de traitement de surface des métaux appliquant chacune plusieurs MTD. Elles doivent être interprétées à la lumière des observations contenues dans les chapitres 3 et 4 et à l'aide du document de référence sur les principes généraux de surveillance.

Niveaux d'émission associés à certaines installations appliquant une série de MTD*				
	procédés utilisant montage, tonneau, petites bobines et procédés autres que ceux prévus pour grosses bobines d'acier		**revêtement des grosses bobines d'acier**	
toutes les valeurs sont exprimées en mg/l	Rejets dans les égouts ou dans les eaux superficielles	déterminants applicables uniquement pour les rejets dans les eaux superficielles	**Étain ou ECCS**	**Zn ou Zn-Ni**
Ag	0,1 – 0,5			
Al		1 – 10		
Cd	0,10 – 0,2			
CN libre	0,01 – 0,2			
CrVI	0,1 – 0,2		0,001 – 0,2	
Cr total	0,1 – 2,0		0,03 – 1,0	
Cu	0,2 – 2,0			
F		10 – 20		
Fe		0,1 – 5	2 – 10	
Ni	0,2 – 2,0			
Phosphate sous forme de P		0,5 – 10		
Pb	0,05 – 0,5			
Sn	0,2 – 2,0		0,03 – 1,0	
Zn	0,2 – 2,0		0,02 – 0,2	0,2 – 2,2
DCO		100 – 500	120 – 200	
Total Hydrocarbures		1 – 5		
VOX		0,1 – 0,5		
Solides en suspension		5 – 30	4 – 40 (eaux de surface seulement)	
*Ces valeurs sont celles obtenues pour des composés quotidiens non filtrés avant analyse et prélevés après traitement et avant tout type de dilution, par exemple par l'eau de refroidissement, par d'autres eaux de traitement ou par les eaux réceptrices.				

Les émissions dans l'air peuvent compromettre la qualité de l'environnement localement et il est donc considéré comme MTD d'éviter les émissions fugitives dues à certains procédés en procédant par extraction et traitement. Ces techniques sont décrites et les valeurs de référence associées sont indiquées pour un échantillon d'installations.

Il est considéré comme MTD de lutter contre le bruit en recourant aux bonnes pratiques telles que fermer les portes des travées, limiter le plus possible les livraisons et adapter les heures de livraison, ou si nécessaire en faisant appel à des solutions intégrées spécifiques.

MTD spécifiques

L'utilisation de substances moins dangereuses fait partie des MTD. Il est considéré comme MTD de remplacer l'EDTA par des produits de substitution biodégradables ou de recourir à des techniques de substitution. Lorsqu'il est indispensable d'utiliser de l'EDTA, la MTD consiste à réduire au minimum les pertes de cette substance et à traiter tout résidu dans les eaux résiduaires. En ce qui concerne le SPFO, la MTD est de réduire le plus possible l'utilisation de cette substance en contrôlant les apports, en limitant au maximum les vapeurs grâce à des techniques telles que les panneaux isolants à surface flottante. Cependant, des problèmes d'hygiène et sécurité du travail peuvent se poser. Il est possible de se passer de cette substance pour l'anodisation, et il existe des procédés de substitution pour le chrome hexavalent, ainsi que des procédés de zingage sans cyanure.

Il n'est pas possible de remplacer le cyanure dans toutes les applications, mais le dégraissage au cyanure ne fait pas partie des MTD. Les substituts de cyanure de zinc conformes aux MTD sont le zinc acide ou basique sans cyanure, et pour le cyanure de cuivre, les produits acides ou à base de pyrophosphates, à quelques exceptions près.

Le chrome hexavalent ne peut pas être remplacé pour le chromage dur. Les MTD pour le placage décoratif utilisent le chrome trivalent ou des procédés de substitution à base d'étain-cobalt; toutefois, au niveau d'une installation, le traitement par le chrome hexavalent peut se justifier pour satisfaire à certaines spécifications telles que la résistance à l'usure ou la couleur. En cas d'utilisation de chrome hexavalent, il est considéré comme MTD de réduire les émissions dans l'air par des techniques consistant notamment à recouvrir la solution ou la cuve et à réaliser un circuit fermé pour le chrome hexavalent et, dans certaines situations pour les lignes nouvelles ou rebâties, à enfermer la ligne. Il n'est pas possible pour le moment de formuler une MTD pour la passivation chromique, même s'il est considéré comme MTD de remplacer les systèmes au chrome hexavalent dans les finitions phospho-chromiques par des systèmes utilisant du chrome non hexavalent.

Pour le dégraissage, il est considéré comme MTD de communiquer avec les clients pour réduire au minimum la quantité de graisse ou d'huile appliquée et/ou pour éliminer l'huile en excès par des techniques physiques. Il est considéré comme MTD de remplacer le dégraissage au solvant par d'autres techniques, généralement à base d'eau, sauf lorsque cela risque d'endommager le substrat. Dans les systèmes de dégraissage aqueux, il est considéré comme MTD de réduire la consommation de substances chimiques et d'énergie en utilisant des systèmes à longue durée de vie avec entretien ou régénération des solutions.

Il est considéré comme MTD d'augmenter la durée de vie de la solution de traitement, de même que d'en préserver la qualité en la surveillant et en l'entretenant de manière que ses caractéristiques restent comprises dans certaines limites établies en recourant aux techniques décrites au chapitre 4.

Pour le décapage à grande échelle, il est considéré comme MTD de prolonger la durée de vie de l'acide par des techniques telles que l'électrolyse. Les acides peuvent aussi être récupérés en externe.

Il existe des MTD spécifiques pour l'anodisation qui consistent notamment à récupérer la chaleur des bains de colmatage dans certains cas. Il est également considéré comme MTD de récupérer l'agent de gravure en cas de consommation élevée, à condition qu'il n'y ait pas d'additifs qui interfèrent et que la surface puisse satisfaire aux spécifications. Il n'est pas considéré comme MTD de terminer les cycles de rinçage à l'eau par de l'eau désionisée à cause des effets multi-milieux des régénérations.

Pour le traitement à grande échelle des bobines d'acier, outre les autres MTD applicables, sont considérés comme MTD :

- l'utilisation de contrôles de procédés en tant réel pour optimiser les procédés
- le remplacement des moteurs usagés par des moteurs à faible consommation d'énergie
- l'utilisation de rouleaux pinceurs pour éviter l'apport et la perte de matières par entraînement dans la solution de traitement
- l'inversion de polarité des électrodes à intervalles réguliers lors du dégraissage et du décapage électrolytiques.
- la réduction de la consommation d'huile grâce à l'utilisation de huileurs électrostatiques couverts
- l'optimisation de l'espace anode-cathode dans les procédé électrolytiques
- l'optimisation des performances du cylindre conducteur par polissage
- l'utilisation de polisseuses pour éliminer les accumulations de métal sur le bord de la bande
- l'utilisation de caches-chants pour éviter l'accumulation de métal et les coulures en cas de placage d'une seule face.

Pour les cartes de circuit imprimé, outre les autres MTD applicables, sont considérés comme MTD :

- l'utilisation de rouleaux pinceurs pour éviter l'apport et la perte de matières par entraînement dans la solution de traitement
- l'utilisation de techniques à faibles incidences sur l'environnement pour les étapes de liaison des couches internes
- pour le vernis isolant sec : la réduction de la perte par entraînement, l'optimisation de la concentration et la vaporisation du révélateur, avec séparation du vernis révélé de l'eau résiduaire
- pour le décapage : optimisation régulière des concentrations de l'agent décapant, et pour le décapage à l'ammoniaque, régénération de la solution de décapage avec récupération du cuivre.

Techniques nouvelles

Certaines nouvelles techniques permettant de réduire au minimum les incidences sur l'environnement sont en phase de développement ou ont un usage si limité qu'elles sont considérées comme des techniques nouvelles. Cinq d'entre elles sont examinées dans le chapitre 6 : l'intégration des traitements de surface dans la fabrication a été démontrée avec succès dans trois cas, mais n'est pas totalement effective pour diverses raisons. Un procédé de substitution utilisant du chrome trivalent pour le chromage dur et un courant pulsé modifié est au point et a entamé la phase des vérifications de pré-production dans trois applications classiques. Le coût des équipements sera plus élevé, mais il sera compensé par une moindre consommation d'électricité et de substances chimiques, ainsi que par d'autres économies. Des substituts du chrome hexavalent sont en cours de développement pour la passivation afin de satisfaire aux exigences de deux directives. L'électrodéposition d'aluminium et d'alliages d'aluminium à partir d'électrolytes organiques a été démontrée avec succès, mais nécessite l'emploi de solvants explosifs et inflammables. En ce qui concerne les cartes de circuit imprimé, les interconnexions à haute densité permettent d'utiliser moins de matériaux, et l'image peut être améliorée, moyennant une consommation réduite de substances chimiques, grâce à l'utilisation de lasers.

Conclusions

Le présent BREF s'appuie sur plus de 160 sources d'information, l'industrie (davantage les exploitants que les fournisseurs), comme les États membres, ayant fourni des renseignements essentiels. Les problèmes suivants sont détaillés en ce qui concerne les données : Il s'agit essentiellement d'un manque d'informations quantitatives cohérentes. Les données concernant les niveaux de consommation et d'émission sont en général fournies pour des groupes de techniques, plutôt que pour chaque technique isolément. De ce fait, certaines MTD sont

générales, ou bien aucune conclusion n'a été formulée, alors que des conclusions spécifiques seraient utiles pour l'industrie et les autorités de réglementation.

Le niveau de consensus sur les conclusions a été relativement bon et aucune opinion divergente n'a été enregistrée.

Le présent BREF, qui résulte de l'échange d'information, est un pas important sur la voie de la prévention et du contrôle intégrés de la pollution engendrée par le traitement de surface des métaux et matières plastiques. D'autres travaux pourraient nous permettre de continuer sur cette voie en fournissant :

- des informations actualisées sur l'utilisation du SPFO et de ses substituts, ainsi que sur les techniques de substitution de la passivation par le chrome hexavalent
- davantage de données quantitatives sur les avantages obtenus pour l'environnement, les effets multi-milieux et l'économie, en particulier pour le chauffage, le refroidissement, le séchage et l'utilisation/réutilisation de l'eau
- des renseignements complémentaires sur les techniques nouvelles recensées dans le chapitre 6.
- des logiciels d'optimisation des procédés valables pour divers procédés et disponibles dans plusieurs langues.

D'autres travaux importants, qui sortent du cadre du présent BREF, mais qui découlent de l'échange d'information, sont recommandés, notamment :

- la définition d'objectifs environnementaux stratégiques pour le secteur dans son ensemble
- l'établissement d'une liste de priorités de recherche de l'industrie
- l'organisation d'un «club» ou d'activités coopératives, notamment pour produire une partie de ces travaux complémentaires
- le recours à une approche de type «club» pour encourager la récupération de certains déchets par des tiers (en particulier métaux et acides de décapage), lorsque des techniques intégrées ne sont pas disponibles
- l'élaboration du concept de l'«indéfiniment recyclable» pour les métaux et la finition des métaux, afin de conseiller les fabricants et les clients
- l'élaboration et la promotion de normes basées sur la performance pour faciliter l'acceptation de nouvelles techniques ayant une meilleure performance environnementale.

L'échange d'information a également mis en évidence certains domaines qui pourraient utilement bénéficier de projets de R&D :

- l'extension de la durée de vie des bains et/ou la récupération du métal pour la déposition autocatalytique. Ces bains ont une durée de vie très limitée et sont une source importante de déchets métalliques;
- des techniques permettant de mesurer rapidement et à peu de frais la surface des pièces à usiner aideraient l'industrie à maîtriser plus aisément ses procédés, ses coûts et partant, ses consommations et ses émissions; ces techniques devraient consister notamment à établir une relation entre la surface et d'autres mesures du flux de production telles que la consommation de métal ou le tonnage de substrats traités;
- les possibilités d'extension de l'utilisation des techniques et du matériel d'électrodéposition sous courant modulé. Cette technique permet de résoudre certains des problèmes rencontrés avec l'électrodéposition classique sous tension constante;
- l'amélioration du rendement d'utilisation des matériaux de certains des procédés recensés.

Dans le cadre de ses programmes de R&D , la Communauté européenne mène et subventionne une série de projets concernant les technologies propres, les nouvelles techniques de recyclage et de traitement des effluents et les stratégies de gestion en la matière. Ces projets représentent potentiellement une contribution précieuse pour les futurs réexamens du BREF. Les lecteurs sont donc invités à informer l'EIPPCB de tout résultat de recherche présentant de l'intérêt pour ce document (voir également la préface du BREF).

PREFACE

1. Statut du présent document

Sauf indication contraire, les références à la « directive » dans le présent document renvoient à la directive 96/61/CE du Conseil sur la prévention et la réduction intégrées de la pollution. La directive s'applique sans préjudice des dispositions de la communauté sur la santé et la sécurité sur le lieu de travail, tout comme le présent document.

Le présent document fait partie d'une série de documents présentant les résultats d'un échange d'informations entre les États membres de l'UE et les industries concernées sur les meilleures techniques disponibles (MTD), la surveillance associée et 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 »].

* Note : Les parenthèses seront supprimées une fois que la procédure de publication par la Commission sera achevée.

2. Obligations légales prévues par la directive IPPC et définition des MTD

Afin de clarifier le contexte juridique dans lequel le présent document a été rédigé, certaines des principales dispositions de la directive IPPC, dont la définition du terme « meilleures techniques disponibles » sont décrites dans la présente préface. Cette description est inévitablement incomplète et n'est donnée qu'à titre d'information. Elle n'a pas de valeur juridique et ne modifie ou ne porte atteinte en aucun cas aux dispositions de la directive.

La directive a pour objet la prévention et la réduction intégrées de la pollution provenant des activités listées dans son annexe I, afin de garantir un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. La base juridique de la directive est liée aux objectifs de protection de l'environnement. Lors de sa mise en œuvre, il conviendra de tenir également compte d'autres objectifs de la communauté, comme la compétitivité de l'industrie communautaires, ce qui permettra de contribuer développement durable.

Plus spécifiquement, la directive prévoit un système d'autorisation pour certaines catégories d'installations industrielles, en vertu duquel les exploitants et les 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 processus industriels, afin de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble. Le principe général présenté dans 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 œuvre les meilleures techniques disponibles afin d'améliorer leur performance environnementale.

L'expression « meilleures techniques disponibles » est défini 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 de 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(11) précise ensuite cette définition comme suit :

- Par « techniques », on entend aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt ;

- Par « disponibles », on entend les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient 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 ;

- Par « meilleures », on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

En outre, l'annexe IV de la directive contient 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 les 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 les autorisations sont invitées à tenir compte des principes généraux définis à l'article 3, lorsqu'elles établissent les conditions d'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. Selon 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. Ils 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 réduction de la pollution à longue distance ou transfrontière et garantir un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

Les États membres ont l'obligation, selon l'article 11 de la directive, de garantir que les autorités compétentes suivent ou sont informées des développements des meilleures techniques disponibles.

3. Objectif du présent document

L'article 16, paragraphe 2 de la directive demande à la Commission d'organiser « un échange d'informations entre les États membres et les industries impliquées dans les meilleures techniques disponibles, les prescriptions de contrôle associées et leur évolution », et de publier les résultats de l'échange.

L'objet de l'échange d'informations est défini au considérant 25 de la directive, qui prévoit que « considérant que les progrès et les échanges d'informations au niveau communautaire en ce qui concerne les meilleures techniques disponibles permettront de réduire les déséquilibres au plan technologique dans la Communauté, favoriseront la diffusion au plan mondial des valeurs limites et des techniques utilisées dans la Communauté et aideront les États membres dans la mise en œuvre efficace de la présente directive. »

La Commission (DG Environnement) a mis en place un forum d'échange d'informations (FEI) pour faciliter les travaux entrepris en application l'article 16, paragraphe 2. Un certain nombre de groupes de travail technique ont par ailleurs été créés sous l'égide du FEI. Le FEI comme les groupes de travail technique 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 établi conformément à l'article 16, paragraphe 2 et de fournir des informations de référence à l'instance chargée de délivrer les autorisations pour qu'elle les prenne en compte lors de la définition des conditions d'autorisation. En fournissant des informations pertinentes relatives aux meilleures techniques disponibles, ces documents doivent devenir des outils précieux pour l'amélioration de la performance environnementale.

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. Comprendre et utiliser le présent document

Les informations contenues dans le présent document sont prévues pour servir de base à la détermination des MTD dans certains cas particuliers. Lors de la détermination des MTD et lors de la fixation des conditions d'autorisation basées sur les MTD, 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.

Le reste de cette section décrit le type d'informations présentées dans chaque section du document.

Les chapitres 1 et 2 fournissent des informations générales relatives au secteur industriel concerné et aux procédés industriels utilisés dans ce secteur. Le chapitre 3 fournit des données et des informations relatives aux niveaux d'émission et de consommation actuels qui reflètent la situation dans des installations existantes au moment de la rédaction du présent document.

Le chapitre 4 décrit de manière plus détaillée les techniques, notamment de réduction des émissions, qui sont considérées comme les plus pertinentes pour la détermination des MTD et pour la détermination des conditions d'autorisation basées sur les MTD. Ces informations indiquent les niveaux de consommation et d'émission qu'il est possible d'atteindre avec la technique considérée, donnent une estimation des coûts et

des effets de réponse croisée associés à la technique, et précisent dans quelle mesure la technique est applicable aux installations nécessitant des autorisations IPPC (installations nouvelles, existantes, de grande ou petite dimension, par exemple). Les techniques généralement considérées comme obsolètes ne sont pas décrites.

Le chapitre 5 présente les techniques et les niveaux d'émission et de consommation jugés compatibles avec les MTD au sens général. Le but est ainsi de fournir des indications générales sur les niveaux d'émission et de consommation qu'il est possible de considérer comme des valeurs de référence appropriées pour aider à la détermination des conditions d'autorisation basées sur les MTD ou à l'établissement de 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 des facteurs locaux spécifiques du site, à savoir, les caractéristiques techniques de l'installation concernée, son implantation géographique et les conditions environnementales locales. Dans le cas d'installations existantes, la viabilité économique et technique de leur modernisation doit également être prise en compte. 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 environnementaux, et ces compromis seront souvent influencés par des considérations locales.

Bien que ce document cherche à aborder certaines de ces questions, il ne pourra pas les traiter de manière exhaustive. Les techniques et niveaux présentés au chapitre 5 ne sont donc pas forcément appropriés pour toutes les installations. Par ailleurs, l'obligation de garantir un niveau élevé de protection environnementale, y compris la réduction d'une pollution à longue distance ou transfrontières, suppose que les conditions d'autorisation ne peuvent pas être définies sur la base de considérations purement locales. Il est donc de la plus haute importance que les autorités délivrant les autorisations tiennent compte des informations contenues dans ce document.

Les meilleures techniques disponibles étant modifiées au fil du temps, ce document sera révisé et mis à jour dès que nécessaire. Tous les commentaires et suggestions peuvent être envoyés au bureau européen de l'IPPC de l'Institut de prospective technologique à l'adresse suivante :

Edificio Expo; C/ Inca Garcilaso s/n; E-41092 Séville, Espagne
Téléphone : +34 95 4488 284
Télécopie : +34 95 4488 426
Courriel : eippcb@jrc.es
Site Internet : http://eippcb.jrc.es

DOCUMENT DE REFERENCE SUR LES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES POUR LE TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX ET MATIERES PLASTIQUES

RESUME DE SYNTHESE I

PREFACE XIII

CHAMP D'APPLICATION XXXIV

1 INFORMATIONS D'ORDRE GENERAL SUR LE TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX ET MATIERES PLASTIQUES 1

1.1 Industries utilisant des traitements de surface 2
1.2 Structure de l'industrie et contexte économique 4
1.2.1 Type et taille des installations 4
1.2.2 Durée de vie des équipements 5
1.2.3 Caractéristiques techniques des installations 5
1.2.4 Structure du marché 6
1.2.4.1 Concurrence 6
1.2.4.2 Etendue du marché 6
1.2.4.3 Substituts de marché 7
1.2.5 Résumé de la situation économique générale 8
1.3 Activités spécifiques du secteur 8
1.3.1 Anodisation de panneaux et de profilés architecturaux d'aluminium 8
1.3.2 Revêtement de l'acier en continu et à grande échelle 10
1.3.3 Anodisation de bandes et de plaques en continu pour l'impression lithographiques (offset) 15
1.3.4 Traitement en continu de bande d'aluminium 15
1.3.5 Cartes de circuit imprimé 16
1.4 Principaux problèmes environnementaux 18
1.4.1 Vue d'ensemble 18
1.4.2 L'eau 19
1.4.3 L'énergie 20
1.4.4 Substances en cause 21
1.4.4.1 Métaux 23
1.4.4.2 Cyanures 24
1.4.4.3 Hypochlorite, chlore et composés organohalogénés absorbables (AOX) 24
1.4.4.4 Agents de surface 24
1.4.4.5 Agents complexants 25
1.4.4.6 Acides et alcalis 25
1.4.4.7 Autres ions 25
1.4.4.8 Solvants 26
1.4.4.9 Poussières 26
1.4.4.10 Déchets 26
1.4.5 Autres types d'émissions 26
1.4.5.1 Le bruit 26
1.4.5.2 Emanations d'odeur 27

2 PROCEDES ET TECHNIQUES APPLIQUES 28

2.1 Livraison et stockage – pièces de fabrication et matières premières consommables 33
2.1.1 Pièces de fabrication entrantes et/ou substrats à traiter. 33
2.1.2 Matières premières consommables 34
2.2 Techniques de manipulation et de chargements pour le traitement 35
2.3 Pré-traitement d'une pièce de fabrication ou d'un substrat 37
2.3.1 Pré-traitement mécanique 38
2.3.1.1 Travail à la bande abrasive et polissage 38
2.3.1.2 Abrasion par projection 38
2.3.1.3 Ebavurage et/ou polissage au tonneau 39
2.3.2 Polissage électrolytique et chimique 39
2.3.2.1 Polissage électrolytique 40
2.3.2.2 Polissage électrolytique par décharge électrique (également connu sous le nom de polissage électrolytique au plasma) 41
2.3.2.3 Traitement de polissage électrolytique et chimique pour l'aluminium 41
2.3.3 Dégraissage au solvant 41
2.3.4 Nettoyage à l'eau 42

2.3.5 Autres techniques de nettoyage ... 44
2.3.5.1 Lames d'air ... 44
2.3.5.2 Centrifugeuses ... 44
2.3.5.3 Glace carbonique ... 44
2.3.5.4 Nettoyage à la main ... 44
2.3.6 Décapage, décalaminage et élimination de dépôt ... 45
2.3.7 Attaque chimique et décalaminage de l'aluminium ... 46
2.3.8 Décapage, activation et dégraissage assisté par électrolytique ... 47
2.3.9 Décapage des métaux ... 47
2.3.10 Prétraitement des matières plastiques (attaque chimique) ... 48
2.3.10.1 Conditionnement des matières plastiques ... 48
2.3.10.2 Attaque chimique ou décapage des matières plastiques ... 49
2.4 Pertes par entraînement et rinçage ... 49
2.5 Activités principales ... 51
2.5.1 Cuivrage et revêtement d'alliage de cuivre ... 51
2.5.1.1 Cuivrage alcalin ... 51
2.5.1.2 Cuivrage acide ... 51
2.5.1.3 Pyrophosphate de cuivre ... 52
2.5.1.4 Le laiton ... 53
2.5.1.5 Le bronze ... 53
2.5.2 Nickelage électrolytique ... 53
2.5.2.1 Solutions de nickel de type Watts ... 55
2.5.2.2 Solutions à base de sulfamate de nickel ... 56
2.5.2.3 Solution à base de chlorure de nickel ... 58
2.5.2.4 Solutions à base de sulfate de nickel ... 58
2.5.2.5 Autres solutions de nickelage ... 58
2.5.2.6 Solutions de déposition d'alliage de nickel ... 58
2.5.3 Chromage ... 58
2.5.3.1 Chromage brillant (électrolytes au chrome hexavalent) ... 60
2.5.3.2 Chromage brillant (électrolytes de chrome trivalent) ... 60
2.5.3.3 Chromage noir ... 61
2.5.3.4 Chromage dur ... 61
2.5.4 Zingage et dépôt d'alliage de zinc ... 62
2.5.4.1 Zinc alcalin cyanuré ... 62
2.5.4.2 Zinc alcalin exempt de cyanure ... 63
2.5.4.3 Zinc acide ... 64
2.5.4.4 Déposition d'alliage de zinc ... 64
2.5.5 Cadmiage ... 65
2.5.6 Etamage et électrodéposition d'alliage d'étain ... 66
2.5.7 Dépôt de métaux précieux ... 67
2.5.7.1 Argent ... 68
2.5.7.2 Or ... 68
2.5.7.3 Le palladium et ses alliages ... 69
2.5.7.4 Le rhodium ... 70
2.5.7.5 Le platine ... 70
2.5.8 Dépôt autocatalytique (revêtements catalytiques par réduction chimique) ... 71
2.5.8.1 Nickelage autocatalytique sur métaux ... 71
2.5.8.2 Nickelage autocatalytique pour les matières plastiques ... 72
2.5.8.3 Cuivrage autocatalytique sur les métaux et les matières plastiques ... 73
2.5.9 Revêtements par immersion ou déplacement – revêtement non catalytique par réduction chimique ... 74
2.5.10 Peinture par électrophorèse ou par électrodéposition ... 75
2.5.11 Vernissage ... 76
2.5.12 Huilage ... 76
2.5.13 Anodisation ... 76
2.5.13.1 Anodisation de l'aluminium à l'acide sulfurique ... 79
2.5.13.2 Anodisation à l'acide chromique de l'aluminium ... 80
2.5.13.3 Anodisation du magnésium, du titane, du tantale et du niobium ... 81
2.5.13.4 Anodisation à l'acide phosphorique ... 81
2.5.14 Anodisation colorée sur l'aluminium ... 82
2.5.14.1 Coloration par immersion ... 82
2.5.14.2 Coloration électrolytique ... 82
2.5.14.3 Coloration d'interférence ... 82

2.5.14.4 Coloration intégrale ... 83
2.5.15 Colmatage à la suite d'une anodisation ... 83
2.5.15.1 Colmatage à chaud ... 83
2.5.15.2 Colmatage à froid ... 83
2.5.16 Revêtements de conversion de couches par phosphatation ... 84
2.5.16.1 Phosphatation alcaline ... 85
2.5.16.2 Phosphatation au zinc ... 86
2.5.16.3 Phosphatation au manganèse ... 88
2.5.17 Revêtements de conversion au chrome ... 88
2.5.17.1 Revêtements de conversion au chrome (VI) ... 89
2.5.17.2 Revêtements de conversion au chrome (VI) sur des couches de zinc électrodéposées ... 89
2.5.17.3 Revêtement de conversion au chrome (VI) sur du cuivre, du laiton et du bronze ... 89
2.5.17.4 Revêtements de conversion au chrome (VI) sur l'aluminium ... 89
2.5.17.5 Revêtement de conversion au chrome (VI) sur du magnésium et ses alliages ... 90
2.5.17.6 Revêtements de conversion au chrome trivalent (Cr(III)) sur de l'aluminium et du zinc électrodéposé ... 90
2.5.17.7 Couches de finition pour les revêtements de conversion par chromatation ... 91
2.5.18 Coloration du métal ... 92
2.5.19 Décapage brillant ... 92
2.5.20 Noircissage chimique – revêtements d'oxyde ... 92
2.5.21 Brillantage ... 93
2.5.22 Attaque chimique – attaque chimique alcaline de l'aluminium ... 94
2.5.23 Usinage chimique ... 95
2.6 Activité de post-traitement ... 96
2.6.1 Séchage à l'eau chaude ... 96
2.6.2 Séchage à l'air chaud ... 97
2.6.3 Séchage aux lames d'air ... 97
2.6.4 Traitement thermique pour la défragilisation à l'hydrogène ... 97
2.7 Techniques couramment utilisées pour le traitement des eaux résiduaires et de l'eau, l'entretien de la solution de traitement et le recyclage de matériaux ... 97
2.7.1 Filtration ... 98
2.7.2 Techniques d'absorption ... 98
2.7.3 Cristallisation ... 98
2.7.4 Evaporation atmosphérique ... 99
2.7.5 Evaporation sous vide ... 99
2.7.6 Electrolyse – déposition ... 99
2.7.7 Electrolyse – oxydation ... 99
2.7.8 Echange ionique - résine ... 99
2.7.9 Electrodésionisation ... 100
2.7.10 Sorption d'acide (par résine) ... 100
2.7.11 Echange ionique –liquide/liquide ... 100
2.7.12 Filtration sur membrane ... 100
2.7.13 Osmose inverse ... 101
2.7.14 Dialyse par diffusion ... 101
2.7.15 Electrolyse par membrane ... 101
2.7.16 Electrodialyse ... 101
2.8 Traitement au tonneau ... 101
2.8.1 Préparation des pièces de fabrication ... 101
2.8.2 Activités principales ... 102
2.8.3 Séchage des composants au tonneau ... 102
2.9 Acier en bande continu – à grande échelle ... 102
2.9.1 Equipement d'entrée ... 103
2.9.2 Rinçage et pertes par entraînement ... 104
2.9.3 Prétraitement ... 104
2.9.3.1 Dégraissage et nettoyage ... 104
2.9.3.2 Décapage ... 105
2.9.4 Activité de revêtement – dépôt électrolytique ... 105
2.9.5 Activités de revêtement - huilage ... 109
2.9.6 Activités de conversion de couche ... 109
2.9.7 Activités post-traitement ... 110
2.9.7.1 Séchage ... 110
2.9.7.2 Déchargement – accumulateur de sortie ... 110
2.9.8 Activités de dépôt électrolytique de nickel-zinc ou de zinc continu ... 110

2.9.8.1 Equipement d'entrée 111
2.9.8.2 Dégraissage 111
2.9.8.3 Séchage 113
2.9.8.4 Accumulateur d'entrée et planeuse par traction 113
2.9.8.5 Dégraissage électrolytique 113
2.9.8.6 Décapage 115
2.9.8.7 Dépôt électrolytique 116
2.9.8.8 Polisseuse de bande 117
2.9.8.9 Phosphatation 118
2.9.8.10 Chromage total et rinçage de chromatation 119
2.9.8.11 Huilage 120
2.9.8.12 Accumulateur de sortie 120
2.9.9 Activité d'étamage électrolytique en continu 120
2.9.9.1 Dégraissage et nettoyage 121
2.9.9.2 Décapage 122
2.9.9.3 Etamage 123
2.9.9.4 Pertes par entraînement 124
2.9.9.5 Marquage différentiel. 125
2.9.9.6 Refusion – brillantage de l'étain 125
2.9.9.7 Traitements de passivation 126
2.9.9.8 Huilage 127
2.9.10 Activités de chromage électrolytique en continu (chromage électrolytique de l'acier – ECCS) 127
2.9.10.1 Dégraissage et nettoyage 128
2.9.10.2 Décapage 130
2.9.10.3 Chromage 130
2.9.10.4 Pertes par entraînement et rinçage 131
2.9.10.5 Huilage 131
2.9.11 Plombage électrolytique de l'acier en continu 131
2.10 Traitement en feuille des plaques d'aluminium lithographiques 132
2.10.1 Grenage de surface 132
2.10.2 Oxydation anodique (anodisation) 132
2.10.3 Post-traitement 133
2.10.4 Revêtement et traitement supplémentaire 133
2.11 Fabrication de cartes de circuit imprimé 133
2.11.1 Opérations préliminaires 137
2.11.1.1 Conception d'une carte 137
2.11.1.2 Création de masques photographiques (laboratoire photographique) 137
2.11.1.3 Sérigraphie 138
2.11.2 Etapes de production 138
2.11.2.1 Préparation mécanique et chimique 138
2.11.2.2 Perçage 140
2.11.2.3 Génération de l'image primaire 140
2.11.2.4 Métallisation des trous débouchants (trous métallisés). 144
2.11.2.5 Dépôt électrolytique d'un motif conducteur 147
2.11.2.6 Adhérence de liaison des couches internes 149
2.11.2.7 Stratification 150
2.11.2.8 Décapage de la réserve 151
2.11.2.9 Attaque chimique 153
2.11.2.10 Décapage de l'étain 154
2.11.2.11 Application d'un masque de soudure 155
2.11.3 Activités de finition de surface supplémentaire 157
2.11.3.1 Application de soudure 157
2.11.3.2 Nickel-or et/ou étain 158
2.11.3.3 Passivation organique 158
2.11.3.4 Autres activités – Montages de décapage (démétallisation) et panier de métallisation 158
2.12 Produits consommables 158
2.12.1 Energie 159
2.12.1.1 Electricité 159
2.12.1.2 Combustibles fossiles et chauffage du traitement 159
2.12.1.3 Refroidissement des solutions de traitement 160
2.12.1.4 Autres exigences énergétiques à l'intérieur de l'installation 161
2.12.2 Eau 161

2.13 Réduction des émissions éventuelles dans l'environnement 161
2.13.1 Eau résiduaire 162
2.13.1.1 Techniques de traitement 164
2.13.1.2 Matériaux organiques 164
2.13.1.3 Acides et alcalis 166
2.13.1.4 Matériau particulier 166
2.13.1.5 Métaux – anions solubles 166
2.13.1.6 Réduction de l'état d'oxydation des ions métalliques 167
2.13.1.7 Précipitation du floc métallique 167
2.13.1.8 Agents complexants (séquestrants, chélatants) 169
2.13.1.9 Matériaux azotés 169
2.13.1.10 Cyanures 170
2.13.1.11 Suflure 170
2.13.1.12 Fluorures 170
2.13.1.13 Composés phosphatés 170
2.13.1.14 Autres sels 171
2.13.1.15 Nettoyage final de l'effluent (polissage) 171
2.13.2 Déchets 171
2.13.2.1 Déshydratation des boues 171
2.13.2.2 Séchage des boues 171
2.13.2.3 Déchets liquides 172
2.13.2.4 Autres déchets solides 172
2.13.2.5 Stabilisation des boues 172
2.13.2.6 Valorisation des déchets 173
2.13.3 Déchets gazeux et autres émissions atmosphériques 173
2.13.3.1 Sources et types d'émission 173
2.13.3.2 Mesures destinées à réduire les émissions 174
2.13.3.3 Systèmes d'extraction 174
2.13.3.4 Traitements des déchets gazeux 174
2.13.4 Bruit 175

3 NIVEAU DE CONSOMMATION ET D'EMISSION ACTUELS CONCERNANT LE TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX ET DES MATIERES PLASTIQUES 176
3.1 Introduction – services et matériaux consommables 176
3.2 Consommations et émissions – utilités 177
3.2.1 Energie 177
3.2.2 Eau 178
3.2.3 Consommations et émissions – matériaux 179
3.2.3.1 Prétraitement – dégraissage 179
3.2.3.2 Décapage 180
3.2.3.3 Rinçage 180
3.2.3.4 Traitements de surface principaux 180
3.3 Emissions globales 184
3.3.1 Eaux résiduaires 184
3.3.1.1 Conclusions concernant les émissions d'eaux résiduaires 193
3.3.2 Déchets 197
3.3.3 Emissions atmosphériques 198
3.3.3.1 Conclusions concernant les émissions atmosphériques 207
3.3.4 Le bruit 212
3.4 Consommations et émissions concernant d'autres activités 213
3.4.1 Etamage électrolytique continu de l'acier et chromage électrolytique continu de l'acier (ECCS) 213
3.4.2 Zingage et dépôt de zinc-nickel électrolytique continu de l'acier 215
3.4.3 Fabrication de cartes de circuit imprimé 217
3.4.3.1 Consommation d'eau dans la production de PCB 217
3.4.3.2 Matières premières et produits auxiliaires utilisés et moyens éventuels de les éliminer 217
3.4.3.3 Eaux résiduaires provenant de la production de PCB 221
3.4.3.4 Déchets provenant de la production de PCB 221
3.4.3.5 Emissions atmosphériques issues de la production de PCB 221

4 TECHNIQUES A PRENDRE EN CONSIDERATION ~~A ENVISAGER~~ POUR ~~AFIN DE~~ DETERMINER LES MTD 223
4.1 Techniques de gestion 224

4.1.1 Outils de management environnemental 224
4.1.1.1 Problèmes spécifiques d'un SME liés aux activités de traitement de surface 233
4.1.2 La diminution des étapes de traitement par l'introduction de spécification de procédés et d'un contrôle qualité 235
4.1.3 Evaluation comparative 238
4.1.3.1 Evaluation comparative des consommations d'eau 241
4.1.4 Optimisation de la chaîne de traitement 243
4.1.5 Contrôle de procédés en temps réel 245
4.2 Conception, construction et fonctionnement d'une installation 245
4.2.1 Prévention de la pollution provenant de rejets accidentels – planification, conception, construction et autres systèmes 245
4.2.1.1 Bacs étanches à l'huile 248
4.2.2 Stockage des produits chimiques 249
4.2.3 Type de chaîne de traitement et construction 250
4.3 Problèmes généraux de fonctionnement 251
4.3.1 Protection des pièces de fabrication et des substrats – avant et après traitement 252
4.3.1.1 Réduction de la durée de stockage 252
4.3.1.2 Conditions de stockage et de transport 253
4.3.1.3 Emballage 253
4.3.1.4 Revêtement de prévention de la corrosion grâce à de l'huile ou de la graisse 254
4.3.2 Minimisation et optimisation des revêtements des traitements mécaniques antérieurs – huile et graisse 255
4.3.3 Gabarit de montage 256
4.3.4 Agitation des solutions de traitement 257
4.3.5 Entretien – installation et équipement 258
4.4 Entrées de consommables et leur gestion 258
4.4.1 Electricité 259
4.4.1.1 Alimentations entrantes en haute tension et demandes importantes en courant 259
4.4.1.2 Alimentation en courant continu 260
4.4.1.3 Equipement offrant un bon rendement énergétique 261
4.4.1.4 Optimisation du rendement électrique des procédés 261
4.4.2 Chauffage des solutions de traitement 262
4.4.3 Réduction des pertes thermiques des solutions de traitement 263
4.4.4 Refroidissement des solutions de traitement 265
4.4.4.1 Système de refroidissement par eau 265
4.4.4.2 Evaporation 267
4.4.5 Eau 268
4.4.5.1 Alimentation en eau, traitement et recyclage/réutilisation 268
4.4.5.2 Contrôle de l'utilisation de l'eau 269
4.4.5.3 Etapes de rinçage utilisant de l'eau recyclée 271
4.5 Réduction de l'apport par entraînement 272
4.6 Réduction des pertes par entraînement 273
4.6.1 Remarques préliminaires 273
4.6.2 Utilisation de produits chimiques compatibles 273
4.6.3 Réduction des pertes par entraînement – traitement sur support (montage) 274
4.6.4 Réduction des pertes par entraînement des traitements au tonneau 277
4.6.5 Propriétés des solutions de traitement – effet sur la perte par entraînement 280
4.6.6 Transition du drainage des pertes par entraînement au rinçage 281
4.7 Techniques de rinçage et récupération des pertes par entraînement 282
4.7.1 Introduction 282
4.7.2 L'évaporation nécessaire à la récupération des pertes par entraînement 284
4.7.3 Evaluation comparative du rinçage 284
4.7.4 Eco-rinçage ou prétrempe 284
4.7.5 Rinçage par pulvérisation 286
4.7.6 Chaîne manuelle ou semi-automatique 288
4.7.7 Rinçages chimiques 288
4.7.8 Régénération et réutilisation/recyclage de l'eau de rinçage 289
4.7.8.1 Régénération par échange d'ions 290
4.7.8.2 Régénération par osmose inverse 291
4.7.9 Techniques de rinçage unique 292
4.7.10 Techniques de rinçage multiples 292
4.7.10.1 Rinçage à contre courant à étapes multiples 296
4.7.10.2 Rinçage multiple statique 298

4.7.10.3 Double rinçage statique suivi d'un rinçage final par écoulement avec recyclage de l'eau 299
4.7.10.4 Rinçage multiple en cascade avec une ligne de traitement limitée en espace 301
4.7.11 Accroissement du taux de récupération de pertes par entraînement et fonctionnement en cycle fermé 302
4.7.11.1 Ajout d'une cuve d'éco-rinçage 305
4.7.11.2 Evaporation à l'aide d'un excédant d'énergie thermique interne 306
4.7.11.3 Evaporation utilisant l'énergie supplémentaire provenant d'un évaporateur 308
4.7.11.4 Electrodialyse 311
4.7.11.5 Osmose inverse – Dépôt électrolytique en cycle fermé 312
4.7.11.6 Chromage électrolytique – dépôt électrolytique en cycle fermé 315
4.7.12 Combinaison de techniques et d'approches au niveau de l'installation dans sa globalité ... 316
4.7.13 Rejet zéro 319
4.8 Autres techniques d'optimisation de l'utilisation de matières premières 319
4.8.1 Contrôle de la concentration des produits chimiques de traitement 319
4.8.2 Différents rendements d'électrodes 320
4.8.3 Commutation de la polarisation des électrodes dans les traitements électrolytiques 322
4.9 Substitution – choix des matières premières et des traitements 323
4.9.1 Substitution de l'EDTA et d'autres agents complexants forts (agents chélatants) 325
4.9.2 Substitution, et réduction des agents de surface toxiques (NPE et PFOS) 326
4.9.3 Substitution du cyanure – Vue d'ensemble 327
4.9.4 Zingage électrolytique 328
4.9.4.1 Zinc alcalin cyanuré 328
4.9.4.2 Zingage alcalin sans cyanure 329
4.9.4.3 Zingage acide 330
4.9.4.4 Alliages de zinc 331
4.9.5 Autres solutions à base de cyanure 331
4.9.6 Substitution et minimisation du chrome hexavalent (CrVI) 331
4.9.7 Minimisation des rejets de chrome hexavalent provenant des surfaces traitées 332
4.9.8 Techniques de chromage électrolytique 333
4.9.8.1 Chromage hexavalent 333
4.9.8.2 « Chrome froid » – traitement hexavalent 335
4.9.8.3 Traitement de chromage électrolytique trivalent à base de chlorure 335
4.9.8.4 Traitement de dépôt électrolytique au sulfate de chrome trivalent 338
4.9.9 Traitements sans chrome – autres traitements de revêtement 339
4.9.10 Couches de conversion de chrome 342
4.9.10.1 Chrome hexavalent 343
4.9.10.2 Traitement de conversion au chrome trivalent 343
4.9.10.3 Traitement de conversion sans chrome 344
4.9.11 Anodisation à l'acide chromique 345
4.9.12 Phosphochromatation (phosphatation au chrome) 345
4.9.13 Substitution du polissage et du ponçage mécanique 346
4.9.14 Substitution et choix du dégraissage 346
4.9.14.1 Pré-nettoyage mécanique - centrifugation 346
4.9.14.2 Dégraissage au solvant 347
4.9.14.3 Dégraissage chimique aqueux (trempage) 348
4.9.14.4 Nettoyage par émulsion faible 349
4.9.14.5 Dégraissage biologique 351
4.9.14.6 Glace-carbonique 351
4.9.14.7 Nettoyage aux ultrasons 351
4.9.14.8 Nettoyage électrolytique avec contrôle du pH 353
4.9.14.9 Systèmes de dégraissage à haute performance 354
4.9.15 Autre technique de dégraissage 354
4.9.16 Substitution par des traitements alternatifs 355
4.10 Techniques courantes de traitement des eaux et des solutions aqueuses : eau d'alimentation, rinçage, traitement des eaux résiduaires, solutions de traitement, et récupération de matériaux 357
4.11 Entretien de la solution de traitement 362
4.11.1 Filtration des solutions de traitement 366
4.11.2 Electrodialyse 367
4.11.3 Retardement (sorption sur résine acide) 367
4.11.3.1 Régénération par retardement d'une solution d'anodisation d'acide sulfurique 369
4.11.4 Cristallisation de carbonates et des sulfates métalliques 370

4.11.5 Récupération des agents d'attaque chimique caustiques d'anodisation 372
4.11.6 Traitement au charbon actif 373
4.11.7 Purification par échange ionique de la contamination métallique 374
4.11.8 Electrolyse – purification des solutions de traitement 375
4.11.9 Electrolyse – élimination d'un métal en excès des solutions de traitement 376
4.11.10 Electrolyse – réoxydation des produits de décomposition 377
4.11.11 Electrolyse à membrane pour l'entretien d'une solution au chrome 377
4.11.12 Nettoyage et régénération des solutions de phosphate 379
4.11.13 Entretien des solutions de dégraissage 380
4.11.13.1 Utilisation (multiple) en cascade des solutions de dégraissage 380
4.11.13.2 Procédés simples 381
4.11.13.3 Séparateur statique pour bains de dégraissage 382
4.11.13.4 Régénération par dégraissage biologique 383
4.11.13.5 Centrifugation des bains de dégraissage 386
4.11.13.6 Filtration par membrane de dégraissants émulsifiants (micro ou ultrafiltration) 388
4.11.13.7 Entretien en plusieurs étapes des solutions de dégraissage 390
4.11.13.8 Entretien des traitements de dégraissage électrolytique 391
4.11.14 Décapage 391
4.11.14.1 Mesures destinées à la diminution de la consommation d'acide de décapage 391
4.11.14.2 Allongement de la durée d'utilisation des solutions de décapage grâce à une dialyse par diffusion 392
4.11.14.3 Récupération du cuivre des bains de décapage 395
4.12 Récupération des métaux de traitement 395
4.12.1 Récupération électrolytique 395
4.12.2 Echange d'ions – récupération des métaux précieux provenant des rinçages 399
4.12.3 Chromatation 400
4.12.4 Précipitation 400
4.13 Activités de post-traitement – techniques pertinentes pour la détermination d'une MTD 400
4.13.1 Séchage 400
4.13.2 Dégazage 401
4.14 Bande continue – bande d'acier à grande échelle 401
4.14.1 Utilisation d'un contrôle de traitement numérique 401
4.14.2 Bacs étanches aux huiles 402
4.14.3 Rendement énergétique 402
4.14.3.1 Moteurs à bon rendement énergétique 402
4.14.3.2 Elévation de la conductivité de l'électrolyte 403
4.14.4 Rendement en eau 403
4.14.4.1 Recyclage des eaux de trempage 403
4.14.4.2 Utilisation de systèmes de rinçage en cascade 404
4.14.5 Rouleaux essoreurs 404
4.14.6 Nettoyage en bande électrolytique 405
4.14.7 Utilisation de systèmes d'ultrafiltration afin de régénérer une solution de dégraissage 405
4.14.8 Utilisation (multiple) en cascade de solutions de dégraissage 405
4.14.9 Contrôle du bain d'acide dans la section de décapage 405
4.14.10 Contrôle et gestion de la consommation d'électrolyte 405
4.14.11 Commutation de la polarisation des électrodes dans les traitements électrolytiques 406
4.14.12 Optimisation de l'intervalle anode – cathode 406
4.14.13 Polissage du rouleau conducteur 407
4.14.14 Utilisation de polisseuses de rebords 407
4.14.15 Utilisation de masques de rebord 408
4.14.16 Minimisation de l'utilisation d'huile à l'aide de graisseurs électrostatiques couverts 408
4.14.17 Entretien des solutions de traitement 409
4.14.17.1 Nettoyage et recyclage des bains de dégraissage 409
4.14.17.2 Filtration en continu et réutilisation du bain de zingage 410
4.14.17.3 Elimination en continu du fer et réutilisation du bain de zingage 410
4.14.17.4 Nettoyage et régénération du bain de phosphatation 411
4.14.17.5 Nettoyage et régénération du bain de chromatation 411
4.14.18 Contrôle des émissions atmosphériques 412
4.14.18.1 Récupération et épuration 412
4.14.18.2 Bains de traitement couverts 412
4.14.19 Procédés de traitement des eaux résiduaires. 413
4.14.20 Récupération des métaux résiduaires contenus dans les cuves 413
4.15 Traitement des cartes de circuits imprimés 414

4.15.1 Fabrication des couches internes ... 414
4.15.2 Rinçage entre les étapes ... 415
4.15.3 Dépôt autocatalytique (sans courant) ... 415
4.15.4 Dépôt électrolytique sur cartes de circuits imprimés ... 415
4.15.5 Développement d'une réserve sèche par l'utilisation de carbonate de sodium ... 415
4.15.6 Attaque chimique ... 416
4.15.7 Recyclage des agents de gravure alcalins sur la ligne de traitement et récupération du cuivre (échange ionique liquide- liquide) ... 417
4.15.8 Décapage ... 420
4.15.9 Décapage d'une réserve de gravure (étain) ... 421
4.15.10 Elimination des solutions ... 421
4.15.11 Emissions de solvants provenant de l'application d'un masque de soudure ... 422
4.16 Techniques de réduction des émissions d'eaux résiduaires ... 423
4.16.1 Identification des flux problématiques ... 423
4.16.2 Elimination et/ou séparation des polluants individuels à la source ... 424
4.16.3 Séparation des huiles et des graisses (hydrocarbures) des eaux résiduaires ... 426
4.16.4 Décyanuration ... 426
4.16.5 Traitement du nitrite ... 427
4.16.6 Déchromatation ... 428
4.16.7 Floculation et précipitation des métaux ... 429
4.16.7.1 Précipitation de l'hydroxyde ... 429
4.16.7.2 Précipitation au sulfure ... 430
4.16.7.3 Autres agents de floculation ... 431
4.16.8 Agents complexants ... 432
4.16.9 Précipitation des anions ... 433
4.16.9.1 Précipitation du fluorure ... 433
4.16.9.2 Précipitation du phosphate ... 434
4.16.9.3 Précipitation du sulfate ... 434
4.16.10 Traitement final avant rejet ~~évacuation~~ ... 435
4.16.10.1 Sédimentation ... 436
4.16.10.2 Flottation ... 437
4.16.10.3 Filtration ... 438
4.16.11 Techniques combinées ... 439
4.16.12 Techniques à rejet zéro ... 439
4.16.12.1 Procédures thermiques ... 440
4.16.12.1.1 Evaporateurs à vide avec compression mécanique de vapeur ... 440
4.16.12.1.2 Evaporateurs à rayons infrarouges ... 441
4.16.12.2 Technologies utilisant des membranes avec traitements physicochimiques ... 442
4.16.12.2.1 Traitement utilisant l'ultrafiltration ... 443
4.16.12.2.2 Traitement utilisant l'ultrafiltration combinée à l'osmose inverse. ... 444
4.16.13 Surveillance, contrôle final et rejet des eaux résiduaires ... 445
4.17 Techniques de gestion des déchets ... 447
4.17.1 Production et gestion des déchets ... 447
4.17.2 Minimisation et suppression des déchets ... 448
4.17.3 Réutilisation et recyclage (en externe) des déchets ... 449
4.17.4 Récupération électrolytique en interne ... 451
4.18 Techniques de réduction des émissions atmosphériques ... 451
4.18.1 Additifs ... 452
4.18.2 Utilisation d'un système d'extraction d'air, de couvercle et de techniques de traitement ... 453
4.18.3 Réduction du volume d'air extrait ... 455
4.18.4 Traitement de l'air extrait ... 458
4.18.5 Technique de régulation de l'extraction d'air ... 458
4.18.6 Récupération énergétique du l'air extrait ... 459
4.19 Gestion du bruit ... 459

5 MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES ... 461
5.1 MTD générique ... 463
5.1.1 Techniques de gestion ... 463
5.1.1.1 Management environnemental ... 464
5.1.1.2 Nettoyage et entretien ... 465
5.1.1.3 Minimisation des effets de retraitement des pièces défectueuses ... 465
5.1.1.4 Evaluation comparative de l'installation ... 465
5.1.1.5 Optimisation et contrôle de la chaîne de traitement ... 466

5.1.2 Conception, construction et fonctionnement de l'installation 466
5.1.2.1 5.1.2.1 Stockage des produits chimiques et des pièces de fabrication/substrats 467
5.1.3 Agitation des solutions de traitement 468
5.1.4 Intrants consommables – énergie et eau 468
5.1.4.1 Électricité – haute tension et forte demande en courant 469
5.1.4.2 Chauffage 469
5.1.4.3 Réduction des pertes thermiques 469
5.1.4.4 Refroidissement 470
5.1.5 Minimisation des déchets d'eau et de matériaux 471
5.1.5.1 Minimisation de l'utilisation d'eau en cours de traitement 471
5.1.5.2 Réduction de l'apport par entraînement 471
5.1.5.3 Réduction des pertes par entraînement 471
5.1.5.3.1 Réduction de la viscosité 472
5.1.5.4 Rinçage 472
5.1.6 Récupération de matériaux et gestion des déchets 473
5.1.6.1 Prévention et réduction 474
5.1.6.2 Réutilisation 475
5.1.6.3 Récupération des matériaux et fonctionnement en circuit fermé 475
5.1.6.4 Recyclage et récupération 476
5.1.6.5 Autres techniques destinées à optimiser l'utilisation des matières premières 476
5.1.7 Entretien général de la solution de traitement 477
5.1.8 Emissions dans les eaux résiduaires 477
5.1.8.1 Minimisation des flux et des matériaux à traiter 477
5.1.8.2 Essais, identification et séparation des flux posant problème 477
5.1.8.3 Évacuation des eaux résiduaires 478
5.1.8.4 Techniques « rejet zéro » 479
5.1.9 Déchets 480
5.1.9.1 Emissions atmosphériques 480
5.1.10 Bruit 484
5.1.11 Protection des eaux souterraines et mise à l'arrêt définitif d'un site 484
5.2 MTD destinée à des traitements spécifiques 484
5.2.1 Mise sur support 484
5.2.2 Chaîne de traitement sur support – réduction des pertes par entraînement 484
5.2.3 Chaînes de traitement au tonneau - Réduction des pertes par entraînement 485
5.2.4 Chaînes manuelles 486
5.2.5 Substitution et/ou contrôle des substances dangereuses 486
5.2.5.1 EDTA 486
5.2.5.2 PFOS (Sulfonate de perfluorooctane) 487
5.2.5.3 Cyanure 487
5.2.5.4 Cyanure de zinc 488
5.2.5.5 Cyanure de cuivre 488
5.2.5.6 Cadmium 488
5.2.5.7 Chrome hexavalent 488
5.2.5.7.1 Chromage décoratif 489
5.2.5.7.2 Chromage hexavalent 489
5.2.5.7.3 Revêtements de conversion (passivation) au chrome 490
5.2.5.7.4 Finitions phosphochromate 490
5.2.6 Technique de substitution du polissage et du lustrage 490
5.2.7 Remplacement et choix du dégraissage 490
5.2.7.1 Dégraissage cyanuré 491
5.2.7.2 Dégraissage aux solvants 491
5.2.7.3 Dégraissage aqueux 491
5.2.7.4 Dégraissage hautes performances 491
5.2.8 Entretien des solutions de dégraissage 491
5.2.9 Solutions de décapage et autres solutions à l'acide fort – Techniques destinées à allonger la durée de vie des solutions et techniques de récupération 491
5.2.10 Récupération des solutions de chromatation au chrome hexavalent 492
5.2.11 Anodisation 492
5.2.12 Traitement en bande continue – bobine d'acier à grande échelle 492
5.2.13 Cartes de circuits imprimés 493

6 TECHNIQUES ÉMERGENTES POUR LE TRAITEMENT DE SURFACE DES MÉTAUX ET DES MATIÈRES PLASTIQUES 495

6.1 Revêtement métallique automatisé intégré à la production 495
6.2 Substitution du chromage hexavalent par le chromage trivalent dans des applications de chromage dur par utilisation d'un courant à impulsions modifiées 496
6.3 Substitution des couches de conversion au chrome (VI) par des revêtements de conversion au chrome (III) 498
6.4 Revêtement métallique d'aluminium et d'alliages d'aluminium à partir d'électrolytes organiques 499
6.5 Cartes de circuit imprimé 501
6.5.1 Insolation par laser 501
6.5.2 Interconnexions à haute densité (HDI) 502
6.5.3 Composants passifs intégrés 502

7 REMARQUES FINALES 503
7.1 Organisation des tâches 503
7.2 Sources d'informations 503
7.3 Degré de consensus atteint 504
7.4 Recommandations pour la mise en œuvre de travaux futurs 505
7.5 Suggestions d'orientation pour de futurs projets de R&D 508

REFERENCES 511

GLOSSAIRE 521

8 ANNEXES 543
8.1 Métaux et composés dans la législation et les accords les concernant 543
8.2 PFOS (sulfonate de perfluorooctane) dans le traitement de surface des métaux et matières plastiques 547
8.3 Exemples de valeurs limites d'émission légalej 549
8.3.1 Réglementations applicables aux activités de traitement de surface en France 552
8.4 Surveillance 555
8.4.1 Problèmes généraux concernant la surveillance du traitement de surface des métaux et matières plastiques 555
8.4.1.1 Carbone organique 555
8.4.1.2 Surveillance atmosphérique 555
8.4.2 Auto-surveillance des effluents aqueux provenant du traitement de surface des métaux et matières plastiques 555
8.5 Installations de référence allemandes 561
8.5.1 Installation de référence A 561
8.5.2 Installation de référence C 570
8.5.3 Installation de référence D 575
8.5.4 Installation de référence E 581
8.5.5 Installation de référence F 588
8.5.6 Installation de référence G 597
8.5.7 Installation de référence H 604
8.6 Utilisation du chrome pour des petites chaînes habituelles de revêtement métallique décoratif 626
8.7 Échange d'ions – description générale des techniques 628
8.8 Nettoyage par ultrasons – Installations de référence 634
8.9 Installation de référence pour la réduction du volume d'air extrait 636
8.10 Table des commentaires sur l'utilisation du chrome hexavalent et trivalent 639
8.11 Exemple de calculs d'optimisation d'installation 644
8.12 Exemple de calcul du ratio coûts-bénéfices de la réduction des émissions de NO_x provenant de l'avivage de l'aluminium 655
8.13 Minimisation des eaux résiduaires et électrodéposition exempte d'eau résiduaire en Allemagne 658

Liste des figures

Figure 1.1 : Production totale de revêtements pour l'aluminium 8
Figure 1.2 : Total des finitions de surface d'aluminium de profilés architecturaux en Europe 9
Figure 1.3 : Principaux pays d'Europe pratiquant l'anodisation 10
Figure 1.4 : Acier destiné à l'emballage (fer blanc et chromage électrolytique), production de l'UE-15 (en kt) 11
Figure 1.5 : Principaux secteurs consommateurs de plaquage à l'étainet de chromage électrolytique 14
Figure 1.6 Production de zinc/zinc-nickel électrolytique dans les 15 pays de l'UE (en kt) 14
Figure 1.7 : Production d'acier à revêtement de zinc et de zinc-nickel en continu dans les 15 pays de l'UE (en kt) 15
Figure 1.8 : Marché mondial des cartes de circuits imprimés, 1999-2002, par région, valeur en million de dollars 16
Figure 1.9 : Nombre de fabricants de cartes de circuits imprimés en Europe (repartions par chiffre d'affaires) 17
Figure 1.10 : Secteur industriel lié à la production européenne de cartes de circuits imprimés en 2002 18
Figure 2.1 : Schéma simplifié du circuit d'une chaîne de traitement 28
Figure 2.2 : Exemple de configuration d'un atelier de travail à la demande 29
Figure 2.3 : Trajet commun aux pièces de fabrication et aux substrats (voir chapitre 2) et description des activités 30
Figure 2.4 : Carrosserie automobile subissant un pré-traitement par pulvérisation 34
Figure 2.5 : Revêtement avec support de pièces ou montage porte−piece : déchargement des composants finis 36
Figure 2.6 : Travail à la bande abrasive 38
Figure 2.7 : Section d'une chaîne de revêtement « au montage » pour la production de cartes de circuits imprimés 50
Figure 2.8 : Exemple de chaîne de traitement des miroirs 75
Figure 2.9 : Exemples d'options de traitement d'anodisation décoratives 78
Figure 2.10 : Plan de configuration d'une installation d'anodisation classique 80
Figure 2.11 : Plan schématique d'un traitement en bande classique 103
Figure 2.12 : Cellule verticale 107
Figure 2.13 : Cellule radiale 108
Figure 2.14 : Cellule horizontale 108
Figure 2.15 : Schéma d'une configuration de chaîne de traitement de zinc électrolytique 111
Figure 2.16 : Dégraissage par projection et brossage 112
Figure 2.17 : Rinçage par aspersion 113
Figure 2.18 : Dégraissage électrolytique 114
Figure 2.19 : Section de décapage 116
Figure 2.20 : Configuration schématique d'une chaîne d'étamage 121
Figure 2.21 : Schéma d'une section de nettoyage 122
Figure 2.22 : Schéma d'une section de décapeur 122
Figure 2.23 : Schéma d'un réservoir de dépôt – cellule verticale 124
Figure 2.24 : Schéma d'une section de fusion d'écoulement 126
Figure 2.25 : Schéma d'un traitement de passivation 127
Figure 2.26 : Configuration d'une chaîne de chromage 128
Figure 2.27 : Agencement classique d'une chaîne de traitement ECCS 129
Figure 2.28 : Exemples de construction de cartes de circuit imprimé 135
Figure 2.29 : Organigramme d'une séquence classique du traitement de production d'une carte de circuit imprimé 137
Figure 2.30 : Application d'une réserve sèche 142
Figure 2.31 : Exposition d'une réserve 143
Figure 2.32 : Développement d'une réserve 143
Figure 2.33 : Cuivrage électrolytique 148
Figure 2.34 : Etamage électrolytique 148
Figure 2.35 : Schéma d'une carte imprimée multicouche 151
Figure 2.36 : Décapage d'une pellicule sèche 152
Figure 2.37 : Attaque chimique 153
Figure 2.38 : Décapage de la réserve d'étain 155
Figure 2.39 : Revêtement d'un masque de soudure 156
Figure 2.40 : Application par voile et cuisson d'un masque de soudure 156
Figure 2.41 : Nivelage à l'air chaud 157

Figure 2.42 : Organigramme d'une installation de traitement des eaux résiduaires classique 164
Figure 2.43 : Installation de référence de traitement des eaux résiduaires utilisant l'échange ionique 167
Figure 2.44 : Variation de solubilité du métal dissous par rapport au pH 168
Figure 3.1 : Vue d'ensemble de masse continue de fer blanc et d'ECCS 213
Figure 3.2 : Vue d'ensemble d'un flux de masse de revêtement continu pour le zinc et le zinc-nickel 215
Figure 4.1 : Définition d'un stade de rinçage 242
Figure 4.2 Chaîne de chromage intégrée et fermée 251
Figure 4.3 : Exemple de robinet de blocage d'écoulement 270
Figure 4.4 : Chute de la concentration chimique de la solution de traitement provoquée par un apport par entraînement d'eau de rinçage et une perte par entraînement de solution de traitement sans régénération 283
Figure 4.5 : Récupération des pertes par entraînement grâce à l'éco-rinçage 285
Figure 4.6 Rinçage par pulvérisation manuelle 287
Figure 4.7 : Technologie de rinçage à niveau multiple (technologie des cascades) 294
Figure 4.8 : Récupération des pertes par entraînement à l'aide d'un triple rinçage à contre courant 297
Figure 4.9 : Consommation spécifique d'eau "w" des triples et quadruples rinçages à contre courant 298
Figure 4.10 : Récupération des pertes par entraînement à l'aide d'un triple rinçage statique 298
Figure 4.11 : Consommation d'eau spécifique en litre par litre de pertes par entraînement, triple rinçage statique W1 par rapport à un triple rinçage à contre courant W2 299
Figure 4.12 : Double rinçage statique suivi d'un rinçage par écoulement unique avec recyclage de l'eau, purifié de manière continue dans des échangeurs d'ions (IEX) 300
Figure 4.13 : Accroissement de la concentration chimique C_1 et C_2 en fonction du nombre de tonneaux rincés 300
Figure 4.14 : Système en cascade externe : compartiment de pulvérisation unique avec cascade externe et recyclage du concentré 302
Figure 4.15 : Eau de rinçage et récupération chimique grâce à un procédé de concentration 303
Figure 4.16 : Evaporation spécifique en eau provenant des solutions de traitement, avec extraction des émanations au niveau du réservoir de traitement 307
Figure 4.17 : Schéma de principe de l'évaporateur 309
Figure 4.18 : Principe fonctionnel de l'électrodialyse 311
Figure 4.19 : Installation d'osmose inverse 312
Figure 4.20 : Elimination du métal perdu au cours d'une étape de rinçage avant une température d'échange ionique 318
Figure 4.21 : Système de dégraissage par émulsion faible avec réservoir de stockage destiné au nettoyage 350
Figure 4.22 : Filtration des solutions de traitement 366
Figure 4.23 : Traitement de retardement 368
Figure 4.24 : Principe de fonctionnement de la cristallisation à froid 371
Figure 4.25 : Régénération d'un électrolyte d'acide chromique par échange ionique 375
Figure 4.26 : Elimination électrolytique d'un surplus de métaux contaminants 376
Figure 4.28 : Microfiltration en dérivation destinée à allonger la durée de vie d'utilisation d'une solution de dégraissage. 388
Figure 4.29 : Régénération des solutions de décapage par dialyse 393
Figure 4.30 : Cellule optimisée utilisant la technologie du lit fluidisé 396
Figure 4.31 : Recyclage d'une solution d'attaque chimique alcaline dans la fabrication de cartes de circuits imprimés [49, France, 2003] 419
Figure 4.32 : Traitement utilisant l'ultrafiltration combinée à l'osmose inverse 444
Figure 4.33 : Chaîne de traitement sur support dont les cuves sont dotées de couvercles et d'un système d'extraction d'air 453
Figure 4.34 : Exemple des systèmes d'extraction des émanations au-dessus d'un réservoir de traitement 456
Figure 4.35 : extraction monolatérale (W <0,5 m) 456
Figure 4.36 : extraction bilatérale (W >0,5) 456
Figure 4.37 : Couvercle protégeant la superficie libre d'une cuve, fixé sur et déplacé avec la barre d'anode 457
Figure 4.38 : Couvercle protégeant la superficie libre située au-dessus de la hotte d'extraction, mobile grâce au dispositif de transport 457
Figure 8.1 : Schéma de principe du traitement effectué dans l'installation A 562
Figure 8.2 : Intrants de nickel pour l'installation A 569
Figure 8.3 : Extrant de nickel pour l'installation A 570
Figure 8.4 : Schéma de principe de traitement de l'installation C 572
Figure 8.5 : Schéma de procédé de l'installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation C 574
Figure 8.6 : Schéma de principe du traitement avec l'installation D 577

Figure 8.7 : Schéma de principe du traitement des eaux résiduaires dans l'installation D 579
Figure 8.9 : Schéma de procédé d'une installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation E 585
Figure 8.10 : Emissions de zinc par installation E 588
Figure 8.11 : Schéma de principe de l'installation de traitement F 590
Figure 8.12 : Schéma de traitement des eaux résiduaires pour l'installation F 594
Figure 8.13 : Schéma de principe de traitement pour l'installation G 598
Figure 8.14 : Schéma de principe d'une installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation G 602
Figure 8.15: Schéma de prinicipe de l'installation de traitement H 606
Figure 8.16 : Schéma de principe d'une installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation H 611
Figure 8.17 : Schéma de principe de traitement de l'installation K 615
Figure 8.18 : Rinçage en cascade en six étapes dans l'installation K 617
Figure 8.19 : Schéma de principe de l'installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation K 619
Figure 8.20 : Schéma de principe du traitement dans l'installation L 621
Figure 8.21 : Schéma de principe d'une installation de traitement des eaux résiduaires de l'installation L 624
Figure 8.22 : Schéma d'une installation classique dans l'industrie Britannique 644
Figure 8.23 : Installation obéissant aux "règles de l'art" optimisée pour l'industrie, SE2000 644
Figure 8.24 : Résumé des améliorations apportées aux règles de l'art pour une installation classique (de référence) 645
Figure 8.25 : Page montrant la répartition des facteurs de norme pour le calcul 647
Figure 8.26 : Page déterminant les taux de pertes par entraînement 647
Figure 8.27 : Station de nettoyage alcalin 648
Figure 8.28 : Station de décapage 649
Figure 8.29 : Rinçage après décapage ; comparaison des coûts d'exploitation pour les installations moyennes et de référence et la période de retour sur investissement. 650
Figure 8.30 : Station de nettoyage électrolytique 651
Figure 8.31 : Station d'électrodéposition et de rinçage 652
Figure 8.32 : Besoins d'un refroidisseur d'une station de dépôt catalytique 653
Figure 8.33 Rinçage après passivation 654

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Exemples de traitements principaux et leurs utilisations 3
Tableau 1.2 : Tonnages de production de fer blanc et d'ECCS pour l'année 2000 par pays dans les 15 pays de l'UE 11
Tableau 1.3 : Nombre de chaînes de production en continu produisant à la fois du fer blanc et de l'ECCS dans les 15 pays de l'UE 13
Tableau 1.4 : Principales substances dangereuses dans l'ensemble du secteur et milieux potentiellement affectés 22
Tableau 2.1 : Epaisseur de la couche de zinc et d'alliage de zinc en fonction de l'application industrielle 109
Tableau 2.2 : Intervalles entre l'anode et la bande d'acier pour différents types de cellules électrolytiques 109
Tableau 2.3 : Comparaison des types de couches de réserve pour l'imagerie primaire 141
Tableau 2.4 : Comparaison des traitements de déglaçage 146
Tableau 3.1 : Pertes énergétiques à la surface des solutions de traitement chauffées, en watts/m^2 178
Tableau 3.2 : Consommation spécifique de produits chimiques dégraissants 179
Tableau 3.3 : Consommation spécifique d'agent décapant 180
Tableau 3.4 : Pertes de métaux provenant du décapage et des traitements connexes 180
Tableau 3.5 : Pertes de métaux provenant des traitements de revêtement 181
Tableau 3.6 : Consommation spécifique d'électrolytique 181
Tableau 3.7 : Repères de rendement pour différentes installations de zingage 182
Tableau 3.8 : Rendements et pertes de phosphatation dans le secteur automobile 183
Tableau 3.9 : Rendements des traitements par rapport aux matériaux d'entrée 184
Tableau 3.10 : Sources et types de données concernant les émissions d'eaux résiduaires 185
Tableau 3.11 : Valeurs d'émission de l'ACEA pour les installations de phosphatation 186
Tableau 3.12 : CETS Pays-Bas (VOM). Données de débit et de charge d'un atelier de métallisation sous-traitant 187
Tableau 3.13 : Valeurs d'émissions de phosphate finlandaises 188
Tableau 3.14 : Charge en métaux lourds provenant des installations de dépôt électrolytique dans les réseaux d'égouts locaux 188
Tableau 3.15 : Installations de référence allemandes de l'annexe 8.5 : pourcentage des métaux entrants évacués dans les eaux résiduaires 189
Tableau 3.16 : Regroupement de données provenant des échantillons d'eaux résiduaires de traitement des surfaces en Allemagne 189
Tableau 3.17 : Récapitulatif des données concernant les échantillons d'eaux résiduaires pour une usine néerlandaise. 191
Tableau 3.18 : Récapitulatif des données concernant les eaux résiduaires provenant de neuf installations en Suède 192
Tableau 3.19 : Données concernant les valeurs d'émission des eaux résiduaires provenant de 30 sites demandeurs d'un permis IPPC 193
Tableau 3.20 : Récapitulatif des données concernant les plages d'émission de substances dans l'eau comprenant des valeurs associées à une MTD éventuelle 196
Tableau 3.21 : Solutions et activités pouvant nécessiter la prévention d'émissions ponctuelles 200
Tableau 3.22 : Sources et types de données concernant les émissions atmosphériques 200
Tableau 3.23 : Emissions atmosphériques provenant de chaînes de traitement au tonneau de zinc alcalin et de cuivre-nickel, Autriche, Collini Gmbh, Autriche 201
Tableau 3.24 : Emissions atmosphériques, CETS Pays-Bas 202
Tableau 3.25 : Emissions atmosphériques provenant du chromage trivalent 202
Tableau 3.26 : Valeurs des émissions atmosphériques concernant des exemples d'installations de décapage et de chromage en Allemagne 205
Tableau 3.27 : Valeurs d'émission atmosphérique pour des exemples d'activités relatives au traitement de surface des métaux en Suède 206
Tableau 3.28 : Regroupement des données pour des gammes d'émissions atmosphériques provenant de certaines installations 211
Tableau 3.29 : Intrant classique et niveaux de consommation pour le revêtement en continu de l'acier par étamage électrolytique ou ECCS 214
Tableau 3.30 : Valeurs d'émissions habituelles pour le revêtement en continu de l'acier par étamage électrolytique ou ECCS 214
Tableau 3.31 Niveaux de consommation et d'émission habituels pour le zingage et le zingage au nickel d'acier en continu 217
Tableau : 3.32 : Cartes de circuit imprimé : résumé des types de consommation et des productions de déchets 220

Tableau 3.33 : Déchets issus de la fabrication de PCB 221
Tableau 3.34 : Emissions atmosphériques provenant de la production de PCB 222
Tableau 4.1 : décomposition des informations utilisées pour chaque technique décrite dans ce chapitre 223
Tableau 4.2 : Durée de retrait et de maintien des supports 275
Tableau 4.3 : Durée de retrait et de maintien des tonneaux 279
Tableau 4.4 : Rétention de pertes par entraînement, diamètre du tonneau : 380 mm, trous de 8 mm. 279
Tableau 4.5 : Rétention de pertes par entraînement, diamètre du tonneau : 380 mm, trous de 2 mm 279
Tableau 4.6 : Quelques taux de rinçage recommandés 282
Tableau 4.7 : Le taux de rinçage est fonction d'une quantité donnée d'eau de rinçage spécifique (exprimé en litre d'eau de rinçage par litre d'électrolyte perdu par entraînement) et le nombre de cascades 293
Tableau 4.8 : Taux de récupération pouvant être obtenu pour quelques techniques de rinçage multiples. 295
Tableau 4.9 : Solution de traitement utilisant du cyanure 331
Tableau 4.10 : Rejet de chrome (VI) provenant d'un substrat traité 333
Tableau 4.11 : Résumé des substituts sans chrome destinés au bain de chromage dur et décoratif 340
Tableau 4.12 : Sections traitant de l'application de techniques de traitement 357
Tableau 4.13 : Techniques de traitement des systèmes aqueux fréquemment utilisées 361
Tableau 4.14 : Exemples de techniques appliquées à l'entretien des solutions de traitement 365
Tableau 4.15 : Techniques d'entretien des solutions de dégraissage 380
Tableau 4.16 : Résultats du traitement de dialyse sur des solutions d'attaque chimique 393
Tableau 4.17 : Coûts en capitaux et coûts de fonctionnement habituels pour une cellule électrolytique à lit fluidisé 398
Tableau 4.18 : Produits de solubilité des hydroxydes et des sulfures métalliques 431
Tableau 4.19 : Composition classique de la boue de dépôt électrolytique de sources différentes. 448
Tableau 5.1 : Niveaux appropriés de rendement en matériaux en cours de traitement 474
Tableau 5.2: Plage de valeurs d'émission évacuées dans l'eau associées à certaines MTD pour des installations spécifiques 479
Tableau 5.3: Solutions et activités pouvant nécessiter la prévention d'émissions fugaces 481
Tableau 5.4 : Plages d'émissions atmosphériques indicatives obtenues dans certaines installations 483
Tableau 6.1 : Comparaison du chromage dur à l'aide de la technique classique au Cr(VI) et du chromage au Cr(III) par la technique utilisant le courant à impulsions modifiées 497
Tableau 8.1 : Métaux et composés dans la législation et les accords les concernant 545
Tableau 8.2 : Valeurs limites d'émission des eaux résiduaires provenant du traitement des surfaces en Europe (valeurs en mg/l) (CETS) 549
Tableau 8.3 : Valeurs limites d'émission provenant de la Helsinki Water Co et de la Helcom concernant les eaux résiduaires industrielles 550
Tableau 8.4 : Polluants atmosphériques dans la technologie de traitement des surfaces 551
Tableau 8.5 : Valeurs limites classiques concernant le rejet des eaux résiduaires provenant d'une installation de fabrication des PCB vers un réseau d'égouts publics 551
Tableau 8.6 : Paramètres s'ajoutant aux valeurs classiques pour le rejet d'un effluent provenant de la fabrication de PCB dans un cours d'eau 551
Tableau 8.7 : Matériaux entrant dans la production de l'installation A 563
Tableau 8.8 : durée d'utilisation des produits de départ, cycles de surveillance et atout de produits chimiques de l'installation A 564
Tableau 8.9 : Durée d'utilisation des bains de traitement de l'installation A 565
Tableau 8.10 : Niveaux d'émission de métaux lourds pour l'installation A 567
Tableau 8.11 : Quantités de déchets pour l'installation A 567
Tableau 8.12 : Constituants métalliques de la boue de dépôt électrolytique de l'installation A 568
Tableau 8.13 : Pertes en métaux dans les eaux résiduaires et les déchets pour l'installation D 580
Tableau 8.14 : Matériaux entrants dans l'installation E 583
Tableau 8.15 : Durée d'utilisation des solutions – cycle de contrôle et de remplissage des produits chimiques 583
Tableau 8.16 : Concentrations en métaux lourds dans les émissions d'eaux résiduaires pour l'installation E 586
Tableau 8.17 : Déchets produits par l'installation E 586
Tableau 8.18 : Coûts unitaires par m2 pour l'installation E 587
Tableau 8.19 : Matériaux entrants pour l'installation F 589
Tableau 8.20 : Produits chimiques utilisés dans le traitement des eaux résiduaires pour l'installation F 591
Tableau 8.21 : Durée d'utilisation des solutions de traitement pour l'installation F 591
Tableau 8.22 : Concentration en métaux lourds dans les eaux résiduaires pour l'installation F 593
Tableau 8.23 : Détails concernant la boue pour l'installation F 595
Tableau 8.24 : Concentrations en métaux de la boue pour l'installation F 595

Tableau 8.25 : Matériaux entrants pour l'installation G 599
Tableau 8.26 : Cycle de contrôle et de remplissage des produits chimiques pour l'installation G 600
Tableau 8.27 : Durée d'utilisation des solutions de traitement pour l'installation G 600
Tableau 8.28 : Valeurs de concentration en métaux lourds dans les eaux résiduaires rejetées pour l'installation G 602
Tableau 8.29 : composition de la boue provenant du traitement des eaux résiduaires pour l'installation G 603
Tableau 8.30 : coûts par tonne et par m^3 traité pour l'installation G 604
Tableau 8.31 : Intrants de matériau pour l'installation H 607
Tableau 8.32 : Cycle de remplissage et durée d'utilisation des solutions de traitement pour l'installation H 609
Tableau 8.33 : Concentrations en métaux dans les eaux résiduaires pour l'installation H 611
Tableau 8.34 : Quantités de déchets pour l'installation H 612
Tableau 8.35 : Coûts d'exploitation en EUR/m² de l'installation H 613
Tableau 8.36 : Intrants de matériau pour l'installation K 615
Tableau 8.37 : Durée de vie des solutions de traitement de l'installation K 616
Tableau 8.38 : Cycle de contrôle et de remplissage des produits chimiques de l'installation K 617
Tableau 8.39 : Quantités de déchets pour l'installation K 619
Tableau 8.40 : Matériau entrant pour le revêtement métallique et le traitement des eaux résiduaires dans l'installation L 621
Tableau 8.41 : Contrôle analytique, cycle de remplissage et durée de vie des solutions de traitement pour l'installation L 622
Tableau 8.42 : Concentration en métaux lourds dans les eaux résiduaires après traitement pour l'installation L 623
Tableau 8.43 : Quantités de déchets de l'installation L 625
Tableau 8.44 : Installation L, composition de la boue de dépôt électrolytique pour un recyclage métallurgique 625
Tableau 8.45 : Coûts pour l'installation L en EUR/m² traité 626
Tableau 8.46 : Capacités d'échange d'ions habituelles des résines courantes (en milliéquivalents par litre, meq/L) 631
Tableau 8.47 : Réduction catalytique sélective (SCR) du NOX : Coût en EUR (2001) Données provenant du document 657

CHAMP D'APPLICATION

Le champ d'application de ce document est basé sur la section 2.6 de l'annexe I de la directive 96/61/CE : *"Installations de traitement de surface de métaux et matières plastiques utilisant un procédé électrolytique ou chimique, lorsque le volume des cuves de traitement est supérieur à 30 m^3"*.

Afin de décider si une installation spécifique doit disposer d'un permis IPPC, l'interprétation de l'expression "lorsque le volume des cuves de traitement est supérieur à 30 m^3" est importante. Ce document n'appréhende pas la question de l'interprétation de ce point. Le groupe de travail technique après examen de cette définition a convenu que le seuil de 30 m^3 est le total des volumes de tous les réservoirs de traitement que comporte l'installation. Ceci inclus les installations de pulvérisation, bien que les opinions divergeaient quant à l'intégration des activités de dégraissage.

De nombreuses installations exploitent à la fois des petites et grandes chaînes de production, et à la fois des procédés électrolytiques et chimiques, ainsi que des activités associées. Il est énoncé dans le point 2 de l'annexe 1 de la directive : "*Si un même exploitant met en œuvre, dans une même installation ou sur un même site, plusieurs activités relevant de la même rubrique, les capacités de ces activités s'additionnent*". Ceci signifie que tous les procédés entrant dans le champ d'application, quelle que soit leur taille, ont été pris en compte dans l'échange d'informations.

En termes pratiques, les procédés électrolytiques et chimiques actuellement utilisés utilisent une base aqueuse. Des activités qui leurs sont directement associées sont également décrites. Ce document ne traite pas des points suivants :

- la trempe (à l'exception du traitement de défragilisation lorsqu'il est effectué conjointement avec une électrodéposition)
- d'autres traitements de surface physique tels que le dépôt en phase vapeur de métaux
- galvanisation par immersion à chaud et décapage en vrac du fer et des aciers qui sont examinés dans le document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles dans le secteur de transformation des métaux ferreux
- procédés de traitement de surface qui sont examinés dans le document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles pour le traitement de surface par utilisation de solvant, bien qu'il soit fait référence, dans ce document, au dégraissage par solvant en tant qu' option de dégraissage
- procédé de peinture électrophorétique qui est également examinée dans le document de référence sur les Meilleures Techniques Disponibles pour le traitement de surface utilisant des solvants.

1 INFORMATIONS D'ORDRE GENERAL SUR LE TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX ET MATIERES PLASTIQUES

Traitement des surfaces de métaux

Le traitement de surface des métaux et par les métaux remonte à la naissance de l'utilisation de l'or dans un but décoratif, avant 4 000 avant J.C. La dorure et l'argenture (y compris leur dépôt à partir d'amalgames) étaient connues au 13ème siècle après J.C., et l'on procédait déjà au dépôt d'étain sur du fer en Bohème en 1200 après J. C. Au milieu du 19ème siècle, l'électrodéposition des métaux fut découverte ceci ouvrant la voie à de nouvelles possibilités, qui sont toujours en cours de développement [4, Cramb, 5, Hook and Heimilich, 2003, 41, 2003].

Les propriétés de surface des métaux sont généralement modifiées pour :

- l'aspect décoratif et/ou le pouvoir de réflexion ;
- l'amélioration de la dureté (pour le maintien de bords coupants et pour résister aux dégâts et à l'usure) ;
- la prévention de la corrosion.

Actuellement, les principaux domaines d'application sont : l'automobile et les transports, les emballages, le bâtiment et la construction (voir section 1.1 pour plus d'informations) [118, ESTAL, 2003]. Depuis les années soixante, deux domaines d'application commerciale supplémentaires sont apparus :

- en microélectronique, en particulier avec l'avènement des télécommunications et des commandes à microprocesseur dans de nombreux appareils d'utilisation courante. Ces appareils nécessitent des composants fabriqués en série, à conductivité élevée et pouvant transporter des courants électriques extrêmement faibles. On obtient de tels composants par l'application d'un revêtement de métaux précieux sur des substrats moins chers ;
- en imprimerie, où l'aluminium est généralement le substrat privilégié pour les plaques offset. L'aluminium est d'abord traité par grenage électrochimique et oxydation anodique (anodisation) avant que ne commencent les traitements photosensibles.

Traitement de surfaces des matières plastiques

Les plastiques ont désormais une place à part entière et ne servent pas uniquement à remplacer les métaux. Cependant, bien qu'ils soient faciles à former, qu'ils puissent être souples ou rigides, et en dépit de leurs propriétés isolantes et anticorrosion, il leur manque d'autres propriétés souhaitables. Le besoin de modifier les propriétés de surface de ces nouveaux matériaux est alors apparu pour :

- l'aspect décoratif, visant à atteindre une apparence de métal de valeur comme l'or, le cuivre ou le chrome ;
- le pouvoir de réflexion, identique au chrome ;
- la durabilité, étant donné que les matières plastiques sont généralement moins dures que les métaux ;
- la conductivité électrique, généralement dans des zones selectionnées.

Pour satisfaire ces exigences, des couches de métaux sont déposées sur la surface du plastique.

Les cartes de circuit imprimé sont un cas particulier, où des circuits électroniques complexes sont fabriqués en utilisant des métaux sur la surface d'une matière plastique – généralement une carte de résine ou de fibres de verre mais également des films de matière plastique. Une série de processus complexes retire et ajoute des couches successives de métaux formant des circuits connectant de petits trous. La surface intérieure de ces trous est également recouverte d'un métal au cours du traitement pour permettre aux composants électroniques d'y être ultérieurement soudés.

1.1 Industries utilisant des traitements de surface

Le traitement de surface des métaux et des matières plastiques ne constitue pas en lui-même un secteur industriel vertical distinct. Les traitements de surface ne créent pas de produits ; ils modifient les propriétés de surface de composants ou de produits déjà existants pour une utilisation ultérieure. Les cartes de circuit imprimé pourraient être considérées comme des produits mais sont en réalité des composants fabriqués afin d'être utilisés dans d'autres produits, et sont réalisées au cours d'un nombre considérable de phases de fabrication interdépendantes. Le traitement de surface des métaux et des matières plastiques est donc en grande partie un service utilisé par de nombreux secteurs industriels, dont :

- l'automobile
- l'aérospatiale
- les systèmes d'information
- le secteur des télécommunications
- l'industrie lourde
- la construction (bâtiment)
- la robinetterie
- la quincaillerie
- les boîtes de conserves
- l'imprimerie
- les appareils ménagers
- la joaillerie, la lunetterie et la décoration
- l'ameublement
- l'habillement
- la monnaie
- le secteur médical

La structure du marché en volume est d'environ 22 % pour l'automobile, 9 % pour la construction, 8 % pour les boîtes de conserves, 7 % pour l'industrie électrique, 7 % pour les semi-produits en acier, 7 % pour l'industrie électronique, 5 % pour les équipements industriels, 5 % pour l'industrie aérospatiale, 30 % pour des secteurs non spécifiés [121, France, 2003]. Le tableau 1.1 présente des exemples des principaux traitements et de leurs utilisations.

Type de traitement	Substrat	Exemple de pièces de fabrication	Effet obtenu
Zingage et passivation au chrome	Acier	Eléments de fixation (écrous, boulons, vis, clous, conception particulière, etc.) pour la construction, l'automobile, l'ameublement. ; Composants de système de freinage automobile, composants de système de lavage de pare-brise ; Châssis et boîtiers d'appareils ménagers (télévision, chaîne HI-FI, appareils vidéo, machines à laver, réfrigérateurs).	• protection contre la corrosion • décoration
Chromage dur	Acier	Moteurs de grande puissance(marine, etc.) ; Roulement de laminoir (acier et métaux non ferreux). Rouleaux (pour papeteries) ; Composants de train d'atterrissage et de contrôle dans l'aérospatiale ; Equipement médical. Amortisseurs automobiles [157, ACEA, 2004].	• Caractère durable • Caractère anti-adhésif • Surface microlisse
Chromage	Bobine d'acier	Emballage de produits alimentaires, ménagers et commerciaux (boîtes métalliques)	• Protection contre la corrosion • Décoration
Au nickel, dépôt autocatalytique (pour un chromage ultérieur)	Plastique, acier, aluminium, etc.	Eléments de salle de bains. Eléments de mobilier. Machines d'imprimerie et textiles ; Sellerie automobile [124, Allemagne, 2003].	• Décoration • Protection contre la corrosion
Au nickel, électrolytique	Acier	Pièces de monnaie (toutes les pièces de monnaie de l'UE) ; Eléments de fixation (vis, etc.). Sellerie automobile [157, ACEA, 2004].	• Protection contre la corrosion • Décoration
Cuivrage et dépôt d'alliage de cuivre (laiton)	Acier	Pièces de monnaie (toutes les pièces de monnaie de l'UE) ; Eléments de fixation.	• Décoration
Cadmiage	Acier	Eléments de fixation de l'aérospatiale	• Protection contre la corrosion • Anti-adhérence
Dorure	Cuivre, cartes de circuit imprimé	Connecteurs et fils pour matériel de télécommunications et systèmes d'information	• Protection contre la corrosion • Conductivité élevée
Dépôt de métaux précieux (or, argent, iridium, platine)	Acier, cuivre, laiton, alliages	Joaillerie, éléments de décoration (articles creuses), montures de lunette.	• Décoration • Protection contre la corrosion
Anodisation	Aluminium	Composants automobile [111, ACEA, 2003] ; Panneaux de fuselage et d'ailes dans l'aérospatiale ; Cadres de porte et de fenêtre, bardage. Emballage et biens de consommation	• Protection contre la corrosion • Décoration (colorée ou non)
Anodisation dure	Aluminium	Surfaces d'appui des turbines de compresseur s pour les moteurs d'automobiles.	• Caractère durable, dureté accrue
Revêtement par traitement chimique, tel que la phosphatation, la chromatation et autres [118, ESTAL, 2003]	Acier, aluminium et autres métaux	Ecrous, boulons, vis, tubes ; Pignons de moteurs, arbres à came, pistons, engrenage, soupapes; Formage à froid de fils, de tubes, etc ; Emballage de produits alimentaires et ménagers. Carrosseries et panneaux automobile [111, ACEA, 2003] ; Appareils ménagers électriques, etc.	• Protection contre la corrosion • Caractère durable (lubrification des surfaces pour étirage ou formage à froid) • Permet de surmonter les irrégularités de surface • Caractère d'adhérence pour la peinture
Cartes de circuit imprimé (étamage et cuivrage, gravure, etc.)	Cuivre sur matières plastiques	Système de contrôle pour l'aérospatial, produits automobile (gestion du moteur, freinage, etc.), télécommunications et systèmes d'information, articles ménagers.	• Systèmes de circuit

Tableau 1.1 : Exemples des principaux traitements et de leurs utilisations

1.2 Structure de l'industrie et contexte économique

1.2.1 Type et taille des installations

Le traitement de surface des métaux et matières plastiques dont il est question dans ce document est effectué dans plus de 18 300 installations (relevant ou non de la directive) en Europe, des petites entreprises privées jusqu'aux structures détenues par des sociétés multinationales. La majeure partie consiste en des petites et moyennes entreprises (PME, [61, CE, 2002]) ; en Allemagne, le nombre d'employés se situe généralement entre 10 et 80. Au total, l'industrie du traitement de surface des métaux et matières plastiques emploie environ 440 000 personnes en Europe. Ces chiffres comprennent les fabricants de cartes de circuits imprimés. Plus de 10 000 (55 %) sont des installations spécialisées dans le traitement de surface (dénommées également ateliers de sous-traitance). Les 8 300 restants (45 %) sont des ateliers de traitement de surface intégrés à l'intérieur d'une autre installation, en général également une PME. La majorité des ateliers de sous-traitance sont liées à plusieurs secteurs (voir ceux listés dans le tableau 1.1). Il n'existe pas d'installation type de l'ensemble de la gamme d'activités, et même si de fortes similitudes peuvent être observées entre des sites engagés dans les mêmes activités, deux sites ne seront jamais identiques. [3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003] Afin de recueillir des statistiques économiques, l'électrodéposition, le revêtement, le polissage, l'anodisation et la coloration sont tous classés sous le code 3471 de la Classification Type des Industries (CTI), mais celui-ci inclut les établissements engagés dans tous les types de finition métallique. Les entreprises qui, à la fois, fabriquent des produits et leur apportent une finition (effectuent un traitement de surface) sont classées en fonction des produits qu'elles réalisent. Pour ce qui est des données concernant les sources d'émission, le secteur est classé dans la catégorie des procédés de fabrication à usage général (pour les émissions, code NOSE-P 105.01 [2, CE, 2000]). Ces groupements compliquent l'obtention de données pour les traitements de surface spécifiques ou pour le secteur entier car il n'est pas facile de les différencier des autres activités techniques.

Le traitement de surface a lieu entre la fabrication initiale de la pièce de fabrication ou du substrat et l'assemblage final du produit, son achèvement et son emballage. Le traitement (aussi bien dans les ateliers de sous-traitance que dans de nombreux ateliers internes à l'entreprise) a souvent un degré de priorité faible dans la chaîne de production, bien qu'il existe des exceptions significatives. Un degré de priorité faible peut entraîner une préoccupation insuffisante pour la correction et la mise à jour des spécifications, un manque d'attention au cours de la conception du produit, à la minimisation et à la réduction des consommations, ainsi qu'un manque d'investissement.

Le traitement de surface est habituellement effectué après la transformation du métal ou de la matière plastique d'origine en pièce de fabrication ou en substrats formés, comme des écrous, des boulons, des composants pressées ou moulées, des feuilles, ou des bobines. Il se peut également qu'il existe des sous-assemblages constitués de plusieurs composants, souvent composés de matériaux différents. Ces composants et sous-assemblages peuvent présenter des formes complexes qui ont été pressées, coulées et/ou usinées. Cependant, lors d'un traitement de bobine, le traitement de surface est appliqué avant le substrat utilisé. La taille de ce dernier varie du simple fil à la bande d'acier de 2008 mm de largeur. Dans des applications de bobine à bobine à plus petite échelle, du cuivre, du laiton ou d'autres alliages sont également enduits. Les cartes de circuit imprimé sont constituées de cartes de matière plastique ou de fibres de verre qui sont déjà stratifiées (habituellement avec du cuivre) ou des films de matière plastique.

Les chaînes de production sont habituellement modulaires et elles sont composées, pour les moins importantes, d'une série de cuves . Néanmoins, les grandes chaînes automatisées et plus particulièrement les modules de manipulation de bobine de feuillard ou de composant de taille importante (tels que des parties d'ailes d'avion) sont des entités de taille importante, spécialisées, et à haute valeur en investissement.

La plupart des installations, en particulier les ateliers de sous-traitance, exploitent plusieurs chaînes de production disposées parallèlement. Ceci contribue à accroître la capacité et la fiabilité des livraisons, et permet, pour une même installation, d'offrir différents types de traitements (support, bobine ou bobine à échelle réduite, voir le chapitre 2) pour différents produits et différents prix et/ou d'offrir différents types de finition. Dans ces cas, le point 2 de l'annexe 1 de la directive IPPC s'applique : « *Si un même exploitant met en œuvre plusieurs activités relevant de la même rubrique dans une même installation ou sur un même site, les capacités de ces activités s'additionnent* » [1, CE, 1996].

A titre d'exemple de la répartition géographique et de la structure du secteur, en France, le secteur est largement disséminé, avec des concentrations dans le sud-est (21 %) et la région parisienne (24 %). Le nombre d'installations de traitement de surface dans lesquelles le volume de cuves de traitement dépasse 1,5 m^3 est de 2 250 (le niveau seuil dans la législation française), et le nombre d'installations dans lesquelles le volume de cuves de traitement dépasse 10 m^3 est de 1 260 [121, France, 2003].

1.2.2 Durée de vie des équipements

La grande majorité des chaînes de traitement sont modulaires et la durée de vie réelle d'une installation est difficile à estimer étant donné que les modules individuels sont réparés ou remplacés au fur et à mesure des besoins. Habituellement, les chaînes de production entières ne sont ne sont remplacées que rarement (lorsque la maintenance des modules individuels n'est plus suffisante), ou que lorsqu'une technologie totalement nouvelle est introduite. Cependant, pour des opérations de traitement de surface à grande échelle comme le revêtement de bobine d'acier et le traitement de carrosserie et de panneaux automobiles, l'investissement peut s'élever à plusieurs millions d'euros (et jusqu'à 500 millions d'euros pour une installation complète d'atelier de peinture) avec une durée de vie de 20 à 40 ans. L'amortissement se fait généralement sur plus de 20 ans [111, ACEA, 2003].

1.2.3 Caractéristiques techniques des installations

En raison de la nature modulaire des chaînes de traitement, certaines techniques peuvent être installées ou modifiées relativement rapidement et à moindre coût. Par exemple, le changement de certaines solutions de traitement s'effectue régulièrement, d'autres sont coûteuses et dotées d'une longue durée de vie ; un changement est donc une décision d'investissement. Certaines techniques peuvent nécessiter des modifications ou des extensions à apporter aux chaînes de production. Bien que la nature modulaire des installations facilite de tels changements, dans de nombreux cas, d'autres facteurs affecteront la facilité avec laquelle le changement sera effectué ; citons par exemple l'encombrement des systèmes de transport et de contrôle, et l'espace disponible dans l'installation. Lorsque ces opérations sont intégrés au sein de l'entreprise, elles ont tendance à concerner des produits spécifiques. Les changements relatifs à ces installations et aux installations traitant des produits de taille plus importante, comme le

revêtement des bobines d'acier, des éléments d'engin aérospatial ou des carrosseries automobile, peuvent être techniquement plus difficiles et/ou impliquer des coûts d'immobilisation du capital plus élevés. Pour des installations plus importantes, l'amortissement se situe habituellement entre 6 et 20 ans [157, ACEA, 2004].

Le secteur étant en surcapacité, il est rare que des installations entièrement neuves soient construites. Il est plus fréquent, dans les installations existantes, de procéder au remplacement de modules ou de chaînes.

1.2.4 Structure du marché

1.2.4.1 Concurrence

Le faible coût et la facilité de construction modulaire des chaînes de production facilitent l'entrée sur le marché. Les entreprises de traitement de surface des métaux et matières plastiques exploitant uniquement une ou deux chaînes de traitement, dont les volumes de cuves sont souvent faibles, sont fréquemment en concurrence directe pour certains clients avec des installations exploitant des chaînes de traitement de taille plus importante pouvant utiliser davantage de techniques de réduction.

Bien que ce secteur touche plusieurs domaines de fabrication majeurs, il présente une concentration élevée de clients dans quelques zones (comme le secteur automobile) sur des marchés extrêmement concurrentiels, et une surcapacité en installations de traitement de surface. Très peu d'ateliers de sous-traitance sont suffisamment grands pour offrir leurs services à plus de trois ou quatre types d'industries ou fournir plus de trois options de finition, les stratégies commerciales des entreprises se concentrant pour la plupart sur une spécialisation dans certains types de finition. Il existe quelques possibilités pour différencier l'activité, en proposant des finitions de traitement spéciales et/ou des normes de qualité spéciales, ou en procédant à une intégration verticale comme la fabrication des composants devant être traités. L'installation intégrée au site est l'intégration verticale ultime de l'activité. Les chaînes de production à grande échelle sont tributaires de volumes de taille importante pour des finitions de surface très spécifiques, comme un type particulier de revêtement pour bobine d'acier ; et, généralement, les opportunités de diversification ou de nouveaux marchés sont extrêmement limitées.

1.2.4.2 Etendue du marché

La taille du marché est souvent proportionnelle au degré de spécialisation du traitement. Les traitements les plus couramment mis en œuvre par les ateliers de sous-traitance (comme le zingage par passivation du chrome) le sont sur une base très localement définie, où les clients maîtrisent habituellement le prix. D'autres finitions plus spécialisées, dont le prix plus élevé justifie les coûts de transport (c'est le cas pour le cadmiage ou l'anodisation de composants de grande taille suivant les spécifications de l'industrie aérospatiale) peuvent être exécutées à l'échelle nationale, voire entre pays voisins. Cependant, la concentration des installations de traitement de surface en Europe signifie habituellement que l'extension physique des marchés occasionne une concurrence accrue.

L'extension du marché des biens de consommation est également un facteur important. En 2001 et 2002, le volume d'activités des industries légères a chuté de 30 % en l'Europe. Cela s'explique par la délocalisation accrue de l'ensemble de la fabrication et

de l'assemblage des composants techniques vers l'Asie (discussions du groupe de travail technique).

Les prévisions actuelles indiquent qu'en 2005/2006, la production mondiale de cartes de circuits imprimés (PCB) pourrait de nouveau atteindre le niveau record de l'an 2000. Etant donnée la structure des coûts des concurrents asiatiques, il est légitime de s'interroger sur la compétitivité à long terme de l'Europe sur le marché mondial pour ce qui concerne la production, en utilisant des technologies standard, de grands volumes de cartes de circuits imprimés. La surcapacité mondiale pourrait entraîner des fusions et des faillites supplémentaires, à moins qu'une nouvelle croissance ne soit générée en Europe. [122, UBA, 2003].

Le pourcentage de croissance des cartes multicouches (MLB) et d'autres produits de haute technologie, y compris la croissance disproportionnée des interconnexions à haute densité (HDI)) ou les circuits imprimés microvia, démontrent le développement technologique de la production européenne des cartes de circuits imprimés. On s'attend à ce que les fabricants de cartes de circuits imprimés européens poursuivent leur développement vers les domaines de haute technologie, en se concentrant sur des segments comme la technologie des capteurs, les applications industrielles, les télécommunications, l'électronique destinée à l'automobile, et les secteurs médical et aéronautique (voir section 1.3.5).

1.2.4.3 Substituts de marché

Dans ce contexte, on entend par substituts [88, EIPPCB] les manières alternatives et concurrentes dont un client dispose pour obtenir le résultat souhaité, et non la substitution de produits chimiques et autres traitements décrits dans la section 4.9. Des alternatives sont d'ores et déjà disponibles pour de nombreux traitements de surface des métaux et matières plastiques. Le client peut s'orienter vers l'une de ces alternatives pour des raisons financières ou de conception. On distingue trois formes de ce type de substitution :

- un système de traitement de surface différent. Des traitements électrolytiques ou chimiques, par exemple, sont en concurrence avec les traitements de surface solvant-peinture : les poignées de portières automobiles peintes ont largement remplacé les poignées chromées ; l'impression lithographique à partir de plaques d'aluminium peut être remplacée, pour les faibles productions, par l'impression laser ou à jet d'encre ;
- la fabrication de composants à partir d'un matériau différent. Le client peut reconcevoir les produits ou composants à partir de matériaux alternatifs, ce qui réduit le besoin d'un traitement de surface. Par exemple, de la peinture ou des aliments peuvent être vendus dans des récipients plastiques plutôt que dans des boîtes métalliques ; des plaques lithographiques peuvent être produites à partir de différents substrats tels que des matières plastiques ;
- une combinaison des deux points précèdents. Des réflecteurs de lumière pour voiture peuvent désormais être moulés à partir de matières plastiques et recevoir une couche métallique par dépôt en phase vapeur à la place d'un cuivrage/nickelage/chromage de l'acier pressé.

Les figures 1.1 et 1.2 présentent des exemples d'activités dans lesquelles les clients ont le choix entre l'anodisation et d'autres revêtements, en fonction des tendances de conception, des exigences de spécification des clients et du coût.

1.2.5 Résumé de la situation économique générale

Les opportunités de répercuter les augmentations de coûts aux clients sont limitées par :

- le grand nombre d'installations de traitement de surface en concurrence face à un nombre de clients en diminution ;
- le déclin des activités techniques en Europe ;
- les options de substitution croissantes (décrites précédemment).

1.3 Activités spécifiques du secteur

1.3.1 Anodisation de panneaux et de profilés architecturaux d'aluminium

Le traitement de surface de l'aluminium, principalement destiné à la construction sous la forme de profilés architecturaux, est réalisé par plus de 460 installations dans l'ensemble des 15 pays de l'UE et dans 6 pays européens non membres. De nouveau, il s'agit principalement de petites et moyennes entreprises [9, ESTAL, 2002]. En Europe, la consommation d'aluminium anodisée s'élève approximativement à un mètre carré par habitant et par an [118, ESTAL, 2003].

La figure 1.1 représente la production totale des profilés d'aluminium en Europe par anodisation ou par autre procédé de revêtement.

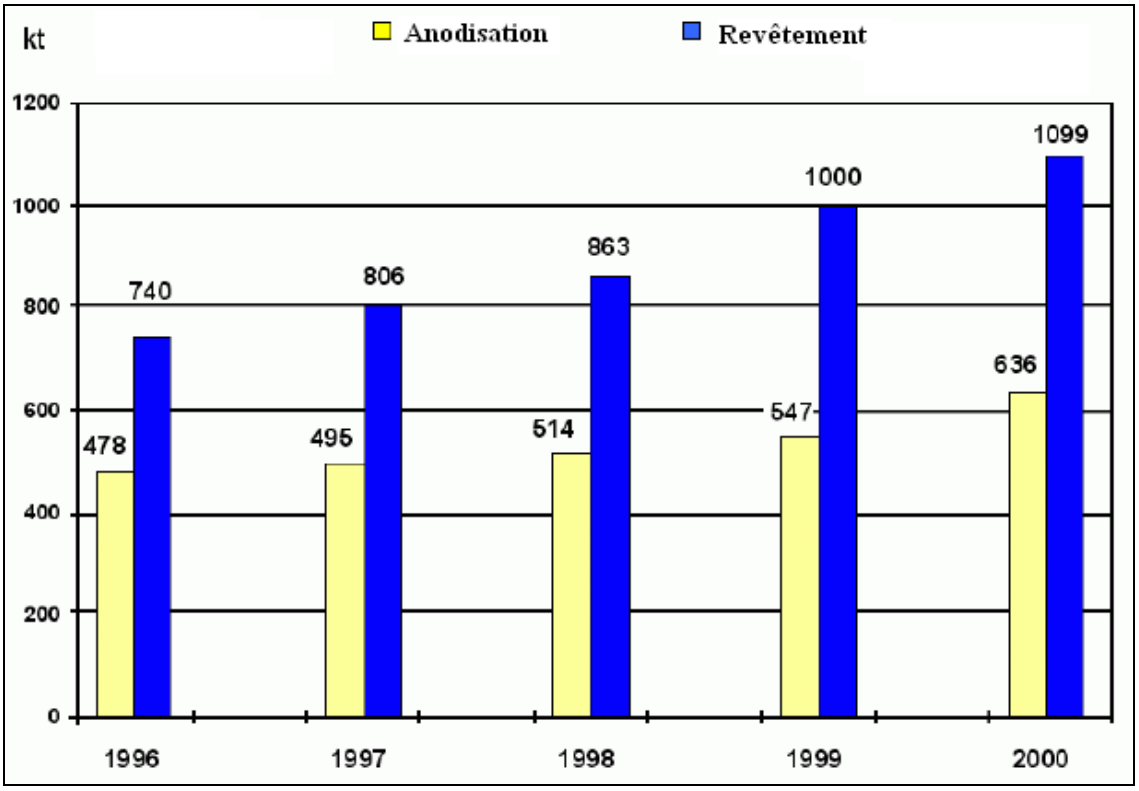


Figure 1.1 : Production totale de revêtements pour l'aluminium
[9, ESTAL, 2002]]

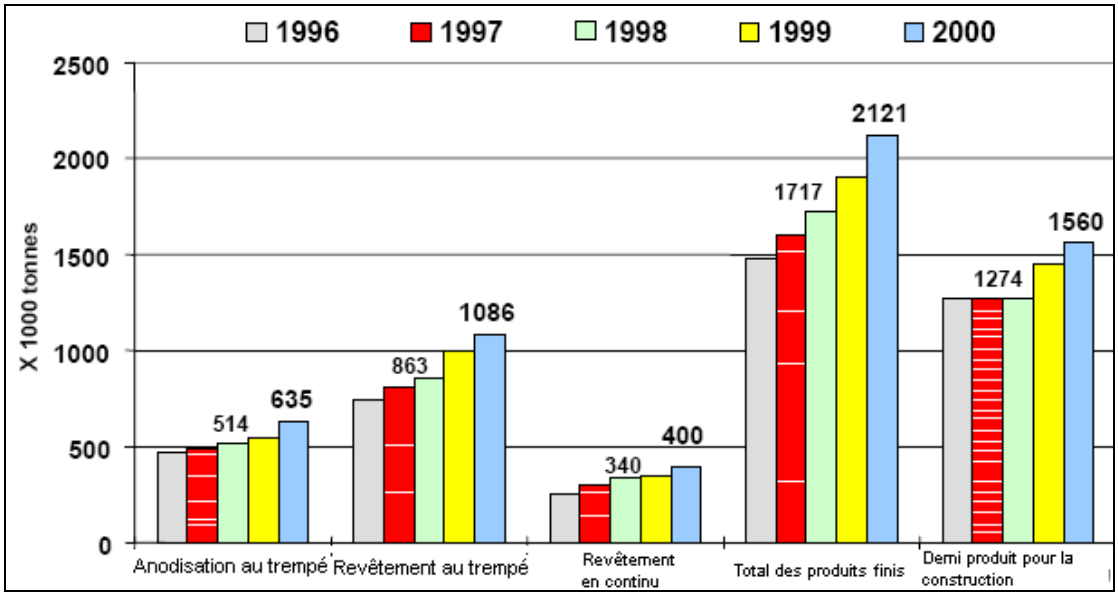


Figure 1.2 : Total des finitions de surface d'aluminium de profilés architecturaux en Europe
[9, ESTAL, 2002]

La figure 1.2 représente successivement la production européenne d'anodisation par batch (chaîne « au montage », voir le chapitre 2), la production européenne des autres traitement de surface par batch, ainsi que celle des traitements en continu de 1996 à 2000.

La figure 1.3 représente la production des quatre premiers pays européens quant à l'anodisation de profilés de 1996 à 2000.

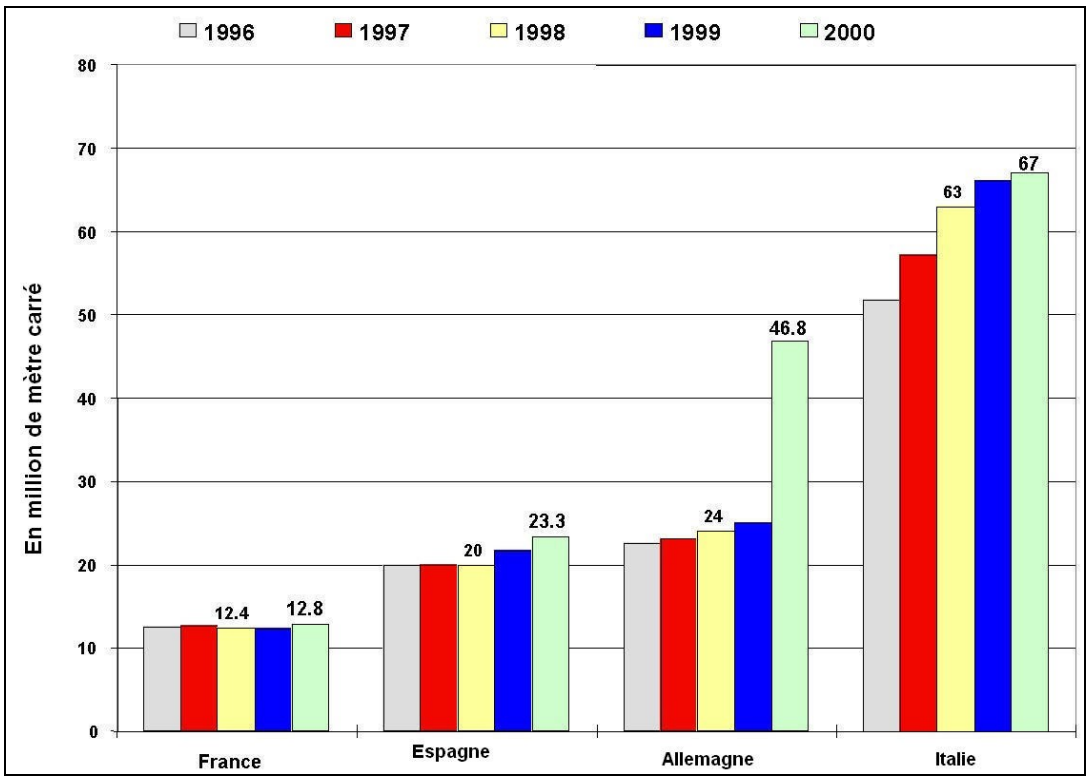


Figure 1.3 : Principaux pays d'Europe pratiquant l'anodisation
[9, ESTAL, 2002]

1.3.2 Revêtement de l'acier en continu et à grande échelle

Dans l'Europe des 15 (UE-15), Il existe quatre types de systèmes de traitement électrolytiques appliqués aux bobines d'acier, à savoir : à l'étain, au chrome (*acier traité par dépôt électrolytique au chrome (ECCS)*), au zinc ou à l'alliage zinc-nickel et au plomb [19, Eurofer, 2003]. En République tchèque, le cuivre, le laiton, le nickel et le zinc sont appliqués sur des bandes d'acier d'une largeur de 145 à 265 mm. [116, république tchèque, 2003] Aucune donnée n'est disponible pour les autres pays européens.

Plaquage électrolytique à l'étain et acier traité par dépôt électrolytique au chrome (ECCS)

Le substrat obtenu à partir de ce procédé trouve son application principale dans l'emballage. La production de plaquage électrolytique en continu à l'étain et de chromage électrolytique (ECCS) de l'Europe des 15 (EU-15) était de 4 800 kt en 2000. L'évolution de la production de l'ensemble de ces deux techniques (plaquage à l'étain et chromage électrolytique) est représentée, par pays, figure 1.4 et tableau 1.2. .

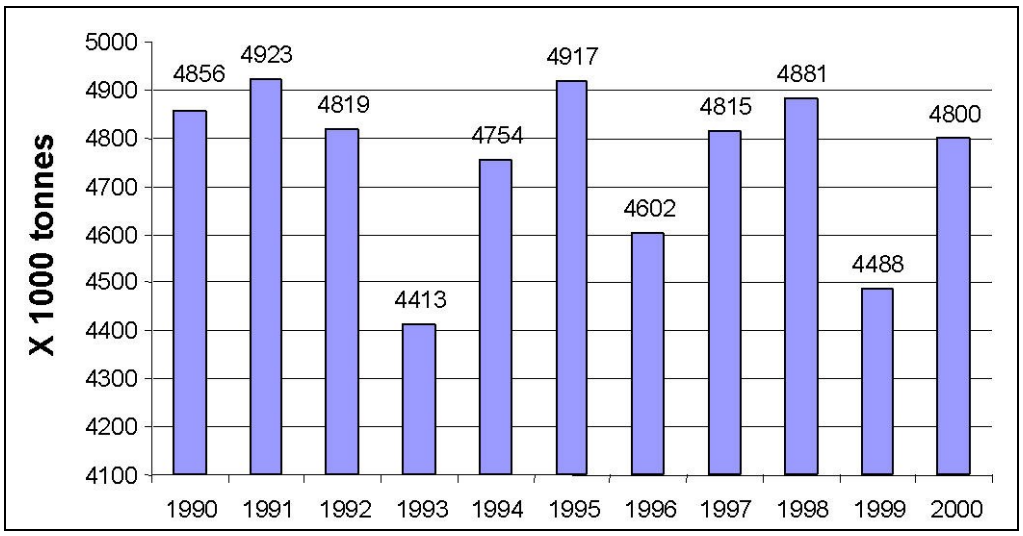


Figure 1.4 : Acier destiné à l'emballage (fer blanc et chromage électrolytique), production de l'UE-15 (en kt)
APEAL [18, Eurofer, 2003][1]

Pays	**Production (kt) de fer blanc en 2000** dnc = données non communiquées	**Production (kt) d'ECCS en 2000** dnc = données non communiquées
Allemagne	802	147
Autriche	dnc	dnc
Belgique	281	12
Danemark	dnc	dnc
Espagne	494	61
Finlande	dnc	dnc
France	886	207
Grèce	69	dnc
Irlande	dnc	dnc
Italie	283	67
Luxembourg	dnc	dnc
Pays-Bas	612	51
Portugal	76	dnc
Royaume-Uni	588	147
Suède	dnc	dnc
Totaux des données obtenues	**4 091**	**692**

Tableau 1.2 : Tonnages de production de plaquage à l'étain et de chromage électrolytique pour l'année 2000 par pays dans les 15 pays de l'UE
STATISTIQUES EUROFER [19, Eurofer, 2003]

[1] APEAL : - The Association of European Producers of Steel for Packaging – fédération de quatre producteurs multinationaux d'acier d'emballage pour l'Europe dans sept pays. Celle-ci représente quelques 90 % de la production européenne totale d'acier pour emballage et donc des chaînes de production de fer blanc et d'ECCS.

Le Les activités de plaquage à l'étain et de chromage électrolytique ont un chiffre d'affaires annuel de l'ordre de 3 000 millions d'euros et emploient directement et indirectement 15 000 personnes.

Les installations sont regroupées dans 9 États membres. Le nombre de chaînes de production en bande continue en fonctionnement, en cours de construction . et en projet, dans les États membres de l'UE est indiqué dans le tableau 1.3

Pays **Nombre de chaînes de production de plaquage à l'étain** dnc = données non communiquées **Nombre de chaînes de production de chromage électrolytique** dnc = données non communiquées
Allemagne
3 1
Autriche
dnc dnc
Belgique
1 1*
Danemark
dnc dnc
Espagne
4 1*
Finlande
dnc dnc-
France
5 5*
Grèce
1
Irlande
dnc dnc
Italie

	dnc
	dnc
Luxembourg	
	dnc
	dnc
Pays-Bas	
	4
	2, comprenant l'étamage*
Portugal	
	1
	0
Royaume-Uni	
	2
	1
Suède	
	dnc
	dnc

* Indique des chaînes de production qui peuvent produire du plaquage à l'étain et du chromage électrolytique [119, Eurofer, 2003].

Tableau 1.3 : Nombre de chaînes de production en continu produisant à la fois du plaquage à l'étain et du chromage électrolytique dans les 15 pays de l'UE
[19, Eurofer, 2003]

La figure 1.5 représente la part de la consommation de plaquage à l'étain et de chromage électrolytique par les industries dans les 15 pays de l'UE, dont la production annuelle moyenne approche les cinq millions de tonnes. Les emballages en acier des produits alimentaires destinés aux humains et aux animaux de compagnie représentent l'application principale avec une part de 48 %, suivie des chaînes de production générales (pots de peinture, boîtes industrielles, etc.).

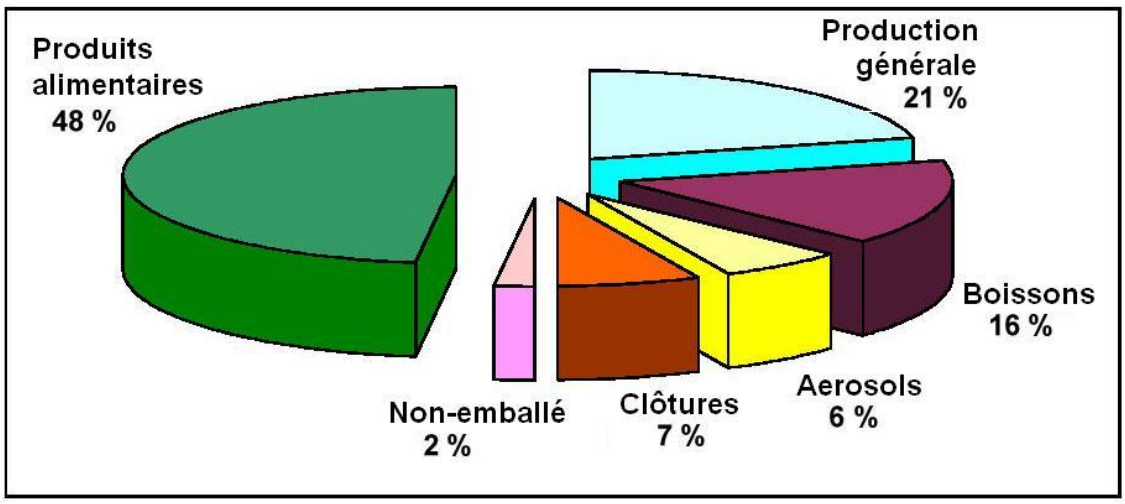


Figure 1.5 : Principaux secteurs consommateurs de plaquage à l'étainet de chromage électrolytique
APEAL [19, Eurofer, 2003]

Revêtement de l'acier par zinc et zinc-nickel (Zn et Zn-Ni) électrolytique en continu

Depuis les années 1970, la production de feuille d'acier zingué et revêtue d'un alliage de zinc s'est accrue de manière significative. L'industrie automobile a largement contribué à ce phénomène, en réponse à la demande de garanties anticorrosion et d'une durée de vie des véhicules plus longue.

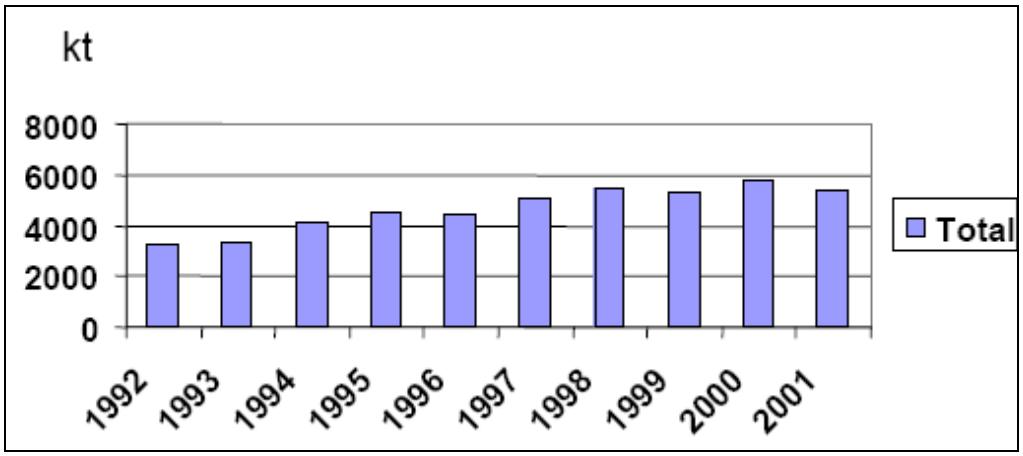


Figure 1.6 Production de zinc/zinc-nickel électrolytique dans les 15 pays de l'UE (en kt)
[19, Eurofer, 2003]

La production d'acier à revêtement Zn ou Zn-Ni électrolytique atteignait 5,37 Mt en 2001. L'évolution de la production dans les 15 pays de l'UE est représentée sur La figure 1.7, ci-dessous.

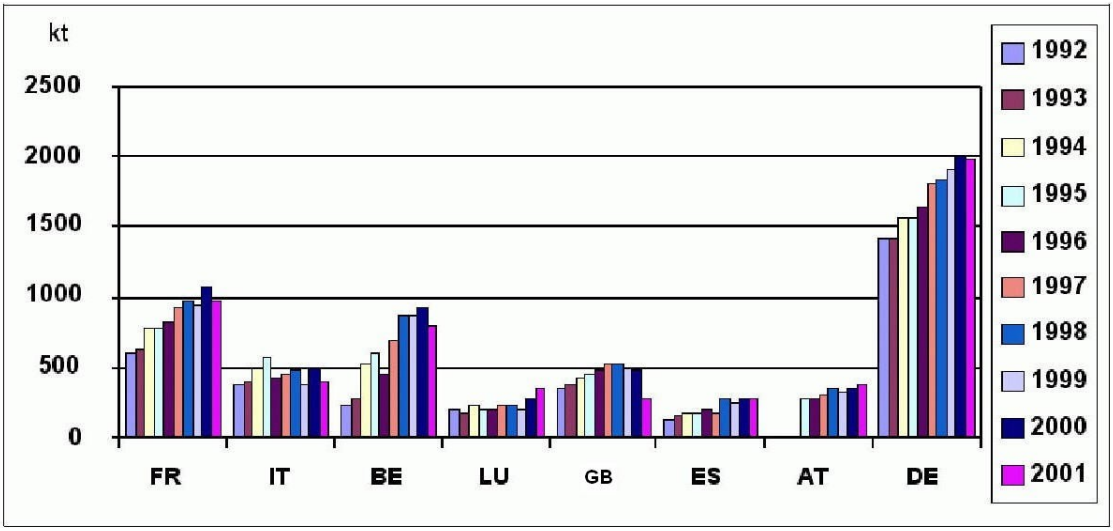


Figure 1.7 : Production d'acier à revêtement de zinc et de zinc-nickel en continu dans les 15 pays de l'UE (en kt)
[19, Eurofer, 2003]

Revêtement de l'acier par plomb électrolytique en continu
Il n'existe qu'une installation de revêtement au plomb en continu en Europe (en Autriche). Cette installation est sur le point de perdre d'importants clients européens du secteur automobile et fermera ses portes au cours de l'année 2005-2006, en raison de la législation européenne imposant la réduction de la quantité de plomb dans les véhicules en fin de vie [99, CE, 2000].

Autre revêtement électrolytique en continu de l'acier
La République tchèque dispose d'une installation permettant l'application en continu de revêtements métalliques (cuivre, laiton, nickel, zinc) sur des bandes d'acier (d'une largeur de 145 à 265 mm), d'une capacité de production totale de 8 000 tonnes d'acier/an. [116, République tchèque, 2003]

1.3.3 Anodisation de bandes et de plaques en continu pour l'impression lithographiques (offset)

L'impression lithographique ou offset fonctionne par l'utilisation d'un rouleau intermédiaire pour transférer de l'encre d'une plaque vers une feuille de papier. Elle exige une production de plaque qui soit simple, rapide économique. Le substrat utilisé est habituellement l'aluminium. On distingue deux types de plaques : [38, Ulmann, 2002/2003]

- des plaques présensibilisées (PS) (dotées lors de la fabrication d'une finition photosensible). Les ventes mondiales actuelles sont d'environ 180 x 10^6 m^2.
- des plaques offset wipe-on qui ne sont pas pré-enduites et qui sont enduites par l'imprimeur au besoin. Elles sont encore utilisées dans certains pays, principalement aux Etats-Unis et en Europe de l'Est. La consommation mondiale s'élève à environ 30 x 10^6 m^2.

1.3.4 Traitement en continu de bande d'aluminium

Chaque année, plusieurs centaines de kilotonnes de bandes d'aluminium sont traitées sur les chaînes de production des principales entreprises de laminage et d'autres. Les traitements comprennent le nettoyage, le prétraitement, la gravure, l'anodisation, la coloration, le colmatage, le brillantage électrolytique et la gravure chimique par effet tunnel [118, ESTAL, 2003].

1.3.5 Cartes de circuit imprimé

Le marché mondial des cartes de circuits imprimés en 2002 était de 31 640 millions de dollars U.S., en diminution de 24,3 % par rapport au pic du marché de 2000 qui était de 41 824 millions de dollars U.S., année de croissance exceptionnelle pour le secteur électronique (voir la figure 1.8) [122, UBA, 2003].

La part de l'Europe sur le marché mondial en 2002 était de 18 %. La répartition des parts pour les autres régions était la suivante : Afrique et Moyen-Orient : 1,3 %, Asie du Sud-est : 26,4 %, Japon : 25,1 % et 29,2 % pour les Amériques.

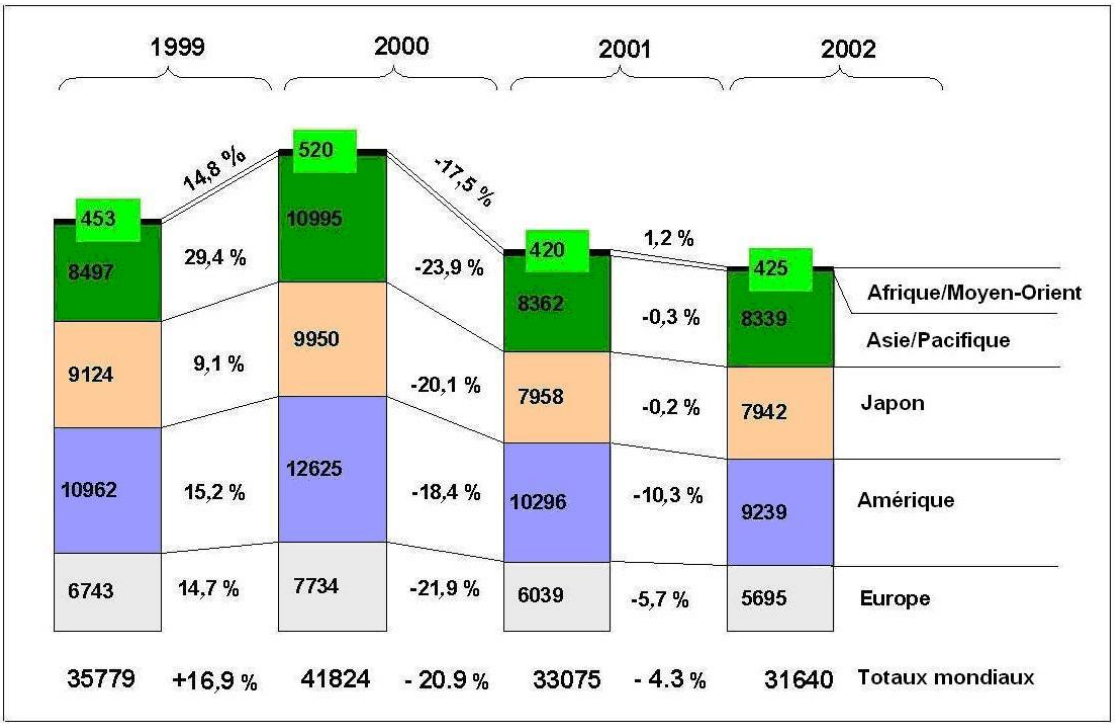
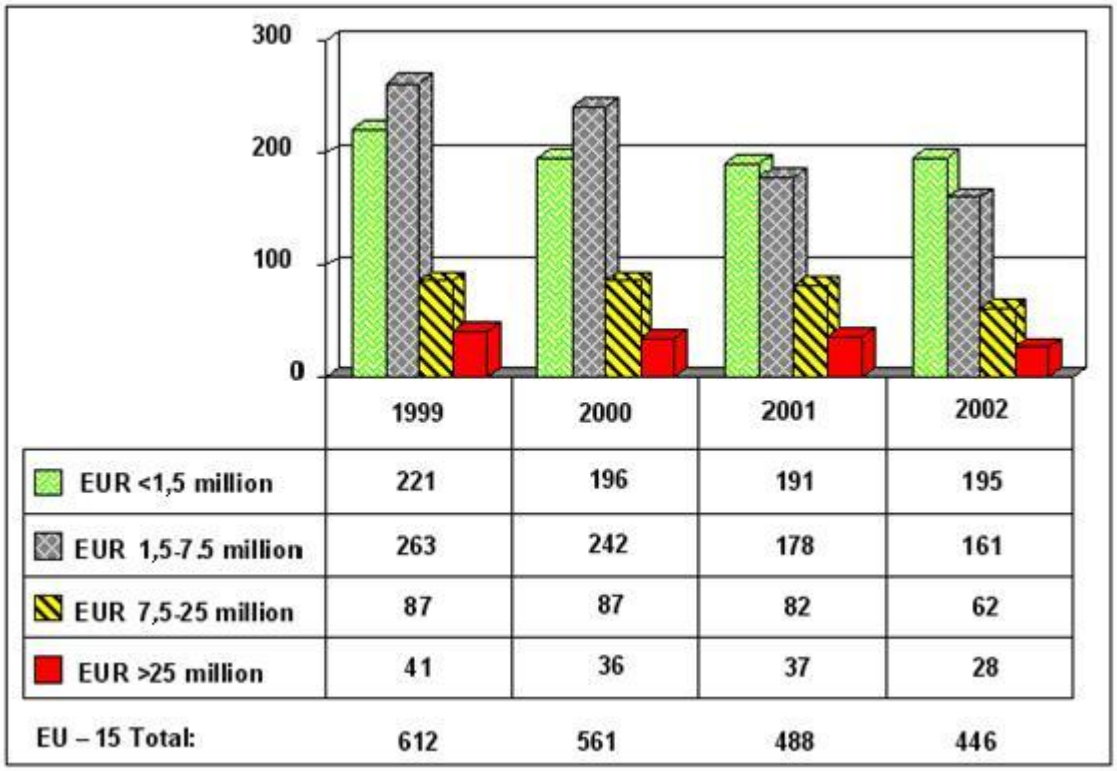


Figure 1.8 : Marché mondial des cartes de circuits imprimés, 1999-2002, par région, valeur en million de dollars
U.S. [122, UBA, 2003]

Production des cartes de circuits imprimés en Europe

En 2002, la production totale de cartes de circuits imprimés en Europe atteignait 3 422 millions d'euros, et employait 29 000 personnes dans 434 installations.

Le nombre de fabricants européens a changé de manière significative. En 1999, ce nombre était de 612 fabricants ; en 2002, il était de 434. Plus de 80 % de ces fabricants ont un chiffre d'affaires inférieur à 7,5 millions d'euros par an, ce qui prouve que l'industrie européenne est dominée par les PME, malgré le niveau technologique élevé (voir la figure 1.9).



	1999	2000	2001	2002
EUR <1,5 million	221	196	191	195
EUR 1,5-7,5 million	263	242	178	161
EUR 7,5-25 million	87	87	82	62
EUR >25 million	41	36	37	28
EU – 15 Total:	612	561	488	446

Figure 1.9 : Nombre de fabricants de cartes de circuits imprimés en Europe (repartions par chiffre d'affaires)
[122, UBA, 2003]

La figure 1.10 représente les secteurs industriels liés à la production de cartes de circuits imprimés en 2002.

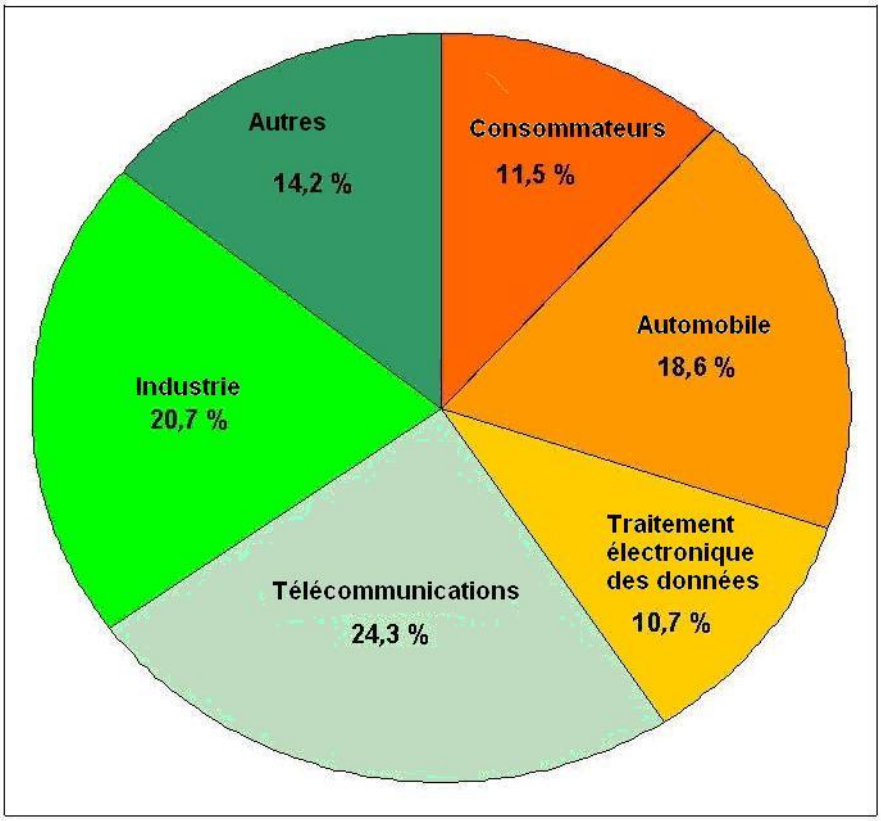


Figure 1.10 : Secteur industriel lié à la production européenne de cartes de circuits imprimés en 2002
[122, UBA, 2003]

En Europe, la part de la production de cartes de circuits imprimés haute technologie a augmenté en proportion de la production totale ; cela montre la puissance technologique du secteur européen des cartes de circuits imprimés. Ce phénomène souligne la tendance vers des produits disposant de caractéristiques techniques plus développées, dotées de structures toujours plus détaillées et dans des dimensions les plus petites possibles (voir section 1.2.4.2).

1.4 Principaux problèmes environnementaux

1.4.1 Vue d'ensemble

L'industrie des TSM joue un rôle majeur dans la prolongation de la vie des métaux, comme ceux des matériaux de carrosserie automobile et de construction. Ils sont également utilisés dans du matériel permettant d'accroître la sécurité ou de réduire la consommation d'autres matières premières (par exemple, le revêtement de systèmes de freinage et de suspension des véhicules aérospatiaux et automobiles, un revêtement de précision des injecteurs de moteur automobile afin de réduire leur consommation en carburant, etc.). Les principaux problèmes environnementaux engendrés par le traitement de surface de métaux et matières plastiques concernent la consommation d'énergie et d'eau, la consommation de matières premières, les émissions vers les eaux de surface et souterraines, les déchets liquides et solides et l'état du site lors de la cessation des activités.

Les traitements de surface sont traditionnellement associés à une utilisation importante d'eau afin de créer un environnement de travail humide, bien que de nombreuses

installations ne fonctionnent plus de cette manière. Les produits chimiques utilisés sont potentiellement dangereux pour l'environnement, en particulier pour les eaux de surface, les eaux souterraines et le sol. Les métaux retirés des eaux résiduaires sont transformés en fin de cycle en déchets solides et, associés à des solutions de traitement utilisées, peuvent nécessiter un traitement spécial de récupération ou d'élimination. Cette industrie peut produire des fumées et de la poussière évacuée dans l'atmosphère, et peut également générer du bruit. Ce secteur consomme également des quantités non négligeables d'électricité, d'eau et de ressources non renouvelables (métaux). Les points énoncés ci-dessous sont donc d'une importance cruciale.

- minimisation de la consommation de matières brutes, d'énergie et d'eau ;
- minimisation des émissions grâce à une réduction de la pollution et une gestion des procédés ;
- minimisation et gestion de la production de déchets ;
- amélioration de la sécurité chimique et réduction des accidents environnementaux.

Les mesures définies pour atteindre de meilleures performances environnementales sont souvent complexes et doivent être évaluées en fonction de leurs impacts potentiels sur le produit et sur les autres procédés (aussi bien de pré-traitement que de post-traitement), de l'âge et du type d'installation ainsi que des bénéfices obtenus pour l'environnement dans son ensemble. . Les meilleures techniques disponibles devront être équilibrées vis à vis de ces critères et en conséquence incluront des modifications à l'intérieur des unités de traitement ainsi que des techniques de réduction au point de rejet.

Des techniques de traitement et des procédés sophistiqués jouent un rôle important dans l'accroissement des performances environnementales. Un fonctionnement adapté et un entretien régulier sont donc tout aussi essentiels que le choix d'une technologie. Il est donc important de prendre en considération de bonnes pratiques de gestion et d'exploitation, une bonne conception du traitement et du site, l'éducation de la main d'œuvre sur les performances environnementales et de traitement, la sécurité sur le lieu de travail et la prévention des accidents, et enfin, la surveillance des performances de traitement et environnementales.

1.4.2 L'eau

Les activités visées par ce document utilisent principalement un milieu à base de solutions aqueuses ; la gestion de l'eau, ses cheminements et objectifs - la protection des eaux de surface, des eaux souterraines et des sols - sont donc des thèmes centraux. Les techniques utilisées en cours de traitement et au point de rejet peuvent affecter le type et la quantité de déchets solides et liquides produits (parfois de manière négative), et modifier également la qualité des eaux usées.

Les eaux de traitement sont souvent traitées dans des installations de traitement des eaux usées intégrées au site. Ces dernières sont généralement déversées dans installations de traitement d'eaux résiduaires (eaux usées) municipales (urbaines), ou, si l'effluent est traité selon des normes appropriées, directement vers les eaux de surface. Il s'agit de la cause principale de pollution chronique, qui peut être causée par des contrôles de traitement médiocres et/ou des contrôles aux points de rejets inappropriés. Ceci peut être dû à une organisation ou à un entretien médiocre, ou à un manque d'investissement.

Bien que le secteur ait progressé dans l'amélioration de ses pratiques et de son infrastructure dans de nombreux domaines, il est toujours la source d'un nombre significatif d'accidents environnementaux [44, France 2003]. En France, de 1992 à 2002, 1,2 % de tous les incidents graves de pollution industrielle des eaux étaient imputables à ce secteur. Cette part s'élève à 5 % si l'on y ajoute les « quasi incidents » [121, France 2003]. La Thames Water plc, au Royaume-Uni, indique que le secteur présente un risque élevé relatif aux traitements des eaux usées et des ressources en eau [Tempany, 2002 #18]. Citons, pour ce qui est des impacts, la perte de solution de traitement biologique des eaux usées, l'interruption de la gestion des boues des eaux usées, ainsi que les dégâts occasionnés sur les ressources en eau de boisson et sur les écosystèmes aquatiques.

L'entretien médiocre ou les accidents de manipulation et de stockage de solutions, y compris la rupture de réservoirs de stockage du process, génèrent des émissions hautement polluantes vers les eaux de surface, ainsi que des cas de pollution chronique et aiguë affectant les eaux souterraines et les sols. L'évacuation intermittente de solutions de traitement usées sans traitement adéquat [113, Autriche, 2003], ou qui conduit à la surcharge des installations de traitement, est également mise en cause dans la pollution des eaux de surface. La surcharge peut être provoquée par des installations mal conçues ou obsolètes, un accroissement de la capacité de production au-delà de la capacité prévue à l'origine, des changements de type de traitement et/ou un contrôle médiocre de l'utilisation de l'eau et des matériaux dans les processus [156, Portugal, 2004].

L'utilisation de l'eau est également un problème important. La plus grande partie de l'apport d'eau est utilisée dans des étapes de rinçage entre les phases de traitement puis est ensuite évacuée. Sur certains sites, des quantités importantes d'eau sont utilisées dans des étapes de refroidissement. Des quantités négligeables d'eau se retrouvent dans les déchets et l'évaporation d'eau de composants en phase de séchage, de solutions chauffées dans des cuves ouvertes et provenant de certains processus de récupération. Une partie de l'eau est utilisée pour réaliser des solutions de traitement neuves (eau d'appoint) ; la durée de vie utile de ces solutions varie en fonction de l'activité et du niveau de production.

1.4.3 L'énergie

L'électricité est consommée pour les réactions électrolytiques et d'autres réactions électrochimiques (notamment, l'électrodéposition et l'oxydation anodique). Elle est également utilisée pour faire fonctionner l'installation de traitement et d'autres équipements comme des pompes, le matériel de transport, des moteurs et les compresseurs. L'électricité peut également être utilisée pour le chauffage supplémentaire des cuves (par le biais de dispositifs de chauffage immergés) mais également pour le chauffage et l'éclairage de l'installation.

Des pertes en ligne se produisent lorsque l'électricité haute tension est transformée en électricité basse tension [11, ACEA, 2003]. Des pertes d'énergie peuvent également se produire par l'utilisation de plusieurs phases (énergie réactive), ainsi que lors de l'alimentation en courant continu (CC) des chaînes de traitement. Des pertes d'énergie se produisent également sous forme de chaleur lorsque le courant électrique passe au travers des solutions de traitement ; certaines compositions chimiques de traitement sont en effet moins économes en énergie que d'autres.

L'énergie est également consommée lors de l'élévation de la température des bains de traitement, lors du séchage des composants et pour d'autres activités nécessitant un chauffage. Les pertes proviennent de l'évaporation et se produisent sous forme de chaleur rayonnante provenant du matériel. Certaines compositions chimiques de traitement nécessitent plus d'énergie thermique que d'autres. L'énergie est également utilisée pour le séchage des pièces de fabrication ou du substrat et dans l'extraction des émanations provenant de l'installation. [158, Portugal, 2004].

Le refroidissement peut également consommer des quantités significatives d'eau en circuit ouvert ou dans certaines tours de refroidissement ; les systèmes de réfrigération fermés consomment de l'électricité.

1.4.4 Substances en cause

Etant donnée la large gamme d'activités de traitement, la gamme des substances utilisées et émises par l'industrie est considérable. Cependant, la plupart des installations n'utiliseront ou ne généreront qu'une partie de ces substances [111, ACEA, 2003]. Le tableau 1.4 identifie les principales substances utilisées et les milieux qu'elles peuvent affecter lorsqu'elles sont émises. La plupart des substances étant utilisées dans des solutions aqueuses, on les retrouve dans les eaux usées de traitement ainsi que dans des fuites et des débordements internes à l'installation. Peu de choses relatives aux produits de décompositions dans les procédés sont connues.

Principales substances en cause	**Milieu affecté**			
Remarque : il est très peu probable que toutes les substances seront utilisées ou apparaîtront dans une seule installation car elles dépendent du traitement	**Eau**	**Sol**	**Air**	**Autres points à envisager**
Métaux :				Voir l'annexe 8.1
Zinc	√	√		
Cuivre	√	√		
Nickel	√	√		Problèmes de santé au cours de l 'utilisation et de la préparation des produits
Chrome	√	√	√	Problèmes de santé avec des aérosols de solution Cr (VI)
Plomb	√	√		Pb et Cd sont des polluants prioritaires dans l'UE
Cadmium	√	√	√	
Eléments non métalliques :				
Cyanures	√	√	√	Toxique
Hypochlorite	√		√	Peut former des composés organohalogénés absorbables avec d'autres substances. Peut libérer du chlore dans certaines circonstances
AOX (composés organohalogénés absorbables)	√	√		Peuvent être formés dans certains traitements d'effluents
Peroxydes				Agent d'oxydation : problèmes de stockage
Agents de surface :				
Agents de dispersion, agents émulsionnants, détergents, agents mouillants (comprenant des nonyl- – et autres alkyl phényl éthoxylates (nonylphénols/éthoxylates de nonylphénol (NP/NPE)) des agents d'avivage (azurants), sulfonates de perfluorooctane (PFOS)	√			les éthoxylates de nonylphénol sont interdits. Problèmes de santé et environnementaux avec les sulfonates de perfluorooctane (PFOS), voir l'annexe 8.2
Agents complexants :				
EDTA	√			
Tartrate, EDDS, NTA, gluconate, quadrole	√			
Dithionite de sodium	√			Problèmes de stockage
Acides et alcalis :				
Chlorhydrique, nitrique, phosphorique, sulfurique, fluorhydrique, acétique	√	√	√	Emanations d'acide, particulièrement de NO_X
Hydroxydes de sodium et de potassium, chaux	√	√	√	Poussières
Autres ions :	√	√		Problèmes environnementaux locaux
Solvants :				
Trichloroéthylène (TRI)	√	√	√	Une autre législation s'applique aux émissions atmosphériques
Tétrachloroéthylène (PER)	√	√	√	
Trichlorotrifluoroéthane (CFC-113)	√	√	√	
Chlorure de méthylène	√	√	√	
Gaz :				
Chlore			√	Utilisé dans le traitement du cyanure
Poussières		√	√	Provenant du travail à la bande abrasive et du polissage
Déchets	√	√	√	

Tableau 1.4 : Principales substances en cause dans l'ensemble du secteur et milieux potentiellement affectés

Les problèmes d'évacuation dans le traitement posés par les métaux, les cyanures, les agents de surface, les agents complexants, les acides, les bases et leurs sels peuvent être résolus en substituant des traitements et/ou des produits chimiques, par la gestion du traitement et des système de rinçage, afin de réduire la quantité de produits chimiques entraînés hors de la solution sur les substrats en cours de traitement. Un traitement aux points de rejets peut également être mis en œuvre.

1.4.4.1 Métaux

Les métaux ont plus d'impact sous forme de sels solubles. Les métaux sont des matériaux persistants, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent être créés ou détruits : ils ne sont ni créés ni détruits dans les processus de traitement ou dans le traitement des eaux résiduaires. Leur forme peut être modifiée et/ou gérée pour éviter qu'ils n'arrivent aisément dans l'environnement, mais leur élimination implique que les métaux demeurent de toute façon en partie dans l'environnement. Il existe des options consistant à maximiser leur récupération et recyclage en cours de traitement, ainsi que leur récupération externe. Ils peuvent également être séparés dans des systèmes aux points de rejets sous forme de boues. Les métaux non retirés de l'effluent s'accumulent dans les boues d'eaux usées ou dans les écosystèmes aquatiques. La gestion des boues de traitement d'eaux résiduaires municipales varie selon les États membres et dépend fortement de la possibilité d'épandage des boues sur les terres agricoles pour laquelle la teneur en métaux est un facteur déterminant.

Bien que tous les métaux utilisés dans le traitement de surface (y compris le matériau de base) peuvent avoir des effets négatifs, en fonction de leur spéciation, six métaux sont parmi les plus dangereux en termes d'effets sur la santé et l'environnement : le cadmium, le plomb, le nickel, le chrome, le cuivre et le zinc [114, Belgique, 2003]. Une décision de la Commission [2, CE, 2000] mettant en œuvre un inventaire des émissions et des sources provenant des installations IPPC exige le signalement des quantités émises au-delà de certains seuils et les six métaux sont mentionnés dans des directives environnementales principales de l'UE, la directive PARCOM (désormais OPSAR) [12, PARCOM, 1992] et quatre se sont vus restreindre dans leur utilisation dans des directives liées à des produits (voir l'annexe 8.1).

Les propriétés toxiques du cadmium sont établies depuis longtemps et il s'agit d'une substance dangereuse prioritaire selon la directive-cadre sur l'eau [93, CE, 2000]. Cependant, il possède des propriétés d'une importance majeure dans le traitement de surface (voir section 2.5.5), pour des applications exigeant une protection totale, comme c'est le cas pour l'aéronautique et l'aérospatiale, le nucléaire, l'exploitation minière, et les applications de communications. Son utilisation est donc restreinte à ces activités tel qu'amendé dans la directive d'utilisation et de mise sur le marché [144, CE 1976]. Ces contrôles sont pratiqués depuis de nombreuses années et les émissions de cadmium ont été considérablement réduites dans le secteur du traitement de surface.

Le chrome hexavalent présente des effets négatifs sur la santé, provoquant des irritations de la membrane muqueuse et de la peau et certains cancers. La solution de traitement par électrodéposition génère des aérosols par dégagement d'hydrogène cathodique (voir section 2.5.3). Les règlements de santé et de sécurité sur le lieu de travail exigent habituellement des mesures répondant à des concentrations maximales admissibles (CMA). Le chrome hexavalent est également soluble dans une large gamme de pH, ceci occasionnant une forte toxicité aquatique. Du fait de sa solubilité et de sa composition chimique, il doit d'abord être réduit en chrome trivalent avant d'être

précipité dans des installations de traitement des eaux résiduaires. De récentes directives (99, CE, 2000, CE, 2003 #98) limitent les quantités de chrome hexavalent (mais pas le métal) dans certains produits traités par ce secteur industriel.

Le nickel et ses sels ont des effets négatifs sur la santé : le sulfate de nickel est actuellement classé en tant que substance cancérigène[2] de catégorie 3 [105, CE, 1967]. Au cours de l'électrodéposition et du dépôt autocatalytique (électrocatalytique), des aérosols et des particules en suspension peuvent apparaître, ainsi qu'au cours des opérations d'entretien de l'installation et des solutions. De nouveau, les règlements de santé et de sécurité sur le lieu de travail exigent habituellement des mesures répondant à des concentrations maximales admissibles (CMA). Le nickel et ses sels peuvent provoquer de l'eczéma de contact allergique ; on peut éviter une mise en contact en mettant en œuvre des pratiques adéquates concernant la santé et la sécurité sur le lieu de travail [144, CE, 1976, CETS, 2003 #115].

Le plomb est l'objet d'un rapport concernant une éventuelle identification en tant que substance dangereuse prioritaire. Des directives récentes [99, CE, 2000, CE, 2003 #98] limitent également les quantités de plomb dans certains produits traités par ce secteur.

1.4.4.2 Cyanures

Les cyanures sont des substances dangereuses bien connues mais sont toujours essentiels pour certains traitements. Outre leur toxicité inhérente, ils dégagent du gaz de cyanure dans des conditions acides. Ils peuvent provoquer des problèmes dans le traitement des effluents car ils complexent fortement certains métaux, tels que le nickel, ce qui interfère à la fois avec la facilité d'oxydation du cyanure et la séparation au cours de la précipitation du métal (voir la rubrique agents complexants, section 1.4.4.5). Il existe une recommandation PARCOM concernant la substitution du cyanure [12, PARCOM, 1992].

1.4.4.3 Hypochlorite, chlore et composés organohalogénés absorbables (AOX)

L'hypochlorite et le chlore sont utilisés dans l'oxydation du cyanure dans les installations de traitement des eaux résiduaires. Ils sont capables de réagir avec les substances organiques pour former des composés organohalogénés absorbables(AOX). [104, UBA, 2003] L'hypochlorite a été proposé par l'OSPAR comme substance candidate à un classement prioritaire afin d'en cesser toute émission [131, OSPAR, 2002, en cours]. Le chlore est l'unique gaz susceptible d'être utilisé dans des installations de traitement de surface pour l'oxydation du cyanure, et il n'est pas couramment utilisé. L'hypochlorite peut libérer du chlore dans certaines conditions, comme par exemple lorsque le pH est faible.

1.4.4.4 Agents de surface

Les agents de surface sont largement utilisés dans de nombreux traitements, comme le dégraissage, l'humidification des surfaces et pour permettre le déroulement d'autres traitements tels que la gravure par attaque chimique. Ils sont aussi utilisés en tant qu'azurants, qui permettent un dépôt de métal finement divisé. Certains agents de surface ont un degré faible de dégradabilité dans les systèmes aquatiques, et les sous-produits du processus de dégradation peuvent avoir des effets négatifs. L'étoxylate de

[2] R40 : risque possible d'effets irréversibles. R42/43 ; peuvent provoquer une sensibilisation par inhalation et contact avec la peau.

nonylphénol (NPE) est cité comme étant utilisé dans l'industrie. [38, Ullmann, 2002/2003] Pour le travail des métaux, avec effet en date du 17 janvier 2005 [115, CETS, 2003], l'étoxylate de nonylphénol et le nonylphénol sont des produits chimiques OSPAR à traiter en priorité et sont interdits à moins d'être utilisés dans « *des systèmes contrôlés, lorsque le liquide de lavage est recyclé ou incinéré* » [30, CE, 2003]. Le sulfonate de perfluorooctane (PFOS) est largement utilisé en tant qu'agent anti-mousse et agent de surface, particulièrement pour empêcher la formation de voiles dans l'électrodéposition de chrome hexavalent et les bains d'alcalins sans cyanure/zinc. Cependant, il fait actuellement l'objet d'une enquête (voir l'annexe 8.2, [109, DEFRA, 2004]) et l'équipe de travail de l'OCDE sur les produits chimiques existants a déjà conclu qu'il s'agissait d'un polluant toxique, bioaccumulatif et persistant.

1.4.4.5 Agents complexants

Les agents complexants [13, BSTSA,] comprenant les cyanures et l'acide éthylène–diamine–tétraacétique (EDTA) maintiennent les métaux sous forme de complexes et empêchent l'absorption du métal en sédiments ou en sédiments en suspension. Les métaux solubles peuvent être transportés au travers de systèmes de traitement d'effluent et dans les eaux usées jusque dans des systèmes aquatiques. L'acide éthylène–diamine–tétraacétique (EDTA) est à la fois un agent complexant puissant et un produit chimique présentant un faible degré de biodégradabilité. De l'acide éthylène–diamine–tétraacétique (EDTA), en excès et non présent sous forme de complexe, peut remettre en mouvement des métaux provenant de sédiments à forte teneur en métaux, lorsqu'il est transporté dans des systèmes aquatiques [22, Fraunhofer, 2002].

1.4.4.6 Acides et alcalis

Les acides et les bases sont des produits chimiques industriels couramment utilisés et leur rejet sans neutralisation peut affecter l'état des égouts ou les cours d'eau récepteurs. Les sols peuvent également être contaminés par débordement ou fuite. Lorsqu'ils sont utilisés dans des solutions chauffées, les émanations résultantes peuvent provoquer des nuisances sur le lieu de travail ou à un niveau local lorsqu'ils sont évacués dans l'atmosphère. L'acide chlorhydrique est l'acide le plus couramment utilisé et ses émanations peuvent provoquer des dégâts dus à la corrosion au sein même de l'installation en affectant les équipements de contrôle. Des problèmes spécifiques se produisent avec l'acide nitrique, car ce dernier peut libérer du NO_X lorsqu'il entre en contact avec les métaux. Il s'agit ici d'un problème environnemental local et de santé sur le lieu de travail, car la plupart des installations n'émettent pas de NO_X en dose significative. L'acide sulfurique est largement utilisé, particulièrement dans l'anodisation. Cependant, ses concentrations sont inférieures au niveau pour les émissions de fumées.

1.4.4.7 Autres ions

Les chlorures, sulfates, phosphates et autres sels sont des anions nécessaires aux solutions de traitement et ne présentent généralement pas de problème lorsqu'ils sont évacués vers les installations de traitement municipales des eaux résiduaires. Cependant, ils peuvent occasionnellement provoquer des problèmes de salinité, et les phosphates et nitrates [121, France, 2003] favorisent l'eutrophisation, en particulier s'ils sont évacués directement vers les eaux de surface.

1.4.4.8 Solvants

Des solvants sont utilisés pour le dégraissage de composants entrant. Le 1,1,1-trichloroéthane, qui était largement utilisé, est éliminé progressivement et de manière contrôlé car il s'agit d'une substance contribuant à la dégradation de la couche d'ozone. Les solvants les plus lourds, à savoir le trichloréthylène et le tétrachloroéthylène, peuvent provoquer des problèmes dans les réseaux d'assainissement tels que des accumulation et des fuites [70, Ellis, 2001]. Ce dernier point peut occasionner des problèmes de santé et de sécurité pour les employés chargés de l'entretien et des problèmes de pollution vers les eaux souterraines. Des solvants non halogénés sont également utilisés, mais ont un impact moindre sur l'environnement. La directive solvant [97, CE, 1999] réduit l'utilisation et l'émission de COV et le document de référence sur les traitements de surface utilisant des solvants (le BREF STS) examine les MTD relatives aux traitements à base de solvant [90, EIPPCB,]. L'utilisation de solvants organiques a également des effets sur la santé et la sécurité ; le degré et le type de réduction dépend de la substance [113, Autriche, 2003].

1.4.4.9 Poussières

Des poussières sont générées au cours des opérations de travail à la bande abrasive et de polissage, lorsque ces dernières se déroulent en tant qu'activités directement connexes. Il s'agit habituellement d'un mélange de particules d'abrasifs et du substrat d'abrasion. Elles peuvent avoir des impacts de santé et de sécurité sur le lieu de travail, ainsi que des impacts environnementaux négatifs lorsqu'elles sont évacuées dans l'atmosphère vers l'environnement extérieur. Les poussières collectées doivent être éliminées comme des déchets, et peuvent être des substances dangereuses.

1.4.4.10 Déchets

La majeure partie des déchets produits lors des activités de traitement est susceptible d'être classée en tant que substances dangereuses [92, CE, 1991, 100, CE, 2000]. Le secteur produit une quantité de déchets dangereux de l'ordre de 300 000 tonnes par an en Europe[3] (approximativement 16 tonnes par installation et par an). Les déchets liquides sont des solutions de traitement usées qui ne peuvent être traitées ou évacuées, et les déchets solides sont principalement des boues provenant des installations de traitement des eaux résiduaires et des traitements des solutions de traitement. Les métaux peuvent être récupérés à partir de déchets solides aussi bien que liquides. D'autres déchets solides comprennent : le matériel cassé, comme les supports (qui peuvent contenir des matériaux recyclables), l'emballage des pièces de fabrication ainsi que des produits chimiques usés (voir section 2.13.2).

1.4.5 Autres types d'émissions

1.4.5.1 Le bruit

Le traitement de surface n'est pas une industrie générant beaucoup de bruit. Cependant, certaines activités et certaines activités associées sont effectivement une source de bruit significative. Il peut être émis lors de pics momentanés, tel que lors du déchargement de composants métalliques sur des plateaux, être émis de manière continue dans les opérations de travail à la bande abrasive et de polissage, ou encore être émis depuis des ventilateurs et des moteurs externes à l'installation.

[3] Ces données proviennent d'estimations du secteur de la production de déchets dangereux <1 % en Europe et des chiffres d'Eurostat concernant la gestion des déchets dangereux dans les 15 pays de l'UE.

1.4.5.2 Emanations d'odeur

De nouveau, l'émanation d'odeur n'est pas un facteur polluant majeur de ce secteur. Cependant, des émanations d'odeur peuvent être associées à certaines activités, particulièrement les émanations d'acide et plus précisément lors du décapage de couches métalliques. L'impact de ces émanations d'odeur dépendra du type et de la taille de l'activité menée, de la conception et du fonctionnement d'un quelconque système d'extraction (par exemple, la hauteur d'une cheminée) et de la proximité de récepteurs, comme les logements.

2 PROCEDES ET TECHNIQUES APPLIQUES

Description générale des activités

Les traitements de surface des matières plastiques et des métaux décrits dans ce document sont principalement des traitements à base d'eau et les installations réalisent les activités de manière séquentielle, habituellement sur des chaînes de traitement composées d'une série de cuves ou d'activités. La figure 2.1 représente le circuit de traitement simplifié d'une chaîne de traitement classique. Toutes les chaînes (à l'exception de quelques chaînes simples de phosphatation du fer, voir section 2.5.16) effectuent plus d'un type de traitement ou d'activité et sont généralement dotées de cuves de rinçage entre chaque type d'activité. Certaines activités, telles que le séchage et pour les cartes de circuit imprimé, le perçage, ne consomment pas d'eau. La taille des cuves peut aller de quelques litres pour le revêtement de métaux précieux, jusqu'à plus de 500 m^3 pour certaines installations de traitement de pièces de fabrication destinées à l'aérospatial. Au cours de son histoire, le secteur du traitement de surface s'est caractérisé par sa forte consommation d'eau pour les opérations de traitement et il n'était pas rare de voir l'eau ruisseler sur le sol des zones de traitement : ce n'est plus l'habitude aujourd'hui. [124, Allemagne, 2003] [11, ACEA, 2003].

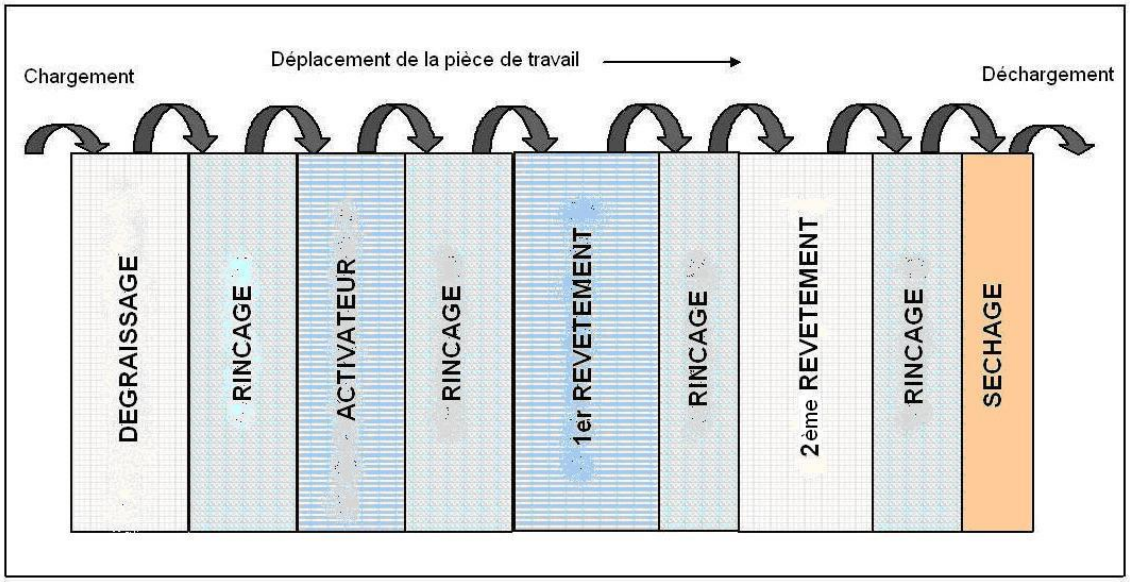


Figure 2.1 : Schéma simplifié du circuit d'une chaîne de traitement

Une caractéristique courante des installations de traitement de surface est le nombre élevé et le mélange complexe de traitements et d'activités effectués dans une même installation, ce qui est particulièrement vrai pour les ateliers de travail à la demande (comme le montre la figure 2.2), et pour les installations à but unique (voir la figure 2.27). La figure 2.7 représente une section d'une chaîne de traitement de dépôt sur support classique comprenant des traitements et des activités multiples (remarque : les activités ne sont pas réalisées dans l'ordre indiqué car le dispositif de transport dispose d'une programmation spécifique) et la figure 4.33 représente deux chaînes de production sur support à grande échelle dans une même installation.

La taille et la complexité de l'installation, ainsi que les activités principales et les activités associées, dépendent :

- des types de traitement de surface à effectuer ;
- des normes de qualité à respecter ;
- du type, de la taille et de la quantité de pièces de fabrication (substrats) à traiter ;
- des systèmes de transport requis pour manipuler les pièces de fabrication.

Tous ces paramètres ont également un impact sur le potentiel de pollution de l'installation.

Avant et après les activités décrites ici, des opérations supplémentaires peuvent être réalisées sur la pièce de fabrication ou le substrat, comme par exemple le pressage, le formage, le pliage, le sertissage, le perçage, le soudage, le brasage, etc. Ces opérations, ainsi que l'utilisation finale du produit traité, seront des facteurs essentiels pour déterminer la spécification et le type de traitement de surface à appliquer.

La fabrication de cartes de circuit imprimé est le traitement le plus complexe, et peut faire intervenir jusqu'à 40 activités.

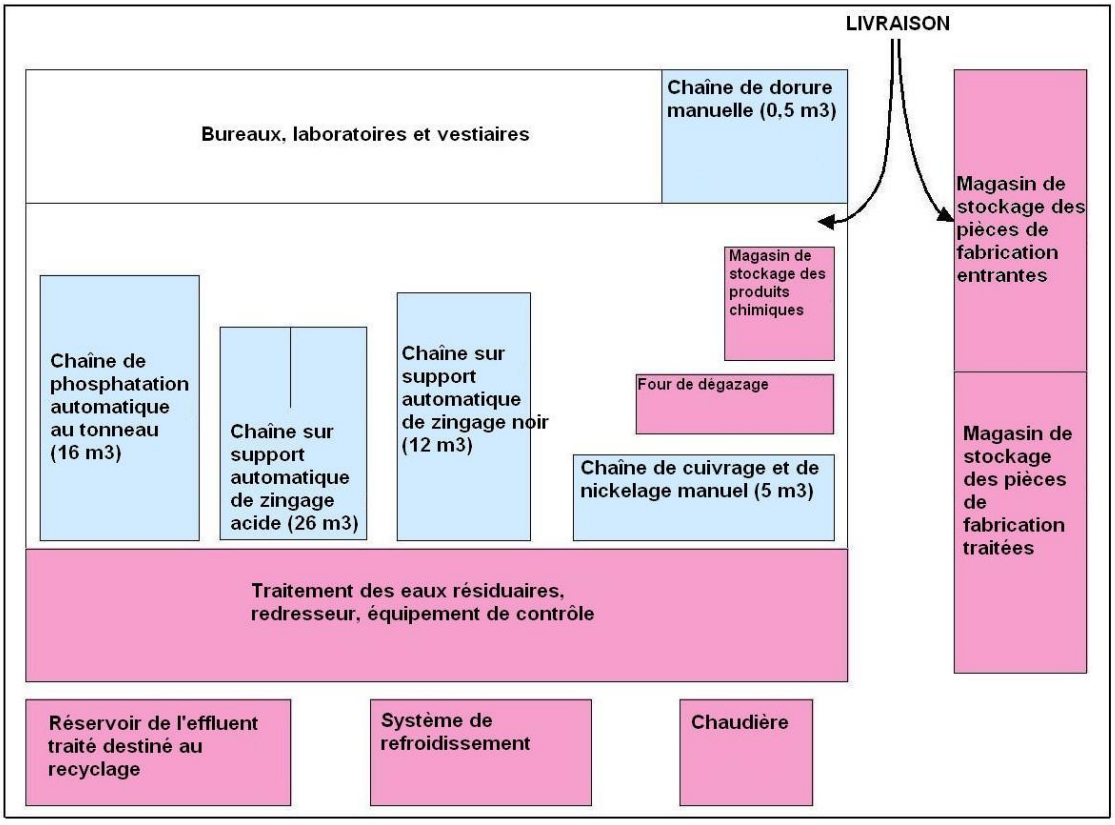


Figure 2.2 : Exemple de configuration d'un atelier de travail à la demande

Malgré cette complexité et le grand nombre d'activités décrites dans ce chapitre, toutes les pièces de fabrication ou substrats effectuent le même parcours d'activités, qui est représenté dans la figure 2.3. La première activité sur site est la livraison et le stockage des pièces de fabrication entrantes, des substrats et des matières premières (voir section 2.1). Les pièces de fabrication ou les composants sont chargées sur les systèmes de transport appropriés (voir section 2.2) avant de subir un pré−traitement, comme par exemple un dégraissage. La plupart des pièces de fabrication ou substrats subissent plus d'un pré−traitement (voir section 2.3) et certains de ceux ci peuvent se dérouler avant le

chargement sur une chaîne de fabrication. Les pièces de fabrication ou substrats subissent ensuite un traitement de surface à l'aide d'une ou plusieurs des techniques décrites dans les traitements principaux. Un rinçage (voir section 2.4) est habituellement effectué entre les étapes de traitement, qu'il s'agisse des étapes de pré–traitement et/ou de traitement principal. Le traitement est suivi de post-traitements tels que le séchage, (voir section 2.6) et les pièces de travail ou substrats sont stockées et réparties comme il convient (opération décrite dans la section 2.1, en même temps que les produits entrants).

Tous les principaux processus de traitement et autres activités ont été traditionnellement conçus pour les chaînes de production avec support de pièces. **En effet, la plupart des activités s'effectuent toujours sur des chaînes de production avec support de pièces. Les traitements sont donc décrits de manière générale pour les chaînes de production avec support de pièces. Les problèmes spécifiques au traitement au tonneau, aux bandes continues et aux cartes de circuit imprimé sont décrits ultérieurement** (le traitement au tonneau dans la section 2.8, le traitement en bande pour des bobines d'acier à grande échelle dans la section 2.9, le traitement en bande et en feuille pour des plaques d'aluminium lithographiques dans la section 2.10 et les cartes de circuit imprimé dans la section 2.11).

Il existe également des entrants de consommables – énergie et eau – destinés aux installations de traitement de surface (décrit dans la section 3.2), ainsi que des techniques de réduction pour le traitement des émissions d'eau, de déchets et d'air (voir section 2.13).

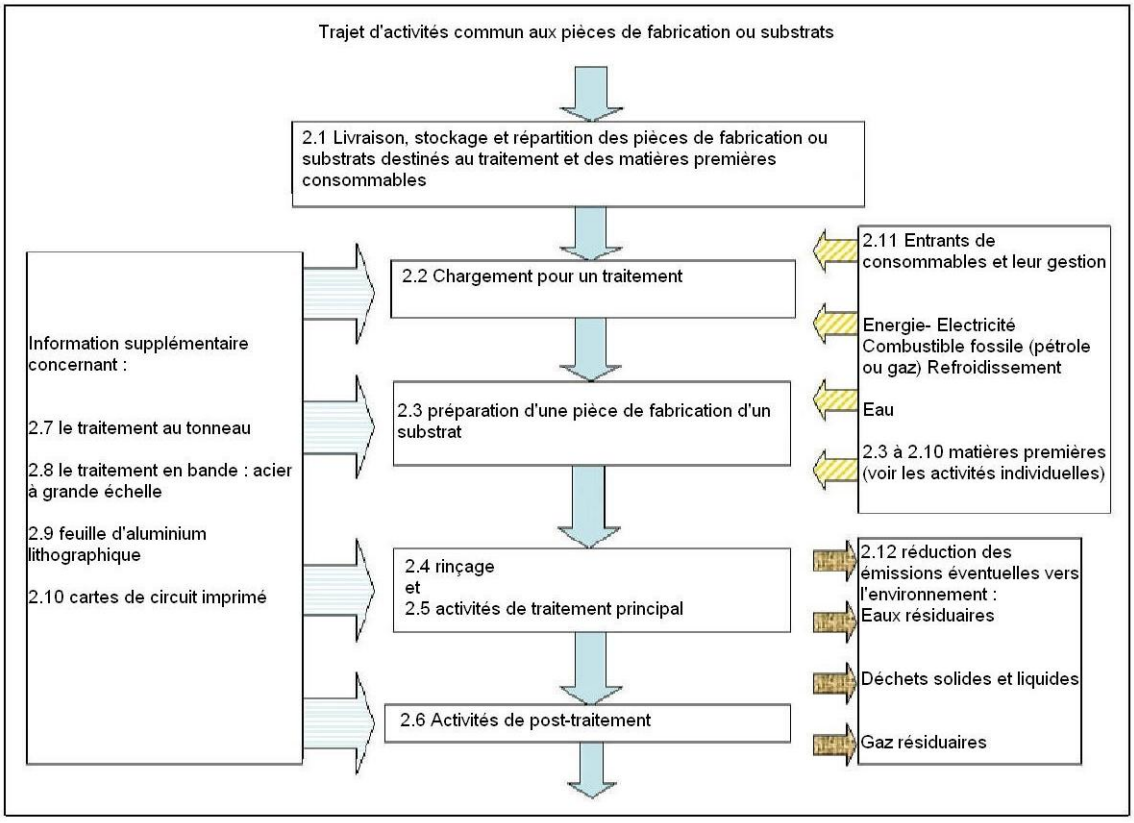


Figure 2.3 : Trajet commun aux pièces de fabrication et aux substrats (voir chapitre 2) et description des activités

Traitements électrolytiques

Un traitement électrolytique nécessite :

- une solution d'électrolytes, c'est-à-dire capable de transporter le courant ;
- au moins deux conducteurs d'électrons (électrodes) et la possibilité de former un circuit ;
- du courant – habituellement un courant continu (CC), bien que la tension puisse être du CA ou du CC inversé dans des cas spécifiques.

Le traitement électrolytique nécessite que l'électrolyte ferme le circuit électrique entre les électrodes. Lorsque les électrodes sont raccordées à une source de courant continu (CC), une électrode (la cathode) est chargée négativement (-ve) tandis que l'autre (l'anode) est chargée positivement (+ve). Les ions positifs (cations) de l'électrolyte se déplaceront vers la cathode et les ions chargés négativement (anions) vers l'anode. Cette migration d'ions au travers de l'électrolyte constitue le courant électrique dans cette partie du circuit. La migration des électrons vers l'anode, au travers du câblage et d'une source d'alimentation en courant électrique (fournie par des redresseurs), puis leur retour vers la cathode, constituent le courant du circuit externe. L'électrolyte convertit donc l'énergie électrique en énergie chimique [11, Tempany, 2002, 34, Brett, 2002, 35, Columbian, 2002, 36, IUPAC, 1997].

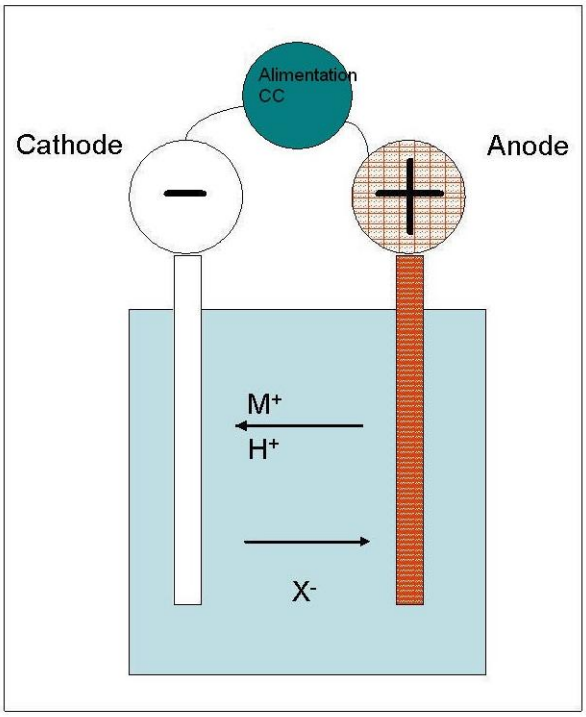
L'énergie chimique des réactions électrolytiques entraîne des changements de l'état d'oxydation dans certaines parties du circuit (dans l'électrolyte, au niveau des anodes ou au niveau de l'interface) et peut se manifester sous tout ou partie des formes suivantes :

- la dissolution des ions métalliques dans l'électrolyte ;
- le dépôt de métal provenant de l'électrolyte ;
- certains revêtements de conversion de couche, par exemple, l'anodisation, modifient l'état d'oxydation au niveau de la surface de l'anode (voir section 2.5.13) ;
- l'émission de gaz. Dans les circuits étudiés ici, l'hydrogène et/ou l'oxygène sont les gaz libérés en général.

Cellules électrolytiques et réactions

Lorsque la pièce de fabrication ou le substrat est raccordé au circuit dans la cellule de dépôt électrolytique, les cations (dans l'exemple, M^+ et H^+) se déplacent vers la cathode (-ve). Le métal se dépose, tandis que de l'hydrogène est généré en tant que réaction cathodique secondaire. Les anions (par exemple, Cl^-) se déplacent vers l'anode (+ve) [118, ESTAL, 2003, Irlande, 2003 #125].

Dans cet exemple simple, M est le métal en cours de dépôt électrolytique et X est l'anion en solution :



- en solution acide :

réaction à l'anode	$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2\uparrow + 4e^-$	Electrolyse de l'eau
réaction à la cathode :	$M^+ + e^- \rightarrow M\downarrow$	Réduction en métal

- dans une solution alcaline :

réaction à l'anode :	$4OH^- \rightarrow O_2\uparrow + 2H_2O + 4e^-$
réaction à la cathode	$M^+ + e^- \rightarrow M\downarrow$

Le choix, la conception et la taille des autres composants de la ligne et les activité associées dépendent du choix de la cellule électrolytique et de ses composants. Le choix de la cellule électrolytique dépend :

- des applications industrielles que le producteur à l'intention de fournir ;
- du type de couche et de l'épaisseur requise (dépôt et/ou conversion) et de la capacité de production requise ;
- des types de substrats (pièces de fabrication) à traiter ;
- du type de transport requis pour les déplacer : support de piece, tonneau ou bande continue.

Les cellules électrolytiques peuvent être classées en fonction de quatre paramètres principaux :

- la géométrie des cellules électrolytiques ;
- la densité de courant ;
- le type de bain électrolytique (décrit ci-dessous pour chaque traitement) ;
- le type d'anode.

Deux types d'anode sont disponibles :

- les anodes solubles, qui ont deux fonctions : fournir des ions métalliques au bain électrolytique et repousser les ions positifs vers le substrat (formant la cathode).

L'anode est consommée au cours du traitement et doit être remplacée régulièrement pour maintenir l'efficacité de la solution. Elle est fixée à un rail de support qui permet d'amener le courant jusqu'à elle ;

- les anodes insolubles, qui ont une seule fonction : repousser les ions positifs vers la bande d'acier (cathode). Elles sont fabriquées en matériaux conducteurs qui ne participent pas à la réaction de la solution. Elles sont utilisées dans les traitements électrochimiques auxquels le matériau de l'anode ne participe pas, tels que le dégraissage électrolytique. Lorsqu'il y a dépôt de matériau, l'efficacité de la solution de traitement est maintenue par des ajouts d'appoint, provenant souvent de réservoirs d'alimentation séparés, par exemple des réservoirs de dissolution du zinc.

2.1 Livraison et stockage – pièces de fabrication et matières premières consommables

2.1.1 Pièces de fabrication entrantes et/ou substrats à traiter.

Les pièces de fabrication et/ou les substrats à traiter sont livrés de diverses manières selon la taille, le matériau de substrat, la qualité et le coût, et selon qu'il sont destinés à un traitement interne où à être expédiés à l'extérieur vers un autre site ou un sous-traitant. Le traitement avec support de pièces est le plus coûteux et les pièces de fabrication peuvent être emballées en vrac sur des palettes pour les composants en acier bon marché, mais les pièces de fabrication d'une valeur supérieure sont emballées avec plus de précaution : de l'emballage sur palette avec couches de protection intermédiaires (pour protéger le produit des dégâts physiques et/ou de la corrosion) aux boîtes robustes dans lesquelles sont emballés individuellement les composants de grande valeur, tels que des sections d'ailes d'avion en alliage d'aluminium. Les carrosseries automobiles sont déplacées individuellement avant les traitements ou introduites dans ceux-ci sur de grands supports (ou traîneaux), voir la figure 2.4 [111, ACEA, 2003]. La manipulation des pièces de fabrication peut être mécanique ou manuelle. En général, lorsque la qualité de la finition n'est pas essentielle et que le substrat est solide, le revêtement métallique au tonneau est moins coûteux. Dans ce cas, les pièces de fabrication sont transportées sans attacher sur des plateaux et sont souvent déchargées mécaniquement. Pour ce qui est des bobines, les premières couches externes protègent le reste de la bobine. Le déplacement de petites bobines (pour le traitement de bobine à bobine) peut être effectué à la main, mais du fait de leur poids, les bobines de grande taille nécessitent un équipement spécialisé, tel que des ponts roulants et des plates-formes flottantes.

Considérations environnementales

La quantité et le type d'emballage utilisé et la minimisation des pertes de matériaux engendrées par les dégâts subis par les pièces de travail ou le substrat.

Figure 2.4 : Carrosserie automobile subissant un pré-traitement par pulvérisation [ACEA]

2.1.2 Matières premières consommables

Les entrées de matières premières varieront selon l'installation et dépendront de la composition chimique des divers traitements effectués et de l'état de la pièce de fabrication ou du substrat, des formes et du flux de production en terme de surface. Les plus grands sites recevront certains produits chimiques liquides en vrac par citerne, la plupart des sites IPPC recevront au moins une partie des produits chimiques dans des GRV (Grands Récipients Vrac) et tous recevront les produits chimiques liquides dans des réservoirs de 2,5 à 210° litres. Le stockage des liquides en vrac s'effectue dans des réservoirs de vrac ou dans des réservoirs GRV, les quantités plus petites sont stockées « au format livré » et puisées dans les réservoirs de livraison.

La livraison de grande quantité de produits solides peut s'effectuer par camion citerne, mais elle est plus couramment effectuée au moyen de conteneurs souples. Pour les poudres, les granulés et les flocons, on utilise le plus souvent des poches, des sacs, des barils de 25 kg et d'autres récipients comportant un emballage jetable. Le stockage des substances solides en vrac peut s'effectuer dans des silos. D'autres substances solides sont stockées dans les réservoirs dans lesquels ils sont livrés. [111, ACEA, 2003].

Les métaux destinés à être déposés sont habituellement livrés sous forme de barres d'anode ou de billes d'anode, ou sous forme de sels (voir le paragraphe concernant les solides ci-dessus), mais ils peuvent être livrés sous forme de solutions brevetés destinées aux traitements chimiques (y compris des traitements autocatalytiques) ou au plaquage par métaux précieux.

Des quantités plus petites de produits chimiques sont utilisées dans les laboratoires et pour le réapprovisionnement en ingrédients coûteux, comme c'est le cas pour les solutions à base d'or ou pour certains composants traces des solutions de traitement.

La plus grande partie des produits chimiques d'une installation sont habituellement stockés dans les cuves de la chaîne de traitement pendant leur usage et le confinement de ces produits chimiques, l'utilisation de produits chimiques pour l'entretien des solutions et les problèmes de fuites sont semblables à ceux des matières premières entrantes.

Une description du stockage et de la manipulation des produits chimiques est fournie dans le document de référence relatif aux MTD pour les émissions provenant des stockages [23, EIPPCB, 2002].

Considérations environnementales
La prévention d'émissions imprévues dans les eaux de surface et souterraines et dans le sol.

2.2 Techniques de manipulation et de chargements pour le traitement

Lorsque l'état des pièces de travail est apte aux traitements principaux, ces dernières sont chargées afin d'être traitées en utilisant l'un des trois types de transports décrits ci-dessous : [104, UBA, 2003]

- support de pièces ou racks – cadres portant les pièces de travail à l'unité ou en groupes ;
- tonneau – cylindre en plastique maintenant de nombreuses pièces de fabrication ;
- bande – bandes ou bobines de substrat défilant de manière continue.

Dans un certain nombre de cas, les composants sont traités *in situ* (voir le dépôt électrolytique au tampon et l'anodisation décrits ci-dessous).

Supports de pièces ou montages porte–pièce
Les supports de pièces (également connus sous le nom de montages porte–pièce ou de cadres) fournissent à la fois un support physique pour la manipulation pendant le traitement et un contact électrique au cours des traitements électrolytiques si nécessaire. Les supports s'utilisent pour des composants de toutes les tailles, des composants de petite taille tels que les composants de joaillerie et les petits composants techniques de précision aux parties d'avion et de carrosseries automobiles (voir figure 2.4). Les petits composants sont solidement fixés à la main sur les supports. Ils sont soit attachés sur des dispositifs de retenue à ressort faisant partie du support ou fixés à l'aide de fils de cuivre. Les deux systèmes conduisent le courant au cours des traitements électrolytiques. Les supports de pièces sont suspendus sur des barres d'anode : ces assemblages sont utilisés à la fois pour déplacer les supports au cours des principales étapes de traitement et pour transporter le courant électrique vers le support lorsque les traitements nécessitent du courant électrique [128, Portugal, 2003]. Au cours des processus utilisant du courant électrique, les barres d'anode doivent nécessairement offrir un bon contact électrique : les supports peuvent par exemple être suspendus dans chaque cuve de traitement grâce à des berceaux en cuivre en U ou en V. Pour de très grands composants, le support peut être une grande plate-forme ou un grand cadre sans barre d'anode séparée, et des connecteurs électriques sont attachés sur le support où cela est nécessaire.

La figure 2.5 représente des composants dorés, dont le cycle de traitement est terminé, en cours de déchargement depuis leur support doté de dispositif de retenue à ressort. Ces composants sont ensuite inspectés visuellement et emballés dans des bacs en plastique spécifiques. Deux supports de pièces sont suspendus sur une barre d'anode.

Deux types de mécanismes permettent de déplacer les barres d'anode :

- les dispositifs de transport, qui sont des appareils de levage progressant sur des rails serpentant sur la longueur de la chaîne de traitement. Ce type de système est le plus souple et peut être programmé pour divers types de finition, avec différentes durées de séjour dans différentes cuves, ou peut être mis en fonctionnement manuelle ;
- les poutres, auxquelles sont suspendues les barres d'anode. La poutre se déplace de haut en bas à intervalles réguliers. Dans la position haute, les barres d'anode sont déplacées vers la position de cuve de traitement suivante. Cependant, la seule manière de modifier la durée de traitement dans différentes cuves est de modifier la longueur du réservoir.

Pour les chaînes de traitement ayant un faible flux de production, ou pour les petits composants, les supports de pièces peuvent également être déplacés à la main. Les grands composants individuels, tel que les parties d'avion ou de carrosseries automobile peuvent être déplacés au moyen de systèmes de convoyeur ou à l'aide de dispositifs de transport aériens.

Figure 2.5 : Revêtement avec support de pièces ou montage porte–piece : déchargement des composants finis
Graingorge S. A., France et Agence de l'eau Seine-Normandie

Tonneaux

Les chaînes de production au tonneau ont tendance à être utilisées pour les gros volumes et pour les productions à moindre coût telles que, par exemple, les productions de boulons et d'écrous ; elles ne permettent d'obtenir qu'une qualité de finitions inférieure à celle des chaînes avec supports de pièces. Les tonneaux sont habituellement des barils de plastique hexagonaux ou octogonaux, dotés de nombreux trous disposés sur des longs panneaux et permettant l'accès des liquides de traitement. Les tonneaux sont habituellement déplacés à l'aide de dispositifs de transport bien que, pour de très petits composants (tels que les fiches de contact que l'on revêt d'or), les petites unités de tonneau peuvent être déplacées à la main. Les composants sont chargés à partir de plateaux de composants. Habituellement, les pièces de fabrication sont déchargées depuis les plateaux directement sur le sol et les tonneaux sont ensuite chargés manuellement à l'aide d'une pelle. Pour les opérations au tonneau à grande échelle on peut recourir à l'utilisation d'un système mécanisé ou à un convoyeur. Les tonneaux sont suspendus dans des berceaux qui transmettent le courant jusqu'aux cuves de traitement

appropriées. La tige de suspension du tonneau conduit le courant jusqu'à une électrode souple qui s'étend jusqu'au tonneau depuis la tige de suspension centrale et conduit le courant jusqu'aux composants chargés dans les cuves de traitement appropriées. Le tonneau est constamment mis en rotation, en général grâce à un mécanisme d'entraînement disposé sur le côté. Le courant est ensuite conduit au travers d'une anode souple inerte qui s'étend jusque dans le tonneau en rotation, puis à travers les pièces de fabrication en contact.

Bobines d'acier
Les bobines peuvent être des rouleaux d'acier pesant jusqu'à 32 tonnes et d'une largeur allant jusqu'à 2 080 mm [119, Eurofer, 2003]. Les bobines sont chargées sur une section d'entrée d'un dispositif de chargement et sont soudées sur l'extrémité de la bobine précédente (voir section 2.9).

Bobines d'aluminium
Ces sont des bobines d'aluminium pesant jusqu'à 25 tonnes, larges de 2 200 mm au maximum et d'une épaisseur allant jusqu'à 3 mm [118, ESTAL, 2003].

Cartes de circuit imprimé
Le transport des cartes de circuit imprimé peut changer en cours de production : elles sont déplacées individuellement sur des rouleaux dans certaines parties de la chaîne de traitement et collectivement sur des supports de pièces dans d'autres parties de la chaîne de traitement.

Dépôt électrolytique au tampon et anodisation
Il s'agit d'une technique spécialisée, mise au point pour le revêtement métallique sélectif au moyen d'un équipement portatif et d'anodes enveloppées d'un matériau absorbant et qui ne nécessitent pas que la partie soit immergée. En règle générale, le procédé n'est pas utilisé pour la production, mais pour la réparation de parties défectueuses ou usées, par exemple, de grands rouleaux d'impression, de grands roulements, des parties d'engins militaires et aéronautiques, des statues, et d'autres parties de taille trop importante pour être traitées à l'aide de techniques d'immersion. [38, Ullmann, 2002/2003].

2.3 Pré-traitement d'une pièce de fabrication ou d'un substrat

Les pièces de fabrication ou les substrats devant subir un traitement de surface doivent être nettoyées des poussières, copeaux de toute sorte et bavures de moulage et doivent également être exempts de traces de corrosion et de graisse pour garantir une application uniforme et une adhérence permanente du traitement de surface. De nombreuses pièces de fabrication ou substrats sont huilés pour empêcher la corrosion pendant le transport ou à la suite d'une opération antérieure telle que le formage à la presse. En général (mais pas nécessairement), les pièces de fabrication devront être totalement lisses pour obtenir une finition traitée de qualité élevée. Les pièces de fabrication peuvent subir une préparation au niveau du site sur lequel elles sont produites, mais ces activités sont également effectuées au niveau de l'installation de traitement de surface [6, IHOBE, 1997].

Le document de référence (BREF) relatif au secteur du traitement des métaux ferreux [86, EIPPCB,] décrit les activités de préparation des bobines et des fils d'acier avant le traitement de surface sur des chaînes de traitement de revêtement de bobine.

Bien que la quasi totalité des chaînes de traitement procèdent à un nettoyage ou un dégraissage, lorsque des composants sont fortement huilés ou que la préparation de surface est une étape essentielle, il peut être nécessaire de les compléter par une étape de pré-dégraissage supplémentaire. [104, UBA, 2003]

Les étapes de pré-traitement permettent de retirer non seulement les graisses et l'huile, mais aussi les oxydes, et de fournir des surfaces chimiquement actives pour le traitement ultérieur [73, BSTSA,].

Préoccupations environnementales globales
Si le nettoyage est une activité distincte du traitement principal, les manipulations supplémentaires (telles que le déchargement des récipients, etc.) peuvent donner lieu à un accroissement du bruit [73, BSTSA,].

2.3.1 Pré-traitement mécanique

2.3.1.1 Travail à la bande abrasive et polissage

Le polissage mécanique produit une surface moulée amorphe sous l'influence d'une pression et de températures locales élevées [121, France, 2003, Finlande, 2003, #120]. Chaque composant est travaillé à la bande abrasive, puis poli à l'aide d'une pâte à l'émeri appliquée sur des disques de tissu, qui permet de retirer les traces légères et d'obtenir une finition de polissage de qualité élevée. Ces activités sont effectuées moins couramment car les techniques de production modernes permettent de produire des composants usinés de meilleure qualité que par le passé, ou d'utiliser des matériaux de substitution, tels que les matières plastiques, qui peuvent être moulées avec précision. Pour la manipulation de grandes quantités de pièces de fabrication, le travail à la bande abrasive et le polissage sont habituellement automatisés.

Figure 2.6 : Travail à la bande abrasive
Producmetal S. A., France et Agence de l'eau Seine-Normandie

Considérations environnementales
Le bruit et la poussière sont associés à cette activité.

Les déchets peuvent être dangereux en fonction du substrat.

2.3.1.2 Abrasion par projection
Traditionnellement, ce procédé utilise du sable ou des grains abrasifs, mais des abrasifs plus fins et plus doux peuvent être utilisés, comme par exemple des coquilles de

cacahuètes. Ces techniques peuvent être utilisées pour détendre la surface des pièces de fabrication.

Considérations environnementales
Le bruit et la poussière associés à ce type d'activité.

L'abrasion par projection crée des déchets solides. Pour les métaux non ferreux, les déchets peuvent être dangereux (mélange d'abrasifs et de matériaux d'abrasion provenant des métaux) [113, Autriche, 2003].

2.3.1.3 Ebavurage et/ou polissage au tonneau

Cette technique est utilisée pour des composants plus petits fabriqués en série, qui subissent souvent ensuite un traitement au tonneau. Les pièces de fabrication sont mélangées à des pierres abrasives et polies au tonneau ou sont soumises à des vibrations pendant une durée prédéterminée allant jusqu'à plusieurs heures [73, BSTSA,]. Ces techniques peuvent également être utilisées dans des milieux aqueux avec des additifs chimiques destinés à nettoyer, ébavurer et décaper les éléments.

Considérations environnementales
Le bruit et de la poussière sont associés à cette activité.

Les déchets générés directement peuvent être contaminés par des huiles, des agents de surface et des particules abrasives, en particulier lors d'une vibro-abrasion [73, BSTSA,].
Lorsqu'un système aqueux est utilisé, l'effluent peut nécessiter un traitement spécifique afin d'éliminer les métaux présents dans la solution et la demande chimique en oxygène (DCO). Cet effluent est souvent recyclé après centrifugation, filtration simple ou ultrafiltration. Les résidus provenant du traitement peuvent être traités en dehors du site dans une installation de traitement des déchets appropriée ou sur site dans une installation de traitement physico-chimique des eaux résiduaires. Les résidus peuvent constituer des déchets dangereux [121, France, 2003].

2

2.3.2 Polissage électrolytique et chimique

Outre les procédés mécaniques, des traitements électrolytiques et chimiques sont utilisés pour obtenir des surfaces lisses et brillantes. Bien que leur fonction dans le secteur soit similaire, le principe de mise en œuvre du polissage est très différent. Alors que le polissage mécanique produit une surface amorphe moulée sous l'influence d'une pression et de températures locales élevées, le polissage chimique et le polissage électrolytique sont des traitements de dissolution sélective dans lesquels les points élevés de surface rugueuse sont dissous plus vite que les dépressions. Les avantages potentiels de ces procédés sont les suivants [118, ESTAL, 2003, Finlande, 2003 #120, P G Sheasby, 2002 #132] :

- leur conduite étant similaire à celle des procédés par anodisation et par dépôt électrolytique, ils peuvent être utilisés ensemble sur une même chaîne de production, réduisant considérablement la taille de l'installation et simplifiant les contrôles, tout en remplaçant souvent le processus complet de polissage mécanique ;

- ils sont adaptés au traitement en vrac et les coûts de la main d'œuvre sont sensiblement inférieurs, en particulier pour les composants qui ne sont pas adaptés aux machines de polissage automatique ;
- la surface est nettoyée et offre, par la suite, une meilleure adhérence au dépôt, ainsi qu'une résistance élevée à la corrosion ;
- leur pouvoir de réflexion et leur couleur sont souvent d'une qualité supérieure et ils n'ont pas tendance à « ternir ».

Considérations environnementales globales

Certains des produits chimiques utilisés dans le polissage électrolytique sont toxiques et ce fait doit être pris en considération à la fois sur le lieu de travail et au moment de l'élimination des bains usés. Pour les composés au chrome, voir section 1.4.4.1 concernant les effets sur la santé, et la section 2.5.3 pour les préoccupations environnementales globales.

Les électrolytes et les acides usés ont un pH faible et une concentration élevée en métaux dissous, dont le chrome et le nickel, et peuvent avoir besoin de subir un traitement avant d'être éliminés en tant qu'effluents (voir section 4.16.2). Les électrolytes usés peuvent aussi être traités comme des déchets dangereux. Les électrolytes des aciers inoxydables se détériorent du fait d'un excès de fer en solution [73, BSTA,].

Les eaux de rinçage peuvent, pour les mêmes raisons, nécessiter également un traitement.

Les émanations d'acide, en particulier celles contenant du chrome hexavalent, peuvent nécessiter une extraction et un traitement. Lorsqu'on utilise de l'acide nitrique, on peut avoir recours à un épurateur pour retirer les oxydes d'azote (NO_X).

Au contraire des traitements de polissage mécanique, ces traitements ne sont pas associés à des émissions de poussière et de bruit.

2.3.2.1 Polissage électrolytique

Le polissage électrolytique est un procédé électrochimique couramment utilisé pour lisser, polir, ébavurer et nettoyer divers métaux, généralement de l'acier, de l'acier inoxydable, du cuivre et ses alliages et l'aluminium et les alliages d'aluminium. Il est largement utilisé dans l'équipement alimentaire, l'équipement et les implants chirurgicaux, les secteurs pharmaceutique, des pâtes et papiers, et alimentaire, ainsi que dans des applications du secteur automobile et de l'architecture. Le polissage électrolytique retire de manière électrolytique une couche fine de surface. Il est souvent utilisé dans des cas dans lesquels des finitions très lisses et très brillantes sont nécessaires. Dans un processus de polissage électrolytique, la pièce de fabrication (anode) est immergée dans un électrolyte et un courant électrique (généralement du courant continu) circule entre la pièce de fabrication et la cathode. La pièce de fabrication est alors polarisée et les ions métalliques migrent vers la cathode le métal se trouve ainsi éliminé de l'anode. La réaction peut être contrôlée par l'ajustement des paramètres du bain et du procédé et par le choix du métal ou de l'alliage pour le polissage électrolytique.

Dans ces traitements de polissage électrolytique, différents électrolytes sont utilisés. Des électrolytes sont généralement des mélanges de divers acides (acide sulfurique, acide chromique, acide citrique, et/ou acide phosphorique) et des composés organiques sont

parfois ajoutés (tel que de la glycérine ou de l'éther monobutylique de diéthylèneglycol). [133, Hensel, 2002, 134, CEN/BSI, 1997, 135, Swain, 1996, 136, Webber and Nathan, 2000], [137, ISO/BSI, 2000]

Considérations environnementales et autres

Au cours du polissage électrolytique des aciers inoxydables, de l'hydrogène se forme. Ce dernier se mélange à l'oxygène au niveau de la surface de solution. En cas d'étincelle, une explosion peut se produire. Il est donc souhaitable de procéder à l'extraction des gaz se formant au-dessus de la solution. Ceci est indispensable lors du traitement des surfaces internes de récipients fermés, car sinon, on s'expose à des blessures graves, voire mortelles. Un bruit répété de ce type peut avoir un impact au-delà du périmètre de l'installation (en plus d'être une question de santé sur le lieu de travail).

2.3.2.2 Polissage électrolytique par décharge électrique (également connu sous le nom de polissage électrolytique au plasma)

Le polissage électrolytique au plasma est un procédé de substitution pour certaines applications. Le traitement diffère du polissage électrolytique classique principalement au niveau des électrolytes et des paramètres de traitement utilisés. A la place du mélange d'acide, l'électrolyte est une solution de sels différente bien moins dangereuse pour l'environnement et les employés qui l'utilisent. Dans ce traitement, la tension électrique utilisée entre l'anode et la cathode s'échelonne de 200 à 400 V en CC en fonction de la solution et de la température (40 à 95 °C) utilisées.

Le même traitement peut être également utilisé pour une oxydation électrolytique au plasma afin d'obtenir des revêtements d'oxyde céramique.

2.3.2.3 Traitement de polissage électrolytique et chimique pour l'aluminium

Les traitements industriels de polissage électrolytique et chimique de l'aluminium sont de deux types :

- des traitements conçus pour remplacer ou réduire le polissage mécanique. Ces derniers fournissent une finition lisse, brillante, bien qu'il ne s'agisse pas d'une finition « miroir », et ils sont caractérisés par des vitesses de dissolution élevées (entre 2,5 et 5,0 µm par minute). Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont obtenus sur l'aluminium de grande pureté ou ses alliages, mais certains traitements peuvent être utilisés sur des classes d'aluminium de pureté commerciale, produisant une classe de finition également inférieure ;
- des traitements utilisés après le polissage mécanique. Ces derniers traitements ont une vitesse de corrosion faible et sont utilisés sur des réflecteurs en aluminium et d'autres composants qui nécessitent une réflexion spéculaire supérieure à celle obtenue grâce aux procédés mécaniques seuls. Leur utilisation est généralement restreinte à des matériaux de grande pureté car le pouvoir de réflexion chute brusquement lorsque la quantité de constituants de seconde phase présents s'accroît.

Des mélanges d'acide hautement concentrés et chauds sont utilisés généralement, en particulier de l'acide phosphorique, de l'acide sulfurique et parfois de l'acide nitrique. La température est > à 80 °C.

2.3.3 Dégraissage au solvant

Le dégraissage au solvant est généralement effectué au moyen d'hydrocarbures chlorés (CHC), d'alcools, de terpènes, de cétones, d'essences minérales ou d'hydrocarbures [90, EIPPCB, 104, UBA, 2003], [73, BSTSA,]. Les CHC sont utilisés parce qu'ils offrent une bonne efficacité de nettoyage et une applicabilité universelle, et parce qu'ils présentent des propriétés de séchage rapide et d'incombustibilité, mais leur utilisation est restreinte par la législation sanitaire et environnementale. Tous les solvants affectent le système nerveux central et l'exposition à ces substances doit être limitée (voir les considérations environnementales ci-dessous) [73, BSTSA % 90, EIPPCB,].

Il existe deux types de procédés :

- **Nettoyage à froid :** les pièces de fabrication et/ou les substrats sont immergés dans le solvant ou nettoyées dans un courant de solvant. Dans certains cas, le solvant est pompé depuis le haut d'un réservoir de stockage, laissant les impuretés se décanter au fond du réservoir. Le réservoir est nettoyé périodiquement ;
- **Phase vapeur :** le solvant est vaporisé dans un bain spécial et le composant froid est en suspension dans la vapeur. La vapeur se condense sur le composant en dissolvant la graisse et est évacuée avec les impuretés et la graisse, laissant le composant propre et sec. Les solvants les plus fréquents sont les CHC. Etant donné que les vapeurs sont plus lourdes que l'air, elles sont contenues dans le bain. Un solvant d'hydrocarbure peut être utilisé.

Le choix des solvants dépendra d'un certain nombre de facteurs, dont le substrat à nettoyer, le type d'huile ou de graisse à retirer, le traitement de fabrication précédent et les exigences des traitements de surface ultérieurs. Les éthylènes et éthanes chlorés corrodent l'aluminium et ne doivent pas être mis en contact avec le substrat, les réservoirs, les récipients, les vannes, etc. composés d'aluminium. Le contact du cuivre avec des dichloroéthylènes doit être évité en toute circonstance car des acétylides explosifs peuvent se former.

Les solvants chlorés n'ont pas de points d'éclair [73, BSTSA,]. Les cétones et les essences minérales peuvent être utilisées, mais ces dernières sont inflammables. Les hydrocarbures supérieurs dotés d'une gamme de distillation étroite offrent les points d'éclair les plus élevés proportionnés au solvant séchant sur les pièces de fabrication et/ou le substrat.

Considérations environnementales

Du fait de la classification de certains CHC dans la catégorie des matériaux potentiellement cancérigènes, de leur potentiel dangereux pour l'eau et des problèmes d'émissions atmosphériques, leur utilisation est très réglementée [93, CE, 2000, 97, CE, 1999]. La plupart des autres solvants sont inflammables ou ne sont pas autosiccatifs. [73, BSTSA,].

2.3.4 Nettoyage à l'eau

Les pièces de fabrication sont placées dans cette solution de traitement pendant plusieurs minutes, ou sont placées dans un bain à pulvérisation. La solution est généralement alcaline ou neutre mais peut être acide et les pièces sont nettoyées à température croissante (40 – 90 °C), l'effet de nettoyage s'en trouvant amélioré. Les principaux composants du système de nettoyage à l'eau sont des silicates, des phosphates et des agents complexants et mouillants, des alcalis ou des acides. Le système de nettoyage à l'eau fonctionne soit grâce à la formation d'émulsions instables

(appelées systèmes à émulsion faible) soit grâce à la formation d'émulsions stables [3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003].

Les systèmes chimiques à l'eau permettent d'éviter l'utilisation de solvants. Les articles nettoyés peuvent rester humides si le traitement ultérieur est à base d'eau, s'il s'agit par exemple d'un dépôt électrolytique. Les solutions de traitement ont une durée de vie courte, qui dépend du débit de production, et de la quantité d'huile ou de graisse déposée sur les pièces de fabrication. L'efficacité des systèmes de nettoyage à l'eau dépend du type et de la concentration des produits chimiques, de l'effet mécanique, de la température et de la durée. L'effet mécanique peut être appliqué par pression ou débit de pulvérisation, agitation des parties ou de la solution, ou par ultrasons.

De l'eau chaude est utilisée pour retirer de manière efficace l'huile et la graisse, en particulier sur les panneaux d'acier. L'eau chaude est largement utilisée dans l'industrie automobile.

Les alcalis et des silicates forts ne sont pas appropriés à une utilisation avec de l'aluminium. Les agents complexants (agents tensioactifs) ne sont pas utilisés en tant que nettoyants de l'aluminium. En ce qui concerne les agents mouillants, uniquement des agents très spécifiques peuvent être appliqués (par exemple, des agents non anioniques). Il est possible de réaliser un nettoyage à basse température, à partir de 40 ° [160, ESTAL, 2004]

Considérations environnementales
Consommation d'énergie : les réservoirs de traitement fonctionnent à une température de 50 à 90 °C et peuvent nécessiter un système d'extraction des fumées afin de retirer la vapeur d'eau et les émanations alcalines ou acides.

Les eaux de rinçage (y compris celles provenant des épurateurs) peuvent nécessiter un simple traitement du pH dans des installations de traitement d'eaux résiduaires.

Des métaux peuvent être retirés de la surface du substrat (y compris des éléments apparaissant sous forme de traces, comme le plomb, qui peut avoir des effets toxiques). Ils peuvent être séparés après ajustement du pH.

Les agents de dégraissage alcalins peuvent contenir de faibles quantités de substances dangereuses, telles que des nonyl-phénols [161, Assogalvanica, 2004].

Les solutions acides ou alcalines usées sont souvent traitées séparément car elles peuvent créer un changement de pH important qui peut ne pas être approprié aux installations de traitement des eaux résiduaires en flot continu.

L'entretien des solutions consistant en le remplacement des composants consommés et le retrait des impuretés d'huile, de l'huile et des graisses accumulées, peut considérablement augmenter la durée de vie de la solution par le biais de diverses options [73, BSTSA,].

Les solutions de nettoyage ont parfois besoin d'être séparées des autres effluents de traitement pour éviter l'interférence d'un excès d'agents de surface avec l'installation de traitement des eaux résiduaires. Les solutions de nettoyage contenant des agents complexants doivent être séparées des autres flux d'eaux résiduaires contenant des ions métalliques [73, BSTSA,], voir section 4.16.2.

2.3.5 Autres techniques de nettoyage

2.3.5.1 Lames d'air

Les lames d'air peuvent être utilisées pour ôter le surplus d'huile et de graisse déposé sur les parties à traiter [73, BSTSA,]. Il s'agit de systèmes à grand volume et à basse pression où l'air, soufflé au travers de fentes de précision, produit un rideau laminaire au travers duquel on peut passer les composants, soit manuellement, soit sur une bande transporteuse. L'air s'échauffe compte tenu de sa compression et de son mouvement dans le système, ceci ayant pour effet de réchauffer les huiles et les graisses, ce qui concourre à leur enlèvement. Le mouvement d'air laminaire ainsi que la température facilitent également le séchage des composants.

2.3.5.2 Centrifugeuses

Les centrifugeuses sont utilisées, en traitement par lots, afin de retirer le surplus de graisse ; elles sont habituellement utilisées pour les pièces plus petites avant un traitement au tonneau.

2.3.5.3 Glace carbonique

La projection de pastilles de glace carbonique au cours d'un traitement appelé « Cryoclean », peut être utilisée pour retirer l'huile et la graisse ainsi que des particules, de la peinture, etc. L'effet de nettoyage provient du refroidissement et de la fissuration des couches contaminantes, de l'impact mécanique et d'un décollage grâce au gaz formé par la sublimation de la glace carbonique. [115, CETS, 2003, 116, République tchèque, 2003]

Les pastilles sont produites à partir de CO_2 liquide et sont d'un diamètre de 3 mm et d'une longueur de 8 mm à une température de -78 °C. Elles sont projetées par air à une vitesse de 100 à 300 m/s. Les pastilles libèrent une énergie cinétique au niveau de la surface. Lors de l'impact, elles se subliment immédiatement. La surface est localement refroidie et grâce à différents coefficients d'expansion thermique du substrat et d'un revêtement et/ou de contaminants quelconques, la capacité de nettoyage s'en trouve améliorée.

Après utilisation, les pastilles de glace carbonique s'évaporent, les seuls déchets formés sont ainsi les déchets solides des revêtements décapés. Ce procédé est principalement utilisé pour le nettoyage de formes formées à la presse et d'autres parties spéciales. Dans des cas particuliers, on utilise ce procédé pour décaper des revêtements (organiques et métalliques).

Considérations environnementales

Le procédé est bruyant, et exige que les ouvriers soient protégés. Les déchets peuvent contenir des composés toxiques (tel que des peintures contenant des métaux lourds, du plomb, du cadmium, etc.). Les ouvriers doivent de proteger leurs yeux et leur respiration. L'extraction et la filtration de l'air peuvent se révéler nécessaires.

2.3.5.4 Nettoyage à la main

On utilise pour le nettoyage à la main une étoffe de tissu propre et un solvant, ou un absorbant tel que la craie ou le calcaire. Ce processus est utilisé pour des pièces de taille importante et de valeur élevée comme par exemple les composants d'engins aérospatiaux. On l'utilise également pour des petits composants dont la qualité est un critère essentiel. [73, BSTSA,].

2.3.6 Décapage, décalaminage et élimination de dépôt

Le décapage et le décalaminage sont des techniques chimiques de démétallisation utilisées pour faire briller et/ou retirer les oxydes de la surface métallique dégraissée avant de procéder à d'autres traitements de surface [73, BSTSA,]. Le décapage en vrac d'acier est décrit dans le document de référence relatif au traitement des métaux ferreux [86, EIPPCB,]. Au cours des traitements de décapage des couches disloquées ou adhérentes, comme par exemple des films d'oxyde, de la calamine et autres produits de la corrosion des métaux, sont retirés par réaction chimique avec un agent de décapage à base d'acide. Afin de retirer de manière efficace les couches épaisses d'oxyde, des concentrations spécifiées d'acide, des températures spécifiées et des durées de décapage spécifiées sont à respecter, les acides chlorhydriques ou sulfuriques sont généralement utilisés. Dans des cas particuliers, l'acide nitrique, l'acide fluorhydrique ou l'acide phosphorique, ou des mélanges d'acides sont utilisés. Les solutions contenant des fluorures sont nécessaires pour un décapage fiable de certains alliages. La réaction de décapage classique est décrite par l'équation chimique suivante :

- oxyde métallique + solution de décapage → ion métallique + eau

Une certaine érosion de la surface métallique est souhaitable, mais une attaque excessive du matériau de base par l'acide est à éviter. L'hydrogène est généralement formé :

- métal + solution de décapage → ion métallique + hydrogène

L,,attaque peut être réduite par l'utilisation de ce que l'on appelle des inhibiteurs de décapage. Ces derniers provoquent également une inhibition du développement de l'hydrogène, minimisant ainsi ce que l'on appelle la fragilisation (ou fragilité) par l'hydrogène (ou par décapage), provoquée par le piégeage de l'hydrogène dans la structure cristalline métallique au niveau de la surface et une diffusion de l'hydrogène vers des sites de concentration de contrainte du matériau. Ce phénomène peut provoquer des ruptures catastrophiques dans de l'acier à forte résistance [73, BSTSA].

La concentration des ions du métal dissous s'accroît dans la solution de décapage tandis que la force de l'acier libre décline. La consommation d'acide associé à la dissolution du métal et de l'oxyde métallique peut être compensée par l'ajout d'une solution de décapage neuve [73, BSTSA]. Cependant, cette technique est limitée par l'accroissement continu du contenu métallique. Un contenu maximum de fer de 8 % est recommandé pour l'acide sulfurique, de 12 % pour l'acide chlorhydrique et de 2,5 % pour l'acide phosphorique. Lorsque les concentrations limites sont atteintes, la solution de décapage doit être éliminée complètement ou partiellement [104, UBA, 2003].

Les pièces à décaper doivent être complètement exemptes de graisse, autrement, un décapage inégal se produira car l'acide attaquera uniquement les zones exemptes de graisse. L'utilisation d'agents mouillant accélère les processus de décapage car les pièces sont mieux et plus rapidement mouillées. Les matériaux ferreux peuvent être dérouillés et décalaminés, sans dégraissage préalable, grâce à ce que l'on appelle des agents de dégraissage acides. Les agents de dégraissage acides disponibles dans le commerce contiennent des mélanges d'agents mouillants et d'agents émulsionnants qui permettent

de provoquer l'émulsification de corps gras et des huiles dans des milieux fortement acides.

La durée de décapage est réduite par l'accroissement de la concentration d'acide et l'élévation de la température. Un effet de décapage maximum est atteint avec une concentration d'acide sulfurique de 25 %. Au-delà de ce point la vitesse de décapage décroît. La température optimale est de 60 °C.

Les effets du décapage peuvent également être accélérés par la mise en mouvement des pièces de fabrication dans la solution de décapage ou par la mise en mouvement de la solution de décapage grâce à l'injection de la solution [159, TWG, 2004].

L'acide chlorhydrique est également un bon agent de décalaminage et de décapage. Dans la plupart des cas il fonctionne rapidement avec une concentration de 18 à 22 %. Cependant, il présente l'inconvénient de dégager des vapeurs agressives. Le fait de le chauffer jusqu'à une température de 30 à 35 °C accroît non seulement l'effet de décapage mais également la formation d'émissions d'acide chlorhydrique dans l'atmosphère.

L'acide fluorhydrique est utilisé quasiment exclusivement pour le décapage de la fonte, comme par exemple pour les blocs-moteurs. Une concentration de 20 à 25 % (d'acide fluorhydrique) et des températures de 35 à 40 °C sont généralement les paramètres préférés.

En ce qui concerne l'aluminium, le traitement est appelé élimination du dépôt, et l'acide nitrique est utilisé dans des concentrations inférieures à 150 g/l.

Considérations environnementales
Il peut être nécessaire d'équiper les cuves de traitement de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols et le gaz d'acide chlorhydrique générés, et les oxydes d'azote si de l'acide nitrique est utilisé.

Les solutions de décapage usées requièrent soit un traitement et une élimination grâce à un système de traitement d'effluent soit une élimination en tant que déchets liquides. Une corrosion excessive de la surface métallique élimine une quantité significative de fer, ce qui peut entraîner des effets néfastes sur les systèmes de traitement des eaux résiduaires, tels qu'un accroissement considérable de la production de boues [158, PORTUGAL, 2004].

Les effluents peuvent aisément être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

L'entretien des électrolytes de décapage par prolongation des propriétés de l'acide et dialyse de diffusion est utilisé dans certains cas en Allemagne, comme par exemple pour l'anodisation ; l'utilisation de cette procédure n'est pas répandue pour les traitements par dépôt électrolytique. [124, Allemagne, 2003].

2.3.7 Attaque chimique et décalaminage de l'aluminium

Le décalaminage et le décapage ne sont habituellement pas appliqués au traitement de l'aluminium car l'oxyde naturel sur l'aluminium est très mince, au contraire de celui de l'acier. L'élimination de l'oxyde d'aluminium peut ne pas être nécessaire en tant que

partie d'un prétraitement mais en tant que conséquence d'un prétraitement [118, ESTAL, 2003].

L'attaque chimique de l'aluminium et de ses alliages est également effectuée dans des solutions d'hydroxyde de sodium, avec ajout de fluorures, si nécessaire. Un traitement au zincate est nécessaire afin d'obtenir une bonne adhérence avant le dépôt autocatalytique ou électrolytique du métal. Cette solution est à base d'hydroxyde de sodium contenant une quantité <20 gl de zincates.

2.3.8 Décapage, activation et dégraissage assisté par électrolytique

Le décapage peut être amélioré si le substrat est rendu anodique. Le décapage non électrolytique est souvent suivi d'une activation électrolytique destinée à éliminer les restes de résidus indésirables de la surface, tel que l'huile et les impuretés, qui restent piégées par la microrugosité de la surface du substrat. Ces résidus sont éliminés par la formation d'H_2 par électrolyse à la surface de la cathode et d'O_2 gazeux à la surface de l'anode [73, BSTSA]. La composition de base de la solution est similaire aux dégraissants alcalins, bien que la concentration chimique soit généralement deux fois plus élevée. Des agents mouillants ne sont pas incorporés pour empêcher le moussage ; cependant, des cyanures ou d'autres agents complexants peuvent être ajoutés pour améliorer l'activation des articles en acier. En ce qui concerne les applications normales, des électrolytes exempts d'agents chélatants et de cyanure sont suffisants. La durée de vie de la solution est principalement déterminée par la dilution au travers de l'apport par entraînement d'eau de rinçage et les pertes par entraînement de solution de traitement. [3, CETS, 2002]. Ce traitement n'est pas utilisé dans l'anodisation [159, TWG, 2004].

Considérations environnementales
Les cuves de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour récupérer les aérosols générés vigoureusement.

Les bains de rinçage sont rapidement saturés d'impuretés, de corps gras et d'huile.

Les effluents de rinçage et les solutions usées peuvent être traitées en tant que solution alcaline ou solution de cyanure dans les installations de traitement des eaux résiduaires. Les eaux résiduaires peuvent être un paramètre gênant pour l'installation de traitement des eaux résiduaires en grande partie à cause de la quantité des huiles et de graisse, et de la composition et de la concentration de certains composants, par exemple, les phosphates et les agents de surface actifs qui peuvent interférer avec les processus de décantation [20, VITO, 1998].

2.3.9 Décapage des métaux

Le décapage des métaux est nécessaire pour le traitement de composants dont le dépôt électrolytique a été mal effectué, sans perte des propriétés du matériau de base [73, BSTSA,]. Le décapage peut également être utilisé [73, BSTSA,] pour le nouveau traitement de pièces de fabrication à surface vierge. Il peut également être utilisé pour la récupération de métaux coûteux (tels que les métaux précieux), à la fois pour les métaux de base et les matériaux de revêtement. Souvent, le métal à substrat de ferraille peut uniquement être régénéré si certains revêtements métalliques problématiques sont éliminés. Le décapage des métaux des supports et/ou des contacts de support utilisés dans les traitements de dépôt électrolytique accroît la durée de vie des supports et permet de récupérer le métal déposé.

Pour préserver la forme de la surface à décaper, les techniques de décapage des métaux doivent éliminer le matériau de revêtement rapidement et en toute sécurité et ne pas attaquer le métal de base. Dans des cas exceptionnels, [73, BSTSA,] l'activation électrolytique du revêtement peut être nécessaire, par exemple, pour le décapage chimique du chrome. Les processus chimiques sont simples à mettre en œuvre et ils nécessitent moins de dépenses en équipement d'installation. D'un autre côté, les processus électrolytiques fonctionnent habituellement plus rapidement, sont plus économiques et permettent un meilleur contrôle. Ils sont donc préférables pour des activités telles que le décapage des métaux des contacts de montage.

Considérations environnementales
L'utilisation d'acides forts peut générer des débordements pouvant attaquer les sols en béton et en conséquence polluer les sols et les eaux souterraines, avec l'acide et les métaux dissous. L'élimination des solutions de décapage d'acide usées peut dépasser la capacité de traitement des systèmes d'effluent. Les fumées et brumes d'acide sont provoquées par la réaction avec les métaux et les substrats. Ces émanations peuvent provoquer des problèmes atmosphériques locaux, avoir des effets sur la santé du personnel et détériorer l'équipement de l'installation.

Le décapage des traitements préalables est souvent mené de manière discontinue en dehors des contrôles de procédés normaux d'une installation. Ils sont potentiellement une source importante de violation des conditions d'autorisation et une source de pollution dans le secteur.

Il peut y avoir un accroissement de la production de déchets (dans les boues provenant des acides de traitement et les acides usés) ainsi que des gaspillages d'énergie, d'eau et de matières premières, lorsque des composants défectueux sont décapés pour être retraités.

2.3.10 Prétraitement des matières plastiques (attaque chimique)

Le prétraitement est un aspect crucial du traitement de surface des matières plastiques par dépôt autocatalytique (voir section 2.5.8) et des cartes de circuit imprimé (voir section 2.11).

2.3.10.1 Conditionnement des matières plastiques

Le conditionnement fournit la mouillabilité préalablement nécessaire afin d'obtenir une couverture ultérieure uniforme et une bonne adhérence des couches métalliques [3, CETS, 2002, 77, BSTSA,].

La solution de traitement contient de l'acide sulfurique (<20 % en volume) ou de l'hydroxyde de sodium et des carbonates (<10 % en volume), des solvants organiques biodégradables solubles dans l'eau (alcool, dérivés de glycol).

Pour les cartes de circuits imprimés, un nettoyage à base de pierre ponce et d'eau peut être utilisé afin d'offrir une surface micro rugueuse pour l'adhérence ultérieure des couches [125, Irlande, 2003].

Considérations environnementales

Les effluents d'acide peuvent nécessiter un ajustement du pH dans les installations de traitement des eaux résiduaires.

2.3.10.2 Attaque chimique ou décapage des matières plastiques

Le décapage des matières plastiques est une condition préalable à une bonne adhérence des métaux. Le décapage est effectué dans un mélange aqueux d'acide chromique (jusqu'à 380 g/l) [73, BSTSA,], d'acide sulfurique (380 g/l) et d'un agent mouillant. Il est appliqué sur les surfaces de plastique de type ABS afin d'oxyder et de dissoudre le composant de butadiène, et générer ainsi une surface micro rugueuse [3, CETS, 2002].

Préoccupations environnementales
Les réservoirs de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer de faibles quantités d'aérosols et de gaz acides générés.

La durée de vie de la solution peut être accrue par l'électrolyse à membrane pour l'oxydation du Cr(III) en Cr(VI).

Les effluents sont traités facilement de manière identique aux autres solutions contenant du chrome hexavalent dans des installations de traitement des eaux résiduaires.

2.4 Pertes par entraînement et rinçage

Les pertes par entraînement sont le phénomène selon lequel le liquide du traitement précédent adhère sur les surfaces des pièces de fabrication ou des substrats. Le rinçage est nécessaire :

- entre la plupart des étapes de traitement, afin d'empêcher une contamination croisée des solutions de traitement ;
- afin de garantir que la pièce de fabrication et/ou la surface du substrat ne souffrira pas de détérioration causée par des produits chimiques résiduaires. Une telle détérioration peut se produire par sur, réaction ou par altération d'aspect causée par le séchage des produits chimiques.

Une réduction des pertes par entraînement est une mesure fondamentale pour la minimisation des pertes de produits chimiques, des coûts de fonctionnement et des problèmes environnementaux liés aux eaux de rinçage. Dans certains traitements, tels que par exemple l'attaque chimique au cours d'une anodisation, on a recours aux pertes par entraînement d'une certaine quantité de solutions pour l'entretien de ladite solution en empêchant la formation de sous-produits, tels que dans la gravure de l'aluminium [159, TWG, 2004].

Le rinçage est donc une activité fréquente effectuée après quasiment toutes les étapes de traitement dans le traitement de surface [3, CETS, 2002]. La figure 2.7 représente une section d'une chaîne classique de revêtement « au montage »avec six postes de rinçage [65, Atotech, 2001].

La qualité de l'eau de rinçage peut varier en fonction des exigences de traitement (voir section 2.12.2). De nombreuses techniques de rinçage ont été développées pour réduire la consommation d'eau au minimum, et certaines de ces techniques sont examinées dans les sections 4.6 et 4.7. On cherche habituellement à atteindre un équilibre entre

l'obtention de la propreté requise de la surface, la qualité et la quantité d'eau utilisée, et la manière d'effectuer le rinçage.

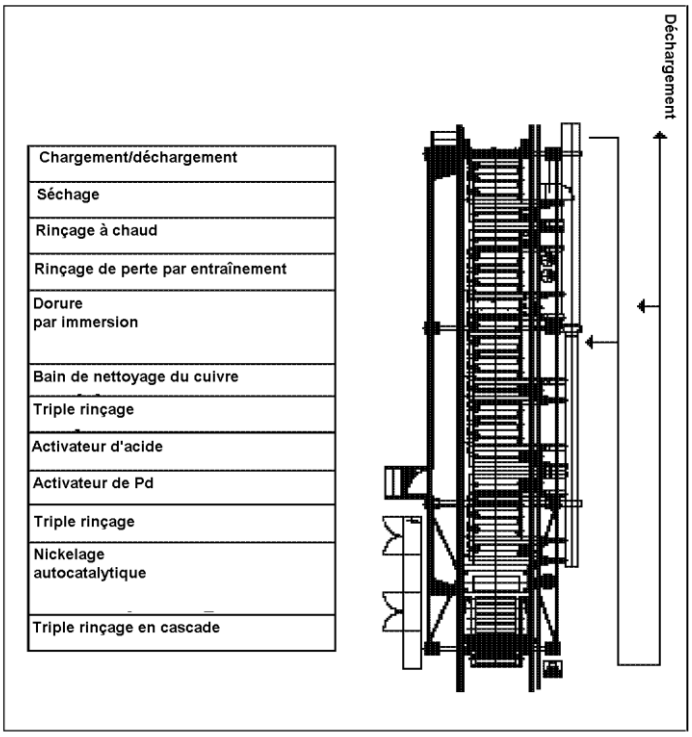


Figure 2.7 : Section d'une chaîne de revêtement « au montage » pour la production de cartes de circuits imprimés
(Atotech Deutschland GmbH)

Considérations environnementales

Le rinçage est l'une des sources potentielles les plus importantes de contamination des eaux dans la mesure où les eaux de rinçage transportent tous les produits chimiques de traitement d'une activité. Dans de nombreux cas les eaux de rinçage sont traitées avant d'être évacuées (les options de traitement sont examinées dans la section 4.16). Les points majeurs sont :

- la minimisation de la perte de matériau, comprenant l'éventuelle réutilisation de l'eau de rinçage ;
- les métaux : ils sont persistants, c'est-à-dire, ils peuvent uniquement être traités et déplacés vers un autre flux de déchets, mais ne peuvent être détruits ;
- les cyanures : ces derniers sont habituellement traités par oxydation ;
- les agents complexants : (y compris les cyanures) ces derniers peuvent nécessiter un traitement séparé afin de permettre un traitement réussi des métaux ultérieurement ;
- les agents de surface, azurants et autres additifs peuvent interférer dans le traitement des eaux résiduaires où avoir leurs propres impacts environnementaux ;
- d'autres cations peuvent avoir des effets locaux sur la qualité de l'eau.

Le rinçage est également l'une des deux sources principales d'utilisation de l'eau dans les installations (l'autre utilisation la plus importante est le refroidissement).

2.5 Activités principales

2.5.1 Cuivrage et revêtement d'alliage de cuivre

[3, CETS, 2002] Le cuivrage se retrouve sur des articles de la vie quotidienne, tels que les pièces de monnaie, les boutons ou les fermetures éclair à patine pour la mercerie. Ces types de pièces peuvent être traités, soit par un procédé de revêtement « au montage », soit par un procédé de revêtement « au tonneau ». Le cuivrage est également une étape essentielle de la fabrication des cartes de circuit imprimé, voir section 2.11.

2.5.1.1 Cuivrage alcalin

Les électrolytes à basse température de cuivrage alcalin sont nécessaires pour amorcer le dépôt sur des pièces coulées d'acier et de zinc afin d'empêcher la cémentation spontanée du cuivre et une adhérence médiocre du dépôt de métal ultérieur. Ce type de solution est à base de cyanure de cuivre et de cyanure de sodium, dont la concentration en cuivre est de 15 à 20 g/l. Les couches d'amorce de cuivre sont habituellement d'une épaisseur n'excédant pas 2 à 3 µm.

Les couches plus épaisses (6 à 8 µm) sont obtenues à l'aide d'électrolytes à haute performance à base de cyanure de potassium et d'hydroxyde de potassium dont le contenu en métal est de 25 à 50 g/l, principalement pour le revêtement métallique au tonneau et d'autres.

Un autre électrolyte à haute performance est à base de cyanure de cuivre et de cyanure de sodium avec du tartrate de potassium et de sodium ; il fournit un système à densités de courant plus élevées, une brillance accrue des couches et il réduit la tendance à la passivation de l'anode. Le contenu en métaux est de 40 à 60 g/l.

Du carbonate de potassium est généré, au cours du traitement, dans des systèmes à base de potassium. Cela interrompt le cuivrage brillant et provoque une rugosité pour les concentrations allant au-delà de 90 g/l.

Considérations environnementales
Les cuves de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols générés.

Les solutions à base de sodium peuvent être régénérées par précipitation discontinue ou continue du carbonate de sodium.

Les électrolytes à base de potassium doivent être rejetés dès que le contenu de carbonate de potassium dépasse 90 g/l.

L'effluent peut être traité au sein d'installations de traitement des eaux résiduaires classiques, avec une phase d'oxydation du cyanure.

2.5.1.2 Cuivrage acide

Ces solutions sont désormais le choix habituel pour le cuivrage [124, Allemagne, 2003]. Grâce à leur excellent pouvoir nivelant, les électrolytes de cuivrage acide à base de sulfate de cuivre et d'acide sulfurique sont utilisés pour supprimer l'étape de polissage et de ponçage avant le nickelage brillant et le cuivrage sur les structures de meuble, les

éléments de salle de bains, la tréfilerie, etc. Le contenu normal en cuivre est de 50 à 60 g/l et la quantité d'acide sulfurique est de 60 à 90 g/l.

Une application technique importante des électrolytes de cuivrage acide est le revêtement métallique des trous débouchants, des panneaux et des motifs des cartes à circuit imprimé et des circuits imprimés multicouche. L'acide sulfurique améliore la conductivité, le pouvoir de pénétration et offre des couches cristallines et ductiles minces. Dans de tels électrolytes, la concentration en acide sulfurique est de l'ordre de 180 à 200 g/l et la concentration en cuivre est de 20 g/l.

Les solutions sont également exemptes de cyanure, ne souffrent pas de formation de carbonate et sont plus efficaces électrolytiquement.

Considérations environnementales
Les cuves de traitement peuvent nécessiter d'être équipées de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols générés par l'agitation de l'air de la solution de traitement.

Les effluents peuvent être traités dans des installations d'eaux résiduaires classiques pour obtenir un pH faible et éliminer le cuivre.

2.5.1.3 Pyrophosphate de cuivre

Les électrolytes de pyrophosphate de cuivre ne jouent désormais plus de rôle important. Ils sont à base de pyrophosphate de cuivre (110 g/l) et de pyrophosphate de potassium (400 g/l). On trouve en tant qu'additif de l'acide citrique (10 g/l) et de l'ammoniac (3 g/l) [124, Allemagne, 2003].

On les utilises dans des applications techniques spéciales telles que le blindage de parties traitées thermiquement, en tant que traitement contribuant à l'étirage des fils, et pour d'autres couches brillantes épaisses qui ne nécessitent pas ou peu de polissage, pour empêcher la fragilisation par l'hydrogène et en tant que couche intermédiaire sous le nickel et l'argent.

Les électrolytes au pyrophosphate peuvent également être utilisés pour le revêtement des trous débouchants et des panneaux des cartes de circuits imprimés et des circuits imprimés multicouches ; ils sont actuellement remplacés, principalement par les électrolytes de cuivrage acide.

Le pyrophosphate est décomposé de manière continue par une hydrolyse si le pH n'est pas suffisamment maintenu, ce qui tend à réduire la durée de vie de la solution de traitement. Aucun moyen de régénération approprié n'est disponible actuellement. Cependant, des bains entretenus de manière appropriée peuvent durer plus de 10 ans [129, Espagne, 2003].

Considérations environnementales
L'extraction des fumées est généralement utilisé au niveau des cuves de traitement.

Les effluents doivent être traités à la chaux, car les hydroxydes de sodium ou de potassium ne précipitent pas le cuivre à partir du pyrophosphate.

Etant donné que la solution contient de l'ammoniac, un traitement séparé des autres effluents contenant des métaux est nécessaire.

2.5.1.4 Le laiton

Le laiton est principalement un alliage de cuivre et de zinc, bien que du nickel, de l'étain, ou du plomb puisse y être ajoutés. Les mélanges de cyanure de cuivre et de zinc en solution sont largement utilisés pour le dépôt des alliages de cuivre et de zinc dans les applications décoratives. Les solutions sont des électrolytes alcalins contenant entre 8 et 15 g/l de cuivre et 5 à 30 g/l de zinc (en fonction de la formulation utilisée). Le contenu en cyanure de sodium total peut s'échelonner de 70 à 90 g/l avec un pH de fonctionnement d'environ 10. L'alliage déposé contient de 65 à 80 % de cuivre et sa couleur est le jaune clair. On peut l'utiliser en tant que voile sur un substrat brillant ou si des dépôts plus lourds sont utilisés, on peut obtenir différentes finitions grâce à la coloration chimique ultérieure du dépôt.

2.5.1.5 Le bronze

Le bronze est du cuivre allié à de l'étain et du zinc. Un alliage de bronze alcalin est utilisé en tant que traitement de revêtement métallique décoratif. Il est utilisé en tant que substitut du nickel en joaillerie, en tant que revêtement exempt de nickel pour éviter les manifestations allergiques de la peau. Le bronze acide est en cours de développement [124, Allemagne, 2003].

La concentration en métal dans cet électrolyte à base de cyanure et de stannate est de 4 à 10 g/l de stannate, de 4 à 20 g/l de cuivre, et de 1 à 4 g/l de zinc, avec 6 à 10 g/l de cyanure de potassium. Cette solution est utilisée en deux couleurs différentes : le blanc et le bronze jaune.

Le plomb est utilisé à faible concentration en tant qu'azurant dans certains électrolytes. Son utilisation future dans de nombreux produits est interdite par les nouvelles directives [98, CE, 2003, 99, CE, 2000].

Le cyanure s'oxyde, au passage d'un courant, en carbonate. Les solutions doivent être abandonnées dès que le niveau de carbonate dépasse les 40 g/l.

Considérations environnementales
Les cuves de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols générés.

Les niveaux de pH, de cyanure et de métaux de l'effluent peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classique avec une étape d'oxydation du cyanure.

2.5.2 Nickelage électrolytique

[73, BSTSA,] Le nickelage électrolytique et les traitements de dépôt autocatalytiques sont utilisés dans une grande variété d'applications industrielles et grand public. Bien que la fonction première de ces traitements soit d'améliorer la résistance des substrats à la corrosion, à l'usure et à l'abrasion, le nickel offre un revêtement lisse, un niveau élevé de réflectivité et un revêtement résistant à la corrosion au-dessous d'une gamme de revêtements de finition à but décoratif.

Les traitements de nickelage – y compris les systèmes électrolytiques et sans courant (autocatalytiques) – peuvent être classés par commodité dans sept catégories séparées.

Nickelage/chromage électrolytique
L'application la plus importante du nickel est le nickelage/chromage électrolytique de revêtement, fréquemment dénommé « chromage ». Ces revêtements constituent une couche mince de finition (1 %) de chrome sur une sous-couche de nickel (99 %). Le nickel offre une finition très lisse, brillante et résistante à la corrosion.

Nickelage électrolytique avec d'autres couches de finition
Les systèmes de couches de finition de laiton, d'or et d'argent sont utilisés en tant qu'alternative au chrome.

Nickelage électrolytique
Le nickel peut être utilisé seul sans aucune couche de finition. Généralement, on l'utilise uniquement dans un but technique précis, tel que la remise à neuf de composants usés.

Systèmes de nickelage électrolytique composite
On ne procède quasi exclusivement qu'à la formation de matrices de nickel dans lesquelles des particules non métalliques inertes, telles que du carbure de silicium, du diamant ou du PTFE, sont incorporées par co-déposition afin d'améliorer des propriétés techniques telles que la dureté, la résistance à l'abrasion et le coefficient de frottement.

Dépôt électrolytique d'un alliage de nickel
Le dépôt électrolytique d'alliages de nickel commercialement important comporte les alliages zinc-nickel, nickel-cobalt, et nickel-fer.

Electroformage de nickel
L'électroformage de nickel est un traitement unique qui permet de produire des articles par dépôt électrolytique de couches de nickel relativement épaisses – C'est une part vitale de cette technologie de fabriquer des disques compacts, des DVD, des hologrammes et des cylindres de sérigraphie.

Revêtement autocatalytique au nickel
Il s'agit d'un traitement chimique permettant d'obtenir des revêtements durs et uniformes. Ils peuvent également être déposés sur des matériaux qui ne peuvent subir de dépôt électrolytique, tel que les matières plastiques et certains alliages. Une description exhaustive de ces traitements est réalisée dans la section 2.5.8.

Considérations environnementales globales
Les problèmes sanitaires liés au métal de nickel et à ses sels solubles, et les principaux domaines d'inquiétude sont décrits dans la section 1.4.4.1.

Les solutions au nickel sont susceptibles de nécessiter une agitation et le choix de l'agitation peut affecter la quantité de polluants atmosphériques, voir section 4.3. L'efficacité de la répartition peut être améliorée par l'ajout d'agents mouillants.

L'extraction des gaz est régulièrement utilisée et les dispositifs anti-brouillard également et les effluents peuvent être traités avec d'autres eaux résiduaires (voir ci-dessous).

Les eaux résiduaires peuvent être traitées dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques. Cependant, les eaux résiduaires contenant du nickel doivent être

séparées des eaux résiduaires contenant du cyanure, car le nickel forme des complexes stables avec le cyanure qui sont difficiles à traiter. La mise en contact avec d'autres agents complexants doit être évitée.

Les résidus solides nécessiteront une gestion en tant que déchets dangereux [92, CE, 1991, 100, CE, 2000].

Considérations concernant le substrat
Le nickel est régulièrement déposé sur une grande variété de matériaux métalliques constituant le substrat, utilisés couramment dans les processus de fabrication, comme par exemple l'acier, le cuivre, le laiton, les alliages de zinc, l'aluminium et le magnésium ainsi que sur une gamme de substrats en matières plastiques.

Aucun problème ne se pose au nickelage direct, qui permet d'obtenir une bonne adhérence, sur certains de ces substrats (acier, cuivre et laiton exempt de plomb) si un nettoyage adéquat et d'autres processus de prétraitement (voir section 2.3) sont effectués de manière appropriée.

Les alliages de zinc sont cependant susceptibles de subir une attaque corrosive dans des solutions de nickelage acide et nécessitent par conséquent l'application d'une couche de cuivre dans une solution de cyanure (voir section 2.5.1) avant que le nickel puisse être déposé en toute quiétude.

En ce qui concerne l'aluminium et ses alliages, étant donné leur réactivité de surface élevée, il est nécessaire de déposer une couche de zinc (produite par des traitements chimiques non électrolytiques connus en tant que traitements « au zincate » ou « au double zincate ») avant qu'une couche de cuivre n'y soit appliquée, de nouveau à partir d'une solution à base de cyanure. Les alliages de magnésium nécessitent un traitement identique.

2.5.2.1 Solutions de nickel de type Watts

Les solutions de nickel de type Watts représentent la majorité des solutions utilisées dans l'industrie du nickelage, y compris celles utilisées pour le nickelage-chromage, le nickelage avec d'autres systèmes de couches de finition et le nickelage composite. Du sulfate de nickel (240 à 375 g/l) est utilisé avec du chlorure de nickel (35 à 60 g/l) et de l'acide borique (30 à 45 g/l). Les températures de fonctionnement s'échelonnent de 25 à 60 °C, bien que la gamme de température plus restreinte de 50 à 60 °C soit plus courante. Le pH est habituellement de 3,5 à 4,5. Des formulations avec un contenu de chlorure de nickel au niveau de l'extrémité supérieure de cette plage peuvent être utilisées pour obtenir des vitesses de dépôt accrues.

Les solutions de type Watts peuvent être utilisées sans aucun ajout afin de produire des dépôts de nickel mat, bien que des agents mouillants soient quasiment toujours ajoutés pour réduire la rétention de bulles de gaz sur la surface du nickel qui entraînerait une « corrosion par piqûres ». Cependant, les solutions de type Watts sont les plus fréquemment utilisées avec l'ajout de composés organiques. Ces derniers modifient la structure du nickel pour produire soit une apparence totalement brillante et lustrée, soit en alternative des dépôts de nickel satinés ou semi brillants. En plus de modifier l'apparence visuelle du nickel, ces additifs amènent également inévitablement des changements de la ductilité, de la dureté et de la contrainte interne du dépôt. Classiquement, les ajouts dépendent de la fonction demandée au revêtement de nickel et

varient d'une quantité faible de demi azurant organique (<1 ml/l) et d'agent mouillant (<1 ml/l) pour une finition semi brillante par rapport à des quantités d'azurants primaire et secondaire de 10 à 20 ml/l et <10 ml/l d'agent mouillant pour une finition brillante.

Il existe de nombreux types de composés organiques utilisés afin de modifier les propriétés des dépôts produits à partir des solutions de type Watts. En règle générale, ils sont ajoutés en tant que mélanges propriétaires.

Si elles sont analysées régulièrement, utilisées et entretenues avec soin, les solutions de type Watts peuvent avoir une durée d'utilisation quasiment infinie. Le métal de nickel déposé sur la cathode est bien plus qu'entièrement compensé par celui dissous au niveau de l'anode étant donné que l'efficacité de la cathode est généralement uniquement comprise entre 96 et 98 %, à comparer à un rendement anodique de 100 %. Cette légère différence de rendement est généralement compensée par la « perte par entraînement », c'est à dire par le liquide entraînée dans le système de rinçage par les pièces progressant sur la chaîne de traitement. Dans les systèmes pour lesquels les « pertes par entraînement » sont faibles, la concentration de la solution peut réellement s'accroître, ce qui peut nécessiter un traitement afin de conserver la concentration à l'intérieur des limites admissibles.

Le problème qui réduira le plus vraisemblablement la durée d'utilisation de la solution de nickel est l'introduction d'une contamination de nature inorganique ou organique.

Des contaminants inorganiques peuvent être introduits par une alimentation en eau impure, une solution transportée dans la solution de nickel et provenant des bains précédents de la chaîne de traitement (par exemple, les solutions de nettoyage) ou de composants métalliques tombant accidentellement dans la solution de nickel, tels qu'une pièce chutant des supports et se dissolvant par la suite dans la solution de traitement. Certains contaminants inorganiques (Fe) peuvent être éliminés au moyen de mesures telles que la précipitation à pH élevé et d'autres (Cu et Zn) par une électrolyse à densité de courant faible connue en tant que « dépôt », voir section 4.11.9.

Un nombre considérable de contaminants organiques peut être éliminé simplement par filtration au charbon actif ou par l'utilisation de polymères adsorbeurs. D'autres contaminants peuvent nécessiter un traitement supplémentaire soit au peroxyde d'hydrogène soit au permanganate de potassium afin de décomposer le composé en composés plus simples qui peuvent ensuite être éliminés par un traitement au charbon actif.

Considérations environnementales
Voir les considérations environnementales globales.

Les agents mouillants utilisés ne provoquent habituellement pas d'interférence avec les traitements des eaux résiduaires classiques.

Un fonctionnement en cycle fermé peut être obtenu avec un entretien approprié et des mesures de rinçage, ce qui réduit les demandes du traitement des effluents et accroît la conservation des matières premières et de l'eau.

2.5.2.2 Solutions à base de sulfamate de nickel

Ces solutions sont largement utilisées, le plus fréquemment dans des applications d'électroformage, pour lesquelles il est absolument primordial de produire des revêtements ayant une tension interne faible. Dans ces cas, des solutions exemptes de chlorure peuvent être utilisées (mais uniquement si une forme de matériau anodique de nickel de soufre activé est utilisée) afin de réduire la contrainte de dépôt au minimum. Ils sont également utilisés dans les opérations de revêtement métallique au tonneau et les opérations de bobine à bobine, car leur conductivité électrique supérieure permet d'utiliser des vitesses de dépôt plus rapides, et des couches d'épaisseur supérieure (>2000 µm).

En règle générale, les solutions à base de sulfamate ne sont pas utilisées dans les situations dans lesquelles les solutions de type Watts se révèleront efficaces, cela à cause de leur coût plus important.

Ces solutions sont à base de sulfamate de nickel (plutôt qu'à base de sulfate de nickel) dans des concentrations s'échelonnant de 350 à 600 g/l de sel de tétrahydrate, permettant d'obtenir une intensité plus élevée. Ces solutions contiennent toujours de l'acide borique (35 à 45 g/l) et contiennent fréquemment du chlorure de nickel (1 à 15 g/l).

Ces solutions fonctionnent normalement dans des gammes de température et de pH identiques à celles utilisées pour les solutions de type Watts bien que des solutions de sulfamate à concentration élevée utilisées pour obtenir des vitesses élevées de dépôt de métaux, utilisant des densités de courant allant jusqu'à 35 A/dm^2, fonctionnent souvent à environ 70 °C.

Les solutions à base de sulfamate sont fréquemment utilisées sans aucun ajout autre que les agents mouillants, pour réduire la « corrosion par piqûres ». Cependant, des composés organiques choisis, tels que la saccharine et l'acide naphtalène trisulfonique, peuvent être ajoutés dans la solution pour accroître la dureté du dépôt ou pour contrôler la contrainte interne du dépôt.

Tout comme les solutions de type Watts, les solutions basées sur le sulfamate de nickel peuvent avoir une durée de vie quasi infinie si elles sont analysées régulièrement et entretenues avec soin. Il existe cependant une complication supplémentaire à envisager, liée à la stabilité chimique et électrochimique de l'anion de sulfamate. A des températures supérieures et des valeurs de pH inférieures, ce dernier s'hydrolyse pour produire des ions de sulfate et des ions d'ammonium en solution. L'ion d'ammonium accroît la tension interne du revêtement et la dureté jusqu'à des niveaux inacceptables et, en outre, ne peut être éliminé de la solution. De plus, si les anodes de la solution de traitement deviennent des anodes passives, l'anion de sulfamate subira une oxydation électrochimique pour produire un mélange indéfini de sous-produits qui affecte radicalement et négativement les propriétés du dépôt.

Les moyens d'éviter la contamination inorganique et organique et les traitements disponibles sont les mêmes que pour les solutions de type Watts.

Considérations environnementales

Les problèmes concernant les pertes de solution par « perte par entraînement » et les problèmes concernant le traitement des effluents sont les mêmes que pour les solutions de type Watts.

2.5.2.3 Solution à base de chlorure de nickel

Les solutions à base de chlorure de nickel ont des utilisations très limitées car elles provoquent des contraintes internes très élevées pour les dépôts qu'elles produisent. Il existe une exception : la solution d'amorce au nickel de Woods qui est normalement constituée de 240 g/l de chlorure de nickel hexahydraté et 225 ml/l d'acide chlorhydrique et fonctionne à une température de 20 à 30 °C. Elle est utilisée uniquement dans un but spécifique : fournir une couche de nickel initiale d'adhérence sur la surface des matériaux, tels que l'acier inoxydable et les alliages nickel-chrome, sur lesquels il est difficile d'obtenir une adhérence à cause de la formation naturelle d'une couche passivante d'oxyde.

2.5.2.4 Solutions à base de sulfate de nickel

Les solutions à base du sulfate de nickel et ne contenant pas de chlorure de nickel sont rarement utilisées car elles ne favorisent pas une bonne dissolution du matériau anodique de nickel. Des formulations similaires à la solution de type Watts (mais sans chlorure) peuvent être utilisées lorsque l'utilisation d'anodes inertes est essentielle afin d'obtenir un dépôt dans des creux quasi inaccessibles.

Une solution d'amorce de nickel à base de sulfate (70 g/l de sulfate de nickel plus 100 g/l d'acide sulfurique) est parfois utilisée avec un objectif identique à celui de la solution de Woods (voir ci-dessus).

2.5.2.5 Autres solutions de nickelage

Des solutions à base de fluoroborate de nickel sont citées dans la littérature mais ne sont pas ou peu appliquées commercialement.

2.5.2.6 Solutions de déposition d'alliage de nickel

Les alliages nickel-cobalt sont utilisés en électroformage car ils sont plus durs que le nickel pur et les alliages nickel-fer sont utilisés pour des applications du secteur de l'électronique, compte tenu généralement de leurs propriétés magnétiques. Des solutions utilisées pour le dépôt des deux types d'alliages sont habituellement basées sur les formulations de type Watts standard ou de sulfamate de nickel, engendrant les mêmes problèmes de fonctionnement et d'entretien.

Les traitements nickel-fer nécessitent cependant l'ajout d'additifs spéciaux afin de stabiliser les ions ferreux en solution et d'empêcher l'oxydation spontanée à état ferrique.

Les procédés de déposition d'alliage nickel-zinc qui produisent des alliages contenant 10 à 14 % de nickel ont été récemment développés et leur utilisation augmente de manière importante car ils offrent une protection contre la corrosion quasiment dix fois supérieure au niveau obtenu par le zinc pur (voir section 2.5.4)

2.5.3 Chromage

[3, CETS, 2002] Le chromage est largement utilisé à la fois en tant que finition de surface décorative (chromage brillant) et en tant que revêtement fonctionnel (chromage

dur), grâce à ses propriétés classiques de dureté élevée et de résistance à l'usure. Il est également largement utilisé dans des applications d'emballage (voir section 1.3.2).

Concernant le traitement de décoration, dénommé le plus souvent chromage brillant, on l'applique habituellement en tant que couche mince destinée à empêcher la corrosion des surfaces très plates et brillantes générées par des sous-couches de nickel brillant. L'épaisseur de dépôt est généralement de l'ordre de 0,1 à 0,4µm [73, BSTSA, , 124, Allemagne, 2003], avec une durée de traitement s'échelonnant de 2 à 13 minutes [73, BSTSA]. La finition a classiquement une couleur d'argent brillant et possède une résistance très élevée au ternissement.

Le chrome brillant peut être déposé à partir d'électrolytes de chrome hexavalent ou de chrome trivalent [122, UBA, 2003].

Le chromage dur consiste en des dépôts renforcés appliqués sur des composants particuliers (arbres de transmission, cylindres hydrauliques, train d'atterrissage [73, BSTSA,] chevilles, vannes, etc.) afin d'accroître la résistance aux dégâts mécaniques et à l'usure. Le chromage dur peut uniquement être appliqué à partir d'électrolytes de chrome hexavalent.

La solution de traitement au chrome génère des aérosols qui sont dus au dégagement important d'hydrogène cathodique. Les effets sur la santé du chrome hexavalent sont décrits dans la section 1.4.4.1. Théoriquement, les traitements trivalents à base d'une solution de chlorure peuvent produire des halogènes organiques dangereux (Composés organohalogénés absorbables) et du chlore gazeux, mais les solutions de production empêchent ces formations grâce aux additifs qui réduisent le chlore. Il n'y a pas de problème avec les solutions à base de sulfate.

Des problèmes concernant le Cr(III) et Cr(VI) sont examinés dans la section 4.9.6. L'Annexe 8.10 contient un tableau reprenant tous les commentaires reçus et leur validation.

Considérations environnementales globales relatives au chrome hexavalent
Les cuves de traitement sont habituellement équipés de système d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols de chrome hexavalent.

Des agents anti-mousse, associés ou non au système d'extraction des fumées, peuvent être utilisés pour contrôler le moussage et réduire la quantité d'aérosols [73, BSTSA,]. Ces produits sont néanmoins à base de sulfonâtes de perfluorooctane , qui sont des substances toxiques et persistantes [73, BSTSA,].

Les vapeurs extraites peuvent être traitées grâce à un dévésiculeur et la liqueur de lavage peut être traitée avec les autres effluents de chrome.

Les effluents peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques, avec une réduction du Cr(VI), en Cr(III) suivie d'une floculation et d'une précipitation.

Les solutions de Cr(III) ne nécessitent pas d'être séparées et réduites avant un traitement.

2.5.3.1 Chromage brillant (électrolytes au chrome hexavalent)

Les électrolytes au chrome brillant hexavalent sont à base d'acide chromique (80 à 400 g/l), de sulfate en tant que catalyseur primaire (0,5 à 5,0 g/l) tel que des ions fluorures (<2 % de la concentration en acide chromique). Lorsqu'une protection élevée contre la corrosion est nécessaire, ce que l'on appelle un chromage "microfissuré" ou "microporeux" peut être appliqué par l'utilisation de techniques aisément disponibles, et présenter une épaisseur de 0,7 à 0,8 µm, et une durée de traitement de 7 à 8 minutes [113, Autriche, 2003].

Les propriétés du chromage décoratif sont déterminées par les caractéristiques de la sous-couche de nickel, par le rapport CrO_3/catalyseur et par la température de fonctionnement (de 20 à 45 °C) [73, BSTSA,] ; [124, Allemagne, 2003].

Considérationss environnementales
Voir les considérations environnementales globales concernant le chrome hexavalent ci-dessus.

2.5.3.2 Chromage brillant (électrolytes de chrome trivalent)

Les électrolytes au chrome brillant trivalent sont à base de composés de chrome III, tels que le sulfate ou le chlorure, conjointement avec des produits chimiques brevetés. L'électrolytique ne contient qu' environ 20 g/l de chrome trivalent, à comparer aux 200 g/l environ d'acide chromique utilisés dans le traitement à chrome hexavalent.

Actuellement, le chrome trivalent peut uniquement être utilisé pour des finitions décoratives, et ne peut remplacer le chrome hexavalent pour le chromage dur (voir section 4.9.8.3) [124, Allemagne, 2003]

L'utilisation du chrome trivalent élimine le risque cancérigène et les autres risques associés à l'utilisation du chrome hexavalent sur le lieu de travail. L'extraction et l'épuration des fumées, ou l'utilisation d'un suppresseur de fumées ne sont pas nécessaires en ce qui concerne le chrome hexavalent. Cependant, des additifs sont indispensables pour empêcher la formation de chlore libre et de composés organohalogénés absorbables.

La concentration inférieure de l'électrolyte présente une viscosité inférieure à l'électrolyte de chrome hexavalent. Ceci permet d'obtenir un meilleur égouttage des parties déposées, et ultérieurement des pertes par entraînement moindre, une perte d'électrolyte moindre, un traitement requis de l'effluent moindre et une production moindre de déchets contenant du chrome.

Considérations environnementales
Le traitement n'émet pas d'aérosols de chrome hexavalent, mais un système d'extraction des fumées peut être nécessaire pour traiter des émissions de vapeur d'acide quelconques [115, CETS, 2003, 124, Allemagne, 2003].

L'extraction des fumées contribuera à l'évaporation et à la réduction suffisante en volume permettant de compenser les ajouts réalisés au cours de l'entretien de la solution [124, Allemagne, 2003] ou provenant de la contre perte par entraînement des traitements de rinçage. Cependant, l'évaporation peut être nécessaire.

La réduction significative des pertes par entraînement provoque une réduction parallèle du traitement des effluents et des éliminations indispensables de boues : cette réduction peut s'élever jusqu'à 90 %.

Les eaux résiduaires nécessitent un traitement chimique moindre dans la mesure où le chrome est déjà à l'état trivalent et qu'il se précipitera à un pH approprié.

2.5.3.3 Chromage noir

[113, Autriche, 2003]

Les finitions au chrome noir peuvent être obtenues pour la décoration des pièces de fabrication noires et sur des substrats identiques à ceux utilisés pour le chromage brillant. On les utilise également pour le revêtement métallique d'une sous-couche de nickel. Habituellement, elles sont traitées par émulsion afin d'obtenir une finition décorative après le traitement de déposition (voir section 2.5.11). Ces solutions sont à base d'électrolytes d'acide chromique hexavalent (350 à 520 g/l) et de catalyseurs (nitrates, fluorures). Les couches sont poreuses et <1 µm.

Considérations environnementales

Voir les considérations environnementales d'ensemble relatives au chrome hexavalent, ci-dessus. Un traitement des nitrates et/ou des fluorures contenus dans des eaux résiduaires peut être nécessaire, bien qu'habituellement ce ne soit pas le cas.

2.5.3.4 Chromage dur

[3, CETS, 2002, 74 BSTSA,] Les électrolytes de chromage dur sont à base d'acide chromique (180 à 350 g/l) et de l'un des catalyseurs suivants :

- des ions sulfate (1,8 à 6,0 g/l) ;
- un mélange d'ions sulfate et fluorure (<2 % du contenu en acide chromique) ;
- un produit propriétaire exempt de fluorure préparé (<2 du contenu en acide chromique).

Le choix du catalyseur est fondamental pour le rendement de l'électrolyte (de 25 à 33 % [73, BSTSA,] pour le catalyseur de sulfate jusqu'à 25 à 27 % pour le produit propriétaire préparé exempt de fluorure). Le type de catalyseur utilisé et la température de fonctionnement ont une influence importante à la fois sur les propriétés physiques (revêtements fissurés, microfissurés et exempts de fissures) et sur les propriétés mécaniques et chimiques, par exemple, la résistance à la corrosion et à l'usure, l'aptitude au façonnage mécanique, etc.

Considérations environnementales

Voir les considérations environnementales d'ensemble relatives au chrome hexavalent, ci-dessus.

Du fait des durées de déposition relativement longues et des températures de traitement élevées (50 à 60 °C), l'évaporation est habituellement suffisante pour utiliser l'eau de rinçage récupérée du poste de rinçage suivant. Ceci peut permettre un fonctionnement en cycle fermé, avec ou sans évaporateur. Autrement, la consommation en eau peut être élevée [73, BSTSA,].

2.5.4 Zingage et dépôt d'alliage de zinc

[3, CETS, 2002, 78 BSTSA,] La déposition de zinc et d'alliage de zinc est le traitement de surface électrolytique le plus communément utilisé. Il permet d'obtenir une résistance à la corrosion et/ou un revêtement décoratif peu onéreux sur une grande variété d'articles de fer et d'acier pour les industries automobiles, de la construction et d'autres. Par exemple, ils sont utilisés sur des feuilles d'acier ou des fils, des vis, des rondelles, des écrous, des boulons, des chariots de supermarché, des cadres (châssis) de construction et des boîtiers d'appareils ménager (comme par exemple les machines à laver) et dans des nombreux autres types d'applications (voir section 1.1).

Les couches de zinc nécessitent un post-traitement (voir section 2.5.17) : ajoutées à divers revêtements, des couches de zinc d'une épaisseur d'à peine 2,5 à 18 µm seront suffisantes pour protéger des parties de pièces de fabrication pendant leur durée d'utilisation totale [159, TWG, 2004].

Le zingage existe depuis des centaines d'années et se retrouve dans une large variété d'applications. De nombreux systèmes d'électrolytes différents sont utilisés pour sa production, dont les plus fréquents sont décrits ci-dessous.

Préoccupations environnementales globales
Les minerais de zinc contiennent du cadmium. Au niveau de pureté du zinc utilisé pour le zingage électrolytique, les anodes contiennent environ 1 g de cadmium par tonne de zinc soit 0,0001 %. La norme EN 1179 exige une pureté du zinc de 99,995 %. La quantité maximum de cadmium autorisée est donc de 0,003 %, bien qu'en pratique, cette dernière soit d'environ 0,0003 % soit 3 g par tonne [124, Allemagne, 2003]. Des traces de cadmium peuvent donc apparaître dans l'effluent. Elles sont en grande partie éliminées dans les installations classiques de traitement des eaux résiduaires et se retrouveront dans les boues produites. Les quantités de cadmium dans l'effluent traité ou dans les déchets ne sont habituellement pas significatives. Un traitement consistant à éliminer le zinc afin d'atteindre des niveaux réglementaires est habituellement suffisant pour éliminer cette quantité de cadmium présente. Si nécessaire, des étapes supplémentaires de filtrage peuvent être ajoutées (voir section 4.16.10) [124, Allemagne, 2003].

2.5.4.1 Zinc alcalin cyanuré

Cette solution est utilisée principalement pour la production technique de couches résistantes à la corrosion (non décoratives). Les électrolytes de traitement sont faciles à exploiter, et ont des compositions d'oxyde de zinc (10 à 30 g de zinc/l), d'hydroxyde de sodium (80 à 120 g/l) et de cyanure de sodium (5 à 100 g/l). Ils fonctionnent à des valeurs de pH proches de 14, et utilisent des anodes solubles et insolubles.

Le zinc alcalin permet d'obtenir des revêtements possédant de bonnes propriétés de post-formation. Selon certaines sources, ceci est dû à la structure mince du dépôt, selon d'autres c'est l'action de nettoyage de la solution cyanurée qui permet d'obtenir une bonne adhérence [73, BSTSA,].

L'électrolyte à base de cyanure possède un bon pouvoir de pénétration dans les trous et les espaces aveugles.

La solution électrolytique a une faible conductivité ; en conséquence, un potentiel plus élevé (6 à 8 V pour le revêtement « au montage », 10 à 15 V pour le revêtement« au tonneau ») et une puissance électrique plus forte sont nécessaires. [73, BSTSA,] L'accumulation de carbonate provenant de la décomposition du cyanure peut être traité par cristallisation (voir section 4.11.4), ce qui élimine également les impuretés métalliques contenues dans l'électrolyte.

Le rendement en courant s'échelonne de 50 % à 75 % pour un traitement répondant aux règles et pour une densité de courant moyenne de $2A/m^2$ [73, BSTSA,], mais il décroît avec l'augmentation de la densité de courant.

Les réservoirs de traitement peuvent être dotés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols.

Considérations environnementales
La tendance du secteur est à la diminution de la teneur en cyanure pour des raisons de sécurité et de protection de l'environnement.

Le cyanure contenu dans les eaux de rinçage peut être facilement oxydé selon divers procédés au sein de l'installation de traitement des eaux résiduaires.

Le zinc peut être facilement éliminé dans les installations classiques de traitement des eaux résiduaires.

2.5.4.2 Zinc alcalin exempt de cyanure

Ces solutions sont principalement appliquées pour la production de couches résistantes à la corrosion (non décoratives). Les solutions de traitement contiennent de l'oxyde de zinc (5 à 15 g de zinc/l) et de l'hydroxyde de sodium ou de l'hydroxyde de potassium (100 à 150 g/l). Ce traitement peut nécessiter un traitement de pré-nettoyage plus poussé que pour les solutions cyanurées [73, BSTSA,]. Le traitement permet d'obtenir une répartition du métal meilleure que celle obtenue avec les électrolytes cyanurés.

La solution électrolytique a une faible conductivité ; en conséquence un potentiel plus élevée (6 à 8 V pour le revêtement « au montage », 10 à 15 V pour le revêtement « au tonneau ») et une puissance électrique plus forte sont nécessaires.

Le rendement en courant est de 65 à 70 % et diminue avec l'augmentation de la densité de courant. Un rendement de 70 à 85 % peut être obtenu pour une densité de courant de $2A/m^2$ pour des traitements correctement gérés [129, Espagne, 2003, CETS, 2003 #115].

Considérations environnementales
Le zinc provenant des rinçages successifs peut être facilement éliminé dans des installations de traitement des eaux résiduaires.

Les aérosols provenant du bain peuvent être réduits par l'utilisation d'agents mouillants, qui créent une couche de mousse au-dessus du bain. Cependant, les agents anti-mousse peuvent être à base de sulfonâtes de perflurooctane (PFOS), qui est sont des substances toxique et persistantes [73, BSTSA,].

L'extraction de l'air peut être nécessaire pour les cuves de revêtement et les réservoirs externes de dissolution pour le métal de zinc (voir section 2.13.3 [113, Autriche, 2003].

Ce traitement a des besoins énergétiques bien plus élevés que les autres traitements au zinc (refroidissement, rendement en courant inférieur). Les électrolytes de potassium ont un meilleur rendement en courant que les électrolytes au sodium [113, Autriche, 2003].

2.5.4.3 Zinc acide

Les électrolytes de zinc acide permettent d'obtenir des couches décoratives brillantes et sont par exemple utilisés sur les bâtis de meubles, les chariots et les paniers de supermarché. Ajoutés aux post-traitements, ils offrent une résistance à la corrosion comparable aux finitions réalisées à partir d'électrolytes alcalins. La répartition du métal s'échelonne d'un niveau médiocre à un niveau acceptable, mais celle-ci s'améliore avec l'utilisation d'électrolytes chauds.

Les électrolytes contiennent du chlorure de zinc (30 à 55 g de zinc/l), du potassium et/ou [124, Allemagne, 2003] du chlorure de sodium (130 à 180 g/l) [116, République tchèque, 2003], de l'acide borique (10 à 40 g/l) et un agent mouillant. On utilise uniquement des anodes solubles. Les solutions ont une bonne conductivité et un rendement cathodique élevé, habituellement de l'ordre de 93 à 96 %. Ce traitement exige des besoins énergétiques moindres que les traitements alcalins [73, BSTSA,].

Les cuves de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les brumes contenant du chlore ; ceci permet d'éviter la corrosion des équipements.

Considérations environnementales
Le rendement en courant de l'électrolyte implique une consommation d'énergie moindre.

Si l'air évacué par extraction est dirigé vers un dévésiculeur, les effluents peuvent nécessiter un traitement afin d'ajuster le pH et d'éliminer le zinc.

Les effluents pourront aisément être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

Les électrolytes de zinc acide génèrent plus d'éléments solides au cours du processus de traitement des effluents que les traitements alcalins cyanurés et peuvent entraîner une production jusqu'à 4 fois supérieure d'éléments solides. Ceci peut être causé par la dissolution accrue des substrats d'acier, le fer s'accroissant et agissant en tant que floculent dans le traitement des eaux résiduaires (communication personnelle, D. Hemsley).

2.5.4.4 Déposition d'alliage de zinc

Les dépôts d'alliage de zinc offrent une résistance accrue à la corrosion et sont principalement utilisés dans des applications du secteur automobile (voir sections 1.1 et 2.9).

Les principaux alliages de zinc déposés sont :

- le zinc-fer (<1 % Fe), à partir d'électrolytes alcalins sans cyanure ;
- le zinc-cobalt (<3 % Co), à partir d'électrolytes acides ou alcalins sans cyanure ;
- le zinc-nickel (<15 % Ni), à partir d'électrolytes acides (à base de chlorure d'ammonium) ou alcalins sans cyanure. Des alliages contenant 10 % à 14 % de nickel ont été récemment développés et sont en train de gagner de l'importance car ils permettent d'offrir un niveau de protection à la corrosion quasiment 10 fois supérieur à celui que permet d'obtenir le zinc pur. Ils peuvent être déposés soit grâce à des solutions acides à base de chlorure soit grâce à des solutions alcalines dans lesquelles la concentration relativement basse de nickel en solution (1 à 2 g/l) est stabilisée par l'ajout de faibles quantités d'amines. Les solutions alcalines sont en passe de devenir les formulations préférées car elles permettent d'obtenir une composition d'alliage plus cohérente sur des pièces de fabrication à géométrie complexe [115, CETS, 2003].

Considérations environnementales
Les cuves de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols ou les vapeurs de chlorure d'ammonium.

L'air évacué par extraction peut être dirigé vers un dévésiculeur.
Les effluents alcalins exempts de cyanure sont traités dans des installations de traitement des eaux résiduaire classiques.

Le traitement des effluents provenant d'électrolytes à base de chlorure d'ammonium est difficile et doit être effectué séparément. La récupération des pertes par entraînement peut être proche de 100 % (en fabrication en cycle fermé), ce qui permet de faciliter le traitement des effluents.

En ce qui concerne l'alliage en zinc-nickel, le facteur de dilution qui survient dans les eaux de rinçage compense généralement l'effet complexant des amines de sorte qu'un traitement spécial n'est pas nécessaire pour éliminer le nickel contenu dans l'effluent. Cependant, en cas de nécessité d'élimination de certaines quantités de solutions de traitement non diluées, un traitement par chloration sera nécessaire pour détruire les complexes aminés de nickel avant de pouvoir passer à la précipitation du nickel contenu dans l'effluent [73, BSTSA,].

2.5.5 Cadmiage

[114, Belgique, 115, CETS, 2003, 121 France, 2003]. Le cadmium est utilisé principalement pour protéger des pièces réalisées en acier et en alliages d'aluminium ou de titane. Il possède des propriétés particulières : un risque de fragilisation par l'hydrogène, un coefficient de frottement faible et un couple constant pour les dispositifs de fixation, et il a également un pouvoir de pénétration et une pénétration supérieure ainsi qu'une résistance à la corrosion supérieure par comparaison du zinc. Cette toxicité réduit sa gamme d'application à des utilisations techniques pour lesquelles il est indispensable : l'aviation et l'aérospatial, les équipements militaires, les industries minières et nucléaires et dans la production de certains contacts électriques essentiels en termes de sécurité (voir section 1.4.4.1, annexe 8.1, [105, CE, 1967]).

Le cadmiage peut être réalisé dans des bains alcalins, mais également acides, cyanurés. Le pré-traitement est le même que pour le zingage. Après son dépôt, le revêtement subit souvent un traitement de passivation dans un bain d'acide chromique. Des pièces en acier à haute résistance sont traités thermiquement pour minimiser l'absorption d'

hydrogène et sont ensuite activées dans de l'acide nitreux dilué avant d'être chromées. Les couches de revêtement au cadmium peuvent être chromatées.

Les électrolytes peuvent être à base de cyanure, de fluoroborate, de sulfate ou de chlorure :

- électrolyte à base de cyanure :
  NaOH : 20 g/l ; NaCN : 120 g/l ; cadmium : 20 à 30 g/l ; température : 20 à 35 °C ;
- électrolyte à base de fluoroborate :
  fluoroborate de cadmium : 250 g/l ; fluoroborate d'ammonium : 60gl ; acide borique : 25gl ; température : 20 à 35 °C ;
- électrolyte à base de sulfate :
  sulfate de cadmium 52 à 85 g/l ; acide sulfurique 50 à 120 g ; température : 18 à 30 °C ;
- électrolyte à base de chlorure :
  chlorure de cadmium : 114 g/l ; chlorure d'ammonium : 112 g/l ; agent complexant (EDTA, NTA) : 180 g/l.

Considérations environnementales
Les effets toxiques du cadmium sont bien connus [114, Belgique, 2003], voir l'annexe 8.1.

Les niveaux de rejets en provenance des installations de traitement des eaux résiduaires sont susceptibles d'être inférieurs en ordre de grandeur aux autres métaux (tel que le zinc, voir l'annexe 8.3). L'effluent peut être traité par un traitement physico-chimique. La précipitation du cadmium peut être améliorée par l'ajout de Fe^{2+} au cours de l'étape de coagulation, au moment de la co-précipitation du cadmium et du fer. Il peut être très difficile d'obtenir des valeurs très basses d'émission par précipitation pour le cadmium. Un traitement supplémentaire peut être nécessaire, comme par exemple un traitement séparé au niveau de la source avant que le mélange avec d'autres effluents ne se produise : par exemple, par électrolyse, par échangeurs d'ions mobiles, par évaporation [114, Belgique, 2003, 121 France, 2003].

2.5.6 Etamage et électrodéposition d'alliage d'étain

Le métal étamé est largement utilisé dans de nombreuses applications car il présente des propriétés uniques. Les revêtements étamés ne sont pas toxiques, sont ductiles, résistants à la corrosion, faciles à enduire et ont des propriétés de pénétration élevées et de bonnes répartitions. Ceci permet de procéder au revêtement métallique d'articles de formes complexes, sur une épaisseur uniforme en comparaison des procédés utilisant le trempage à l'étain chaud. Les finitions à l'étain permettent également d'y souder ultérieurement des composants [73, BSTSA,].

Les principales applications de l'étain sont le revêtement de bobines d'acier pour l'emballage de produits alimentaires, de boissons et d'aérosols, etc. (voir les sections 1.3.2 et 2.9.9). Il est également largement utilisé dans les cartes de circuit imprimé (voir section 2.11), les composants électroniques [73, BSTSA,], les châssis d'appareils ménagers, ainsi que dans les ustensiles de cuisine.

Plusieurs électrolytes différents sont disponibles, tels que le sulfate stanneux acide, le fluoroborate d'étain acide, le stannate de sodium ou de potassium alcalin et, plus récemment, les systèmes stanneux à base d'acides organiques, tels que l'acide

méthanesulfonique (MSA), et représentant, 13 % de la production de fer blanc en Europe [73, BSTSA,]. Les bains de sulfate plus simples qui contiennent un sulfate stanneux, de l'acide sulfurique et des agents d'addition (des antioxydants pour l'étain stanneux et un agent d'affinage du grain) sont plus utilisés dans les traitements « au montage » et « au tonneau » car ils permettent d'obtenir un rendement en courant élevé [73, BSTSA,].

Le dépôt d'étain au plomb est l'alliage d'étain le plus couramment déposé. Il est utilisé en tant que revêtement de soudure selon différents rapports d'alliage (60/40, 90/10, 95/5) utilisant traditionnellement des fluoroborates stanneux et au plomb avec de l'acide fluoroborique et des additifs [73, BSTSA,].

Les électrolytes d'étain au plomb non fluoroboriques sont désormais disponibles et sont à base d'acide de méthane sulfonique organique. Ils disposent d'une stabilité améliorée, d'une faible formation de boue, de taux de revêtement métallique plus élevés, [73, BSTSA,] de meilleures propriétés de dépôt et de la structure de dépôt. Ils sont largement utilisés sur des machines fonctionnant de bobine à bobine ainsi que dans des traitements au tonneau.

L'alliage d'étain-nickel a un pouvoir de pénétration élevé, une bonne répartition du métal, est ductile, non toxique et permet de procéder facilement à des soudures.

Considérations environnementales
Les réservoirs de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols générés au cours de l'électrolyse.

Les effluents peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

Le traitement à base de MSA est entièrement biodégradable, ne contient pas de chélates, d'agents complexants ou de phénols, présente un faible DCO et un traitement simple des déchets (neutralisation et filtration) [73, BSTSA,].

Les effluents de bain de fluoroborate doivent être prétraités séparément avant d'être envoyés vers des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

La charge organique des traitements à base de MSA est habituellement biodégradable [73, BSTSA,].

2.5.7 Dépôt de métaux précieux

[3, CETS, 2002, 75, BSTSA,] On procède au dépôt électrolytique d'argent et d'or depuis la première moitié du dix neuvième siècle. Plus récemment, des traitements concernant les métaux que l'on appelle métaux du groupe platine (palladium, rhodium, ruthénium et platine) ont également été développés. Des couches minces inférieures à 1 µm sont utilisées pour donner une apparence de valeur à une large gamme d'articles à moindre coût. Il permet également d'obtenir une résistance à l'oxydation et à la corrosion. D'autres propriétés techniques spécifiques telles que la conductivité, la dureté et la résistance à l'usure ont amené leur utilisation massive dans les industries électrique et électronique.

2.5.7.1 Argent

[73, BSTSA,] L'argenture de coutellerie et de la vaisselle creuse est l'une des plus anciennes applications décoratives du dépôt électrolytique (voir le chapitre 1). Les dépôts d'argent brillant sont largement utilisés en joaillerie ainsi que pour les ornements, les trophées, les cadeaux, etc. Grâce à leur conductivité élevée et leurs propriétés mécaniques et chimiques, les couches d'argent sont utilisées sur de nombreux composants de dispositifs électriques et électroniques. L'utilisation de couches d'argent-palladium augmente également depuis peu en tant que substitut à l'or sur des connecteurs électriques.

La plus grande partie des électrolytes d'argent sont à base de cyanure d'argent et de potassium (dicyanoargentate de potassium). Les teneurs en argent de 30 à 65 g/l et en cyanure de potassium de 100 à 160 g/l et en carbonate de potassium (15 à 20 g/l) sont nécessaires pour obtenir de bonnes performances de dorure. Cependant, une concentration en carbonate de potassium supérieure à 200 g/l entraîné l'obligation du rejet des électrolytes.

Des tentatives destinées à remplacer le cyanure, par exemple par du thiosulfate et des agents complexants alternatifs, n'ont eu qu'un succès limité ; en effet, le bain était moins stable, plus coûteux, et les revêtements ont présenté des différences d'aspect.

Considérations environnementales
La récupération de l'argent est économique car le prix de ce dernier est élevé. Des résidus d'argent peuvent être récupérés dans l'eau de rinçage grâce à une électrolyse ou un échange d'ions. La récupération de l'argent des électrolytes usés peut être obtenue grâce à une précipitation avec la poudre de zinc.

Les réservoirs de revêtement métallique peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les vapeurs de cyanures.

Le cyanure peut être facilement oxydé grâce à un traitement des effluents classique dans les installations de traitement des eaux résiduaires.

2.5.7.2 Or

[73, BSTSA,] L'or, sous forme de métal très pur ou d'alliage, peut être déposé en utilisant des procédés de « revêtement au montage », de « revêtement au tonneau » ou de revêtement à « haut rendement ». On trouve l'or dans une large gamme d'industries telle que la fabrication de connecteurs, de cartes de circuit imprimé, de circuits intégrés, de semi-conducteurs, dans des éléments de salle de bains, les cadeaux, la vaisselle, les boutons, les montres, les stylos, la joaillerie et les montures de lunettes.

La majeure partie des solutions de dorure dans les installations de dorure à but commercial, que le dépôt réponde à des exigences décoratives ou fonctionnelles, sont basées sur des solutions légèrement acides de cyanure de potassium d'or comme l'eurocyanure de potassium, $KAu(CN)_2$. Ces solutions contiennent habituellement 2 à 6 g/l d'or, ainsi que des agents tampons destinés à maintenir le pH. Ces solutions contiennent souvent des métaux d'alliage comme le cobalt, le nickel, le fer ou l'indium. Ces derniers permettent de durcir le dépôt, d'en accroître la résistance à l'usure et la brillance. Il permet également de conférer des couleurs distinctives au dépôt.

Une solution d'amorce d'or est souvent utilisée pour déposer la couche initiale d'or et favoriser son adhérence. Les solutions d'amorce sont habituellement à base de cyanure de potassium d'or à 1 à 2 g/l mais peuvent également utiliser du cyanure de potassium d'or (III) ($KAu(CN)_4$) à un pH d'environ 1. Ces solutions sont souvent utilisées sur des matériaux de base sur lesquels le revêtement métallique se révèle difficile comme par exemple l'acier inoxydable.

Les solutions alcalines contenant du cyanure libre sont occasionnellement utilisées pour le revêtement métallique en joaillerie et pour l'électroformage.

Il existe des électrolytes d'or sans cyanure, à base d'un des complexes de sulfite d'or qui fonctionnent généralement dans des conditions légèrement alcalines, ces derniers contiennent habituellement de 8 à 15 g/l d'or ainsi que des systèmes d'azurant organique ou inorganique.

Considérations environnementales.
La récupération de pertes par entraînement et la récupération d'or grâce à des réactions électrochimiques sur des échangeurs d'ions depuis les eaux de rinçage est un procédé économiquement viable.

Les agents chélatants ne subissant pas de dégradation ont largement été substitués par des agents biodégradables.

Le traitement des effluents est identique aux autres flux de rinçage de dépôt électrolytique dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

Les émissions atmosphériques provenant d'opérations de dépôt de cyanure d'or de potassium peuvent engendrer des émissions de cyanure d'hydrogène. Les niveaux d'émission peuvent être significatifs, en fonction de la taille de l'opération, lorsqu'on les rapproche des limites d'émission indiquées par les normes TA Luft révisées concernant la réglementation des émissions atmosphériques (substances gazeuses inorganiques de Classe II) [125, Irlande, 2003]

2.5.7.3 Le palladium et ses alliages

Les couches d'alliage palladium-nickel (75 à 80 % Pd/25 à 20 % Ni) sont dures, extrêmement ductiles [73, BSTSA,], de couleur blanche et résistantes à la corrosion. Elles conviennent au revêtement des montures de lunettes et des accessoires pour l'écriture.

Les dépôts de palladium pur sont également utilisés et se substituent au nickel en tant que barrière de diffusion au-dessous d'un voile final d'or sur les montures de lunettes, en joaillerie et sur les boutons. Les couches intercalées de nickel, palladium ou d'alliage palladium/nickel et de voile d'or sont applicables sur des cartes de circuit imprimé et des connecteurs en tant que substituts des couches d'or dur.

La formulation la plus courante est basée sur le complexe tétraamine palladium (II) dichlorure (4 à 20 g Pd/l), [73, BSTSA,] contenant de l'ammoniac. Les métaux d'alliage sont le nickel, le cobalt, et l'argent.

Considérations environnementales

Outre la récupération des pertes par entraînement, la récupération électrolytique et par échange ionique du palladium peuvent convenir.

Les réservoirs destinés aux électrolytes contenant l'ammoniac peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer l'ammoniac s'échappant de l'électrolyte de dépôt.

Les effluents peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

2.5.7.4 Le rhodium

Les dépôts très minces de rhodium sur de l'argent sont de couleur blanche argentée et sont utilisés pour empêcher l'oxydation. Leur dureté et leurs propriétés de résistance à l'usure les rendent particulièrement appropriés aux applications techniques telles que la production de contacts à lame et de connecteurs de services intensifs. Le rhodium est également appliqué sur les réflecteurs destinés à l'équipement optique et aux applications aérospatiales.

Les électrolytes sont à base de sulfate de rhodium (III) ou de phosphate de rhodium (III), et d'une teneur en rhodium de 2,5 à 20 g/l en fonction de leur application à des fins décoratives (pour une épaisseur de couche de 0,05 à 0,5 µm) ou techniques (épaisseur de couches de 0,5 à >8 µm), solutions auxquelles sont ajoutés du sélénium et des sulfites pour empêcher une éventuelle fissuration.

Considérations environnementales
Outre la récupération des pertes par entraînement, la récupération électrolytique et par échange ionique du rhodium sont des pratiques courantes.

Les cuves destinés aux électrolytes contenant de l'acide sulfurique peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les vapeurs d'acide.

Les effluents peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

2.5.7.5 Le platine

Les couches minces de platine sont appliquées à des fins décoratives, sous forme de couches plus épaisses, sur des dispositifs électriques et sur des équipements destinés à l'industrie chimique. Les anodes de titane au platine non solubles et les paniers d'anode sont couramment utilisés pour le dépôt électrolytique.

Les électrolytes acides sont à base de complexes de chlorure, de sulfate, de nitrate et de nitrite de platine, les électrolytes alcalins sont à base de complexes de phosphate, d'ammoniac et d'hydroxyde de sodium, avec des teneurs en métal de 6 à 40 g/l.

Considerations environnementales
Outre la récupération des pertes par entraînement, la récupération électrolytique et par échange ionique du platine sont des pratiques normales.

Les effluents peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

2.5.8 Dépôt autocatalytique (revêtements catalytiques par réduction chimique)

Selon la norme BS EN ISO 4527 : 2003, [73, BSTSA,], ce procédé est également appelé dépôt sans courant, mais l'expression est à éviter, selon le document [101, CEN, 200]. La réaction fondamentale nécessite la présence d'un métal catalyseur – le métal déposé – qui permet le déroulement de la réaction. Le système présente divers avantages :

- à condition qu'il y ait à tout moment une agitation suffisante pour maintenir toutes les surfaces en contact avec une solution non appauvrie, le dépôt est uniforme sur la totalité de la surface même si la forme est extrêmement complexe ;
- les dépôts sont habituellement moins poreux que pour le même métal déposé par un procédé électrolytique ;
- le montage ou la fixation est fortement simplifié ;
- les matériaux non conducteurs (tels que les matières plastiques) peuvent être revêtus ;
- les dépôts présentent souvent des propriétés chimiques ou physiques spécifiques car le dépôt est un alliage du métal et d'un composé formé à partir de l'agent réducteur. Par exemple, pour l'hypophosphite [73, BSTSA,], le dépôt est un alliage du métal et du phosphure métallique, et pour des agents réducteurs de bore, du métal et du borure métallique.

Considérations environnementales générales :
Les revêtements autocatalytiques génèrent fréquemment plus de déchets que les autres techniques de dépôt, mais leur rendement peut varier de manière significative entre les installations [69, NCDPPEA, 2003].

Une amélioration du rendement de traitement et une réduction des déchets peut être obtenue par l'utilisation d'une électrodialyse pour éliminer de manière continue les sous-produits présents dans les solutions de dépôt en cours de fonctionnement [73, BSTSA,].

2.5.8.1 Nickelage autocatalytique sur métaux

Les électrolytes de nickelage autocatalytique sont à base de sulfate de nickel et de chlorure de nickel (nickel : 2 à 10 g/l). L'hypophosphite de sodium (10 à 50 g/l) est l'agent réducteur le plus fréquemment utilisé [73, BSTSA,]. Les solutions contiennent également des agents chélateurs (acide carboxylique organique : 10 à 50 g/l) et des tampons comme l'hydroxyde de sodium et le carbonate de sodium. Le cadmium peut être présent dans certaines formulations en tant qu'azurant, dans une quantité de 1 à 5 mg/l représentant approximativement 0,03 % du dépôt. [73, BSTSA,]. Le plomb peut être utilisé dans certaines formulations en tant qu'élément de substitution jusqu'à 3 mg/l. Des formulations actuelles sont disponibles et permettent d'éviter l'utilisation du cadmium et du plomb, dans la lignée des exigences de la directive sur les véhicules hors d'usage [99, CE, 2000].

Les couches d'alliage de nickel des dépôts autocatalytiques contiennent de 2 à 15 % de phosphore.
Leurs principales propriétés sont :

- l'épaisseur uniforme du dépôt quelles que soient la taille et la forme des articles à plaquer, à condition que la solution de revêtement métallique puisse circuler librement et être en contact avec toutes les surfaces des composants à traiter ;

- l'épaisseur de dépôt peut être contrôlée avec précision ;
- la dureté de la surface est aussi élevée que pour les finitions effectuées par dépôt électrolytique, s'échelonnant dans la gamme de 350 à 750 Knoop ;
- leur résistance élevée à l'usure et l'abrasion ;
- leur résistance inhérente élevée à la corrosion ;
- leur bonne adhérence sur le matériau de base ;
- des propriétés spécifiques telles que leur pouvoir lubrifiant naturel, des propriétés de soudage aisées, et des propriétés magnétiques.

Les applications comprennent (parmi bien d'autres) :

- des dispositifs de stockage de données comme des disques mémoire rigides ;
- des composants destinés aux industries chimique, pétrolière et du gaz ;
- des applications dans les secteurs automobiles, des machines outils et de l'électronique ;
- des outils de moulage des matières plastiques.

Considérations environnementales
Voir les Considérations environnementales générales de la section 2.5.8.

Un dispositif d'extraction des fumées peut être nécessaire au niveau des réservoirs de traitement, y compris un dispositif dévésiculeur destiné à éliminer les aérosols contenant du nickel.

La durée d'utilisation des solutions est courte (6 à 8 RDM, renouvellement des métaux) car la formation de sous-produits de réaction est rapide. Les performances de traitement se détériorent, nécessitant un rejet fréquent des solutions usées. Le bain de traitement doit ensuite d'être éliminé comme un déchet dangereux.

Il se peut que l'on doive procéder au prétraitement des effluents avant qu'ils ne soient évacués vers l'installation de traitement des eaux résiduaires. L'ammoniac est capable de complexer d'autres métaux et peut être oxydé. Les ions hypophosphite et les ions phosphite peuvent être oxydés en phosphates. L'ion phosphate peut être précipité par l'ajout d'ions calcium en cours de neutralisation. Les métaux peuvent être séparés des effluents par précipitation, échange ionique ou dépôt.

Les agents chélatants forts peuvent nécessiter un traitement séparé des eaux résiduaires.

On peut trouver des traces de cadmium et de plomb dans les effluents [124, Allemagne, 2003].

2.5.8.2 Nickelage autocatalytique pour les matières plastiques

De la même manière que pour le cuivrage autocatalytique, des solutions de nickelage éautocatalytique sont utilisées pour générer une première couche métallique conductrice sur des surfaces de matières plastiques avant le dépôt électrolytique de métaux (cuivre, nickel) [73, BSTSA,].

Les matières plastiques doivent d'être attaquées chimiquement (voir section 2.3.10.2) avant de subir un dépôt. Les solutions de traitement contiennent du sulfate de nickel ou du chlorure de nickel (nickel 2 à 5 g/l), des agents réducteurs, par exemple de l'hypophosphite de sodium (5 à 20 g/l), du diméthylaminoborane (>10 g/l) et éventuellement, des composés chélateurs tels que des acides organiques. On utilise des

solutions faiblement acides (acide sulfurique à un pH de 3 à 6) et des solutions alcalines (hydroxyde de sodium ou hydroxyde d'ammoniac à un pH de 8 à 10).

Un exemple de chaîne de traitement des dépôts sur des matières plastiques (cartes de circuits imprimés) utilisant le nickelage autocatalytique [73, BSTSA,] est représenté dans la figure 2.7.

Considérations environnementales
Voir les considérations environnementales générales.

Un dispositif d'extraction des fumées peut être utilisé pour des traitements alcalins ou à température élevée. Un traitement des effluents classique permettra d'éliminer les métaux sauf lorsque les effluents contiennent des agents chélateurs forts, qui peuvent nécessiter un traitement séparé.

2.5.8.3 Cuivrage autocatalytique sur les métaux et les matières plastiques

Le cuivrage autocatalytique est toujours un traitement clé [73, BSTSA,] dans la fabrication des cartes de circuit imprimé (voir section 2.11), ainsi que pour la métallisation des plastiques. Les propriétés principales des couches de cuivre sont qu'elles offrent une épaisseur uniforme et des couches cristallines minces ductiles avec une contrainte interne faible. Les couches de cuivre sont appliquées sur des petites pièces telles que les boutons, les bijoux fantaisie et également sur les boîtiers en matière plastique destinés aux protections électriques et aux cartes de circuit imprimé.

Les matières plastiques doivent subir une attaque chimique (en prétraitement, voir section 2.3) avant un dépôt. Le dépôt de cuivre commence sur des noyaux métalliques tels que le palladium et se poursuit de manière autocatalytique, on obtient ainsi une couche conductrice initiale. La vitesse de dépôt est de l'ordre de 5 à 8 µm/h. La solution a une teneur en cuivre de 2 à 5 g/l, avec de l'hydroxyde de sodium (15 à 20 g/l), des agents chélatants tels que de l'EDTA ou une substance identique (10 à 15 g/l) ou des tartrates (5 à 10 g/l) et des agents réducteurs, par exemple, de l'aldéhyde formique (de 3 à 5 g/l).

La durée de vie de la solution de traitement est limitée par la formation de produits de réaction.

Considérations environnementales
Voir les considérations environnementales générales.

Il peut être nécessaire d'équiper les cuves de traitement d'un dispositif d'extraction des fumées pour afin éliminer les gaz (aldéhyde formique et autres).

Les effluents contenant de l'acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA) nécessitent un traitement séparé car dans la mesure ou l'acide éthylène diamine tétraacétique empêche la précipitation des métaux dans le processus de traitement. L'industrie a eu tendance à remplacer l'acide éthylène diamine tétraacétique en tant qu'agent chélateur bien que des travaux répondant à des normes spécifiques puissent nécessiter son utilisation. On assiste donc aujourd'hui à l'inversion de cette tendance [22, Fraunhofer, 2002]. Certains segments du secteur indiquent cependant que la tendance se maintient [73, BSTSA,].

2.5.9 Revêtements par immersion ou déplacement – revêtement non catalytique par réduction chimique

Les revêtements non catalytiques par réduction chimique sont utilisés depuis de nombreuses années et sont souvent dénommés revêtements par immersion ou par déplacement. [38, Ullmann, 2002/2003]. Ils sont formés lorsque le métal à déposer est précipité par réduction soit (i) chimiquement à partir de la solution, soit (ii) le substrat métallique est plus actif que les ions dans la solution pour ce qui est des séries électrochimiques, par exemple :
$Cu^{2+} + Fe^{0} \rightarrow Cu^{0} + Fe^{2+}$

Bien que ces dépôts soient souvent non adhérents et d'une qualité physique médiocre, une attention particulière à la composition de la solution et aux conditions de fonctionnement peut produire des dépôts acceptables pour certaines utilisations. Les solutions de zincate et de stannate utilisées pour le dépôt d'aluminium sont des exemples de finition spéciale produisant des dépôts acceptables.

Cartes de circuit imprimé
Des dépôts de pureté élevée, habituellement uniquement en l'or, argent et étain, sont largement utilisés dans l'industrie des cartes de circuit imprimé. L'épaisseur des dépôts ne dépasse pas 0,1 à 0,2 µm. [121, France, 2003] (voir section 2.11.3.2).

Miroirs
Leur utilisation la plus connue est dans la production de surfaces miroir à partir de l'argent, bien que d'autres techniques puissent désormais être utilisées (comme le dépôt en phase vapeur). Leurs inconvénients principaux sont qu'ils produisent uniquement des revêtements relativement minces et que toutes les surfaces, y compris la cuve, reçoivent un revêtement. Bien que l'on utilise parfois ces solutions pour des traitements par immersion, elles sont aujourd'hui plus souvent appliquées en pulvérisant les solutions à partir d'un pistolet bifluide. [38, Ullmann, 2002/2003] [116, République tchèque, 2003]. La première étape de l'argenture des miroirs est l'activation de la surface de verre par du chlorure stanneux ($SnCl_2$). Cette étape est suivie de l'application d'une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) et d'un agent réducteur (habituellement du glucose) par pulvérisation. L'argent précipité (environ 12 à 17 µm d'épaisseur) est rincé à l'eau déminéralisée. Le revêtement d'argent est fixé par cémentation de cuivre avec du fer ou du zinc, formant ainsi une couche de plusieurs µm d'épaisseur : le cuivre est précipité de la solution au contact du dépôt d'argent, plus électrodépositif. Cette technique a été découverte en 1835 et reste la meilleure. Il y a quelques années, un brevet belge a été déposé au sujet d'une technique qui utilisait de l'étain pour la fixation d'une solution de revêtement d'Ag de Sn. Ce procédé est utilisé par les fabricants de miroirs les plus importants de la République tchèque. Une passivation utilisant des mercaptosilanes est également utilisée.

Les couches métalliques sont protégées par des vernis à base de solvant d'une épaisseur de 50 à 70 µm. Jusqu'à présent, le remplacement de ces derniers par des vernis à base aqueuse s'est révélé infructueux.

La figure 2.8 représente une installation de référence de traitement des miroirs.

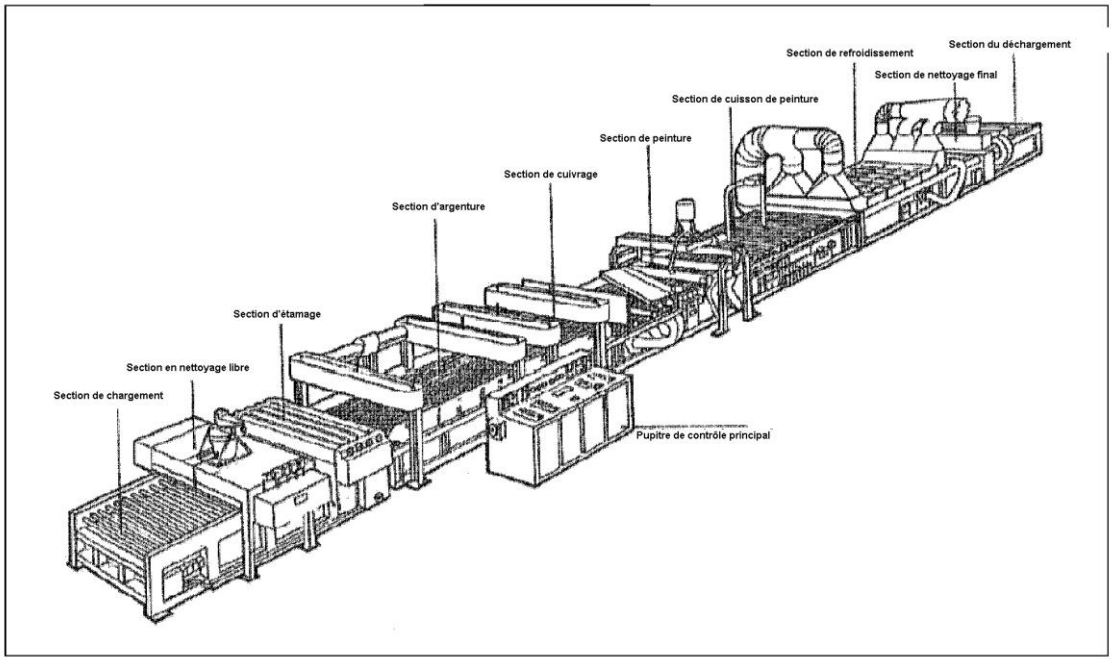


Figure 2.8 : Exemple de chaîne de traitement des miroirs
(SVUOM, République tchèque)

Considérations environnementales

Concernant les miroirs : le cuivre provenant du traitement de cémentation peut former un complexe dans les eaux résiduaires et il est difficile à précipiter dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques. [116, République tchèque, 2003]

En ce qui concerne les cartes de circuit imprimé : les préoccupations environnementales concernant l'or et l'argent sont les mêmes que pour l'étain [73, BSTSA,] (voir les sections 2.5.6 et 2.5.7). Les concentrations en étain sont faibles, et sont traitées dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

2.5.10 Peinture par électrophorèse ou par électrodéposition

Appelé également : peinture électrophorétique, E-coat, Elpo, électrodéposition.

Le procédé de peinture par électrophorèse est décrit en détail dans [90, EIPPCB,].

On retrouve cette activité de manière croissante à côté des activités de traitement de surface décrites dans ce document pour la peinture ultérieur et/ou conjointement avec les revêtements décrits ici. Le dépôt électrolytique est utilisé pour appliquer un revêtement protecteur au-dessus des finitions décoratives (par exemple, l'application d'une couche de vernis sur un dépôt de laiton) et en tant qu'alternative ou complément aux couches de prévention de la corrosion. Elle remplace par exemple les revêtements de conversion au chrome hexavalent seuls ou utilise en plus des systèmes de chrome trivalent, examinés dans les sections 2.5.17 et 4.9.10.2. Elle peut également réduire le frottement, et permettre la répartition uniforme sans endommagement des surfaces [124, Allemagne, 2003].

Les problèmes courants examinés dans ce document sont :

- les techniques de contrôle du rinçage et des pertes par entraînement (sections 2.4, 4.6 et 4.7) ;
- l'entretien des solutions (section 4.11) ;
- l'utilisation de l'eau (sections 2.12.2 et 4.4.5) ;
- l'alimentation électrique du traitement et des pièces de fabrication (sections 2.12.1.1 et 4.2.3)
- le traitement des eaux résiduaires (sections 2.13.1 et 4.16).

2.5.11 Vernissage

Les vernis sont appliqués pour protéger et améliorer la qualité des revêtements décoratifs (comme le cuivrage de la vaisselle creuse) ou pour compléter les systèmes de protection contre la corrosion tels que le chromage (voir section 2.5.17). Ils réduisent également les frottements, et permettre la répartition uniforme sans endommagement des surfaces [124, Allemagne, 2003]. Ils peuvent être appliqués par trempage dans une solution breveté à base d'eau ou par peinturepar électrophorèse (voir section 2.5.10) [76, BSTSA,].

Des couches de finition sont appliquées immédiatement après les revêtements de conversion au chromate ou au chrome trivalent, par trempage dans un milieu propriétaire approprié ou par peinturage par électrophorèse (peinturage électrophorétique) (voir section 2.5.10).

Considérations environnementales
Les effluents n'ont aucun impact sur les installations de traitement des eaux résiduaires classiques. Les eaux de rinçage peuvent nécessiter un traitement séparé pour réduire les niveaux de demande biochimique en oxygène (BOD) ou de carbone organique total (TOC) dans l'effluent d'évacuation

2.5.12 Huilage

Voir le revêtement en continu, section 2.9.5, au sujet de l'huilage électrostatique.

2.5.13 Anodisation

L'anodisation des métaux est un traitement électrolytique d'oxydation de la surface qui améliore la capacité naturelle des métaux à l'oxydation ; les revêtements peuvent être 1 000 fois plus épais que la couche naturelle. L'aluminium est le matériau le plus anodisé, avec formation d'alumine (Al_2O_3) sur sa surface ; le magnésium, le titane, le tantale et le niobium sont également anodisés dans des quantités moindres [3, CETS, 2002, 45, France, 2003] [118, ESTAL, 2003].

L'aluminium est normalement (dans 90 % des cas) anodisé dans un électrolyte d'acide sulfurique. Pour des applications spéciales, l'aluminium peut être anodisé dans de nombreux types différents de solutions de traitement : des électrolytes d'acide phosphorique, d'acide sulfurique/oxalique, d'acide sulfurique/salicylique et d'acides chromique [73, BSTSA,].

Une grande variété de formes de courant et de formes d'onde peut être utilisée pour le traitement, en fonction de la solution choisie et de l'objectif du film anodique. Le courant continu (CC), le courant alternatif (CA), et le courant continu superposé au courant alternatif sont tous utilisés dans divers traitements.

La pièce de fabrication ou le substrat à traiter est rendue anodique. Au cours du traitement d'anodisation, les anions chargés négativement migrent vers l'anode, où ils sont déchargés et perdent un ou plusieurs électrons. Le métal réagit à l'oxygène des anions et une couche d'oxyde se forme à la surface.

La figure 2.9 représente des exemples d'options d'anodisation décoratives et la figure 2.10 représente un plan de configuration de chaîne d'anodisation classique.

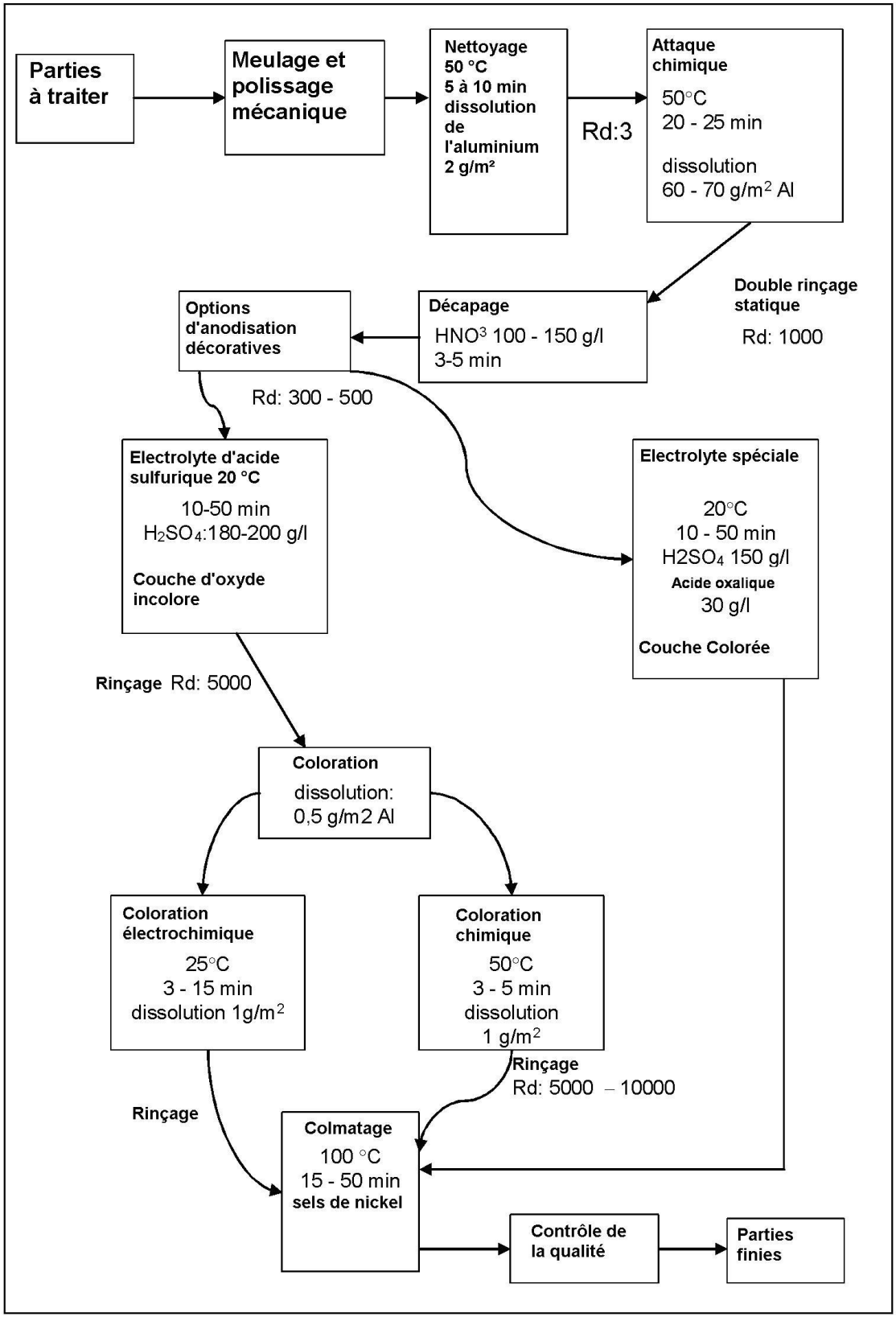


Figure 2.9 : Exemples d'options de traitement d'anodisation décoratives
[45, France, 2003] Remarque : Rd signifie rapport de rinçage

Un revêtement d'alumine est appliqué pour améliorer la résistance à la corrosion et pour retenir n'importe quelle coloration de surface (voir section 2.5.14). L,,application est décrite dans la section 2.5.15.

Considérations environnementales d'ensemble pour tous les traitements d'anodisation
L'aluminium anodisé (coloré ou non) est très facilement recyclable pour la récupération des métaux, c'est-à-dire que les traitements d'anodisation n'a pas d'effet pour la récupération de l'aluminium, et qu'il n'y a pas d'ajout d' autre métal.

Des niveaux d'émission habituels après un traitement classique des eaux résiduaires sont présentés dans la section 3.3.1.

2.5.13.1 Anodisation de l'aluminium à l'acide sulfurique

Sur la plupart des alliages d'aluminium, un oxyde d'aluminium transparent incolore est formé, mais des alliages contenant des quantités élevées d'éléments tels que du fer, du manganèse, du silicium et autres [118, ESTAL, 2003], tendent à engendrer des couches de couleur grise ou brune. La tension d'anodisation s'échelonne de 17 à 22 V et la température de l'électrolyte est généralement de 20 °C ± 5 °C et la concentration d'électrolyte est généralement de 190 g/l ± 40 g/l de H_2SO_4. Lors de l'anodisation à l'acide sulfurique à but décoratif et protecteur, une pellicule d'en épaisseur de 5 à 30 µm est créée. Les paramètres d'exploitation peuvent varier selon l'application, particulièrement pour l'anodisation architecturale. Les revêtements anodisés à l'acide sulfurique sont souvent colorés à l'aide de traitements de coloration spéciaux (voir la figure 2.10). Le revêtement d'oxyde est colmaté pour obtenir une résistance à la corrosion améliorée (voir section 2.5.15).

Pour l'anodisation dure, une épaisseur de film de 25 à 250 µm est obtenue. L'électrolyte est exploité à une température inférieure à 5 °C [73, BSTSA,]. Des traitements à l'acide oxalique et à l'acide sulfurique avec ajout d'éléments organiques peuvent également être utilisés pour l'anodisation dure. Normalement, la couche d'anodisation dure n'est pas colmatée. Dans cet état, on peut l'imprégner de lubrifiant.

Considérations environnementales
Les concentrations en acide et les températures de fonctionnement sont peu élevées. Si nécessaire, on peut procéder à la minimisation du dégagement d'aérosol par une couche de mousse [118, ESTAL, 2003]. Cependant, les agents anti-mousse peuvent être à base de sulfonâtes de perflurooctane (PFOS), qui est sont des substances toxiques et persistantes, voir l'annexe 8.2, [109 DEFRA, 2004], néanmoins, il existe des alternatives aux sulfonâtes de perflurooctane (PFOS) qui sont utilisées de manière satisfaisante [159, TWG, 2004].

L'effluent peut être traité dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

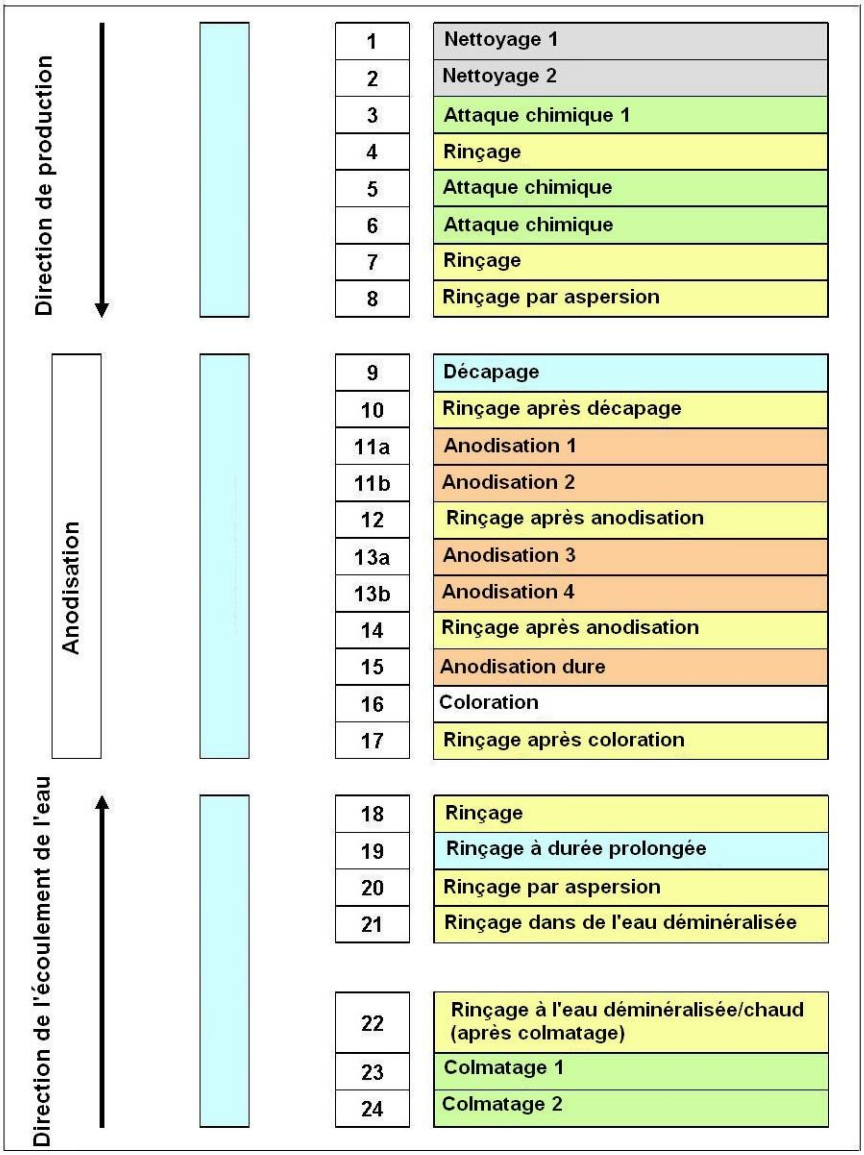


Figure 2.10 : Plan de configuration d'une installation d'anodisation classique

2.5.13.2 Anodisation à l'acide chromique de l'aluminium

Ce traitement forme une pellicule d'oxyde d'aluminium sur la plupart des alliages d'aluminium dans une couleur qui varie du gris clair au gris foncé. Le traitement est principalement utilisé pour les applications aérospatiales et militaires. Les parties à traiter peuvent l'être après assemblage car l'acide chromique résiduel sur les jointures ne provoque pas de corrosion et le traitement ne dégrade que de manière très limitée les propriétés de résistance à la fatigue des matériaux [73, BSTSA,].

L'électrolyte contient de 30 à 100 g d'acide chromique par litre. La température est maintenue dans la gamme s'échelonnant de 38 à 42 °C pour la plupart des alliages d'aluminium. Le cycle de tension utilisé dépend de l'alliage traité et doit être suivi à la lettre pour éviter une attaque chimique. Le revêtement est mince, d'une épaisseur moyenne de 2 à 5 µm, et relativement doux. Sa résistance à la corrosion est bonne et le revêtement n'est généralement pas colmaté.

La régénération des bains d'anodisation par l'utilisation d'un traitement de retardement prolonge la durée de vie de l'électrolyte en réduisant sa teneur en aluminium.

Préoccupations environnementales
Les effluents peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

Les réservoirs de traitement peuvent être équipés d'un système d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols acides et les gaz émis. La section 1.4.4.1 examine les effets sur la santé du chrome et la section 2.5.3, les préoccupations environnementales concernant les solutions au chrome hexavalent. [118, ESTAL, 2003], [116, République tchèque, 2003].

2.5.13.3 Anodisation du magnésium, du titane, du tantale et du niobium

[73, BSTSA,] L'anodisation du magnésium offre la meilleure protection en ce qui concerne l'usure abrasive. Les revêtements sont relativement poreux et contiennent des phases cristallines comme le $Mg(OH)_2$ et le MgO. La couche d'oxyde peut être de 25 µm ou plus.

L'anodisation du métal de type DOW-17 produit une couleur gris ou vert foncé et offre une très bonne adhérence. Le courant alternatif est ici préférable. Le revêtement a une apparence attrayante et est bien adapté au revêtement par une peinture transparente, par exemple. La couche d'oxyde est soluble dans l'électrolyte acide, ce qui signifie que la vitesse de dépôt diminue jusqu'à ce qu'un état stable soit atteint. Un rinçage complet est nécessaire et si les parties ne doivent pas être peintes, un colmatage dans 50 g/l de $Na_2Si_4O_9$ à 93 à 100 °C pendant 15 minutes peut être réalisé.

L'anodisation du métal de type HAE offre l'oxyde le plus dur et est adaptée à la protection contre l'abrasion. Cette anodisation apporte une très bonne adhérence et contribue à une bonne protection contre la corrosion. La couleur du revêtement s'étend du brun clair au brun foncé, en fonction de l'alliage et de l'épaisseur. Les meilleures propriétés sont obtenues par l'utilisation d'un courant alternatif. Le trempage dans une solution de $Na_2Cr_2O_7/NH_4HF_2$ à 20 à 30 °C pendant 40 à 60 secondes peut colmater le revêtement.

Préoccupations environnementales
La température élevée et l'électrolyte toxique et agressif (pour le DOW-17) nécessitent une ventilation appropriée.

2.5.13.4 Anodisation à l'acide phosphorique

L'utilisation de l'anodisation phosphorique augmente en tant que traitement de préparation pour des applications ultérieures de revêtements organiques ou déposés. L'anodisation à l'acide phosphorique produit un acide poreux sur une couche relativement mince qui est utilisé pour des applications de liaison, de peinture, de revêtement métallique et d'impression. [132, Sheasby et Pinner, 2002].

Ce traitement a été développé à l'origine par l'industrie aérospatiale et est actuellement utilisé principalement en tant que prétraitement destiné à préparer les structures d'aluminium à liaison adhésive dans l'industrie aérospatiale, pour le peinturage de l'aluminium dans les applications architecturales et pour le secteur de l'impression.

L'anodisation à l'acide phosphorique produit une couche d'oxyde poreuse résistante à l'hydratation et augmente la résistance à la rupture. Les revêtements anodiques générés par l'anodisation à l'acide phosphorique ont une porosité élevée en comparaison des produits traités différemment.

2.5.14 Anodisation colorée sur l'aluminium
[118, ESTAL, 2003]

L'aluminium peut être coloré avec différentes couleurs et teintes au moment de l'anodisation à l'acide sulfurique ou après, et l'on appelle ce traitement « anodisation colorée ». Les procédés de coloration sont généralement identifiés par les expressions « teinte par immersion », « teinte électrolytique » ou « anodisation colorée en deux phases », « anodisation auto colorée » ou « anodisation colorée intégrale » [118, ESTAL, 2003]. On dénombre quatre procédés de traitement [3, CETS, 2002, 45, France, 2003].

2.5.14.1 Coloration par immersion

Il s'agit du procédé de coloration le plus largement utilisé, offrant une large gamme de teintes et une bonne résistance à la lumière. Les pièces de fabrication ou le substrat en aluminium anodisé sont immergées dans une solution de teinture organique ou inorganique à base d'eau avant d'être colmatées. Les pores de la couche d'oxyde adsorbent la teinture et on effectue ensuite un colmatage pour garantir la durabilité du produit. Pour la coloration de l'oxyde, l'épaisseur dépend du type de produit et de la couleur souhaitée. Pour obtenir une bonne protection à la corrosion et une bonne résistance aux intempéries, une couche d'au moins 15 µm au minimum est nécessaire. [118, ESTAL, 2003, Sheasby, 2002 # 132].

Préoccupations environnementales
Certaines teintes organiques peuvent connecter un traitement des eaux résiduaires supplémentaire.

2.5.14.2 Coloration électrolytique

L'aluminium anodisé est placé dans une solution acide contenant des sels métalliques et à laquelle on applique un courant alternatif (CA). Ce traitement permet le dépôt d'un oxyde de l'autre métal qui pénètre jusqu'à une profondeur de 1 à 5 µm dans les pores de l'aluminium, la couche d'oxyde résiduelle restant au-dessus. La pellicule présente une couleur caractéristique des sels métalliques utilisés. Le sel métallique le plus couramment utilisé en Europe est l'étain. Pour des applications spéciales, du nickel, du cobalt et du cuivre peuvent être utilisés. Le sulfate d'étain permet d'obtenir des teintes allant du bronze clair au noir en fonction de la durée de traitement, s'échelonnant de 0,5 à 15 minutes. Ce traitement est principalement utilisé pour les panneaux architecturaux. Les colorations électrolytiques et par immersion peuvent être combinées pour former de nouvelles teintes. [73, BSTSA,] [118, ESTAL, 2003]

Préoccupations environnementales
Les autres métaux utilisés peuvent nécessiter un traitement dans des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être évacués.

2.5.14.3 Coloration d'interférence

La coloration d'interférence est une technique spéciale basée sur le principe de la coloration électrolytique. L'apparence est produite par des effets d'interférence entre deux couches de diffusion de la lumière : la couche métallique déposée électrochimiquement au fond des pores et l'interface oxyde d'aluminium/aluminium au-dessus.

2.5.14.4 Coloration intégrale

Avec la coloration intégrale, la couche d'oxyde d'aluminium est elle-même colorée au cours du traitement d'anodisation. La coloration se produit soit par anodisation dans une solution d'acides organiques spéciaux soit par anodisation normale dans de l'acide sulfurique d'alliages d'aluminium spéciaux avec des substances qui ne sont pas oxydées telles que l'Al-Si ou Al-Fe-Mn. La couleur de la couche d'oxyde s'étend du bronze clair, au noir en passant par le bronze foncé, en fonction de l'épaisseur de la couche. Cette technique a été quasiment totalement remplacée par la coloration électrolytique [73, BSTSA,].

2.5.15 Colmatage à la suite d'une anodisation

L'anodisation à l'acide sulfurique est généralement suivie d'un traitement de colmatage. Le colmatage améliore la résistance à l'oxydation et à la corrosion des couches d'oxyde. Elle empêche également le lessivage des teintes organiques et améliore la résistance à la lumière. Le colmatage peut être effectué dans des traitements chauds ou froids (en ce qui concerne les applications architecturales voir la référence [138, QUALANOD, 1999, ESTAL, 2003 # 118]).

2.5.15.1 Colmatage à chaud

Avec le colmatage à chaud, les pores de la couche d'oxyde sont fermés par hydratation de l'oxyde d'aluminium, qui se transforme en boehmite : les pores sont fermés par l'accroissement du volume de la structure de boehmite. Le traitement de colmatage est effectué par trempage des parties anodisées dans de l'eau déminéralisée chaude ou bouillante (au minimum à 95-96 °C) pendant trois minutes par µm d'épaisseur. Le colmatage à la vapeur permet d'obtenir le même effet. [118, ESTAL, 2003, CETS, 2003 # 115]

2.5.15.2 Colmatage à froid

Des procédés de colmatage à des températures inférieures ont été développés. Des traitements de colmatage dénommés traitements à température moyenne sont également disponibles et sont effectués à une température d'environ 60 °C. Ces derniers ne sont pas basés sur la conversion hydrothermique de l'oxyde d'aluminium pour la fermeture des pores, mais l'utilisation de sels de nickel, tels que le fluorure ou le silicate. Par le passé, sur le marché européen, des doutes ont été émis quant aux propriétés à long terme, comme par exemple la résistance à la lumière et à la corrosion, d'un tel traitement. Cependant, il est aujourd'hui admis que de tels traitements se révèlent efficaces pour une utilisation extérieure (voir Qualanod [138, QUALANOD, 1999, ESTAL, 2003 # 118]).

On exploite également ces traitements à une température de 25 à 35 °C. Les traitements à froid présentent les avantages d'une consommation en énergie réduite et d'une durée de traitement plus courte [73, BSTSA,].

Préoccupations environnementales
Le colmatage à chaud peut également nécessiter un système de ventilation et être très gourmand en énergie. Cependant, ce phénomène est réduit par la couverture des réservoirs ou une isolation appropriée de ces derniers [159, TWG, 2004]. Le colmatage à froid réduit la consommation d'énergie [73, BSTSA,].

2.5.16 Revêtements de conversion de couches par phosphatation

[38, Ullmann, 2002/2003, 71, BSTSA,] Les revêtements au phosphate sont les revêtements de conversion les plus fréquemment utilisés et probablement le traitement de surface le plus largement utilisé. Ils sont utilisés pour traiter l'acier, l'aluminium et le zinc pour :

- le formage à froid : cette technique implique des contraintes de surface élevées et la phosphatation est utilisée dans tous les types d'opération de formage à froid, c'est-à-dire, les opérations de tréfilage, d'étirage de tube, ou de profilé ; l'emboutissage profond ; la frappe à froid, le filage à froid, le forgeage à froid. Ces applications sont décrites dans le document de référence [86, EIPPCB,] ;
- le revêtement en bande : une bande d'acier à revêtement électrolytique au zinc est phosphaté sur la chaîne de traitement pour améliorer son aptitude au formage dans les opérations d'étirage ultérieures, comme pour le formage de boîtes d'acier, ainsi que pour améliorer la résistance à la corrosion et son aptitude à recevoir de la peinture dans les opérations ultérieures, voir les sections 2.9.6 et 2.9.8.9. La galvanisation à chaud de bande d'acier est examinée dans [86, EIPPCB,] ;
- la protection contre la rouille : les revêtements au phosphate de manganèse et au zinc lourd retiennent une pellicule d'huile protectrice et offrent une prévention élevée de la corrosion, appliqués à la production, par exemple, d'écrous, de vis, de boulons et de tubes ;
- lubrification des surfaces d'appui : le phosphate de manganèse améliore la rétention des lubrifiants et réduit les périodes de rodage. On l'utilise sur les pignons, les arbres à came, les pistons, les engrenages, et les soupapes. ;
- base de peinture : la phosphatation augmente le degré d'adhérence et la protection de la corrosion des peintures, voir [90, EIPPCB,] ;
- l'isolation : les couches de phosphate peuvent être utilisées pour enduire les feuilles d'acier au silicium formant les noyaux des moteurs électriques, des générateurs ou des transformateurs. Un revêtement au phosphate de 1 à 6 µm d'épaisseur est une couche isolante suffisante pour empêcher les courants de Foucault.

Une large variété de traitements de phosphatation sont disponibles, mais les plus importants sont la phosphatation alcaline (fer) et au zinc. Le poids de surface des couches est de 0,05 à 5 g/m^2.

Procédés d'application
Les solutions de phosphatation sont généralement appliquées par pulvérisation ou par immersion en fonction du nombre, de la taille et de la forme des parties à traiter. Le type d'application peut amener des différences de composition et de morphologie des revêtements au phosphate. Les bobines sont également enduites grâce au traitement sur rouleau à séchage sur place dans lequel une solution de phosphatation est appliquée sur la bande et sèche sans rinçage pour former le revêtement de phosphate, voir section 2.9.6.

La phosphatation nécessite un dégraissage et un décapage des pièces de fabrication ou des substrats, voir section 2.3. [116, République tchèque, 2003] L'activation avant la phosphatation peut être réalisée à l'eau chaude ou par dispersion spéciale de titane propriétaire ou de phosphate de manganèse pour induire la formation d'un revêtement de phosphate à grain fin au cours de l'étape ultérieure. Un rinçage final peut être réalisé à l'eau déminéralisée ou grâce à des produits chimiques de passivation à base de composés tels que le Cr(VI) et le Cr(III). Le rinçage à l'eau est nécessaire entre les phases de traitement, tel qu'indiqué dans la section 2.4.

Préoccupations environnementales globales concernant tous les traitements de phosphatation
Les effluents peuvent nécessiter un contrôle du pH et peuvent [124, Allemagne, 2003] contenir du nickel, du manganèse, ainsi que du zinc (selon la composition de la solution), que l'on peut traiter dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques. Les anions que l'on peut considérer comme dangereux sont le nitrite et le fluorure, qui peuvent nécessiter un traitement supplémentaire.

Les boues formées dans les solutions de traitement nécessitent une élimination en tant que déchets faisant partie de l'entretien de la solution.

Les dangers concernant la santé et l'environnement ont incité au développement :

- de traitements sans nitrite à l'hydroxylamine, à la nitroguanidine ou au peroxyde d'hydrogène servant d'accélérateurs ;
- de traitements sans nickel ;
- d'après-rinçages sans chrome à base d'organotitane, de zirconium inorganique, ou de composés polymériques ;
- de chaînes de phosphatation sans effluents utilisant l'ultra filtration comme technique de nettoyage, l'accélération au peroxyde d'hydrogène dans la phosphatation, et la précipitation plus l'échange ionique pour les après-rinçages sans chrome, sans compromettre les caractéristiques des parties peintes ultérieurement.

2.5.16.1 Phosphatation alcaline

Cette technique est principalement utilisée lorsque la protection contre la corrosion ne doit pas répondre à des exigences rigoureuses. Pour les substrats d'acier, les solutions (pH 4 à 6) sont composées de phosphates alcalins acides, d'acide phosphorique libre, et de faibles quantités d'additifs ; d'agents oxydants (par exemple, des chlorates, chromates, ou nitrites), de phosphates condensés (par exemple, pyrophosphate ou tripolyphosphate), et d'activateurs spéciaux (par exemple, des fluorures ou des molybdates). La première réaction est la réaction de décapage, qui produit des ions Fe^{2+} provenant du substrat (acier). Ces ions réagissent avec les ions phosphate provenant de la solution pour former du phosphate de fer modérément soluble qui précipite et adhère fortement à la surface métallique. Les traitements de phosphatation au fer peuvent ne pas nécessiter d'accélération. Le poids du revêtement varie avec la composition du bain. Les revêtements formés sur des surfaces ferreuses contiennent des oxydes de fer et des phosphates. Les solutions de phosphatation au fer contiennent généralement des agents de surface de nettoyage et les surfaces huileuses peuvent ainsi être traitées au cours d'une étape unique (dénommée « nettoyeur-enducteur »).

Sur les surfaces de zinc, les couches de phosphate de zinc sont formées par une séquence de réactions analogue. L'aluminium est habituellement traité grâce à des solutions contenant du fluorure ; des revêtements complexes, minces, sont formés et contiennent de l'aluminium, du phosphate et du fluorure. La concentration des bains est ajustée à 2 à 15 g/l. Le traitement peut s'effectuer par pulvérisation, immersion, ou trempe. La température du bain est généralement de 40 à 70 °C, mais peut être abaissée entre 25 et 35 °C pour des compositions de bain spéciales. Les durées de traitement s'échelonnent de 5 à 10 secondes (pulvérisation du matériau en bande) jusqu'à 1 à 3 minutes (pulvérisation ou trempe de parties individuelles). La phosphatation au fer comprend à la fois les procédés de revêtement minces (0,2 à 0,4 g/m^2) et les procédés de revêtement épais (0,6 à 1,0 g/m^2). La couleur des couches est le bleu-vert, mais peut être du rouge iridescent. Les surfaces sont plus mates et grises avec l'augmentation du poids de revêtement.

2.5.16.2 Phosphatation au zinc

La phosphatation au zinc est avant tout utilisée pour le traitement de surface de l'acier et du zinc (ou les revêtements de zinc sur l'acier) ainsi que sur des matériaux composites obtenus à partir de ces métaux et de l'aluminium. L'application peut s'effectuer par pulvérisation ou immersion. Les constituants principaux sont le zinc, les ions phosphates, et un agent oxydant, souvent du nitrite de sodium. La valeur du pH se situe entre 2 et 3,5. Les concentrations varient considérablement. Des additifs tels que le nitrate, le fluorure, le fluosilicate, les ions nickel, ou les ions manganèse sont fréquemment utilisés.

Ce qui suit est un exemple de traitement approprié à la phosphatation de feuilles d'acier constituant un prétraitement antérieur au peinturage :

Zn^{2+} 1,2 g/l, Ni^{2+} 1,0 g/l, $H_3PO_4+H_2PO_4^-$ 15 g/l et NO_2^- 0,1 g/l

Grâce à l'hydroxyde de sodium, on obtient un pH de 3,2. Le traitement est habituellement effectué à une température allant jusqu'à 95 °C. Pour les applications de formage à froid, des concentrations totales peuvent être jusqu'à 10 fois supérieures.

Généralement, la réaction de phosphatation peut être décomposée en cinq étapes :

Une réaction de décapage
Une partie de la surface métallique est dissoute par l'acide :

$Fe+2H^+ \rightarrow Fe^{2+}+H_2$ pour Fe *ou* $Zn+2H^+ \rightarrow Zn^{2+}+H_2$ pour Zn

La phosphatation de l'aluminium nécessite que des ions fluorure attaquent les oxydes de surface qui se dissolvent lentement uniquement dans l'acide phosphorique ou l'acide nitrique :

$AlOOH+3HF \rightarrow Al^{3+}+3F^-+2H_2O$; $Al+^{3H+} \rightarrow 3/2H_2$

Accélération
La réaction de décapage est accélérée par des agents oxydants appelés accélérateurs, qui empêchent également le dégagement de quantités excessives d'hydrogène moléculaire, minimisant ainsi la fragilisation par l'hydrogène : [159, TWG, 2004]
$H_2+2O_x \rightarrow 2HO_x$; $Fe^2+H^++O_x \rightarrow Fe^{3+}+HO_x$ pour Fe

Complexation
Pour revêtement de l'aluminium, des ions fluorure en quantité suffisante doivent être disponibles pour la complexation des ions Al^{3+} en excès car, à des niveaux de concentration aussi bas que 3 mg/l, ceux-ci empêchent la formation des revêtements de phosphate de zinc. Si différents métaux contenant de l'aluminium doivent être traités, l'utilisation de solutions de phosphatation sans fluorure peut permettre la phosphatation de l'acier ou du zinc sans revêtement de l'aluminium :

$Al^{3}+6F^{-}\rightarrow AlF_6^{3-}$ pour Al

Formation d'un revêtement
La dissolution du métal dans la réaction de décapage entraîne un accroissement significatif de la valeur du pH proche de la surface métallique. Par conséquent, la constante d'équilibre pour la réaction de précipitation est dépassée et le phosphate de zinc est précipité car la surface métallique offre des parties propices à la nucléation. Une fois la surface métallique entièrement couverte, la réaction cesse :

$3Zn^{2+}+2H_2PO_4^{-}+4H_2O\rightarrow Zn_3(PO_4)_2\ 4H_2O+4H^{+}$

$2Zn^{2+}Fe^{2+}+2H_2PO_4^{-}+4H_2O\rightarrow Zn_2Fe(PO_4)_2 4H_2O+4H^{+}$

Formation de boues
Le fer dissous et les ions AlF_6^{3-} provenant de la réaction de décapage ne s'accumulent pas dans la solution de phosphatation mais sont précipités en tant que phosphate de fer (III) ou hexafluoroaluminate de trisodium, respectivement. Lors du traitement des surfaces galvanisées et au cours des traitements de pulvérisation, des quantités relativement faibles de boues de phosphate tertiaires de zinc sont également formées. Souvent, les traitements accélérés au nitrate n'impliquent pas la formation de boue. Le nitrate de fer (II) s'accumule jusqu'à atteindre un équilibre entre la dissolution du fer et les pertes par entraînement.

$Fe^{3+}+H_2PO^{-}_4\rightarrow FePO_4+2H^{+}$ pour Fe ou $AlF_6^{3-}+3Na^{+}\rightarrow Na_3AlF_6$ pour Al

Les boues formées doivent être éliminées de manière périodique ou continue.

Traitements de prépeinture
Les traitements de phosphatation au zinc effectués avant le peinturage peuvent être classés sous les dénominations de traitements au zinc élevé et traitements au zinc faible. Les traitements au zinc élevé fonctionnent avec 3 à 4 g/l de Zn^{2+} et les traitements au zinc faible avec 0,7 à 1,5 g/l de Zn^{2+}, la limite supérieure des applications de trempage. Une concentration en zinc basse, c'est-à-dire un rapport de phosphate sur zinc élevé, améliore la protection contre la corrosion. Les revêtements sur de l'acier produits grâce à des traitements au zinc faible sont composés principalement de phosphophyllite et présentent des caractéristiques en tant que base de peinture supérieures à celles des traitements au zinc élevé avec leurs revêtements d'hopéite, telles qu'une résistance aux éclats de pierres et une adhérence humide sur des substrats galvanisés. Les performances sont en outre accrues par l'introduction de traitements au trication, qui contient du zinc, du nickel et du manganèse à la fois en solution et dans le revêtement. Ces traitements sont devenus les traitements ordinaires dans, par exemple, les industries automobiles [38, Ullmann, 2002/2003]

Pour les revêtements par pulvérisation, le phosphate de fer donne souvent les meilleures résultats [90, EIPPCB,].

Traitements à basse température pour le formage à froid
Ces derniers traitements sont accélérés par le nitrate. La concentration en fer (III) dans le bain est limitée à 5 à 8 g/l à cause de l'oxydation de l'air. Ces traitements sont réalisés de préférence en continu dans un réservoir de réaction séparé. La température de fonctionnement a donc été abaissée d'environ 30 °C à un niveau de 50 à 60 °C, et le réservoir de phosphatation reste quasiment exempt de boue.

2.5.16.3 Phosphatation au manganèse

Ce traitement est réalisé uniquement par trempage et du nitrate de fer (II) est souvent utilisé pour accélérer le processus.

2.5.17 Revêtements de conversion au chrome

[3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003]
Les revêtements de conversion au chrome sont utilisés pour améliorer la protection contre la corrosion sur diverses surfaces métalliques, y compris le zinc et le cadmium électrodéposé, les pièces de zinc injectées, l'étain, l'aluminium, le magnésium et les alliages de magnésium, le cuivre, le laiton et le bronze, le nickel, l'argent et l'acier inoxydable. Sans cette protection, les surfaces d'acier traitées par dépôt électrolytique au zinc sont fortement soumises à la rouille blanche (oxyde de zinc). Souvent dénommé « chromage » car le processus utilisait à l'origine uniquement du chrome hexavalent pour l'ion chromate ($Cr_2O_4^{2-}$), ce traitement est utilisé dans tous les domaines de l'industrie de traitement de l'acier et est une étape essentielle de post-traitement dans le zingage. L'utilisation très répandue du chrome jaune d'origine a augmenté par le développement de systèmes de couches supplémentaires à chromage bleu et chromage noir, qui, en plus d'offrir une protection contre la corrosion, ont un effet décoratif.

Le phosphochromage est réalisé à la fois avec du chromage hexavalent (Cr(VI)) et avec du chrome trivalent (Cr(III)) et est utilisé dans le traitement de l'aluminium avant le peinturage [118, ESTAL, 2003].

Les épaisseurs de couche des revêtements de chromage s'échelonnent entre 0,1 et 2 µm. Ils sont bien adaptés au rôle de médiateur d'adhésion pour un traitement ultérieur avec des couches de peinture ou des revêtements de matériau synthétique. On peut y ajouter des lubrifiants afin de diminuer les valeurs de frottement des tests traités.

La protection contre la corrosion des revêtements au chrome peut être accrue grâce à des couches de colmatage supplémentaires, décrites dans la section sur les couches de finition 2.5.17.7.

Les solutions sont habituellement composées d'acide chromique, de bichromate, de chlorure, de fluorures, de sulfates, de borates, de nitrates et d'acétates, utilisés dans des combinaisons et des concentrations différentes pour produire des couleurs et des caractéristiques de couche différentes.

Préoccupations globales concernant l'environnement et la santé
Au sujet des problèmes de santé concernant le Cr(VI), voir section 1.4.4.1.

Concernant les aérosols et les effluents de Cr(VI), voir section 2.5.3.

2.5.17.1 Revêtements de conversion au chrome (VI)

Les traitements classiques utilisent tous des solutions de base acides oxydantes, l'oxydant étant le chrome hexavalent (Cr(VI)). Le mécanisme de protection est basé sur la dissolution du Cr(VI), présent à la surface de la pellicule. La présence du chromate fonctionne localement pour empêcher toute action corrosive sur la surface métallique exposée.

2.5.17.2 Revêtements de conversion au chrome (VI) sur des couches de zinc électrodéposées

Les revêtements sont appliqués par réaction chimique dans des solutions aqueuses. De nombreux traitements de revêtement de conversion propriétaires sont disponibles, et produisent des pellicules décoratives et protectrices dans des couleurs allant du jaune clair au laiton en passant par le jaune iridescent, le brun, le kaki et le noir. En gros, plus la couleur est foncée, meilleure est la résistance à la corrosion.

2.5.17.3 Revêtement de conversion au chrome (VI) sur du cuivre, du laiton et du bronze

Les solutions de chromate destinées à traiter le cuivre et les alliages de cuivre sont préparées à l'aide de matériaux propriétaires. Le traitement permet non seulement de passiver la surface, mais également d'offrir un polissage de surface chimique efficace. Par conséquent, les traitements de chromatation sur le cuivre et les alliages de cuivre sont utilisés pour la finition finale et en tant que substitut entier ou partiel du ponçage mécanique précédent le chromage ou le nickelage. La passivité obtenue permet une réduction efficace de la corrosion et du ternissement causé par les sulfures.

Préoccupations environnementales
Les solutions de décapage brillant au chromate sont préférées car elles n'engendrent, par nature, pas d'émanations.

Un traitement plus important des effluents peut être nécessaire car le cuivre se dissout en quantité dans le bain de traitement.

2.5.17.4 Revêtements de conversion au chrome (VI) sur l'aluminium

Les pellicules de conversion au chromate ou phosphochromate, de couleurs allant du jaune clair pour le chromate au vert pour le phosphochromate [118, ESTAL, 2003], peuvent être déposées sur de l'aluminium. La couleur de la pellicule dépend de la durée d'immersion, du pH, de la concentration de la solution et, dans une certaine mesure, de la composition de l'alliage à traiter. On l'utilise principalement en tant que prétraitement précédent le peinturage ou un revêtement par pulvérisation, bien qu'il soit également utilisé pour la production de composants destinés au secteur de l'aérospatial, à l'électronique et à d'autres applications. [118, ESTAL, 2003, CETS, 2003 # 115].

Une caractéristique particulièrement utile aux applications électroniques est la capacité du traitement à fournir une résistance à la corrosion sans perte correspondante de conductivité.

Des solutions contenant peu de Cr(VI) sont disponibles (communications personnelles, ESTAL).

Préoccupations environnementales
Des solutions à faible niveau de Cr(VI) réduisent les pertes par entraînement et les exigences de traitements des eaux résiduaires classiques.

2.5.17.5 Revêtement de conversion au chrome (VI) sur du magnésium et ses alliages

Le traitement de chromatation reste le procédé le plus fréquent de traitement des alliages de magnésium et du magnésium, étant donné ses caractéristiques de corrosion. Ce traitement est souvent appliqué directement sur la matière première, afin de garantir des bonnes caractéristiques de stockage. Le traitement de chromatation est également utilisé pour préparer le magnésium et ses alliages à un revêtement métallique ultérieur, en particulier pour le nickelage autocatalytique.

En général, deux procédés de traitement sont utilisés :

- le décapage, qui est principalement utilisé pour protéger les parties des pièces de fabrication au cours du stockage et de leur expédition ;
- le traitement de chromatation, qui permet d'obtenir une protection contre la corrosion maximale et des propriétés d'adhérence améliorées pour l'application de peinture.

2.5.17.6 Revêtements de conversion au chrome trivalent (Cr(III)) sur de l'aluminium et du zinc électrodéposé

Les traitements de revêtement de conversion au chrome trivalent (Cr(III)) ont été mis au point pour la première fois il y a environ 20 ans en tant qu'alternative plus acceptable d'un point de vue écologique au traitement au chrome hexavalent (Cr(VI)), principalement sur du zinc électrodéposé. Ces systèmes de revêtement de conversion et bains de traitement ne contiennent pas de chrome hexavalent et permettent ainsi d'éviter les problèmes liés à l'environnement ou à la santé associés à l'utilisation du chrome hexavalent [118, ESTAL, 2003].

Les traitements de revêtement à base de chrome trivalent bleu permettent d'obtenir l'apparence habituellement associée aux traitements hexavalents sur des systèmes de zingage alcalin non cyanure ou cyanuré.

Les traitements de revêtement de conversion au chromage trivalent produisent habituellement uniquement des revêtements de conversion bleus ou clairs. Des passivations au chrome trivalent permettant d'obtenir une épaisseur de pellicule plus élevée et une résistance à la corrosion supérieure ont été développées récemment et permettent d'obtenir des résultats corrects en comparaison avec la passivation au chrome hexavalent iridescent.

Il existe au moins un traitement de revêtement qui n'utilise pas de Cr(VI). Ces revêtements ont une couleur jaune iridescent, vert clair et résistent jusqu'à 120 heures aux premières traces de rouille blanche lors d'un traitement au tonneau et jusqu'à 240 heures lors d'un traitement sur montage. Ces nombres varient en fonction du traitement et si une couche de finition ou un colmatant est ajoutée. Cette technique de passivation peut être utilisée sur tous les types de zingage (acide, alcali sans cyanure et cyanuré) ainsi que sur les alliages de zinc (zinc-fer, zinc-cobalt et zinc-nickel). Les parties

traitées pourraient être cuites à 200 °C pendant quatre heures et pourraient conserver jusqu'à 90 % de leurs aptitudes de protection contre la corrosion.

La passivation sans Cr(VI) noir a également été développée et à l'aide de colmatant, permet d'obtenir des résultats de test à la corrosion comparables [124, Allemagne, 2003].

Cependant, les revêtements de conversion les plus épais, kaki, qui offrent la protection contre la corrosion la plus importante pour le zinc, peuvent uniquement être obtenus par l'utilisation d'un traitement de revêtement de conversion au chrome hexavalent.

En comparaison avec les traitements de revêtement de conversion au chrome hexavalent, le traitement de conversion au chrome trivalent :

- peut permettre une résistance à la corrosion égale ou supérieure pour la même finition colorée [124, Allemagne, 2003] ;
- ne nécessite pas de période de rodage pour les solutions de passivation neuves ;
- offre une couleur et des caractéristiques plus uniformes durant toute la durée de vie de la solution ;
- la solution offre normalement des possibilités au moins deux fois supérieures à celles du chrome hexavalent classique et est plutôt limitée par les impuretés que par la consommation des composés de chrome actifs, ce qui entraîne un rejet de solution moindre ;
- ne peut pas produire la gamme des couleurs et la résistance à la corrosion offertes par les revêtements hexavalents ;
- nécessite plus de contrôle du traitement ;
- peut nécessiter une couche de finition ou un colmatant afin d'obtenir des caractéristiques de résistance à la corrosion similaires à des passivations au Cr(VI) plus foncées.

Préoccupations environnementales
Aucune préoccupation spécifique au sujet de la santé et de la sécurité n'est liée à l'utilisation du Cr(III).

La réduction du Cr(VI) en Cr(III) n'est pas nécessaire au cours du traitement des eaux résiduaires.

Les traitements au Cr(III) contiennent généralement environ dix fois la concentration en chrome des bains de Cr(VI). L'élimination du zinc lors du zingage est deux fois celle du Cr(VI). Le Cr(III) peut donc générer plus de déchets au cours du traitement des eaux résiduaires [113, Autriche, 2003].

Des traitements au Cr(III) offrant une résistance à la corrosion identique à celle des traitements au Cr(VI) se présentent généralement sous la forme de bains chauffés consommant plus d'énergie que les traitements au Cr(VI) correspondants [73, BSTSA,].

2.5.17.7 Couches de finition pour les revêtements de conversion par chromatation

Les pellicules de conversion par chromatation hexavalentes et trivalentes sont poreuses et adsorbantes par nature et leur épaisseur est très limitée. Leur action protectrice peut être améliorée par l'application d'une pellicule de finition ultérieure, qui est soit organique (par exemple, du méthacrylate, voir section 2.5.10 concernant le peinturage

par électrophorèse, et la section 2.5.11 concernant le vernissage) soit inorganique (par exemple, du métasilicate) et/ou un mélange de substances organiques/inorganiques. Ces couches de finition ont des fonctions supplémentaires : un effet d'autogénération, une protection contre les rayures mécaniques locales causées par une manipulation inappropriée au cours du traitement ; une réduction sensible de la quantité de Cr(III) s'échappant de la surface traitée, et une réduction des paramètres de frottement [124, Allemagne, 2003]. La protection de la couche de finition est principalement provoquée par la barrière physique du revêtement lui-même.

2.5.18 Coloration du métal

[3, CETS, 2002] Il est possible d'obtenir une large gamme de teintes et de couleurs sur différents métaux grâce à un traitement thermique, une trempe chimique, ou un traitement électrolytique. Ces traitements sont utilisés pour des éléments en laiton, en cuivre et en acier. Le système le plus fréquemment utilisé est le trempage chimique. Les résultats obtenus dépendront plus de la mise en pratique de l'opération et des paramètres de traitement que de la formule chimique utilisée. A l'origine, des solutions de sulfure et de polysulfure dans des milieux alcalins utilisant du sodium, des sels d'ammonium ou de baryum étaient utilisés dans des pièces chauffées à température élevée. Il est désormais plus courant d'utiliser des solutions contenant des ions métalliques (cuivre, sélénium, molybdène, etc.) dans un milieu acide et à température ambiante.

Les articles de petite taille peuvent être colorés en vrac, les zones à surface proéminente sont ensuite supprimées par ponçage au tonneau dans des milieux abrasifs, voir section 2.3. Toutes les pièces de fabrication traitées au sulfure nécessitent un brossage humide ou séchage et doivent être protégées par une couche de finition de vernis transparent.

Préoccupations environnementales
En fonction des formulations précises utilisées, les effluents peuvent nécessiter un prétraitement séparé avant un traitement classique des eaux résiduaires.

2.5.19 Décapage brillant

Pour tous les substrats comprenant de l'aluminium, ce terme est synonyme de « brillantage » et de « polissage chimique », voir section 2.5.21 [118, ESTAL, 2003, 159, TWG, 2004].

2.5.20 Noircissage chimique – revêtements d'oxyde

Les revêtements d'oxydation chimique par immersion sont principalement utilisés pour l'apparence, en tant que base de peinture, ou pour leurs caractéristiques de rétention d'huile. [38, Ullmann, 2002/2003]

Préoccupations environnementales concernant les traitements de noircissage chimique
Des vapeurs provenant des traitements et contenant des alcalis et du chrome peuvent nécessiter une extraction et éventuellement une purification. Les boues peuvent nécessiter un traitement dans des installations de traitement des eaux résiduaires.

Les eaux de rinçage peuvent nécessiter un traitement de leur niveau de pH. D'autres matériaux tels que des composés contenant de l'azote, d'autres agents oxydants et des

sulfides peuvent nécessiter des traitements supplémentaires à ceux réalisés dans une installation classique de traitement des eaux résiduaires.

L'acier
L'acier peut être noirci dans un bain à température élevée contenant de 480 à 840 g/l d'un mélange composé d'environ 75 % en poids d'hydroxyde de sodium et de 25 % en poids de nitrate de sodium. La solution est exploitée dans un état bouillonnant à 121 à 149 °C. On peut également utiliser un mélange de 12 % en poids de nitrate de sodium et de 13 % en poids de nitrite de sodium à la place des 25 % en poids de nitrate de sodium.

Des points d'ébullition inférieurs sont obtenus par l'ajout de divers additifs contenant du soufre. Le revêtement d'oxyde qui en découle est quelque peu moins résistant à la corrosion du fait de l'inclusion de sulfure de fer dans le film. Certains des matériaux modifiés au sulfure peuvent également être utilisés pour noircir l'acier inoxydable.

Après un rinçage minutieux, le film d'oxyde est enduit normalement d'une huile, de cire ou d'un vernis.

L'acier inoxydable
L'acier inoxydable peut également être noirci dans du sodium fondu/dichromate de potassium à une température d'environ 370 °C à condition que les parties ne soient pas affectées négativement par la température élevée. L'oxyde qui en découle a une bonne résistance à la corrosion et le processus est garanti par des spécifications militaires.

Le traitement de « l'inox », un trempage dans de l'acide chromique et du sulfate à 60 à 90 °C, peut être utilisé, et l'acier au chrome et au nickel peut être coloré en noir par trempage dans du $NaOH/NaNO_2$ à 125 à 130 °C [113, Autriche, 2003].

Le cuivre
Le cuivre peut être noirci dans un bain contenant 120 g/l d'un mélange de 75 % en poids d'hydroxyde de sodium et de 25 % en poids de chlorite de sodium à 93 à 100 °C. L'oxyde de cuivre (II) noir produit présente une apparence floue. Sur les parties à finition brillante, ce voile flou disparaît lorsqu'un vernis est appliqué, lui conférant de nouveau son apparence brillante, ou elle peut être dissipée (non éliminée) grâce à un ponçage ou passage léger au tonneau dans de la sciure ou tout autre abrasif doux (voir section 2.3).

Le laiton
Le laiton peut être noirci dans la même solution mais ne pas réagir, en fonction de la teneur en zinc et de l'historique métallurgique. L'activation peut être effectuée par immersion dans un bain contenant 120 g/l d'un mélange de 85 % en poids d'hydroxyde de sodium et de 15 % en poids de chlorite de sodium à une température de 95 à 100 °C pendant 5 à 10 minutes pour le dézingage de la surface, après quoi le bain noircissant fonctionnera généralement de manière normale.

L'aluminium
L'aluminium peut avoir un revêtement d'oxyde par immersion dans un certain nombre de traitements différents y compris les traitements Alzac et Juratka. Les traitements électrolytiques (anodisation) sont généralement préférés.

2.5.21 Brillantage

Dans le brillantage de l'acier, l'acide nitrique concentré est utilisé pour former une surface très propre. A noter que ce traitement engendre la formation de gaz nitreux dans le gaz des fumées. [104, UBA, 2003]

Le cuivre et le laiton sont éclaircis par oxydation d'une couche de surface.

L'aluminium et certains de ses alliages peuvent être éclaircis par traitement chimique ou électrochimique pour des applications spéciales telles que les finitions d'éclairage et décoratives [118, ESTAL, 2003, 132, Sheasby et Pinner, 2002].

Les décapants d'acide phosphorique sont destinés à des utilisations spécifiques telles que l'application sur des parties de châssis et des cadres de bicyclette. On l'utilise généralement à une concentration de 10 à 15 %, à une température de 40 à 50 °C et parfois jusqu'à une température de 80 °C.

Les surfaces métalliques doivent être entièrement dégraissées. Des résultats médiocres, tels qu'une attaque inégale ou des surfaces oxydées après brillantage, sont fréquemment causées par un prédégraissage insuffisant.

Préoccupations environnementales
Les solutions de brillantage usées peuvent nécessiter un traitement pour réduire le pH et éventuellement le contenu en métaux avant d'être rejeté en tant qu'effluent. En alternative, ils peuvent être éliminés en tant que déchets liquides.

Les vapeurs d'acide, en particulier celles contenant du NO_X peuvent nécessiter une extraction, avec un traitement éventuel.

2.5.22 Attaque chimique – attaque chimique alcaline de l'aluminium

Le procédé le plus fréquemment utilisé pour attaquer chimiquement l'aluminium est un composé de solution aqueuse de soude caustique, avec ou sans autres additifs. On peut généralement l'utiliser à des fins de nettoyage lorsque des impuretés d'oxyde, de graisse ou de sous-couche peuvent être éliminées. Lors d'une attaque chimique prolongée, il peut produire une oxydation ou une finition mate destinée aux plaques signalétiques ou aux travaux architecturaux décoratifs ; ou pour effectuer une gravure profonde et un usinage chimique. Il s'agit d'un procédé d'attaque chimique relativement peu onéreux et facile à réaliser mais les détails de mise en application peuvent être extrêmement complexes.

Les solutions destinées à l'attaque chimique peuvent contenir de 4 à 10 % ou plus de soude caustique, que l'on utilise entre 40 et 90 °C, éventuellement avec un agent mouillant pour disperser la graisse et constituer une léger couche de mousse.

Les traitements les plus fréquents sont les traitements d'attaque chimique « utilisables à long terme » et qui fonctionnent sur une base d'utilisation perpétuelle. Ces traitements contiennent des additifs spéciaux qui stabilisent la solution d'aluminate. La vitesse de l'attaque chimique doit être contrôlée pour obtenir une finition régulière de l'attaque chimique. Les paramètres primordiaux sont : la température, l'hydroxyde de sodium libre, l'aluminium et la teneur en additifs.

Les attaques chimiques alcalines à des vitesses d'attaque chimique accrues sont utilisées pour éliminer le film anodisé des supports d'aluminium avant le traitement sur support suivant.

[118, ESTAL, 2003, 132, Sheasby et Pinner, 2202, 138, QUALANOD, 1999].

Préoccupations environnementales
Les bains d'attaque chimique alcalins usés peuvent être recyclés dans les installations municipales de traitement des eaux résiduaires [159, TWG, 2004].

2.5.23 Usinage chimique

[47, France, 2003] L'usinage chimique est un traitement utilisé pour éliminer le métal sur des pièces de travail par dissolution dans un bain caustique ou acide sans source externe d'énergie (mécanique ou électrique). Le métal est éliminé de la surface entière de la partie trempée dans le bain d'usinage à condition que cette surface soit en contact avec la solution. Les zones que l'on ne souhaite pas voir attaquées sont masquées. La vitesse de la dissolution chimique est lente, 0,5 à 3 mm/h, par rapport aux traitements mécaniques. L'épaisseur éliminée est quasi constante sur l'ensemble de la surface, mais la rugosité créée varie en fonction du traitement utilisé.

Ce traitement est principalement utilisé sur les alliages d'aluminium pour les industries aéronautique et aérospatiale. On l'utilise généralement sur des feuilles qui ont été cintrées au préalable et lorsqu'il est nécessaire de maintenir un certain poids. L'usinage chimique peut également être utilisé sur des alliages de titane, l'acier inoxydable et certains alliages spéciaux à base de nickel, de cobalt ou de magnésium.

Les compositions chimiques de traitement utilisées sont :
- pour l'aluminium : de la soude caustique et des additifs (gluconate de sodium, sulfure de sodium) ;
- pour le titane : de l'acide fluorhydrique (20 à 50 g/l) et de l'acide nitrique (50 à 70 g/l) ;
- pour l'acier inoxydable : de l'acide chlorhydrique et des acides nitriques et phosphoriques.

Les principaux paramètres de contrôle concernant l'aluminium et les alliages d'aluminium sont :
- la concentration du bain : de 100 à 150 g/l de NaOH libre ;
- la température : 80 °C pour les traitements les plus anciens, jusqu'à 110 °C pour les traitements à vitesse élevée ;
- la concentration des métaux dissous : 70 à 90 g/l d'Al ;
- la composée de l'alliage usiné chimiquement.

Tous ces paramètres affectent la vitesse de traitement, la régularité de l'épaisseur et la rugosité de la finition.

De manière générale, la surface entière n'est pas usinée. Afin d'empêcher l'usinage de certaines zones il est nécessaire de masquer ces zones en les protégeant grâce à des couches de néoprène. La technique de masquage habituelle consiste à masquer la partie entière et à retirer le masque couvrant les zones à usiner. Le masque est coupé au scalpel ou à l'aide d'un faisceau laser.

Une séquence de traitement classique comprend :

- un dégraissage au solvant ;
- une attaque chimique alcaline :
- un rinçage ;
- un décapage (par exemple un décapage sulfochromique) ;
- un rinçage ;
- un séchage ;
- un masquage ;
- un retrait du masque de la surface à traiter ;
- une attaque ;
- un rinçage ;
- une passivation de surface : (par exemple, à l'acide nitrique ou sulfochromique) ;
- un rinçage ;
- un retrait du masque ;
- un contrôle de qualité.

Problèmes environnementaux
Le problème principal de ce traitement est la quantité importante de boue produite par les métaux dissous. La concentration du bain d'usinage chimique est généralement maintenue au-dessous de 70 g/l d'aluminium et les solutions usées au-delà d'une telle concentration sont rejetées. Un traitement normal des eaux résiduaires peut être mis en œuvre et le composant de principe des boues est le $NaAlO_2$.

2.6 Activité de post-traitement

2.6.1 Séchage à l'eau chaude

[3, CETS, 2002] Dès que toutes les opérations de traitement humide sont achevées, les pièces de fabrication ou les substrats doivent être séchées rapidement et de manière efficace afin d'éviter toute oxydation et corrosion. Le procédé de séchage le plus simple consiste à immerger des composants dans de l'eau chaude pendant quelques secondes et ensuite les sécher naturellement.

L'inconvénient du séchage à l'eau chaude est la perte énergétique élevée à la surface du réservoir. Il est cependant d'usage dans les ateliers de traitement de surface de déplacer les supports manuellement (la production des pièces de fabrication s'en trouve ainsi réduite).

La température de l'eau doit être contrôlée avec attention. La température est limitée à 60 °C pour les composants de plastique déposés afin d'éviter toute déformation. Les composants zingués et passivés sont également limités à une température de 60 °C pour éviter la déshydratation du revêtement et la perte des propriétés de protection contre la corrosion du film de passivation. Les composants chromés peuvent être séchés à une température allant jusqu'à 90 °C. On utilise habituellement de l'eau déminéralisée pour empêcher la formation de taches de séchage. Certaines installations utilisent un filet continu d'eau déminéralisée, le trop plein d'eau est ensuite utilisé pour alimenter un système de rinçage en cascade antérieur. La phase comprenant l'utilisation de l'eau chaude peut également être une étape de rinçage finale.

Préoccupations environnementales
Le rendement énergétique peut être d'un niveau bas.

2.6.2 Séchage à l'air chaud

Le séchage dans des installations automatisées est réalisé plus facilement sur des chaînes de traitement automatiques par l'utilisation de l'air chaud. Les supports sont placés dans un dispositif de séchage en forme de réservoir à l'extrémité de la chaîne de traitement. Le réservoir a les mêmes dimensions que les cuves de la chaîne pour s'adapter au système de transport. L'air chaud est réparti de manière égale du haut du réservoir jusqu'au bas à des températures s'échelonnant de 60 à 80 °C. L'air chaud s'échappant du sommet du réservoir de séchage rend l'équipement inefficace du point de vue thermique.

Dans certains cas, comme par exemple pour les nouveaux types de passivation de film épais ou pour réduire les durées de séchage, il est nécessaire de chauffer le substrat ou les pièces de fabrication jusqu'à une température de 80 °C ou plus. La température de l'air circulant dans les dispositifs de séchage doit ensuite dépasser 100 °C. L'air est chauffé normalement lors de son cycle de circulation ou par des échangeurs thermiques utilisant la chaleur provenant de la vapeur ou de l'huile chaude. On peut utiliser alternativement des systèmes de chauffage direct dotés de brûleurs à gaz spéciaux et dont la flamme est mise en contact direct avec l'air mis en circulation. La conduction du gaz chauffe l'air directement et un rendement de quasiment 100 % de l'intrant énergétique peut être obtenu [124, Allemagne, 2003].

Préoccupations environnementales
Le rendement énergétique peut être médiocre si l'air n'est pas conservé à bonne température et mis en circulation efficacement.

2.6.3 Séchage aux lames d'air

Le recours au séchage localisé à l'air s'accroît au moyen de buses de précision ou « lames d'air », qui offrent un rendement énergétique plus important que le séchage à l'air chaud en réservoir. Une description est présentée dans la section 2.3.

2.6.4 Traitement thermique pour la défragilisation à l'hydrogène

Le traitement thermique destiné à éviter la fragilisation par hydrogène qui se forme lors du décapage, du nettoyage cathodique et du dépôt électrolytique du métal lorsque le rendement en courant est inférieur à 100 % ou lors d'un dépôt chimique (phosphatation). La température et la durée du procédé de défragilisation dépendent du substrat [159, TWG, 2004].

Préoccupations environnementales
Consommation énergétique [124, Allemagne, 2003].

2.7 Techniques couramment utilisées pour le traitement des eaux résiduaires et de l'eau, l'entretien de la solution de traitement et le recyclage de matériaux

Il existe un certain nombre de techniques utilisées pour le traitement de l'eau et des solutions à base d'eau, largement utilisées dans le traitement de surface des métaux pour :

- le traitement de l'alimentation en eau de production ;
- le traitement des eaux résiduaires avant l'évacuation ou une réutilisation ;

- l'entretien de la solution de traitement ;
- le recyclage des matériaux en cours de traitement. Un procédé qui peut également servir pour l'entretien de la solution de traitement.

Les techniques de base (par exemple, le choix des résines pour l'échange ionique) ne varient que légèrement selon l'application. Elles sont brièvement décrites ici et plus en détail dans le chapitre 4. On retrouve des descriptions détaillées à d'autres endroits, et certaines sont particulièrement utiles dans l'hypothèse de l'utilisation des matériaux de traitement en cycle fermé, voir section 4.7 [162, USEPA, 2000].

2.7.1 Filtration

Il existe de nombreux types de filtration. Au bas de l'échelle on trouve les feuilles de cellulose (papier) insérées habituellement dans des filtres (parfois recouvertes de charbon actif ou d'un autre absorbant), et des cartouches. En haut de l'échelle, des filtres à sable sont utilisés pour le nettoyage de l'eau brute ou des effluents de polissage, et des filtres à bande ou des filtres-presses sont utilisés pour des liquides moins fluides comme les boues d'eaux résiduaires, auxquels sont souvent ajoutés des coagulants.

Préoccupations environnementales
Des pompes sont généralement nécessaires pour le filtrage (entraînant une demande énergétique connexe), bien que dans certains cas (comme pour les filtres à sable) la gravité est suffisante.

Le moyen de filtration, contenant le filtrat, est généralement éliminé en tant que déchet.

2.7.2 Techniques d'absorption

Le charbon actif est utilisé pour adsorber des substances organiques indésirables formées par des produits de décomposition dans une solution. On peut l'ajouter à la solution, en vrac, et le filtrer par la suite, ou on peut l'ajouter dans système de filtration stratifié.

Un feutre de polypropylène granulé ou un autre moyen de filtration lipophile peut être placé dans les logements des filtres et utilisé afin de supprimer les huiles par adsorption.

La filtration à l'aide d'un polymère utilise des polymères chélatants solubles à l'eau pour unir de manière sélective les métaux cibles dans des flux aqueux.

Préoccupations environnementales
Le charbon actif éliminera également une partie des additifs chimiques organiques utiles, tels que les azurants et un réapprovisionnement de ce dernier sera nécessaire.

Le matériau adsorbant, incluant le rétentat et le moyen de filtration, est généralement éliminé en tant que déchet, bien que les métaux précieux puissent être récupérés.

2.7.3 Cristallisation

Divers systèmes d'évaporation et de refroidissement sont utilisés pour amener les solutions jusqu'à un point de sursaturation dans lequel des cristaux solides se forment et peuvent être séparés de la solution.

Préoccupations environnementales
La consommation énergétique pour le chauffage ou le refroidissement.

2.7.4 Evaporation atmosphérique

L'évaporation atmosphérique se produit lorsque les solutions sont chauffées. Dans cette technique de base, le volume des solutions de traitement se réduit et les pertes par entraînement sont renvoyées vers la solution de traitement ou on procède à l'ajout de nouveaux produits chimiques. Le processus peut être amplifié par l'utilisation d'un procédé d'agitation d'air et/ou l'utilisation d'un évaporateur. L'évaporateur peut être rempli d'un matériau de remplissage afin d'accroître la surface d'évaporation du rapport air/eau. On utilise souvent les évaporateurs avec un condenseur pour récupérer l'eau distillée.

Préoccupations environnementales
Les évaporateurs peuvent souvent utiliser de manière avantageuse la chaleur produite par la solution lorsque le traitement est auto chauffant, par exemple, au passage du courant électrique. La perte thermique contribue alors au refroidissement de la solution.

2.7.5 Evaporation sous vide

La pression réduite et la température élevée se combinent pour séparer des constituants à volatilité relativement élevée des constituants à volatilité faible, par exemple, lors de l'élimination de l'eau d'une solution de revêtement acide. L'évaporation de la solution de traitement (par exemple, la distillation acide) des phases polluantes à volatilité plus élevée permet également de purifier les solutions de traitement. Plusieurs étapes peuvent être utilisées pour accroître la pureté de la séparation, réduire les exigences énergétiques, ou réaliser des séparations à phases multiples.

Préoccupations environnementales
Les exigences énergétiques pour le chauffage et la mise sous vide pour l'obtention des conditions de vide.

2.7.6 Electrolyse – déposition

Les métaux de transition peuvent être éliminés des flux d'eaux résiduaires par déposition sur des électrodes à superficie élevée dans des cellules de récupération des métaux. On peut également utiliser ce procédé en combinaison avec un échangeur ionique afin de concentrer les ions métalliques, voir section 2.7.8.

Préoccupations environnementales
Pour des concentrations inférieures à environ 10 mg/l, le dépôt métallique est très peu efficace avec des exigences énergétiques 10 à 100 fois supérieures aux exigences théoriques réellement nécessaires au dépôt métallique.

2.7.7 Electrolyse – oxydation

Il est possible d'oxyder à la fois les sous-produits organiques non souhaités et les métaux des solutions, comme par exemple le Cr(III) jusqu'au Cr(VI). Ceci à l'aide ou non d'une membrane de céramique, en fonction des conditions de densité de courant.

2.7.8 Echange ionique - résine

Les ions en solution sont éliminés de manière sélective en échangeant leurs positions avec celles des groupes fonctionnels de résine. Le traitement par échange ionique direct des eaux résiduaires offre un moyen de concentrer des cations plurivalents pour un traitement ultérieur de régénération en colonne ou par déposition (voir section 2.7.6) [3, CETS, 2002], [159, TWG, 2004].

Préoccupations environnementales
L'échange ionique requiert une consommation énergétique pour le pompage en cours d'utilisation et de régénération et exige également un dosage important en produit chimique. La quantité de produit chimique requise pour la capture d'ions métalliques est généralement trois à quatre fois supérieure aux exigences théoriques.

2.7.9 Electrodésionisation

Les ions sont éliminés par l'utilisation de résine d'échange ionique classique. Un courant électrique est utilisé pour régénérer de manière continue la résine, plutôt que d'utiliser des produits chimiques de régénération.

2.7.10 Sorption d'acide (par résine)

La sorption d'acide (par résine) présente une configuration identique à l'échange ionique. Les résines sont destinées à adsorber de manière sélective les acides minéraux tout en excluant les sels métalliques (phase d'adsorption). L'acide purifié est récupéré pour être réutilisé tandis que la résine est régénérée à l'eau (phase de désorption).

2.7.11 Echange ionique –liquide/liquide

Les polluants ioniques sont éliminés des solutions de traitement dans des solutions d'extraction de liquide primaire non miscible. Des solutions d'extraction de liquide secondaire sont utilisées afin d'éliminer les polluants et de régénérer la solution d'extraction primaire.

A ce jour, l'unique application concerne les solutions d'attaque chimique à l'ammoniac, qui sont régénérées par élimination et récupération du cuivre dans un système en cycle fermé pour la solution d'extraction.

2.7.12 Filtration sur membrane

Il existe divers types de filtrations sur membrane et leur utilisation dépend de leur taille de pores. Ces systèmes sont utilisés sous pression étant donné la taille réduite des pores.

- la microfiltration (MF) est une technologie de filtration sur membrane qui utilise des pressions d'application faibles dont la taille des pores est comprise entre 0,02 et 10 microns, pour séparer des particules relativement grandes dans une plage de taille allant de macromoléculaire à microparticules (d'un poids moléculaire approximatif >100 000) ;
- l'ultrafiltration (UF) admet les ions et rejette les macromolécules (0,005 à 0,1 micron) et élimine les matières organiques des solutions de traitement ;
- la nanofiltration (NF) est utilisée pour le rejet des composants de taille plus grande que l'osmose inverse (rejet des molécules d'une taille supérieure à 0,001 à 0,008 microns).

Préoccupations environnementales
De l'énergie est utilisée pour la pressurisation des systèmes.

2.7.13 Osmose inverse

L'osmose inverse, qui est en réalité la filtration d'ions au travers d'une membrane semi-perméable sous une pression élevée, fournit un moyen alternatif de concentration des impuretés métalliques pour une élimination ultérieure. Cette approche peut être gourmande en capitaux et tous les éléments solides, ainsi que les éléments organiques, doivent être éliminés avant le traitement. [3, CETS, 2002].

Préoccupations environnementales
La technique fonctionne sous des pressions élevées entraînant une exigence énergétique conséquente.

2.7.14 Dialyse par diffusion

La dialyse par diffusion est un traitement de séparation par membrane qui utilise habituellement une membrane d'échange anionique pour transporter des anions acides et des protons contenus dans les solutions acides résiduaires dans des flux d'eau déminéralisée (pour être traitée dans des installations de traitement des eaux résiduaires) et dans lequel on récupère l'acide.

2.7.15 Electrolyse par membrane

L'électrolyse par membrane utilise une ou plusieurs membranes sélectives d'ions pour séparer les solutions électrolytiques dans une cellule d'électrolyse. Les membranes sont perméables aux ions et sélectives. Les membranes à cations admettent le passage des cations comme par exemple les cations Cu et Al, mais rejettent les anions. Les membranes à anions admettent le passage des anions, comme les sulfates et les chlorures, mais rejettent les cations.

Préoccupations environnementales
En fonction des solutions, les réactions électrolytiques peuvent générer des gaz dangereux.

2.7.16 Electrodialyse

Les anions et les cations sont éliminés des solutions grâce à un champ électrique appliqué aux cellules, à l'aide de membranes alternativement perméables aux anions puis aux cations.

2.8 Traitement au tonneau

L'utilisation des tonneaux est décrite dans les paragraphes 0 et 2.2 ci-dessus.

Le traitement est effectué comme le traitement décrit dans les sections 2.4 à 2.6 concernant les traitements sur support générique. Les sections suivantes font référence en particulier aux activités normalement associées au traitement au tonneau.

2.8.1 Préparation des pièces de fabrication

L'ébavurage et le polissage au tonneau, ainsi que le dégraissage des pièces de fabrication pour un traitement au tonneau par centrifugation sont décrits dans la section 2.3.

2.8.2 Activités principales

Les activités principales sont les mêmes que pour le traitement sur support ou sur montage, à l'exception du chromage et de l'anodisation, pour lesquels l'utilisation des tonneaux est impossible. Les pièces de fabrication devraient être de taille réduite et ne pas présenter de zones plates pour empêcher les surfaces plates d'adhérer entre elles au cours du traitement. Ceci peut provoquer le marquage, ou dans certains cas la brûlure, du traitement de surface inégal [121, France, 2003].

2.8.3 Séchage des composants au tonneau

Des installations de traitement au tonneau utilisent un séchage par centrifugation ou un séchage par air chaud en fonction du type de composant. Le séchage par centrifugation est efficace et offre un bon rendement énergétique.

2.9 Acier en bande continu – à grande échelle

[73, BSTSA, 86, EIPPCB,]. Le revêtement de larges bandes d'acier est traditionnellement associé à la production de bobines. Les bobines pèsent jusqu'à 32 tonnes et leur largeur peut atteindre les 2 080 mm [119, Eurofer, 2003].

L'acier fini laminé à froid (décapé, laminé à froid, recuit et revenu) est un matériau présentant des caractéristiques mécaniques qui le rendent approprié à une utilisation dans de nombreuses applications industrielles. Malheureusement, l'inconvénient majeur est qu'il souffre d'une faible résistance à la corrosion. L'utilisation de traitements de surface destinés à améliorer la résistance à la corrosion du substrat d'acier enroulé est décrite dans ce document.

Le dépôt électrolytique est un traitement de surface majeur de la production à grande échelle de bobines d'acier. D'autres options de traitements de surface d'impression et de peinturage sont examinées dans [90, EIPPCB,].

La procédure de revêtement électrolytique est essentiellement la même que celle utilisée pour les traitements sur support et au tonneau, allant même jusqu'à utiliser des compositions chimiques identiques pour les solutions. Le traitement est également précédé des mêmes types de prétraitements comme le nettoyage et le décapage, et suivi des mêmes post-traitements, y compris les techniques de conversion de couche comme le chromage et la phosphatation. Les activités spécifiques liées aux bobines d'acier sont décrites ci-dessous.

Deux facteurs principaux différencient les bobines en acier de grande taille :

- la taille et la nature des bobines et l'équipement utilisé pour les manipuler et les traite.

Ces étapes nécessitent :

º un équipement de manipulation des bobines ;

º des systèmes de chargement et de déchargement (accumulateurs d'entrée et de sortie) ;
º un équipement destiné à maintenir la bande au cours du traitement à la bonne tension et à plat (afin d'empêcher une distorsion de bande et un contact avec les anodes) ;
º un fraisage à la taille appropriée ;

- La nature continue du substrat, présentant uniquement des épaisseurs réduites et des changements de largeur limitée. Cela permet l'utilisation de certaines techniques qui ne peuvent être utilisées pour les systèmes sur support et au tonneau (dont les composants changent constamment de forme), telles que :

º des brosses contribuant à la réalisation de certaines activités comme le dégraissage et des rouleaux essoreurs destinés à réduire les pertes de solution de traitement
º la nature continue de la bande et la configuration de l'installation se prête également à l'utilisation étendue d'autres techniques comme les rinçages par aspersion et l'huilage électrostatique, qui sont des procédés moins fréquemment utilisés dans d'autres systèmes de transport.

Un plan de traitement classique est représenté dans la figure 2.11. Les détails de chaînes de traitement spécifiques sont décrits dans les sections suivantes.

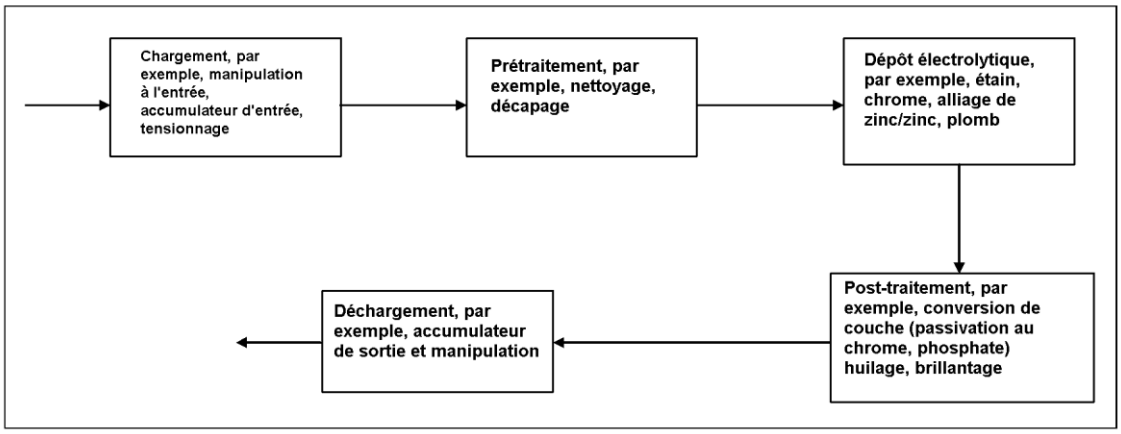


Figure 2.11 : Plan schématique d'un traitement en bande classique

2.9.1 Equipement d'entrée

La réception des bobines, le déroulage et le soudage de l'extrémité de la bobine avec le début de la bobine suivante permettent un traitement en continu. L'équipement d'entrée comporte les étapes suivantes :

- le transport entre le lieu de stockage des bobines d'acier nues vers les dérouleurs au moyen d'une chaîne de transfert, d'un chariot élévateur à fourche ou d'un dispositif de transport sur coussin d'air ;
- le déroulage de la bande (impliquant un dérouleur, des rouleaux presseurs et une bande magnétique) ;
- l'accumulateur d'entrée permet de s'assurer que la bande poursuit son déplacement à vitesse constante dans la section de traitement même au cours du soudage lorsque l'extrémité de bande est maintenue immobile au niveau de la section d'entrée. L'accumulateur stocke la bobine en l'entraînant au travers d'une

série de boucles verticales ou horizontales. Ces dernières sont ensuite utilisées lorsque l'extrémité de la bobine est maintenue immobile pour le soudage sur une nouvelle bobine ;
- le cisaillement des bavures de bobine et la récupération des chutes de coupe ;
- le soudage continu de l'extrémité de la bobine avec le début de la bobine suivante ;
- la mesure de l'épaisseur de la bobine continue ;
- une planeuse sous traction, utilisée au niveau de la section d'entrée ou avant un point quelconque au niveau duquel la planéité est essentielle, tel que lors d'un passage entre les anodes ou les couteaux de fraisage. Cette planéité est continuellement corrigée par un mouvement de traction et de courbure.

Préoccupations environnementales
La consommation énergétique peut être maîtrisée en conservant des réglages corrects et en garantissant que les roulements tournent librement.

2.9.2 Rinçage et pertes par entraînement

Ces activités sont décrites dans la section 2.4. Des techniques de contrôle spécifique pour le traitement en bande sont décrites pour les traitements individuels.

2.9.3 Prétraitement

2.9.3.1 Dégraissage et nettoyage

Le fer noir en bobine est habituellement pollué par des résidus graisseux (huile et graisse) et des impuretés provenant du laminoir (carbone amorphe ou des particules fines de fer produites par abrasion) résultant du traitement de laminage. Il est primordial que la surface de la bande d'acier soit exempte de ce type d'impuretés pour garantir que la surface entière soit exposée aux activités de traitement permettant d'obtenir une forte adhérence des revêtements.

Les systèmes aqueux sont maintenant des systèmes standard et le dégraissage au solvant n'est plus utilisé.

Le nettoyage est habituellement une combinaison d'activités de trempe et d'activités électrolytiques, voir section 2.3. Les solutions de nettoyage sont généralement à base d'hydroxyde de sodium, de phosphate ou de polyphosphates et d'agents mouillants et complexants.

Nettoyage électrolytique
Des impuretés telles que de la graisse, de l'huile, du carbone amorphe ou des particules fines de fer provenant de l'abrasion peuvent subsister dans les dépressions de la rugosité de surface après le traitement de dégraissage. Il est primordial que ces impuretés soient éliminées pour garantir une forte adhérence du revêtement et pour parvenir à cet état, un nettoyage électrolytique est réalisé.

La bobine déroulée est polarisée :
- soit directement - lorsque la bande passe sur un rouleau conducteur et repasse ensuite entre deux paires d'électrodes d'acier doux. Le courant passe du rouleau conducteur par le biais de la bande et de l'électrolyte vers les électrodes ;

- soit indirectement – des grilles-électrodes dans lesquelles la bande d'acier progresse entre deux paires de plaques d'acier doux forment deux électrodes de polarité opposée. Le courant passe d'une paire d'électrodes jusqu'à l'autre paire d'électrodes par le biais de l'électrolyte et de la bande.

L'électrolyse de la solution alcaline dégage du gaz H_2 au niveau de la cathode et du gaz O_2 au niveau de l'anode. La polarité des électrodes est inversée après chaque bobine ou après une durée prédéfinie pour éviter la polarisation.

Préoccupations environnementales
Voir la section 2.3.4 et les traitements individuels.

Lorsque des déchets huileux provenant des activités sont récupérés, ils sont généralement traités en dehors du site.

2.9.3.2 Décapage

Bien que la bande doive être exempte d'huile et d'impuretés à la surface lorsqu'elle quitte le rinçage nettoyant, des oxydes formés au cours des diverses étapes du traitement de l'acier ne disparaissent pas. L'objectif du décapage acide est d'éliminer ces oxydes et d'attaquer chimiquement légèrement la bande afin de présenter une surface d'acier aussi propre que possible à la section de dépôt métallique. Le décapage de bande peut être effectué par immersion, pulvérisation ou, plus couramment, par électrolyse, avec les mêmes agencements électriques que pour le nettoyage, c'est-à-dire, des rouleaux de contact ou des grilles. Voir également la section 2.3 et [86, EIPPCB,].

Des anodes de plomb sont utilisées car la concentration maximum de l'électrolyte d'acide sulfurique doit être de 50 g/l.

Le décapage électrolytique (action bipolaire) dans un électrolyte neutre (Na_2SO_4) peut également être utilisé dans le traitement de la bande d'acier [113, Autriche, 2003].

Préoccupations environnementales
Voir la section 2.3.6.

2.9.4 Activité de revêtement – dépôt électrolytique

Les matériaux couramment utilisés pour le dépôt électrolytique de bande d'acier du fait de leurs caractéristiques spéciales sont : l'étain, le chrome, le zinc, le cuivre, le plomb et certains de leurs alliages. Les réactions électrolytiques sont décrites au début du chapitre 2.

Cellules pour des bobines d'acier continues
La bande d'acier nettoyée et décapée est envoyée vers des cellules électrolytiques. Les cellules électrolytiques sont le coeur de la chaîne électrolytique. Le choix, la conception et la taille des autres composants de la chaîne et des sections d'alimentation dépendent du choix de la cellule électrolytique et de ses composants.

Les principaux composants d'une cellule électrolytique de bobine continue sont :

- un rouleau conducteur : celui-ci donne à la bande d'acier une charge électrique négative. La tension est transformée en courant au moyen d'un redresseur. Le

pôle négatif du redresseur est raccordé aux brosses de carbone du rouleau conducteur ;
- un rouleau presseur : qui fournit un contact de bonne qualité et une conductivité électrique élevée entre le rouleau conducteur et la bande d'acier ;
- une anode qui repousse les ions positifs vers la bande d'acier (cathode). Le pôle positif du redresseur est raccordé à l'anode ;
- un rouleau plongeant qui modifie de 180 °C la direction de la bande d'acier ;
- des rouleaux essoreurs ou galets de pression qui minimisent les pertes (pertes par entraînement) aboutissant dans la cellule suivante ;
- des masques de bord qui empêchent le débordement des bords de zinc (formation de zinc de préférence au niveau du bord de la bobine où la densité de charge est la plus élevée) ;
- un dispositif de nettoyage du rouleau conducteur qui nettoie la surface du rouleau conducteur pour éviter des défauts de surface sur la bande d'acier.

Le choix d'une cellule électrolytique dépend des applications industrielles envisagées par le fabricant, de l'épaisseur de couche qu'il souhaite y déposer et du moyen de production qu'il a l'intention d'installer. Le type de cellule électrolytique est réalisé en fonction de quatre paramètres principaux :
- la géométrie de la cellule ;
- la densité de courant ;
- le type de solution électrolytique ;
- le type d'anode.

La géométrie de cellule
Les trois principaux types de géométries de cellule sont :

Les cellules verticales
Les deux côtés de bande peuvent être enduits simultanément dans une cellule. Lors de l'entrée dans la cellule, la bande progresse du haut vers le bas, depuis le rouleau conducteur au travers d'une paire de rouleaux de guidage et la première paire d'anodes, vers le bas jusqu'au rouleau plongeant. De là, elle se dirige vers le côté de sortie, vers le haut au travers de la seconde paire d'électrodes et de rouleaux essoreurs et sur le rouleau conducteur suivant.

Les cellules classiques sont remplies d'un électrolyte et le rouleau plongeant et les deux paires d'anodes sont plongées dans le bain électrolytique. Dans la cellule Gravitel, l'électrolyte entre par le biais d'un déversoir dans l'intervalle étroit entre l'anode insoluble et la bande, retenant uniquement une faible quantité de l'électrolyte en contact avec la bande. Dans ce cas, ni les anodes ni le rouleau plongeant ne sont plongés dans l'électrolyte.

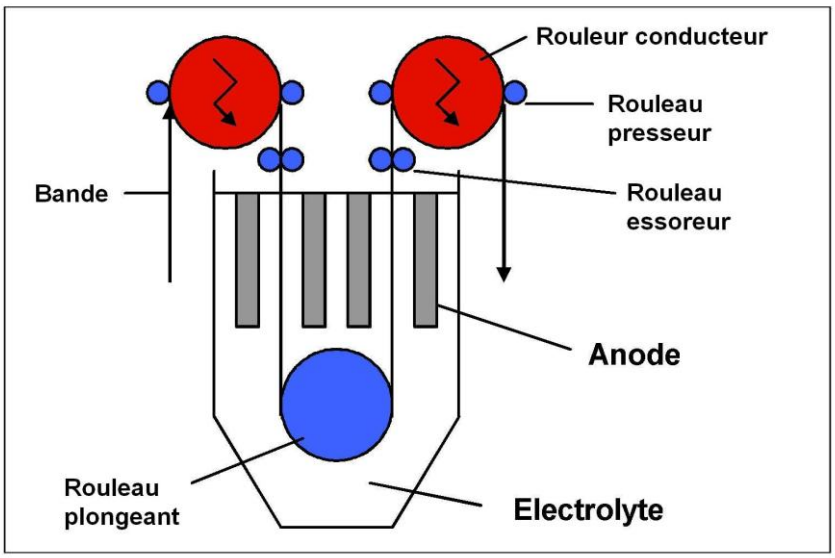


Figure 2.12 : Cellule verticale

Cellules radiales

Système dans lequel uniquement un côté de la bande peut être enduit dans une cellule. A l'entrée de la cellule, la bande circule de haut en bas, depuis le rouleau conducteur au travers d'une paire de rouleaux essoreurs jusqu'au rouleau plongeant. De là, la bande progresse vers le côté de sortie, vers le haut au travers des rouleaux essoreurs et sur le rouleau conducteur suivant. La partie la plus basse uniquement du rouleau plongeant est immergée dans le bain d'électrolyte.

Dans une variante du système, la cellule carrousel, les rouleaux supérieurs font office de rouleaux déflecteurs tandis que le rouleau plongeant, équipé d'un cylindre métallique, assure à la fois les fonctions de rouleau déflecteur et de rouleau conducteur.

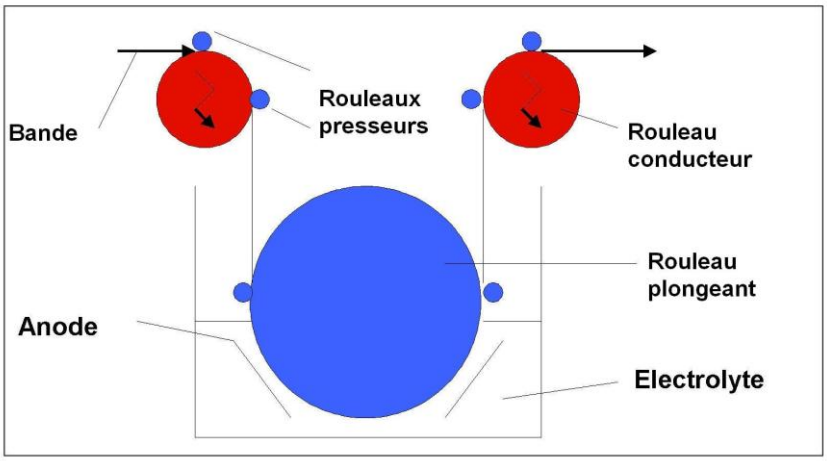


Figure 2.13 : Cellule radiale

Cellules horizontales

Dans ce système, les deux côtés de la bande peuvent être enduits simultanément dans une cellule. La bande circule horizontalement au travers les cellules. Au niveau de l'entrée de la cellule, la bande quitte le rouleau conducteur et progresse au travers d'une paire de rouleaux essoreurs, puis entre une paire d'anodes et de là, jusqu'au côté de sortie, elle avance ensuite au travers d'une autre paire de rouleaux essoreurs jusqu'au rouleau conducteur suivant. L'électrolyte est injecté de manière continue entre les deux paires d'anodes, maintenant ainsi en contact avec la bande uniquement une faible quantité d'électrolyte à tout moment.

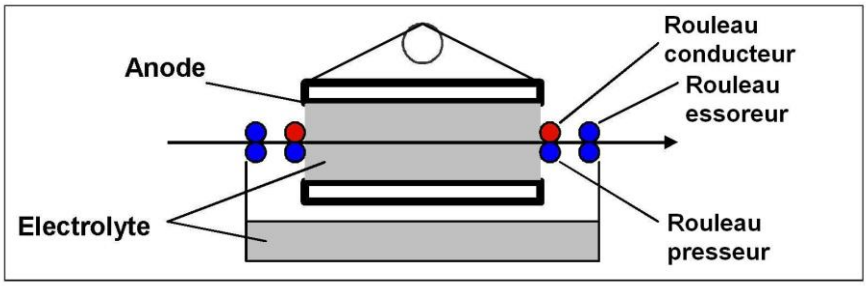


Figure 2.14 : Cellule horizontale

Densité de courant

On peut différencier les installations fonctionnant normalement à un niveau de densité de courant bas de celles fonctionnant normalement à une densité de courant élevée. La densité de courant dépendra des principales applications industrielles, de l'épaisseur de métal normale requise et de l'épaisseur de substrat d'acier normale. Le tableau 2.1 représente les épaisseurs pour des applications de revêtement en bande de zinc et d'alliage de zinc. Une densité de courant élevée permet le dépôt métallique d'une couche métallique plus épaisse sur le substrat d'acier à l'aide d'une anode plus courte.

Densité de courant (A/dm^2)	Principales applications industrielles	Epaisseur de la couche de zinc (µm)	Epaisseur minimum d'acier (mm)	Vitesse relative de l'électrolyte (m/s)
60 à 120	Véhicules	5 à 12	0,5	1,0 à 4,0
30 à 90	Appareils électroménagers	2,5 à 3,5	0,3	<1,0
30 à 90	Autres	2,5 à 3,5	0,3	<1,0

Tableau 2.1 : Epaisseur de la couche de zinc et d'alliage de zinc en fonction de l'application industrielle

Les cellules à densité de courant élevée sont équipées de systèmes tels que des dispositifs d'injection d'électrolyte pour atteindre une vitesse d'électrolyte relativement élevée (vitesse d'électrolyte contre vitesse de bande). Ces systèmes garantissent une alimentation suffisante en ions métalliques à la couche de polarisation au niveau de la surface de la bande d'acier pour que le courant circule.

Bain d'électrolyte
Ces derniers sont décrits séparément pour chaque traitement, voir les sections 2.9.8, 2.9.9 et 2.9.10.

Type d'anode et intervalle
Deux familles d'anodes sont disponibles : les anodes solubles et les anodes insolubles, voir l'introduction du Chapitre 2, Cellules et réactions électrolytiques.

L'intervalle entre l'anode et la bande d'acier diffère en fonction de la géométrie de cellule et de la largeur maximum de la bande d'acier.

Cellule électrolytique	Intervalle minimum (mm)
Verticale	16 à 26
Gravitel verticale	7 à 14,5
Radiale	7 à 15
Horizontale	10 à 20

Tableau 2.2 : Intervalles entre l'anode et la bande d'acier pour différents types de cellules électrolytiques

2.9.5 Activités de revêtement - huilage

Une pellicule humide d'huile est appliquée à la surface par pulvérisation, à l'aide de rouleaux essoreurs ou grâce à un huileur électrostatique, ce qui offre un revêtement qui améliore la protection contre la rouille blanche (couche d'oxyde sur un zingage). Cette dernière agit également en tant que pellicule lubrifiante afin de minimiser des dégâts ultérieurs liés à l'abrasion, et facilite le triage et contribue aux opérations de vernissage et d'impression ultérieure.

2.9.6 Activités de conversion de couche

Afin de prémunir une surface contre des dégâts et des altérations occasionnés en cours de stockage et de transport, comme la rouille blanche (corrosion du zinc) provoquée par la condensation d'eau lorsque l'aération est insuffisante, la couche déposée peut être ultérieurement phosphatée (voir section 2.5.16), passivée à l'aide d'un traitement de chromatation (voir section 2.5.17) et/ou huilée avant d'être réenroulée (voir section 2.9.5). Ces couches améliorent également de manière significative les propriétés de traitement, au cours de ces traitements et pour des traitements ultérieurs, tel que le peinturage ou l'emboutissage profond.

2.9.7 Activités post-traitement

2.9.7.1 Séchage

La bande est séchée au moyen de dispositifs de séchage à air chaud. La température de l'air chaud dépend de l'étape de traitement. Le dispositif de séchage est généralement situé au niveau de l'extrémité du post-traitement. Ce même type de dispositif est utilisé pour les sections de phosphatation et de chromatation. Voir la section 2.6.2.

Préoccupations environnementales
Rendement énergétique selon le type de dispositif de séchage et l'installation.

2.9.7.2 Déchargement – accumulateur de sortie

L'accumulateur de sortie permet à l'extrémité de bande de rester à l'arrêt dans la section de sortie au cours du découpage d'une bobine dont le traitement est terminé. Il y stocke une longueur de bobine suffisante pour que la bande continue à se déplacer à vitesse constante dans la section de traitement. La construction et le fonctionnement de celui-ci sont les mêmes que pour l'accumulateur d'entrée, la bande circulant dans la direction inverse.

Préoccupations environnementales
La consommation énergétique, qui sera réduite au maximum en maintenant des réglages appropriés et en garantissant que les roulements tournent librement.

2.9.8 Activités de dépôt électrolytique de nickel-zinc ou de zinc continu

Il s'agit du dépôt électrolytique d'une mince couche de zinc pur ou allié sur la surface d'un substrat de bande d'acier.

Sur les chaînes de dépôt électrolytique de zinc en continu, la bande d'acier laminée à froid, recuite et revenue est passée de manière continue au travers d'un prétraitement de dégraissage et de décapage, et ensuite au travers d'une série de cellules électrolytiques contenant un électrolyte de zinc. Elle passe ensuite au travers d'un ou plusieurs post-traitements, soit de conversion de couche comme le chromage ou la phosphatation, soit une étape d'huilage.

La conception des configurations des chaînes de dépôt métallique peut varier. La figure 2.15 montre par exemple une configuration classique d'une chaîne de zinc électrolytique en continu.

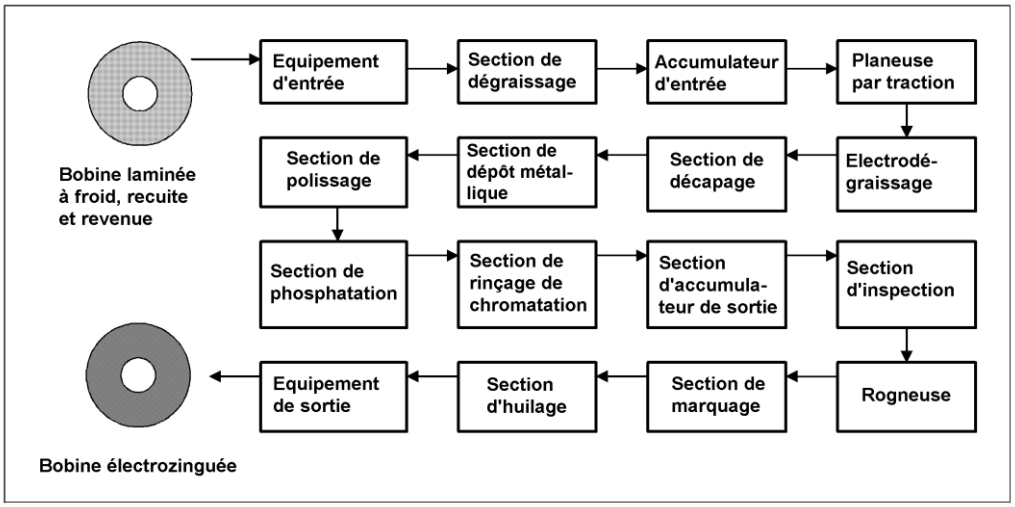


Figure 2.15 : Schéma d'une configuration de chaîne de traitement de zinc électrolytique

2.9.8.1 Equipement d'entrée

Voir la section 2.9.1.

2.9.8.2 Dégraissage

Le dégraissage de la surface de bande d'acier s'effectue au moyen d'une action chimique (agent alcalin) et d'une action mécanique (pulvérisation et brosses).

Le processus de nettoyage implique les étapes suivantes :

- le dégraissage alcalin par immersion ou par pulvérisation. Cette étape peut être couplée à un brossage
- rinçage à l'eau et brossage entre les réservoirs de rinçage intermédiaires
- séchage

Les sections de dégraissage et de rinçage peuvent se dérouler dans des réservoirs horizontaux ou verticaux.

Dégraissage alcalin

Une section de dégraissage horizontale par pulvérisation classique destinée au traitement de bobines huilées comprend trois étapes successives :

- étape 1 : buses de pulvérisation et brosses ;
- étape 2 : buses de pulvérisation ;
- étape 3 : buses de pulvérisation et brosses.

Le dégraissage en cascade à l'avantage de permettre une vitesse de nettoyage élevée en utilisant uniquement une faible quantité de solution de dégraissage. Le dégraissage est réalisé à contre courant du mouvement de la bobine d'acier, ce qui signifie qu'une solution de dégraissage propre est utilisée dans la troisième étape (étape finale), où cette dernière est légèrement contaminée. Cet agent de dégraissage est utilisé pour le nettoyage de la deuxième étape (solution plus contaminée) et finalement dans la première étape de dégraissage (solution la plus contaminée). Les débordements de l'agent de dégraissage entre deux étapes quelconques sont contrôlés au moyen de rouleaux essoreurs.

La section 2.9.3.1 décrit des systèmes de dégraissage chimiques classiques. Dans le revêtement d'une bobine d'acier, l'agent de dégraissage est généralement alcalin et contient du phosphate (une solution non-siliceuse) contenant principalement des hydroxydes de sodium, des orthophosphates et des composés d'agent de surface dans une concentration de 5 à 40 g/l, une température comprise entre 60 et 85 °C et un pH d'environ 13. La solution de dégraissage peut être utilisée en premier lieu dans la section de dégraissage électrolytique et être déplacée ensuite vers l'étape de dégraissage chimique pour remplacer le dégraissage chimique usé.

Préoccupations environnementales
L'utilisation d'un dégraissage en cascade réduit au maximum la quantité de matières premières et d'eau utilisée.

Lorsque la solution de nettoyage a atteint le contenu maximum en huile, elle est régénérée par centrifugeuses.

La solution peut être utilisée en premier lieu dans la section de dégraissage électrolytique.

Les vapeurs générées par le dégraissage et le brossage sont normalement recueillies, épurées et traitées avant d'être libérées.

L'agent de dégraissage usé est envoyé vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être libéré.

Les déchets huileux sont traités en dehors du site.

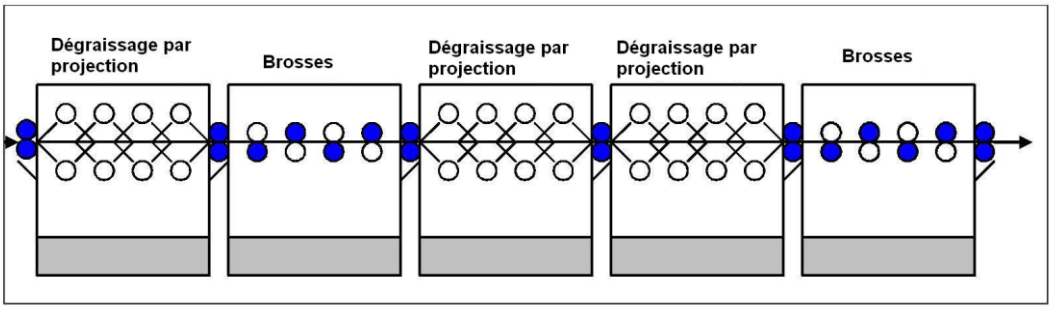


Figure 2.16 : Dégraissage par projection et brossage

Rinçage

Voir la section 2.4. Le dégraissant alcalin est complètement éliminé par rinçage en cascade en trois étapes. Le rinçage en cascade a l'avantage de proposer une vitesse de nettoyage élevée en utilisant uniquement une faible quantité d'eau de rinçage. Le rinçage est réalisé à contre courant du déplacement de la bande d'acier : l'eau propre est utilisée dans la troisième étape dans laquelle la solution est donc contaminée. Cette eau légèrement contaminée est ensuite utilisée pour le nettoyage de la deuxième étape et finalement dans l'étape précédente de rinçage. Les débordements d'eau entre deux étapes sont contrôlés au moyen de rouleaux essoreurs. L'équipement de rinçage comprend les étapes suivantes :

- étape 1 : buses de pulvérisation et brosses ;

- étape 2 : buses de pulvérisation ;
- étape 3 : buses de pulvérisation.

La solution de traitement dans la première étape est de l'eau déminéralisée à une température comprise entre 70 et 85 °C.

Des techniques de contrôle de la qualité sont utilisées pour déterminer le contenu d'huile dans l'eau, ce qui permet d'obtenir la norme de nettoyage requise avec une utilisation minimum d'eau. En cours de traitement, lorsque le contenu d'huile dans l'eau a atteint cette concentration maximum autorisée, l'eau est envoyée vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être évacuée.

Préoccupations environnementales
Le rinçage à contre courant optimise le rendement du traitement et minimise l'utilisation d'eau déminéralisée chauffée.

L'eau usée est traitée afin d'en éliminer l'huile avant qu'elle ne soit évacuée.

Les vapeurs d'eau et/ou les émanations générées au cours du rinçage et du brossage sont recueillies et injectées dans les réservoirs de rinçage.

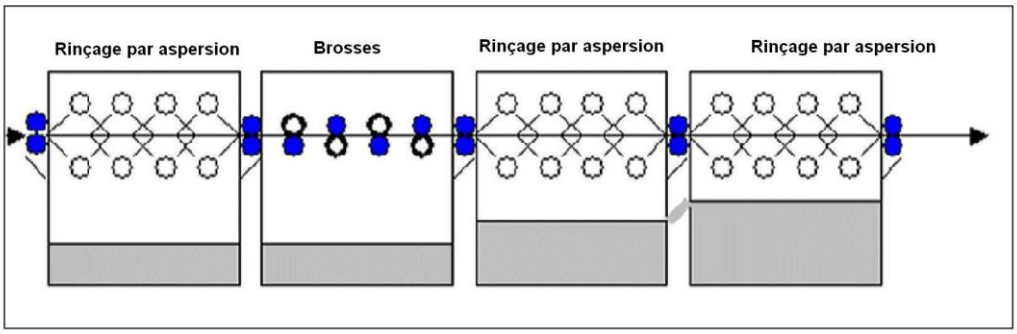


Figure 2.17 : Rinçage par aspersion

2.9.8.3 Séchage

La bande dégraissée est séchée au moyen d'un dispositif de séchage à air chaud. La température de l'air chaud est comprise entre 100 et 120 °C.

Préoccupations environnementales
Rendement énergétique

2.9.8.4 Accumulateur d'entrée et planeuse par traction

Voir la section 2.9.1

2.9.8.5 Dégraissage électrolytique

Le dégraissage final de la surface de la bande d'acier est effectué grâce à l'action conjuguée de produits chimiques (agents alcalins) et de processus mécaniques (pulvérisation et génération de bulles de H_2 et d'O_2 par électrolyse au niveau de la surface de la bande), voir section 2.3.8.

La section de dégraissage électrolytique implique les étapes suivantes, menées dans des cellules :

- dégraissage alcalin à l'aide d'un système électrolytique ;
- rinçage à l'eau, éventuellement couplé avec un brossage.

Le dégraissage et le rinçage peuvent réalisés dans des réservoirs horizontaux ou verticaux.

Le dégraissage électrolytique est effectué par électrolyse de la solution alcaline qui libère du gaz H_2 au niveau de la cathode et du gaz O_2 au niveau de l'anode. La polarité des électrodes est inversée après chaque bobine ou après une période prédéterminée afin d'éviter la polarisation. La perte de solution par entraînement vers l'étape suivante est contrôlée au moyen de rouleaux essoreurs.

La solution de dégraissage est habituellement la même que celle utilisée dans la section de dégraissage. Dès que la solution a atteint un certain niveau d'huile elle est réutilisée dans la section de dégraissage (utilisation en cascade). La température de fonctionnement de la solution est établie entre 60 et 85 °C.

Préoccupations environnementales
La réutilisation de la solution dans la section de dégraissage la plus contaminée est possible.

Les vapeurs alcalines générées dans les cellules de dégraissage électrolytique sont généralement recueillies, épurées et traitées avant d'être libérées afin de maintenir un environnement de travail sain et d'empêcher la corrosion de l'équipement et des substrats.

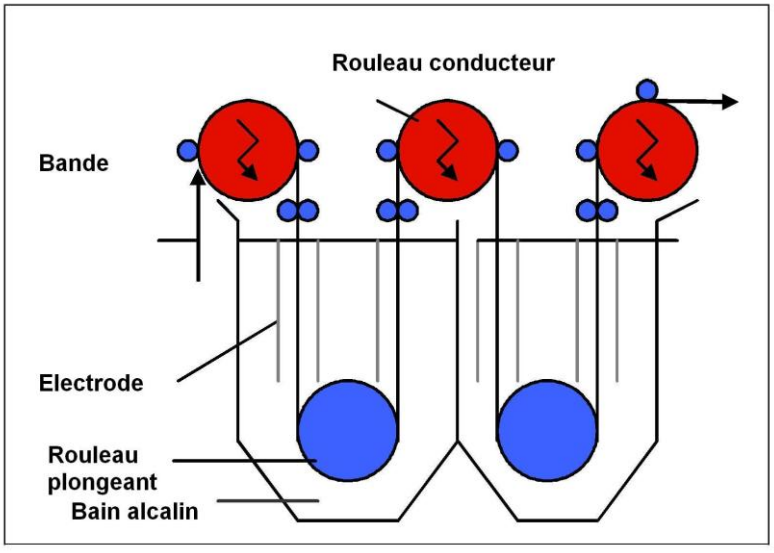


Figure 2.18 : Dégraissage électrolytique

Rinçage

Le rinçage en cascade en deux étapes élimine complètement la solution alcaline. Le rinçage en cascade offre l'avantage de permettre d'atteindre une vitesse de nettoyage élevée en utilisant uniquement une faible quantité d'eau de rinçage. Le rinçage est

réalisé à contre-courant (c'est-à-dire que l'eau s'écoule dans la direction opposée à la bobine). Ceci signifie que de l'eau propre est utilisée dans la dernière étape où celle-ci est par conséquent contaminée. Cette eau légèrement contaminée est utilisée pour le nettoyage de la seconde étape et finalement dans l'étape de rinçage précédente. Les pertes d'eau entre deux étapes sont réduites au moyen de rouleaux essoreurs.
L'équipement de rinçage comporte les étapes suivantes :

- étape 1 : buses de pulvérisation et brosses ;
- étape 2 : buses de pulvérisation.

De l'eau déminéralisée à une température de 70 à 85 °C est utilisée dans la première étape.

Préoccupations environnementales
Utilisation d'un rinçage à contre-courant pour réduire au maximum la consommation d'eau chauffée déminéralisée.

La vapeur d'eau et les émanations alcalines générées au cours du rinçage et du brossage sont généralement recueillies et injectées dans les réservoirs de rinçage.

Lorsque l'eau a atteint la teneur d'huile maximum autorisée en proportion de la qualité de traitement, elle est envoyée vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être libérée.

2.9.8.6 Décapage

Le décapage élimine tous les oxydes formés au cours des diverses étapes de traitement de l'acier et prépare une surface d'acier réactive destinée à la section de dépôt métallique. Pour des informations supplémentaires voir [86, EIPPCB,].

Le décapage en bande peut être effectué par pulvérisation ou par immersion avec ou sans électrolyse. La section de décapage classique comporte les étapes suivantes :

- étape 1 : décapage ;
- étape 2 : rinçage.

Décapage par pulvérisation
Deux types de solutions de décapage peuvent être utilisés :

- de l'acide sulfurique atteignant une concentration de 10 à 60 g/l dans une plage de température s'échelonnant de 25 à 60 °C ;
- de l'acide chlorhydrique atteignant une concentration de 100 à 150 g/l dans une plage de température s'échelonnant de 20 à 40 °C.

La concentration en acide et la température dépendent toutes deux de la durée de décapage disponible (qui est fonction de la longueur en contact et de la vitesse de bande maximum).

Préoccupations environnementales
Les vapeurs générées lors du décapage sont généralement recueillies et épurées avant d'être libérées. Sur certaines chaînes, l'eau contaminée provenant de l'épurateur est traitée avec les émanations provenant des cellules de dépôt électrolytique dans un évaporateur. Le concentré et l'eau évaporée sont tous deux renvoyés vers la solution de traitement.

La solution de décapage usée est envoyée vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être libérée.

Rinçage par aspersion
Le même système que pour le dégraissage est utilisé (voir section 2.9.8.5).

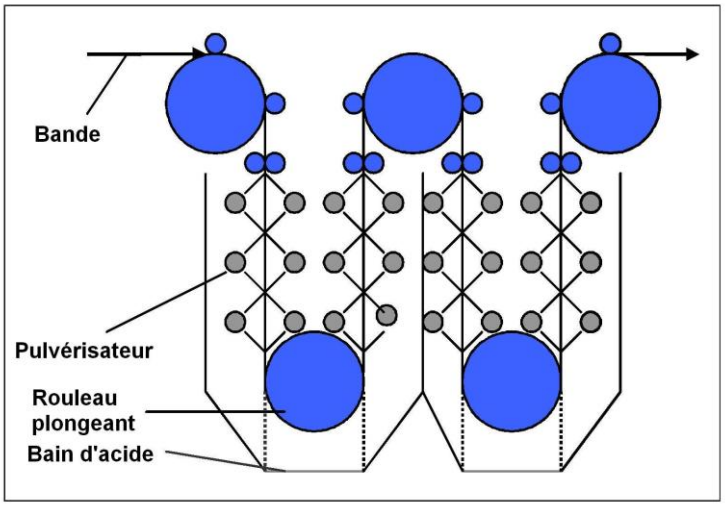


Figure 2.19 : Section de décapage

2.9.8.7 Dépôt électrolytique

Dans cette section , des dépôts minces de zinc pur ou allié sont déposés électrolytiquement sur la surface d'un substrat d'acier en bande. Une section de revêtement métallique classique comporte les étapes suivantes :

- étape 1 : dépôt métallique au travers de plusieurs cellules électrolytiques ;
- étape 2 : rinçage.

Dans la section 2.9.4 le traitement est examiné et les types de cellules électrolytiques sont décrits. La densité de courant pour diverses épaisseurs de zinc et d'alliage de zinc et les secteurs dans lesquels ils sont utilisés sont présentés dans le tableau 2.1.

Types de bains électrolytiques
Les bains électrolytiques sur des chaînes de zingage électrolytique en continu sont principalement à base acide. Les électrolytes à base alcaline ne sont plus utilisés actuellement. Les électrolytes peuvent être à base de sulfate ou à base de chlorure. Les bains à base de sulfate sont utilisés dans des traitements à anode soluble et insoluble. Les bains à base de chlorure sont uniquement utilisés avec des anodes solubles car du gaz chlore est généré avec les anodes insolubles. Dans les deux types de bains, des ajouts ioniques sont réalisés pour accroître la conductivité du bain électrolytique (par exemple, du sulfate de sodium, du sulfate d'aluminium, du chlorure de sodium). Des ajouts de tampon sont réalisés pour stabiliser le pH (par exemple, du CH_3COONa).
Un bain électrolytique à base sulfurique est composé de :

- zinc 70 à 120 g/l
- H_2SO_4 libre 3 à 25 g/l
- Na_2SO_4 0 à 100 g/l
- pH 1,0 à 3,0 unités de pH

Types d'anodes
Celles-ci sont décrites de manière générale au début du chapitre 2. Pour ce traitement :

- anodes solubles : les anodes de zinc sont fixées sur un rail de support et, lorsqu'elles sont consommées au cours du traitement, elles sont déplacées du rail d'entrée vers le rail de sortie ;
- anodes insolubles : deux matériaux sont utilisés pour la plaque d'anode : un substrat de plaque en titane couvert d'une couche mince d'oxydes de tantale ou d'oxydes d'iridium et une plaque de plomb alliée à du Sn ou de l'Ag et de L'In.

Etape de rinçage
La bobine est ensuite rincée pour éliminer entièrement l'électrolyte de la surface de la bande. De même, dans certains cas, lorsque la bobine est enduite uniquement d'un côté, le rinçage peut être utilisé pour décaper les résidus de zinc sur le côté non enduit. Le rinçage peut être effectué par immersion ou par pulvérisation en cascade, et dans des réservoirs horizontaux ou verticaux en fonction de la surface disponible. Les mêmes principes de cascade décrits dans la section concernant le dégraissage sont appliqués ici, voir section 2.9.3.1.

De l'eau déminéralisée ou de l'eau douce à une température comprise entre 20 à 50 °C et un pH de 0,3 à 3 (entre autres paramètres de contrôle) est utilisée.

Lorsque l'eau atteint la teneur de polluant maximum autorisée (électrolyte) déterminée par les contrôles qualité, elle est envoyée vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être évacuée. Sur certaines chaînes, l'eau contaminée est traitée dans un évaporateur. L'eau évaporée peut être réutilisée pour le rinçage et le concentré peut être réutilisé dans l'électrolyte de traitement.

Préoccupations environnementales
Le rinçage en cascade à contre courant permet de maximiser le rendement de rinçage et de minimiser l'utilisation d'eau chaude déminéralisée.

Réutiliser des productions d'eau distillée dans les évaporateurs.

2.9.8.8 Polisseuse de bande

La polisseuse de bande est utilisée pour nettoyer le côté non enduit de la bande ternie/oxydée et afin d'en éliminer toute particule de revêtement isolée qui aurait pu être déposée. Lors de la production d'un matériau enduit sur un seul côté, certaines chaînes de production n'ont pas recours à la technologie du polissage.

Une section de polissage classique comporte les étapes suivantes :

- étape 1 : polissage ;
- étape 2 : rinçage ;
- étape 3 : séchage.

Polissage
Des brosses sont utilisées pour polir la surface laminée à froid du côté non enduit. De l'eau déminéralisée est utilisée. Les particules métalliques contenues dans les eaux usées sont filtrées.

Préoccupations environnementales
Les eaux usées sont envoyées vers des installations de traitement des eaux résiduaires afin d'être libérées.

Rinçage
La bande passe par une étape de rinçage à l'eau chaude destinée à en éliminer des débris quelconques avant d'être séchée. Le rinçage peut être effectué par immersion ou par pulvérisation en cascade, dans des réservoirs horizontaux ou verticaux en fonction de la surface disponible. Les mêmes principes que ceux décrits pour la section de dégraissage sont appliqués. Voir la section 2.9.8.2.

Préoccupations environnementales
Les eaux usées sont envoyées vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être libérées.

Séchage
La bande polie est séchée au moyen d'un dispositif de séchage à air chaud. La température de l'air chaud se situe entre 100 et 120 °C. Le dispositif de séchage est généralement situé au niveau de l'extrémité du post-traitement ; le même type de dispositif est utilisé pour les sections de phosphatation et de chromatation. Voir la section 2.6.

Préoccupations environnementales
Rendement et pertes thermiques.

2.9.8.9 Phosphatation

Ce procédé permet de former un léger revêtement de phosphate de qualité élevée grâce à la structure chimique de l'hopéite, matériau largement utilisé dans le secteur automobile et pour les appareils ménagers. La phosphatation permet d'améliorer les performances de la bande zinguée pour ce qui est de son aptitude à l'étirage, sa résistance à la corrosion et son à aptitude ultérieure à être peinte. Voir la section 2.5.16.

La bande est traitée après le zingage par l'utilisation d'un banc de pulvérisation dans un traitement comportant deux étapes :

- étape 1 : activation ;
- étape 2 : phosphatation.

Activation
La première étape est constituée par la pulvérisation d'un affineur au titane, qui engendre des sites d'activation pour la seconde étape de revêtement du phosphate. La solution d'activation circule en boucle fermée. Le pH se situe dans une plage de 8 à 10, et la température est maintenue au-dessous de 40 °C. La solution épuisée (usée, ne répondant plus aux spécifications) est traitée dans la section de traitement des eaux résiduaires.

Phosphatation
Les revêtements de phosphate sont décrits dans la section 2.5.16. Une couche de phosphate d'approximativement 1 à 1,8 g/m^2 est appliquée. Le système de phosphatation utilisé peut soit être unique ou tricationique, en fonction des exigences du client. Le cristal d'hopéite $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$ incorpore approximativement 1 % de Ni et 5 % de Mn.

Un affineur est ajouté afin de garantir que les cristaux de phosphate déposés restent de petite taille, uniformes et serrés, ce qui permet d'améliorer les performances du revêtement.

A la suite de la phosphatation, la bande est rincée sous pulvérisation d'une solution de chromatation diluée pour former un colmatage de chromatation. Le colmatage améliore en outre les performances anti-corrosion du revêtement de phosphatation. La bande est ensuite séchée.

La solution de phosphate circule en boucle fermée à une température inférieure à 40 °C.

Préoccupations environnementales
Voir la section 2.5.16.

La solution épuisée est traitée dans la section de traitement des eaux résiduaires.

Les effluents peuvent contenir des traces de nickel et de manganèse.

2.9.8.10 Chromage total et rinçage de chromatation

Ces processus sont décrits dans la section 2.5.17. Une section de chromage classique comporte les étapes suivantes :

- étape 1 : chromage ;
- étape 2 : rinçage ;
- étape 3 : séchage.

Chromage
Le chromage total ou rinçage de chromatation de la bande après zingage est obtenu par l'utilisation de bancs de pulvérisation. Le rinçage de chromatation ou passivation est un traitement de pulvérisation à l'aide de solvants contenant des acides chromiques. Un revêtement de 10 à 35 mg/m^2 par côté est appliqué. En cours de passivation, du Cr(VI) est en grande partie converti en Cr(III). La bande est traitée à l'aide de solutions comportant entre 0,5 et 2 % de chrome et à une température inférieure à 40 °C. La solution de chromatation circule en boucle fermée.

Préoccupations environnementales
Des problèmes sanitaires et environnementaux généraux concernant la passivation du chrome sont décrits dans les sections 1.4.4.1 et 2.5.17.

La solution épuisée (usée, ne répondant plus aux spécifications) peut être traitée dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques ou éliminée en tant que déchet dangereux.

Rinçage
Le rinçage peut être effectué par pulvérisation en cascade dans des réservoirs horizontaux. Les mêmes principes que ceux décrits pour la section de dégraissage sont appliqués. Voir la section 2.9.8.2

Préoccupations environnementales
Les eaux usées sont envoyées vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être libérées.

Séchage
La bande de rinçage de chromatation est séchée au moyen d'un dispositif de séchage à air chaud. La température de l'air chaud se situe entre 100 et 120 °C, température nécessaire pour la mis en œuvre de la réaction chimique du Cr(VI) en excès avec les additifs de la solution pour qu'ils deviennent du Cr(III).

Préoccupations environnementales
Rendement et pertes thermiques

Section de traitement contre les marques de doigt.
Cette section offre un revêtement de chromatation destiné à améliorer la protection contre la corrosion à la rouille blanche. Ce revêtement offre l'avantage de ne pas être marqué par les empreintes digitales, ce qui est pour certains clients un aspect crucial.

Une section de chromage classique comporte les étapes suivantes :

- étape 1 : revêtement. Le chromage est appliqué par le biais d'un système conducteur sur rouleau, identique à celui utilisé sur des chaînes de peinture ;
- étape 2 : séchage. Le revêtement humide passe au travers d'une étuve à air afin d'être séché.

Préoccupations environnementales
Le revêtement est séché sur place sans rinçage. Ainsi, aucun effluent n'est créé.

Un examen du four peut être nécessaire pour contrôler son rendement et les pertes thermiques.

2.9.8.11 Huilage

Une pellicule humide d'huile est appliquée à la surface de la bande, voir section 2.9.5. Le revêtement d'huile se situe entre 0,25 et 3 g/m^2 par côté, il est appliqué à l'aide d'un huileur électrostatique, l'huile circulant en boucle fermée.

2.9.8.12 Accumulateur de sortie

Voir la section 2.9.7.2.

2.9.9 Activité d'étamage électrolytique en continu

L'acier doux à faible teneur en carbone peut être enduit d'étain dont les épaisseurs sur chaque côté sont égales ou différentes, la gamme des épaisseurs étant étendue.

Sur une chaîne d'étamage électrolytique en continu, la bande de tôle noire passe au travers de prétraitements de nettoyage et de décapage, et ensuite au travers d'une série de réservoirs contenant un électrolyte d'étain. Ce traitement électrolytique dépose une légère couche d'étain pur sur la bande qui peut être refusionnée ultérieurement et qui est ensuite passivée et huilée avant d'être réenroulée.

Les configurations des installations varient selon la conception. Certaines chaînes modernes incorporent désormais une unité de rogneuse avant un prétraitement. La figure 2.20 représente une configuration classique d'une chaîne d'étamage en continu.

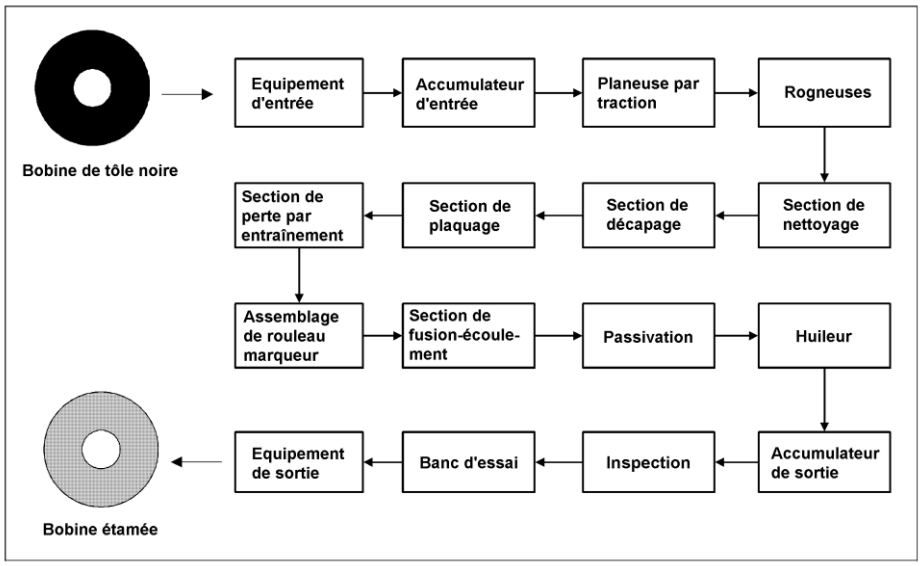


Figure 2.20 : Configuration schématique d'une chaîne d'étamage

2.9.9.1 Dégraissage et nettoyage

Comme pour d'autres traitements de surface, l'étamage nécessite une préparation appropriée du substrat car un état médiocre de la surface peut entraîner une mauvaise adhésion de l'étain, voire un démouillage au cours de l'opération de refusion. Voir les sections 2.3 et 2.9.3.1. Les solutions de nettoyage sont généralement des mélanges propriétaires de polyphosphate, d'hydroxyde de sodium et d'agents mouillants. L'action chimique du bain est accrue par le traitement électrolytique. La gamme des concentrations de 7 à 50 g/l et la solution sont exploitées à une température d'environ 90 °C en général maintenue par la mise en circulation de la solution au travers d'un réservoir de stockage chauffé. Les ajouts d'eau et d'un composé de nettoyant sont réalisés lorsque cela est nécessaire. La figure 2.21 représente une section de nettoyage classique dotée d'une étape de rinçage.

La bande est polarisée en utilisant l'une des deux méthodes suivantes :

- directement – lorsque la bande passe sur un rouleau conducteur, et qu'elle circule ensuite entre deux paires d'électrodes d'acier doux. Le courant passe du rouleau conducteur vers les électrodes par le biais de la bande et de l'électrolyte ;
- indirectement – grâce à des grilles-électrodes lorsque la bande d'acier circule entre deux paires de plaques d'acier doux qui forment deux électrodes de polarité opposée. Le courant passe d'une paire d'électrodes vers l'autre paire d'électrodes par le biais de l'électrolyte et de la bande.

Rinçage

Le rinçage est aussi complet que possible pour éviter la contamination de la liqueur de prétraitement décapante par la solution de nettoyage. Il est effectué par la pulvérisation d'eau chaude, à un débit compris entre 150 et 400 l/min, en général.

Préoccupations environnementales

Des vapeurs alcalines générées au cours du nettoyage sont généralement recueillies et épurées avant d'être libérées.

Le décapant épuisé et les eaux résiduaires provenant du rinçage peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques.

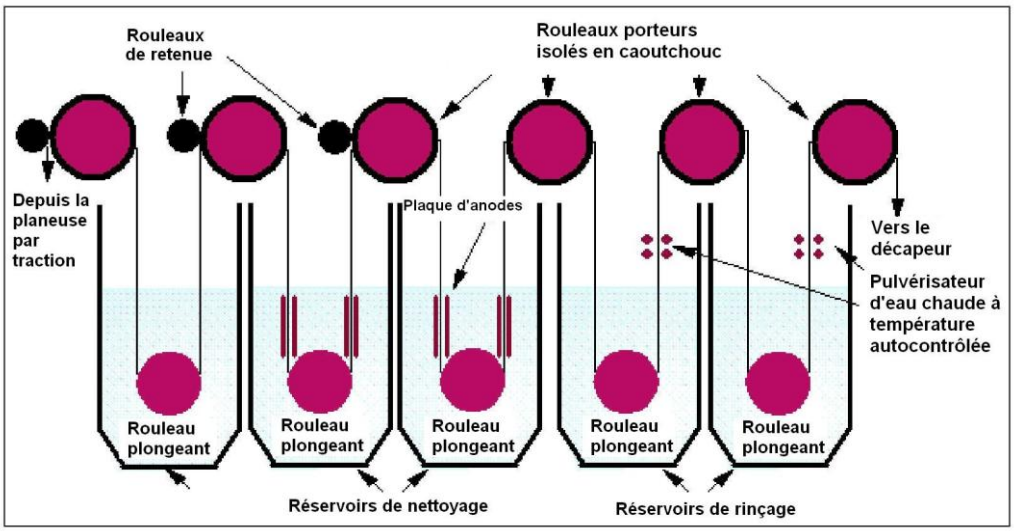


Figure 2.21 : Schéma d'une section de nettoyage

2.9.9.2 Décapage

Voir la section 2.9.3.2. Des anodes de plomb sont utilisées car la concentration maximum de l'électrolyte d'acide sulfurique est de 50 g/l. L'acide n'est pas chauffé volontairement, mais le courant de traitement induit une température d'équilibre de 25 à 40 °C, en fonction des conditions de fonctionnement.

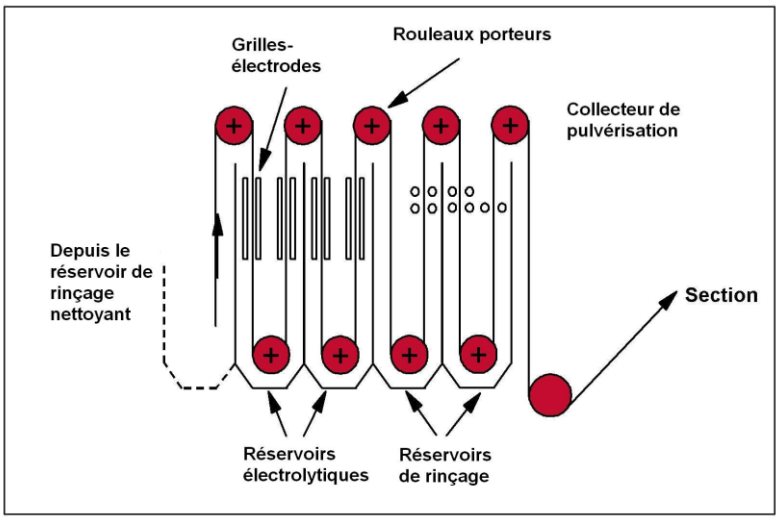


Figure 2.22 : Schéma d'une section de décapeur

Préoccupations environnementales

Les vapeurs d'acide générées au cours du décapage sont généralement recueillies et épurées avant d'être évacuées. Les acides épuisés et les eaux résiduaires de rinçage sont envoyés vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être évacués.

2.9.9.3 Etamage

Deux processus d'étamage sont couramment utilisés :

- le procédé « Du Pont », qui représente 20 % de la production d'étamage mondiale. Il permet d'accepter des densités de courant élevées. Cependant, la composition de l'électrolyte est complexe, avec des teneurs en chlorure et en fluorure élevées qui le rendent agressif au matériau composant l'installation ;
- le procédé « Ferrostan » est le plus largement utilisé, il représente entre 75 et 80 % de la production mondiale d'étamage en raison de l'utilisation de produits chimiques moins dangereux et corrosifs.

Les autres électrolytes sont faits à partir de sulfate d'étain, de fluoroborate d'étain ou méthylsulfonate d'étain [113, Autriche, 2003].

La section de dépôt d'une chaîne d'étamage est constituée de plusieurs réservoirs verticaux d'acier caoutchouté agencés en tandem. Chaque réservoir contient un rouleau plongeant d'entraînement en caoutchouc au niveau de sa base et deux rouleaux conducteurs de cuivre chromés au-dessus de la surface de l'électrolyte. Le courant est transféré du rouleau vers la bande de sorte que la bande devient cathodique. Les anodes d'étain soluble sont suspendues à des entretoises au-dessus des cuves dans l'électrolyte de dépôt. Les anodes sont coulées à partir d'étain électroraffiné, qui est généralement pur à plus de 99,85 %.

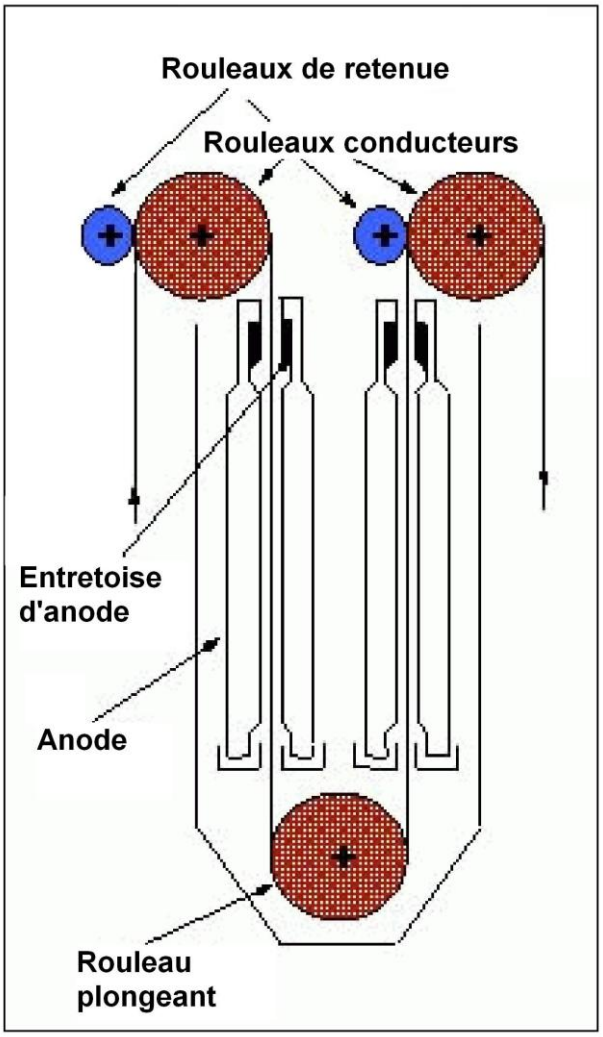


Figure 2.23 : Schéma d'un réservoir de dépôt – cellule verticale

L'électrolyte de dépôt est constitué de sulfate stanneux, d'acide phénolsulfonique (PSA) et d'un agent organique d'ajout. Le sulfate stanneux offre une source initiale d'ions d'étain en solutio, le PSA rend la solution extrêmement conductrice et l'agent d'ajout d'acide sulfonique alpha-naphtol éthoxylé (ENSA) contribue à un dépôt uniforme et cohérent de l'étain. Cela est essentiel afin de rendre la plaque brillante après la dernière étape de fusion-écoulement.

Composition et températures classiques de l'électrolyte d'étain garantissant de bonnes conditions de dépôt :

- étain stanneux 25 à 45 g/l ;
- acide phénolsulfonique (PSA) 20 à 27 g/l ;
- ENSA 1,5 à 6,0 g/l ;
- températures : 30 à 55 °C.

L'électrolyte de dépôt est mis en circulation au travers d'échangeurs thermiques, la vitesse de circulation étant suffisamment élevée pour maintenir une température de dépôt constante pour tous les points enduits.

2.9.9.4 Pertes par entraînement

Après le dépôt, la bande subit une série d'opérations de rinçage et de pertes par entraînement.

Au niveau du réservoir de pertes par entraînement, l'électrolyte est rincé par pulvérisation à l'aide d'une solution de dilution de PSA et d'un composé d'étain, et il est ensuite renvoyé vers le réservoir de mise en circulation d'électrolyte. Ce réservoir est raccordé à un évaporateur et l'électrolyte dilué est concentré par évaporation et remis ensuite en circulation vers le réservoir de dépôt.

Le rouleau essoreur de sortie sur le réservoir de récupération des pertes par entraînement laisse la quantité optimum d'électrolyte sur la bande requis pour le « fluxage » du revêtement d'étain au cours de la fusion. Il est uniquement nécessaire de sécher la pellicule avant que la bande entre dans l'unité de fusion-écoulement ou de brillantage, ce qui est réalisé par le passage de la bande sous une série de jets d'air chaud.

Sur des chaînes à vitesse élevée, une seconde unité de récupération des pertes par entraînement est prévue afin d'accroître le rapport de dilution. Ceci signifie qu'un rapport de récupération de plus de 90 % de l'électrolyte de pertes par entraînement est obtenu.

Préoccupations environnementales
La solution de dépôt perdue par entraînement peut être concentrée et renvoyée vers le traitement de dépôt.

Les vapeurs d'acide générées au cours du dépôt et des pertes par entraînement peuvent être recueillies par une unité d'extraction et sont généralement épurées avant d'être évacuées.

2.9.9.5 Marquage différentiel.

Des revêtements différentiels sont obtenus par le marquage d'un côté de la bande à l'aide généralement d'une solution de bichromate de sodium. Une marque est imprimée sur la bande sous la forme de diamants, de cercles, ou, plus fréquemment, de lignes. La solution sèche sur la bande et après fusion laissera une finition terne, sans lustre dans les zones qui ont été en contact avec la machine à imprimer.

Préoccupations environnementales
Comme pour les revêtements de chrome, voir section 2.9.8.10.

2.9.9.6 Refusion – brillantage de l'étain

Le revêtement d'étain déposé sur la bande a une apparence mate et terne. La refusion ou fusion d'écoulement est le traitement utilisé afin de donner une finition brillante lustrée. La bande est chauffée jusqu'à plus de 232 °C (point de fusion de l'étain) et rapidement refroidie pour solidifier le revêtement. La fusion est obtenue grâce au chauffage d'une résistance (l'application d'une tension entre deux rouleaux conducteurs supportant la bande) et complétée par le chauffage par induction (qui représente 20 % de la consommation totale d'énergie).

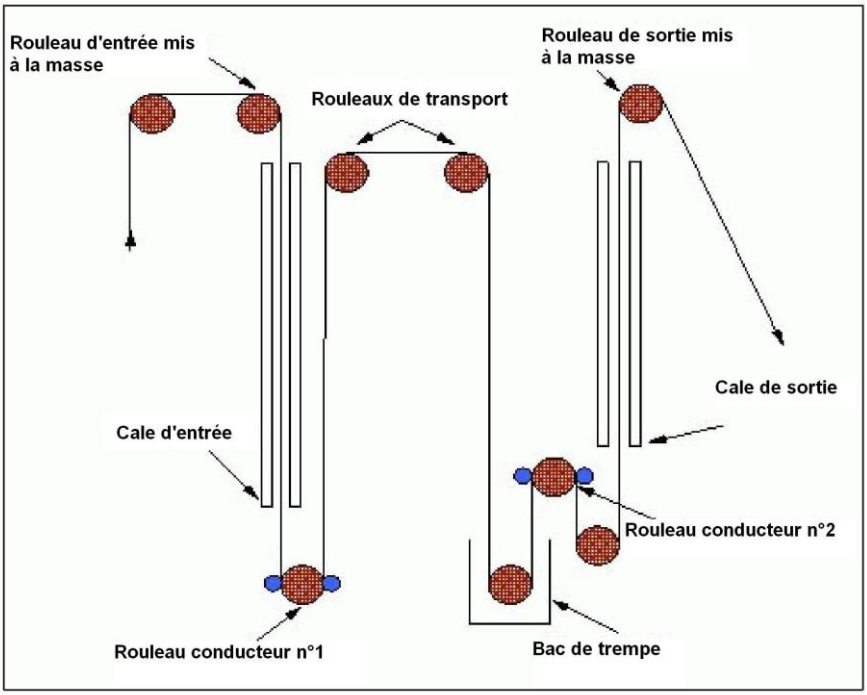


Figure 2.24 : Schéma d'une section de fusion d'écoulement

Le mélange du chauffage à résistance et par induction permet d'obtenir plus facilement des conditions de fusion stables et d'éviter certains défauts de revêtement cosmétiques.

Préoccupations environnementales
Rendement énergétique et pertes énergétiques.

2.9.9.7 Traitements de passivation

La passivation est effectuée grâce à un traitement de chromatation, voir section 2.5.17, afin de réduire l'épaisseur des oxydes d'étain formés au cours de la refusion. Le traitement électrolytique produit une couche contenant du chrome qui empêche l'oxydation ultérieure à l'air et améliore également l'adhérence de la couche de peinture.

L'opération est réalisée dans une solution de bichromate de sodium.

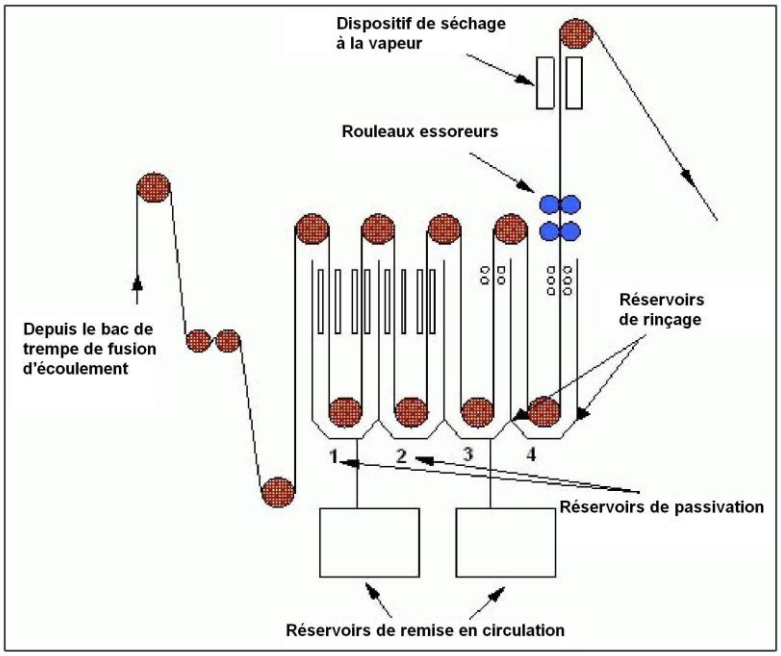


Figure 2.25 : Schéma d'un traitement de passivation

Préoccupations environnementales

Les problèmes sanitaires et environnementaux généraux liés à la passivation au chrome sont décrits dans les sections 1.4.4.1 et 2.5.17.

La solution épuisée (usée, ne correspondant plus aux spécifications) peut être traitée dans une installation de traitement de eaux résiduaires classique ou éliminée en tant que déchet dangereux.

2.9.9.8 Huilage

Avant de réenrouler la bobine traitée, une mince pellicule de lubrifiant est appliquée sur la surface étamée. Cette pellicule minimise les dégâts ultérieurs engendrés par abrasion, facilite le triage et contribue aux opérations de vernissage et d'impression ultérieure.

On utilise au choix du sébaçate de dioctyle (DOS) ou de l'acétylcitrate de tributyle (ATBC). L'huile peut être ajoutée selon deux méthodes :

- de manière électrostatique, lorsqu'un brouillard d'huile chargé négativement est entraîné à distance de plaques repoussantes de charge similaire sur la surface de la bande ;
- grâce à une émulsion d'huile, où une pellicule d'huile mince et uniforme est appliquée en noyant la surface de fer blanc dans une émulsion diluée d'huile dans l'eau.

Les niveaux totaux d'huile sur la bande s'échelonnent généralement de 6,0 à 12,0 mg/m^2.

2.9.10 Activités de chromage électrolytique en continu (chromage électrolytique de l'acier – ECCS)

Ce produit est également sous le nom de tôle sans étain. Il s'agit d'un acier doux à faible teneur en carbone, enduit de manière égale des deux côtés et doté d'une couche complexe de chrome métallique et d'hydroxydes de chrome. Les traitements sont décrits de manière générale dans la section 2.5.3, ainsi que les problèmes sanitaires et environnementaux qui en résultent. La figure 2.26 représente une configuration de chaîne de traitement classique et la figure 2.27 est une coupe transversale d'une chaîne. Le chromage de la bande d'acier est réalisé par électrolyse dans un bain d'acide chromique. Le revêtement est appliqué de manière égale des deux côtés en tant que couche complexe de métal de chrome et d'oxydes de chrome. Le traitement global est similaire au traitement de l'étamage électrolytique – la bande d'acier passe au travers de la section d'entrée de la chaîne, est nettoyée, décapée, et est ensuite traitée par électrolyse dans une solution contenant de l'acide chromique, elle est entièrement rincée, séchée, huilée et ensuite réenroulée.

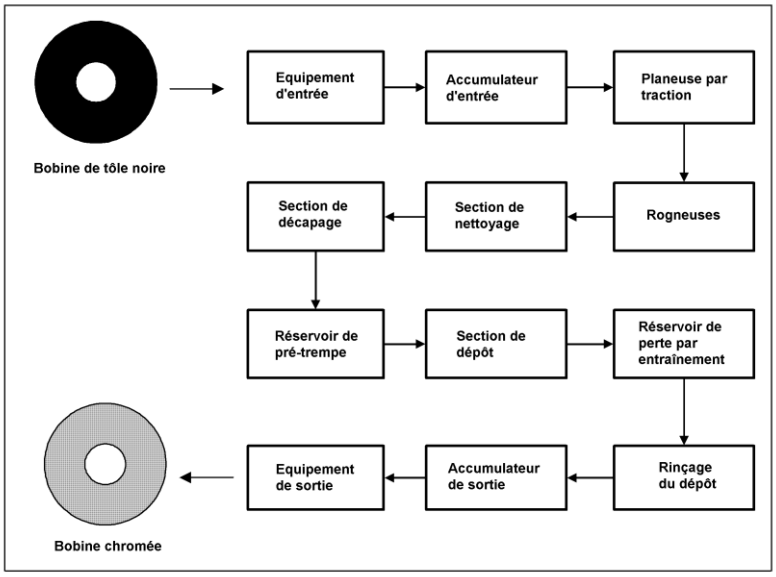


Figure 2.26 : Configuration d'une chaîne de chromage

2.9.10.1 Dégraissage et nettoyage

Le nettoyage est réalisé par électrolyse dans un bain alcalin (voir section 2.3.8) et on utilise généralement de l'hydroxyde de sodium à des niveaux de concentration de 50 à 90 g/l. Des agents mouillants et des agents chélatants sont également ajoutés à l'agent nettoyant pour améliorer les performances de nettoyage.

- hydroxyde de sodium 60 à 65 % ;
- phosphate de sodium 30 à 35 % ;
- agent mouillant 0 à 2 % ;
- agent chélatant 2 à 5 %.

Electrodes

Les électrodes sont composées de plaques d'acier doux. La polarité de la bande peut être au choix anodique, cathodique ou une combinaison quelconque des deux. La bande est polarisée soit :

- directement : la bande passe sur le rouleau conducteur, puis circule entre deux paires d'électrodes d'acier doux. Le courant passe du rouleau conducteur par le biais de la bande et de l'électrolyte vers les électrodes ;
- indirectement, à l'aide de grilles-électrodes lorsque la bande d'acier progresse entre deux paires de plaques d'acier doux qui forment deux électrodes de polarité opposée. Le courant passe d'une paire d'électrodes par le biais de l'électrolyte et de la bande jusqu'à l'autre paire d'électrodes.

Voir la figure 2.18 : Dégraissage électrolytique

La température de la solution nettoyante est maintenue constante par la mise en circulation de la solution entre le réservoir de nettoyage et le réservoir de stockage doté d'une résistance chauffante à vapeur.

Rinçage
Celui-ci est effectué de manière minutieuse afin d'éviter la contamination de la liqueur décapante de prétraitement par la solution nettoyante. Il est effectué par pulvérisation d'eau chauffée à un débit compris entre 150 et 400 l/min.

Préoccupations environnementales
Des vapeurs alcalines générées au cours du nettoyage sont généralement recueillies et purifiées avant d'être libérées.

L'agent décapant épuisé et les eaux résiduaires provenant du rinçage sont ensuite envoyés vers des installations de traitement des eaux résiduaires avant d'être évacués.

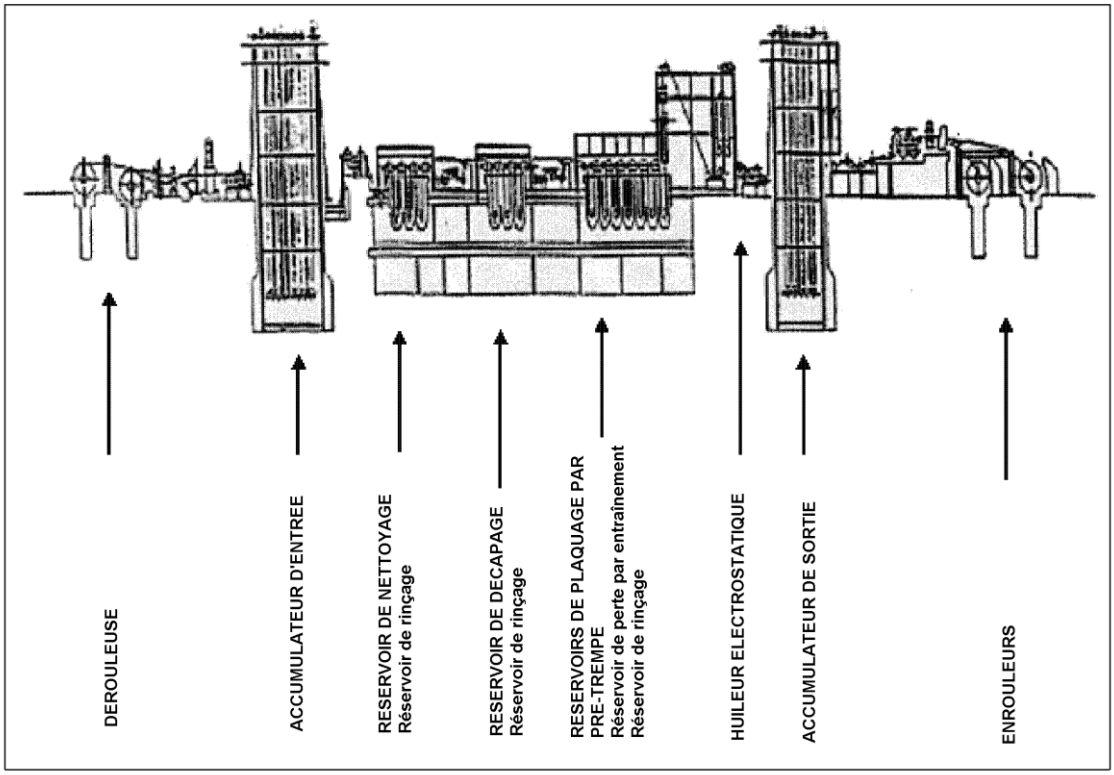


Figure 2.27 : Agencement classique d'une chaîne de traitement ECCS

2.9.10.2 Décapage

L'acide sulfurique est utilisé dans la solution de décapage à des niveaux de concentration de 60 à 115 g/l et à température ambiante. Voir les sections 2.3 et 2.9.3.2.

Préoccupations environnementales
Les vapeurs d'acide générées au cours du décapage sont généralement recueillies et purifiées avant d'être libérées.

Les agents décapants épuisés et les eaux résiduaires provenant du rinçage sont envoyés vers des installations de traitement d'eau résiduaires avant d'être évacués.

2.9.10.3 Chromage

Voir la section 2.5.3 pour la description générale du chromage et les préoccupations environnementales et sanitaires.

Pré-trempe
Avant d'effectuer le chromage, la bande passe au travers d'un réservoir de pré-trempe. Cette opération est cruciale dans la préparation de la surface de la bande pour le dépôt électrolytique et empêche des taches et autres défauts de surface de se former à la surface de la bande. Elle est effectuée dans une solution d'acide sulfurique de 0,3 à 0,5 g/l à température ambiante.

Dépôt électrolytique
La bande passe au travers d'un électrolyte contenant des ions Cr(VI), qui sont réduits par la cathode sur la surface de la bande pour former une couche mixte d'oxyde de chrome hydratée et de chrome métallique. L'application de courant est déterminée en fonction de la largeur de la bande, de la vitesse de la chaîne, du rendement en courant et du poids de la pellicule visé et il circule des électrodes insolubles vers la bande au travers de l'électrolyte, puis retourne vers le redresseur au travers des rouleaux conducteurs.

La solution de revêtement métallique est pompée depuis un réservoir de mise en circulation, elle passe ensuite au travers d'un échangeur thermique et parvient jusqu'au fond des réservoirs de dépôt, qui contiennent des anodes inertes de plomb-antimoine. La solution déborde de la partie haute du réservoir et est ensuite renvoyée vers le réservoir de mise en circulation.

Un électrolyte de dépôt classique comporte :

- de l'acide chromique 110 à 130 g/l ;
- de l'acide hydrofluoroborique (HBF_4) 0,30 à 0,44 g/l ;
- de l'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,60 à 0,80 g/l.

Les acides hydrofluoroborique et sulfurique agissent tous deux comme des catalyseurs : ils améliorent le rendement du traitement de dépôt métallique mais ne sont pas eux-mêmes consommés au cours du traitement. Aux Etats-Unis, les solutions sont plus fréquemment du Cr/acide sulfurique uniquement [73, BSTSA,]. La température peut avoir un effet marqué sur le rendement de l'électrolyte : la solution est bien plus efficace à des températures plus basses. Cependant, étant donné que l'électrolyte est chauffé par le courant électrique passant au travers de cette dernière, la température doit être

maintenue constante par l'échangeur thermique qui refroidit la solution. En fonctionnement, la température optimale de l'électrolyte est de 58 °C +/- 2 °C.

Préoccupations environnementales
Les problèmes sanitaires et environnementaux sont décrits de manière générale dans la section 2.5.3.

Les vapeurs d'acide sont généralement recueillies et épurées avant d'être évacuées. Les solutions d'épuration peuvent nécessiter un traitement avant d'être évacuées.

2.9.10.4 Pertes par entraînement et rinçage

Au niveau du réservoir de pertes par entraînement, l'électrolyte est rincé par pulvérisation et l'éluat est renvoyé vers le réservoir de mise en circulation de l'électrolyte. Ce dernier est raccordé à un évaporateur dans lequel l'électrolyte est concentré et renvoyé vers le réservoir de traitement. La quantité de rinçage pulvérisée au niveau du réservoir de récupération des pertes par entraînement et la capacité de l'évaporateur sont déterminées par la concentration en acide chromique dans l'effluent.

La bande traitée à l'acide chromique doit être entièrement rincée à l'eau avant d'être séchée, huilée et réenroulée. La bande est pulvérisée à l'eau chaude au niveau des extrémités d'entrée et de sortie du réservoir de rinçage pour éliminer tout reste d'électrolyte ou de constituant soluble dans l'eau du film d'oxyde. La pulvérisation est effectuée à une température de 50 à 60 °C avec un débit d'environ 5 000 à 10 000 l/h. La vaporisation à des températures et des pressions plus élevées pourrait endommager la pellicule nouvellement formée.

Préoccupations environnementales
Les problèmes sanitaires et environnementaux sont décrits globalement dans la section 2.5.3

Le chrome et d'autres composants de l'électrolyte peuvent être récupérés par rinçage à contre-courant et évaporation des pertes par entraînement.

Les émanations générées au cours du dépôt électrolytique et des pertes par entraînement sont recueillies par une unité d'extraction et généralement épurées avant d'être évacuées.

2.9.10.5 Huilage

Avant d'être réenroulée, une mince pellicule de lubrifiant est appliquée sur la surface chromée. Cette pellicule de lubrifiant a pour fonction de minimiser des dégâts ultérieurs engendrés par abrasion, de faciliter le triage et de contribuer aux opérations de vernissage et d'impression. On utilise au choix du sébaçate de dioctyle (DOS) ou de l'acétylcitrate de tributyle (ATBC) pur. L'huile est généralement appliquée par huileur électrostatique. Voir la section 2.9.9.8.

Le point visé de la pellicule d'huile sur la bande est de 3,0 à 7,0 mg/m^2.

2.9.11 Plombage électrolytique de l'acier en continu

L'unique installation fonctionnant en Europe doit fermer en 2005 ou 2006. Aucune information spécifique n'a été échangée. Les informations générales sur les traitements

en bande et sur support analogues peuvent être utilisées pour la majeure partie des activités et des problèmes engendrés par ce type de traitement.

2.10 Traitement en feuille des plaques d'aluminium lithographiques

[118, ESTAL, 2003], [38, Ullmann, 2002/2003] Les substrats destinés aux plaques lithographiques (voir section 1.3.3) doivent être préparés facilement et de manière peu onéreuse, être résistants chimiquement aux solutions acides et alcalines et aux solvants contenus dans les encres ou utilisés lors du nettoyage. Ils doivent également être flexibles pour pouvoir être fixés sur des rouleaux, physiquement robustes et stables pour pouvoir être utilisés dans des cycles d'impression de milliers de copies, dotés d'une microrugosité bien définie et être hydrophiles pour pouvoir retenir et diffuser l'agent. L'aluminium est le substrat de choix car on le prépare facilement grâce aux traitements décrits dans les sections 2.10.1, 2.10.2, 2.10.3 et 2.10.4.

2.10.1 Grenage de surface

Bien que la surface puisse être préparée mécaniquement, il est désormais plus fréquent d'utiliser le grenage électrochimique. La surface d'aluminium brute est d'abord dégraissée (voir section 2.3) et ensuite attaquée uniformément par l'utilisation d'un traitement en CA dans de l'acide nitrique dilué, de l'acide chlorhydrique ou un mélange de ces derniers avec d'autres acides. Ce procédé de grenage est un type de corrosion localisé qui attaque la surface entière de l'aluminium, laissant une surface rugueuse très uniforme. La profondeur des rugosités peut être contrôlée à l'intérieur de limites relativement larges (2,5 à 9 µm) grâce à la variation des paramètres électriques. La vitesse de traitement et l'uniformité des substrats résultants dépendent toutes deux de la température, du débit de l'électrolyte, de la géométrie du réservoir et d'autres paramètres. Des traitements combinés ont également été utilisés dans le grenage. Dans ces traitements, le grenage mécanique est suivi d'un traitement électrochimique.

Le grenage à l'aide de brosses métalliques produit l'accroissement le plus faible de la superficie de la plaque et le grenage électrochimique produit l'accroissement le plus élevé. Cela influence non seulement la qualité de reproduction et la résolution optique mais également les propriétés d'impression (diffusion de l'eau et longueur du cycle). Plus le grenage d'une surface d'aluminium est fin, plus la résistance mécanique est basse. Avec l'aluminium brossé, la deuxième étape de durcissement n'est pas nécessaire. Cependant, l'étape d'oxydation anodique est cruciale pour l'aluminium grené électrochimique.

2.10.2 Oxydation anodique (anodisation)

L'oxydation anodique (qui a été décrite dans la section 2.5.13) implique la conversion de la couche supérieure de la pièce de fabrication en aluminium en oxyde d'aluminium, sans affecter la topographie de la surface de manière significative. Deux traitements sont généralement utilisés : l'électrolyte d'acide sulfurique ou un électrolyte d'acide phosphorique. Le premier entraîne la formation de pores plus petits et de couches d'oxyde plus épaisses que le dernier.

En règle générale, une quantité d'oxyde n'excédant pas les 5 g par mètre carré est produite ; en fonction de la rugosité de la surface, ceci correspond à une épaisseur de couche d'environ 1 µm. L'oxyde formé au cours de l'anodisation est amorphe aux rayons X et c'est un adsorbant extrêmement puissant. Les propriétés du substrat sont

grandement améliorées au cours de cette étape : l'adhérence au revêtement photosensible, la résistance de la surface aux produits chimiques, son hydrophilicité, sa dureté et sa résistance à l'abrasion, et ainsi, le potentiel de durée d'utilisation. Cependant, l'efficacité des aspects mentionnés ci-dessus dépend des paramètres de traitement et du traitement lui-même.

2.10.3 Post-traitement

Le post-traitement de l'oxyde dans certaines solutions d'hydrophilisation s'est révélé avantageux dans la production de plaques présensibilisées (PS). Le but principal de ce traitement est d'améliorer l'hydrophilicité de la surface d'oxyde d'aluminium. Cependant, les propriétés adhésives, la capacité de photo-développement et la durée de conservation des plaques sont influencées simultanément. Des solutions contenant les substances suivantes ont été proposées à cette fin : les silicates alcalins, les acides phosphoniques, des hexafluorométalates, des éléments du groupe 4 (titane, zirconium, et hafnium), des hétéropolyacides, des oxyacides de phosphore pentavalent, et de colloïdes hydrophiles. Tous ces composés enduisent la surface de l'oxyde d'aluminium pour générer une couche couvrante très polaire, qui améliore l'hydrophilicité de la surface.

2.10.4 Revêtement et traitement supplémentaire

Le traitement préliminaire du porteur est suivi du revêtement de la plaque sur la chaîne par le biais d'un traitement entièrement continu. Une solution contenant les composants du revêtement photosensible dans un mélange plus ou moins volatile de solvant est appliquée sur le porteur sur une épaisseur de pellicule humide définie. Les revêtements sont généralement appliqués à l'aide d'une matrice à déflecteur, d'un enducteur sur rouleau ou par pulvérisation. L'épaisseur des revêtements secs est de l'ordre de 0,3 à 5 mm.

La vitesse de la chaîne de production dans les installations modernes est <1 m/s. La longueur des étapes est ajustée à cette vitesse de traitement. Après le séchage, la toile est inspectée automatiquement à la recherche de défauts de revêtement. Elle est découpée, et les plaques défectueuses sont retirées. Le découpage des plaques nécessite une attention particulière. Les plaques lithographiques présensibilisées sont disponibles dans de nombreuses tailles allant jusqu'à 3 m^2 (1500 x 2000 mm).

Les plaques finies parfaites sont empilées sur du papier intercalaire approprié et emballées dans du papier d'emballage résistant à la lumière (si nécessaire, après emballage à l'aide d'un film thermorétractable).

La durée d'utilisation requise pour ces plaques lithographiques présensibilisées dépend de l'étendue de leur distribution. De même, plus les conditions de stockage et d'utilisation des plaques sont différentes, plus les exigences seront différentes.

2.11 Fabrication de cartes de circuit imprimé

[73, BSTSA,] Les cartes de circuit imprimé sont la base des sous-assemblages électroniques. Il s'agit de circuits électroniques, souvent complexes, composés de minces couches de pistes imprimées sur des couches minces non conductrices. Des composants tels que des résistances, des condensateurs, des semi-conducteurs, des montures pour puces de calcul et de mémoire, etc., sont ajoutés au cours d'opérations consécutives (qui ne sont pas décrites dans ce document). Les équipements

électroniques modernes exigent une densité de cheminement très élevée qui est obtenue grâce à des circuits imprimés multicouche ou « cartes de circuit imprimé multicouche (MLB) » dans lesquels de multiples couches conductrices (noyaux) sont séparées par des couches isolantes appelées préimprégnés. En outre, cette technique a permis le développement de la carte HDI (high density interconect : interconnexion à haute densité).

Le traitement de ces cartes est un ensemble compliqué d'opérations individuelles et variera pour la production d'une carte à conception spécifique. Plus de 40 étapes peuvent intervenir dans la production de cartes, bien que toutes ne seront pas utilisées pour une conception de carte particulière. Plusieurs de ces étapes ont peu ou pas d'impact environnemental et sont uniquement décrites brièvement dans les sections suivantes.

De manière générale, les matériaux de base sont le papier phénolique, le papier époxy ou des stratifiés de verre-époxy. Pour certaines applications spécifiques, des matériaux de céramique, des matériaux souples ou flexorigides sont utilisés. Le matériau de base est revêtu de cuivre sur un de ses côtés ou les deux, avec une couche d'une épaisseur qui se situe généralement entre 5 et 105 µm, en fonction des exigences de conception. D'autres métaux que le cuivre peuvent être éventuellement utilisés pour des applications spécifiques, comme dans l'aérospatial. Des exemples de construction de PCB sont représentés sur la figure 2.27.

Les noyaux sont stratifiés à l'aide de préimprégnés, avec des couches externes de feuilles de cuivre. Les noyaux et la feuille de cuivre sont modelés et traités de manière similaire, et certaines étapes peuvent être répétées pour achever une carte multicouche complexe.

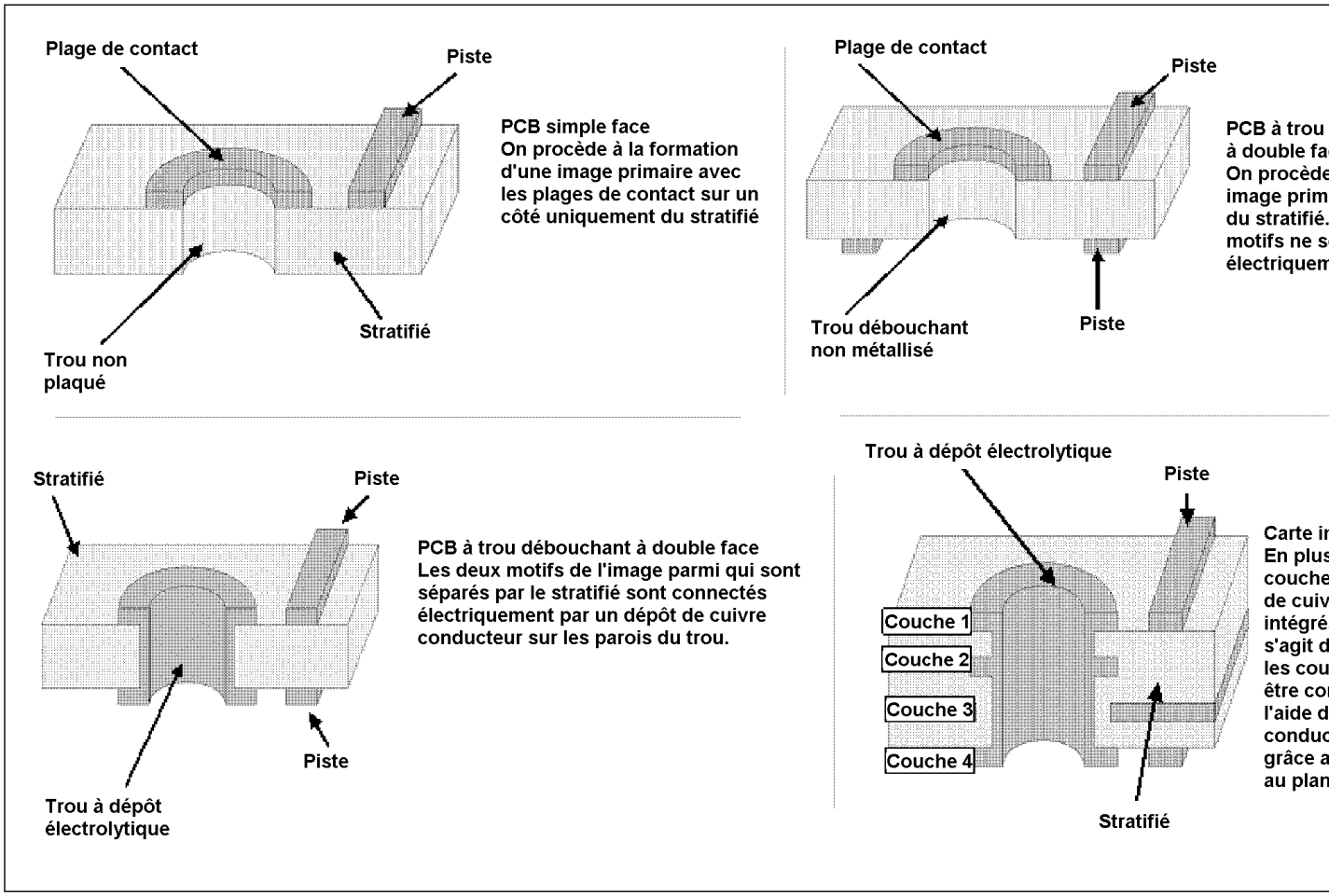


Figure 2.28 : Exemples de construction de cartes de circuit imprimé

Plus de 90 % de la production européenne sont obtenus grâce à un procédé soustractif, dans lequel du cuivre est éliminé de la couche de base pour ne laisser que la piste conductrice appelée connexion. Des procédés additifs ou semi additifs, qui permettent de déposer une piste conductrice ne sont pas fréquemment utilisés et ne sont pas décrits ici.

La figure 2.28 suivante représente les étapes de production qui interviennent dans la création d'une carte imprimée multicouche classique, tel que représentée sur la figure 2.35.

Le traitement dans sa globalité est compliqué car de nombreuses étapes doivent être répétées.

Le graphique montre d'abord les opérations auxiliaires essentielles à toute fabrication de PCB, telles que la conception et la préparation des masques photographiques.

Les couches internes sont créées puis assemblées et les couches externes sont créées autour d'elles.

Les trous (appelés trous d'interconnexion) peuvent être :

- enterrés : ces trous ne sont pas visibles de l'extérieur et sont percés dans les couches internes ;
- aveugles : trous visibles d'un côté uniquement et percés de l'extérieur ;
- visibles et traversant le circuit de part en part.

Les trous peuvent être déposés à l'intérieur (également appelés trous débouchants métallisés) afin d'offrir une connexion entre les couches, voir la figure 2.28. Les trous non métallisés sont dénommés trous débouchants non métallisés.

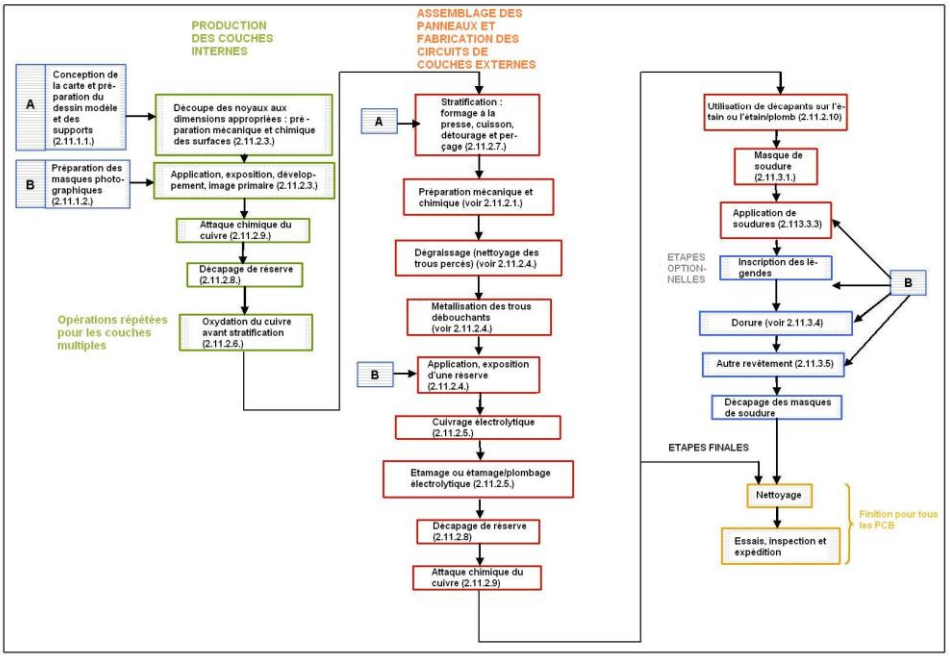


Figure 2.29 : Organigramme d'une séquence classique du traitement de production d'une carte de circuit imprimé

2.11.1 Opérations préliminaires

2.11.1.1 Conception d'une carte

La conception d'un circuit imprimé est habituellement effectuée avec des logiciels de CAO, comportant des marques de référence telles que l'emplacement des trous pour les supports qui maintiendront la carte au cours des divers traitements qu'elle subira comme le perçage. La conception est transférée sur un gabarit de dessin modèle appelé masque photographique.

Préoccupations environnementales
L'élimination de larges surfaces de cuivre ralentit la production, gaspille des agents de gravure et accroît la production de déchets et de concentration de cuivre dans les effluents. De même, une attaque chimique est plus cohérente sur une PCB si toutes les régions de la carte disposent de la même quantité de cuivre sur le substrat nu. Donc, lors de la conception, les connexions peuvent être élargies, le cuivre laissé sans connexion, ou de grandes surfaces de la carte peuvent être couvertes d'ensembles de petits carrés ou de diamants de cuivre isolés électriquement [139, Wikipedia, 2004].

2.11.1.2 Création de masques photographiques (laboratoire photographique)

Il existe deux manières d'appliquer un dessin sur une PCB : la sérigraphie et la photoimpression. Les masques photographiques sont utilisés dans les deux traitements et sont réalisés à base de polyester, ou, pour obtenir une stabilité et une précision dimensionnelle extrêmement élevée, sur du verre. Les images sont soit une image positive (le cheminement est représenté par une image positive) soit une image négative (le cheminement est représenté par une image négative). Les masques photographiques sont enduits à l'aide d'une émulsion à l'halogénure d'argent qui est produit grâce à deux techniques, bien que la technique photographique ou phototraçage ait largement remplacé la technologie de la sérigraphie.

Le phototraçage utilise un traceur à laser à résolution élevée pour tracer le dessin sur la pellicule avec une précision allant jusqu'à 15 µm pour les traces et les espaces. Un traitement de développement et de fixation s'ensuit sur une chaîne de traitement horizontale continue.

Préoccupations environnementales
Afin d'utiliser autant de stratifiés bruts que possible, de multiples ensembles de petits dessins sont générés sur le masque photographique par traitements répétés. Ceci engendre de multiples images sur chaque panneau stratifié traité.

Création de pellicule : en raison de la teneur en argent, des revenus peuvent être générés à partir des déchets provenant des films et des solutions de révélateurs. Les films diazo, cependant, sont éliminés car ils ne sont pas appropriés au recyclage. Des traitements alternatifs, tels que l'imagerie directe ne sont pas viables commercialement.

Lors de l'utilisation d'une solution d'hydroxyde de sodium pour le traitement sérigraphique, des aldéhydes, des dispersions d'alcool polyvinyliques, de toluène et de xylène sont susceptibles d'être évacués dans les effluents.

2.11.1.3 Sérigraphie

La sérigraphie est basée sur la technique bien connue d'impression [90, EIPPCB,]. Un écran perméable à l'encre est étendu sur un cadre, dégraissé, rincé et séché. Une émulsion photosensible à base d'halogénure d'argent et d'alcool polyvinylique/acétate est appliquée sur ce dernier et séchée. Le film est cuit à l'aide de bichromate d'hydroxyde d'ammonium. L'image est appliquée et développée. Si les écrans sont de nouveau utilisés, ils sont nettoyés à l'aide d'un traitement nettoyant oxydant qui utilise des solutions décapantes comme des enzymes, de l'hypochlorite de sodium et du periodate. Les résidus peuvent être éliminés à l'aide de toluène, de xylène ou d'acétate de butyle.

Les exigences de résolution pour le motif de cheminement s'accroissant considérablement, le traitement sérigraphique est en train de perdre de son importance au profit du traitement par photoimpression.

Préoccupations environnementales
Les déchets ne peuvent être recyclés.

Les effluents à base d'eau peuvent être traités si nécessaire.

Des solvants peuvent être utilisés pour le nettoyage des écrans.

2.11.2 Etapes de production

2.11.2.1 Préparation mécanique et chimique

Découpe des stratifiés aux dimensions appropriées
Avant l'application de la résine photosensible (voir section 2.11.2.3), le stratifié vierge doit être découpé ou perforé aux dimensions et à la forme appropriées et des trous préliminaires doivent être percés aux emplacements accueillant les composants et les contacts initiaux de la carte (voir la conception de carte, section 2.11.1.1).

Le stratifié est nettoyé pour en éliminer la surface de cuivre attaquée. Un traitement de prétraitement offre une face propre pour des traitements ultérieurs (comme dans la section 2.3.4), mais pour les PCB, une surface de niveau est également cruciale pour l'ensemble de circuit haute précision. Les traitements de nettoyage sont généralement réalisés en séquence sur des chaînes de production horizontales en continu.

Nettoyage
La surface de cuivre est tout d'abord nettoyée avec du NaOH ou un mélange d'agents tensioactifs et d'acides (H_3PO_4). Cette première étape est suivie de trois traitements supplémentaires [159, TWG, 2004] :

- **Le brossage**

Des postes de brossage grattent ensuite la surface de la carte à l'aide de brosses de poil ou d'abrasifs non tissés sur rouleau sous un jet d'eau pour laver le cuivre attaqué. Les brosses peuvent être en maillechort ou en bronze. Les problèmes provoqués par une

usure inégale peuvent être surmontés par l'utilisation de rouleaux basculants. La rugosité des surfaces doit se situer entre 1,5 et 2,5 µm. L'adhérence ultérieure des réserves sèches ou liquides dépend du nombre de rainures et de pores par unité de surface.

La surface est ensuite nettoyée (généralement sur un convoyeur) par pulvérisation dans un système de rinçage en cascade (voir section 4.7).

- **L'abrasion**

Un lait de pierre ponce inerte (SiO_2 72,0 %, Al_2O_3 13,0 %, K_2O 4,2 %, Na_2O 3,5 % (substance inconnue 7,3 %) est pulvérisé à haute pression pour restructurer la surface de cuivre et obtenir une rugosité de surface dont le paramètre Rz = 1,6 à 1,9 µm, plutôt que d'éliminer le cuivre. A la suite de ce traitement, la surface est rincée sous haute pression (10 bar) et elle est séchée ultérieurement.

- **Rugosification chimique ou microcorrosion**

Il s'agit d'une attaque chimique par pulvérisation utilisant soit du chlorure de cuivre soit un décapant composé de persulfate de sodium acide et c'est le procédé préféré pour des noyaux internes très minces car aucun dégât mécanique ne doit être occasionné sur les noyaux. Le décapant de persulfate est constitué d'approximativement 100 ml/l d'acide sulfurique et entre 70 et 120 g/l de persulfate de sodium. Au cours du traitement de microcorrosion, la valeur de cuivre augmente continuellement. Les performances de l'agent corrosif sont réduites dès que la concentration de ce dernier dépasse une valeur d'approximativement 30 g/l et la solution doit être repréparée. Au cours d'un traitement discontinu, le concentré est soit précipité sous la forme d'une bouillie d'hydroxyde de cuivre dans une solution alcaline, pressé et évacué en tant que déchet, soit recyclé par électrolyse.

La surface est rincée en cascade, étape suivie d'un traitement de séchage.

L'eau en excès est éliminée des cartes grâce à des rouleaux essoreurs et l'humidité résiduelle est évaporée grâce à un flux d'air préchauffé quasiment non comprimé.

Préoccupations environnementales

L'effluent provenant du rinçage en cascade peut être traité grâce à un module de neutralisation intégré à la chaîne avant d'être évacué.

Le cuivre peut être recyclé mécaniquement par centrifugation ou filtration et cela, couplé au rinçage en cascade, peut permettre de recycler les eaux résiduaires et d'obtenir un circuit quasi fermé de rinçage.

Lorsque les effluents sont évacués, ils peuvent être traités dans une installation de traitement classique des eaux résiduaires. Cependant, il est important d'éliminer autant de particules de cuivre que possible dès la source, car le cuivre peut se dissoudre aisément. Si il se dissout dans une solution acide, une neutralisation, une floculation et une précipitation sont nécessaires ; s'il est complexé, il peut être plus difficile à traiter (voir section 2.13.1.1).

Les déchets de stratifiés et de PCB ainsi que les chutes peuvent être collectés par des entreprises spécialisées dans le recyclage des métaux.

2.11.2.2 Perçage

Sur les cartes modernes à densité élevée, des trous d'un diamètre aussi petit que possible, souvent inférieur à 0,5 mm, doivent être percés. Des machines à broche uniquement à commande numérique sont utilisées, mais elles sont de plus en plus fréquemment remplacées par des machines multibroches CNC/CND, ainsi que par des machines de perçage au laser et aux rayons X utilisés pour générer des densités de trous très élevées pour la technologie HDI.

Les perceuses CNC multibroches sont construites sur des plateaux extrêmement résistants au gauchissement, relativement légers et qui peuvent par ailleurs, être positionnés et déplacés rapidement. Les broches à palier à air peuvent atteindre des vitesses de plus de 100 000 tr/min avec des modules d'axe Z commandés individuellement.

Préoccupations environnementales
Les compresseurs et les injections d'air comprimé génèrent du bruit, souvent dans des fréquences élevées. Les machines de perçage modernes sont généralement disposées dans des cabines pour réduire le bruit et maintenir des conditions de propreté adéquates dans les salles de travail.

Les forets en carbure de tungstène résistants à l'usure sont résistants à la cassure également et peuvent être réaffûtés, ce qui augmente leur durée de vie.

Les copeaux provenant du perçage et du détourage sont générés en trop faible quantité pour pouvoir être recyclés, la teneur en métaux étant trop basse.

Les cartes d'entrée en d'aluminium couramment utilisées et les forets (pour lesquels un réaffûtage n'est plus possible) peuvent être recyclés à 100 %. Des cartes de support de perçage sont soit éliminées soit renvoyées au fabricant. Les poussières générées au cours du perçage et des opérations de détourage contenant 10 à 25 % de restes métalliques sont éliminées en tant que déchets.

2.11.2.3 Génération de l'image primaire

Il existe deux types de résines photosensibles (ou réserve) utilisées pour produire l'image de cheminement, y compris les marques de référence, sur les stratifiés à partir des masques photographiques (voir la figure 2.27) :

- les réserves liquides, appliquée par rouleau inducteur ;
- les réserves sèches, appliquée par stratification.

Les couches internes des MLB peuvent être soit structurées par sérigraphie soit par réserve sèche (pellicule sèche). Le motif des couches externes est généralement structuré à l'aide d'une réserve sèche. Dans des cas isolés, un troisième traitement, de sérigraphie, peut être utilisé. Pour la photoimpression, les trois étapes de traitement sont le revêtement (liquide ou sec), l'exposition et le développement. Ces étapes de traitement peuvent être automatisées et menées au cours d'un traitement en continu.

Revêtements
Au cours de la première étape, la surface prétraitée est enduite d'une couche photosensible (résine photosensible) qui est disponible sous forme de réserve liquide ou sous forme de réserve sèche. Pour le revêtement, deux traitements principaux différents

sont disponibles : l'application au rouleau pour les réserves liquides et la stratification pour les réserves sèches. Le tableau 2.3 représente les avantages et les inconvénients des deux systèmes.

Traitement	Avantages	Inconvénients
Application au rouleau (réserve liquide)	Epaisseur de pellicule mince (environ 2 à 12 µm)	Risque de formation de piqûres
	Pollution réduite des effluents grâce à une utilisation en matériau réduite	Substances contenant plus de 50 % de solvant à base de COV, quantité qui peut nécessiter d'être réduite sous la directive des Emissions de Solvant
	Rendement élevé du matériau utilisé	Problèmes éventuels au cours de l'ultrafiltration liés aux effluents provenant du révélateur et du décapant
	Investissement réduit	Exigence énergétique plus importante
	Faible risque de sous-gravure du cuivre	Risque de liaison involontaire des couches internes
Stratification (réserve sèche)	Epaisseur de revêtement constante grâce à la pellicule sèche	L'épaisseur de la pellicule est généralement de 37,5 µm, amenant le retrait de plus de réserve qui créé plus d'effluents et de déchets de réserve
	Aucune piqûre	Investissements plus importants
	Faible consommation énergétique car aucun dispositif de séchage n'est nécessaire	
	Aucune émission de COV	

Tableau 2.3 : Comparaison des types de couches de réserve pour l'imagerie primaire [112, UBA, 2203]

- L'application au rouleau (réserve liquide). La réserve liquide est composée d'acrylates, de photo-initiateurs et de charges et est distribuée grâce à un intervalle de mesure et diffusée sous pression à l'aide d'un rouleau de caoutchouc ondulé sur la surface du stratifié. Etant donné l'ondulation du rouleau, la pression de contact et la teneur en solides de la réserve liquide, l'épaisseur de revêtement est ajustée jusqu'à une épaisseur située entre 2 et 12 µm. La réserve est filtrée de manière continue et sa viscosité est surveillée lors de sa mise en circulation au travers d'un réservoir de stockage. L'état des rouleaux est important car des rouleaux endommagés produisent des revêtements défectueux. Les couches internes sont enduites des deux côtés et ensuite séchées à l'aide de dispositifs de séchage infrarouges sur la chaîne. La vitesse du convoyeur est d'environ 2 à 4 m/min avec un rendement élevé de la réserve liquide. Les pertes de matériau ne se produisent qu'au cours du nettoyage de l'équipement ou lors du changement de la réserve.
- Stratification (réserve sèche) (figure 2.30). Les réserves sèches sont structurées sur plusieurs couches. L'émulsion photosensible est appliquée dans une salle

blanche sous lumière jaune par revêtement par voile sur une feuille porteuse de polyester d'une épaisseur de 25 µm, séchée et couverte d'une couche protectrice de polyéthylène. Cette structure en sandwich peut être enroulée sur un papier ou sur une âme de plastique d'enroulement à partir de laquelle elle est stratifiée jusqu'à la surface de la couche interne. On utilise au choix des pelliculeuses manuelles ou entièrement automatiques, dont le noyau central est le système de rouleau. Les facteurs principaux influençant le traitement sont : les rouleaux de stratification dotés d'une âme en aluminium pour maintenir la stabilité dimensionnelle, la température, la pression de contact, l'ondulation de la surface du stratifié, la vitesse de stratification et le procédé de prétraitement de la surface de cuivre

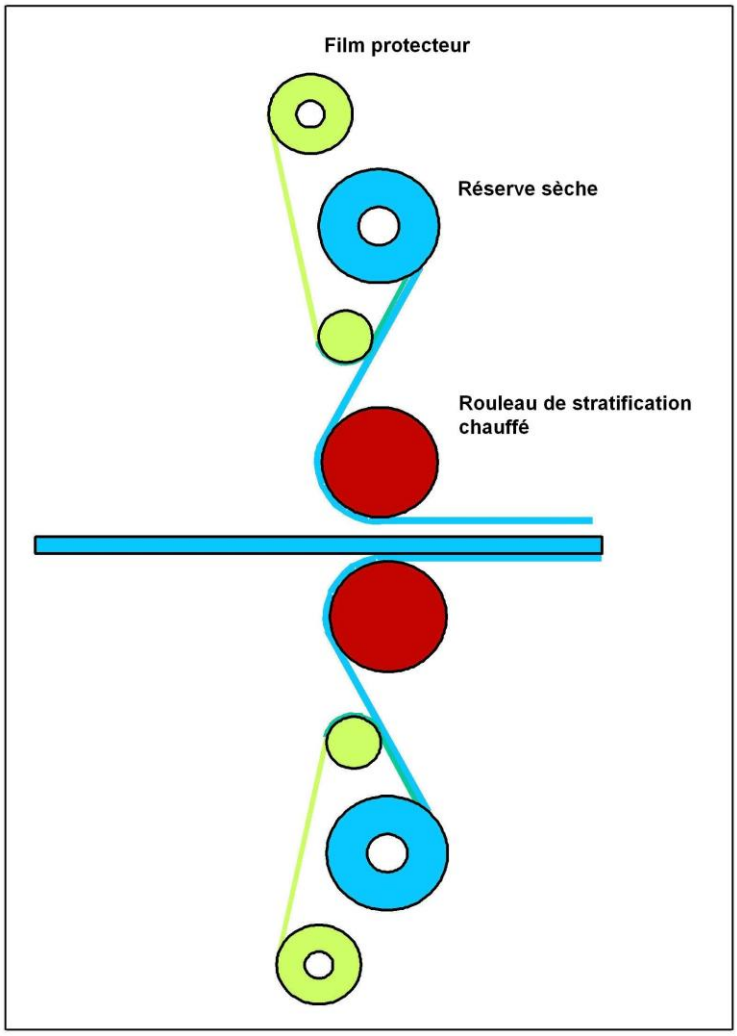


Figure 2.30 : Application d'une réserve sèche

Exposition

L'image est photoimprimée sur un type quelconque de résine photosensible – soit manuellement soit automatiquement – à l'aide d'un équipement d'imagerie en salle blanche sous lumière jaune. Sur la figure 2.30, le masque photographique (voir section 2.11.2.3) est exposé à une lumière UV qui passe au travers des zones transparentes du masque photographique et polymérise les composants monomères de la réserve par réticulation. Le polymère engendré est résistant au traitement de développement consécutif.

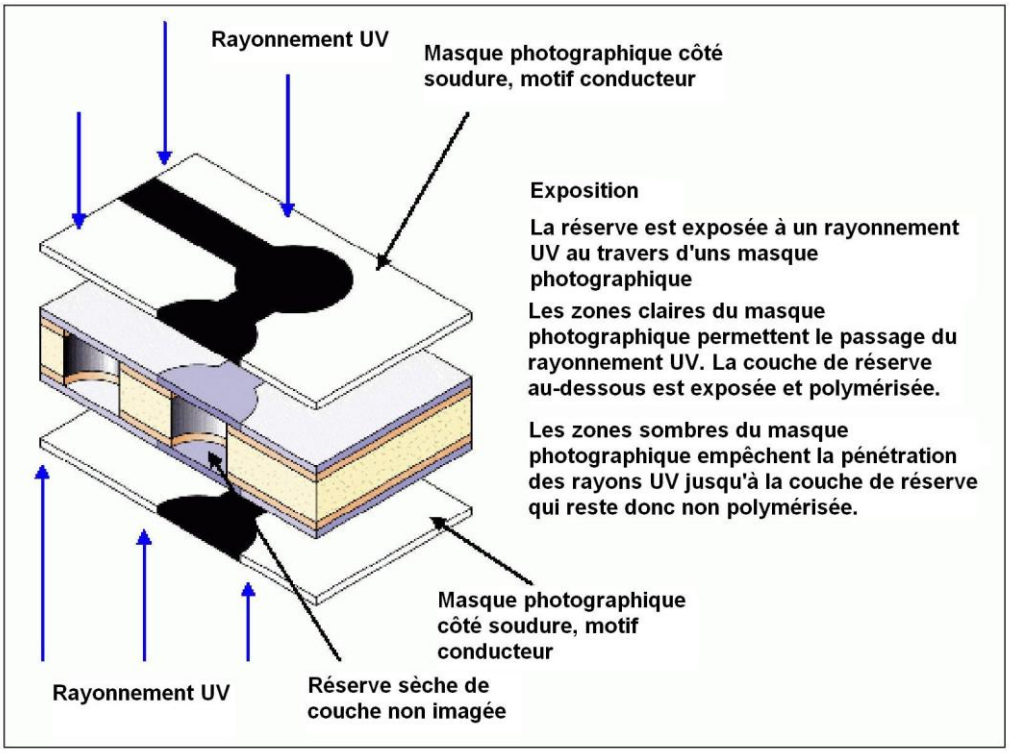


Figure 2.31 : Exposition d'une réserve

Développement

Le stratifié (réserve) est développé par pulvérisation d'une solution de carbonate de sodium lors de sa progression sur la chaîne horizontale continue. Cette étape expose le motif de cheminement final (les pistes, les zones de contact dotées de trous, les zones de contact pour CMS (composants pour montage en surface) et les retours de masse pour le traitement consécutif (figure 2.32).

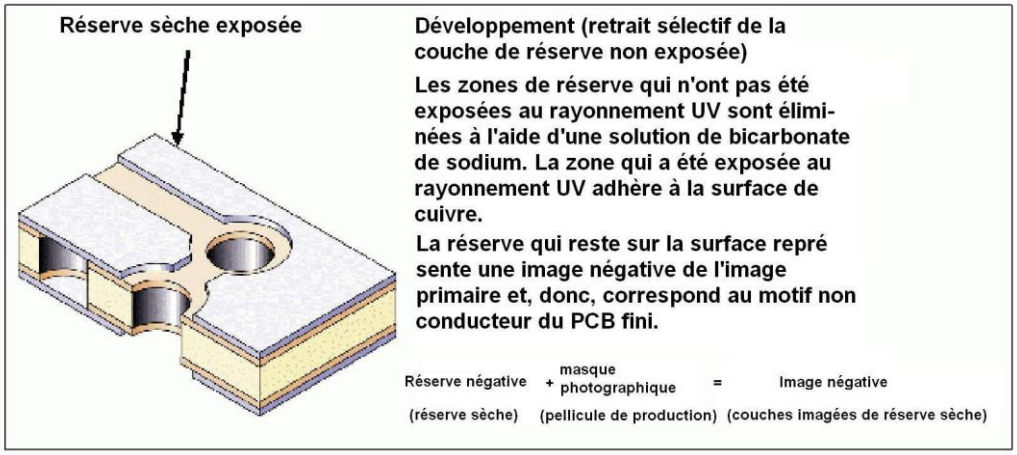


Figure 2.32 : Développement d'une réserve

La chaîne de développement classique est composée de la chambre principale de développement, suivie de chambre plus petite d'alimentation en carbonate de sodium neuf. Cet agencement permet le rinçage de la surface du panneau à l'aide d'une solution de développement propre, ce qui réduit les pertes par entraînement de solution contaminée dans la zone de rinçage consécutive à l'eau douce. Les premiers 60 % dans

la chambre de développement peuvent être équipés de buses coniques, les 40 % restants étant équipés de buses double-flux. Les collecteurs sont équipés d'un dispositif oscillant pour combler l'effet mécanique des buses de pulvérisation et offrir un meilleur échange de la solution. Les buses double flux doivent être installées selon un angle d'approximativement 30 à 40 °, transversalement à la direction de traitement. En cas d'utilisation de barres à buse multiples, ces dernières peuvent être installées les unes contre les autres.

Traitement sérigraphique
On trouve toujours des installations, isolées, de fabrication de PCB à trou non métallisé utilisant la technologie de la sérigraphie. La surface de cuivre du panneau est enduite d'une encre spéciale appliquée sur un écran, procédé décrit dans la section 2.11.1.3. Les surfaces de cuivre exposées seront éliminées au cours du processus d'attaque chimique consécutif. Le motif est fini, bien qu'un traitement supplémentaire au masque de soudure puisse suivre (voir section 2.11.2.11). Les encres sérigraphiques peuvent être éliminées soit à l'aide de solvants soit d'une solution d'hydroxyde de sodium.

Préoccupations environnementales
Le tableau 2.3 présente les avantages et les inconvénients des deux techniques de revêtement de couche.

Les réserves liquides contiennent plus de 50 % de solvant qui s'évapore, provoquant des émissions de COV, cette quantité peut nécessiter une réduction, conformément à la directive d'Emission des Solvants [97, CE, 1999, TWG, 2004 # 159]

Les étapes d'exposition ne génèrent aucun déchet ni eau résiduaire. L'eau de refroidissement peut être remise en circulation. Les étapes de développement peuvent utiliser des rinçages statiques successifs de révélateur pour réduire les pertes par entraînement et l'utilisation d'eau de rinçage non contaminée (voir section 4.7).

L'effluent contenant la réserve éliminée peut être filtré à partir de l'étape de développement.

Les encres de sérigraphie qui doivent être éliminées (décapées) à l'aide de solvants halogénés peuvent désormais être substituées par des substances alternatives.

Les réservoirs de traitement sont généralement équipés de systèmes d'extraction des fumées et d'épurateurs destinés à éliminer les aérosols générés en cours de traitement.

Les eaux résiduaires peuvent nécessiter un traitement comportant une neutralisation et une décantation.

L'emballage et la protection des réserves sèches génèrent des volumes importants de déchets. Différents types de plastiques sont utilisés, ce qui rend leur séparation et leur renvoi au fournisseur compliqués. Certains matériaux peuvent être séparés et renvoyés auprès des fournisseurs afin d'être recyclés. Etant donné les exigences complexes auxquelles doivent répondre les emballages, un renvoi au fournisseur est généralement impossible. Il est néanmoins possible de minimiser la production de déchets par l'utilisation de réserves liquides pour les couches internes.

2.11.2.4 Métallisation des trous débouchants (trous métallisés).

La métallisation des parois des trous permet de fournir des connexions conductrices entre les plans de cheminement conducteurs des deux côtés d'une carte double face ou entre les plans de cheminement multiples des MLB. Trois étapes sont généralement nécessaires, le déglaçage, l'activation et le cuivrage sans courant (autocatalytique). Cependant, la métallisation directe tend à remplacer le cuivrage autocatalytique (voir les préoccupations environnementales à la fin de cette section).

Remarque : il ne faut pas confondre ce traitement avec le montage sur trou débouchant, qui est une étape de construction des PCB dans laquelle les pattes des composants sont disposées dans les trous traversant la carte. Cette étape n'est pas nécessaire pour les composants montés en surface.

Déglaçage – élimination de la pellicule d'enduction
Les vitesses élevées de perçage provoquant l'échauffement des forets, qui entraîne à son tour le glaçage des résidus de polymères issus du perçage sous forme de pellicules sur les parois dans le cylindre des trous. Il est essentiel d'éliminer ces résidus car ils nuisent à l'adhérence de la couche métallique devant être déposée. Les résidus restants peuvent également entraîner des problèmes ultérieurs par vaporisation au cours du traitement de soudage (dégagement de gaz).

La meilleure manière de réaliser le traitement de déglaçage est d'utiliser soit du potassium soit du permanganate de sodium, au cours de plusieurs étapes de transformation :

- le dégraissage à l'acide phosphorique ;
- l'ébavurage avec des rouleaux abrasifs ;
- le gonflement à l'aide d'hydroxyde de sodium, de butyldiglycol et d'additifs ;
- un traitement au permanganate avec du permanganate et de l'hydroxyde de sodium ;
- un traitement nettoyant à l'eau oxygénée afin d'empêcher une réoxydation indésirable.

Le traitement de gravure en retrait utilisant de l'acide sulfurique concentré (96 %) tend à être remplacé par le traitement au permanganate.

Il existe un traitement de gravure au plasma mais ce dernier est rarement utilisé.

Traitement			
	Déglaçage (utilisé fréquemment)	**Gravure en retrait (moins fréquemment utilisée)**	**Plasma (rarement utilisé)**
Equipement utilisé	Module sur chaîne horizontale	Module sur chaîne horizontale	Chambre sous vide
Fonctionnement	Continu	Continu	Traitement en discontinu
Milieu	Permanganate de potassium, alcalin	Acide sulfurique (96 %)	O_2/F_2/HF/Fréon
Type de réaction	Oxydation	Solvant de résine, sulfonation	Réaction radicale
Résidus	Permanganate de potassium	Résine dissoute (boue)	"cendres" de surface fluorée
Vitesse du traitement	Rapide	Rapide	Moyenne à lente
Nombre d'étapes de traitement	3 à 4	2	2 à 3
Effet sur l'adhérence de la fibre de verre/résine	Aucun	Forte	Moyenne
Approprié pour:	Epoxy	Epoxy	Polyacrylates, polyester, époxy
Adhérence du cuivre de couche basse	Bonne	Satisfaisante	Adéquate
Adhérence du cuivre de couche haute	Satisfaisante	Inadéquate	Problématique

Tableau 2.4 : Comparaison des traitements de déglaçage
[122, UBA, 2003]

Préoccupations environnementales
Le tableau 2.4 compare les traitements et les résidus engendrés.

Activation et cuivrage sans courant (autocatalytique)
Voir la section 2.5.8.

Dépôt direct
Au cours du dépôt direct, une couche de polymère conductrice est appliquée en lieu et place d'une couche de cuivre. Les traitements habituels sont basés sur un dépôt au choix de carbone polymère ou de palladium.

La liste suivante présente les phases et les états d'un des traitements éventuels (EMSD évaluation du système de métallisation directe) :

- conditionnement EMSD 60 °C, 3 à 5 ml/l ;
- rinçage température ambiante ;
- conditionnement oxydant ($KMnO_4$, NaOH) 90 °C 50 g/l de chaque ;
- catalysation (ESMD de catalyseur) 20 °C 65 % ;

- fixation (H_2SO_4) 20 °C 100 g/l ;
- séchage haute température.

Au cours des premières étapes de traitement (conditionnement suivi de l'oxydation au permanganate de potassium) du bioxyde de manganèse se forme. Le bioxyde de manganèse réagit avec un composé de monomère (un dérivé de thiofène) au cours de la catalyse. Dans le bain de fixation, l'acide sulfurique amène le composé de monomère et le bioxyde de manganèse à réagir pour former une couche polymère conductrice. Cette couche sert de couche conductrice au cours du traitement de cuivrage électrolytique consécutif.

Préoccupations environnementales
Les bains de cuivre autocatalytiques ont une durée de vie limitée avant de procéder, obligatoirement, à leur remplacement total. L'élimination des bains est difficile (voir section 2.5.8). Ils sont d'une utilisation complexe, instables par nature et contiennent du formaldéhyde et des agents complexants comprenant de l'EDTA, substances qui sont transportées dans les eaux résiduaires. Bien que le cuivrage autocatalytique, particulièrement lorsqu'il comprend de l'EDTA, ait été remplacé par le « dépôt direct », les normes techniques rigoureuses exigées pour la production des HDI modernes a vu réapparaître l'utilisation du traitement autocatalytique et de l'EDTA. Cependant, l'utilisation du dépôt direct augmente de nouveau et environ 60 % des bains de cuivrage autocatalytiques ont été remplacés par le dépôt direct [122, UBA, 2003].

Les sels de chrome étaient utilisés pour le dégraissage. Cependant, ils peuvent désormais être remplacés par du potassium ou du permanganate de sodium (voir la description du traitement de dépôt direct dans le paragraphe précédent).

Les bains de dépôt directs contenant des agents complexants doivent être traités de manière discontinue ou distincte et être traités séparément. Les eaux de rinçage contenant du palladium sont traitées pour en extraire le métal. L'eau de rinçage peut former une cascade à contre courant (voir le rinçage, section 4.7). Une fois le problème des agents complexants réglé, l'effluent peut être traité dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques. La boue d'hydroxyde peut être recyclée car elle présente une forte teneur en métaux (voir section 4.17).

2.11.2.5 Dépôt électrolytique d'un motif conducteur

Suite au traitement de structuration de l'image primaire, des traitements de dépôt électrolytiques sont utilisés pour :

- la formation (l'augmentation des épaisseurs de couche) des structures conductrices (image primaire) ;
- la protection de la surface de cuivre contre l'agent d'attaque chimique (réserve de gravure) ;
- la métallisation des doigts de contact à l'aide de métaux précieux.

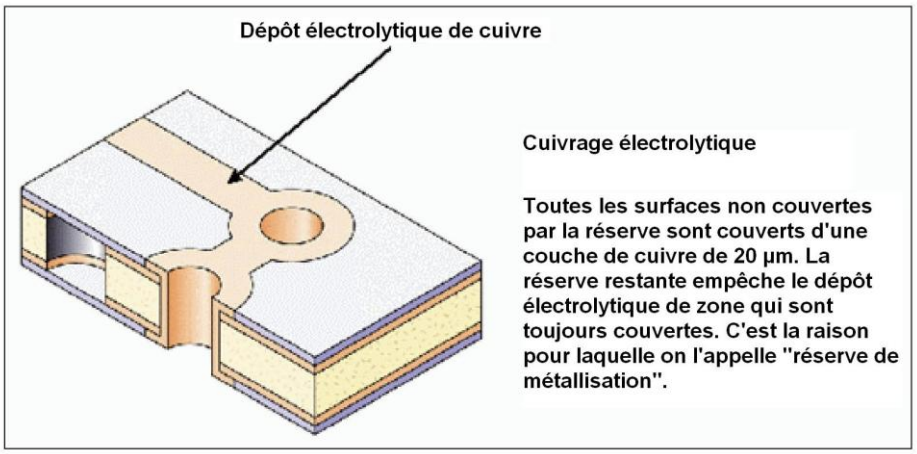


Figure 2.33 : Cuivrage électrolytique

Prénettoyage, désoxydation et acide

Les panneaux, qui jusqu'à présent étaient traités soit par sérigraphie soit par photoimpression, subissent désormais un traitement destiné à éliminer tout résidu de graisse, d'empreintes digitales, etc. (voir section 2.3). Ils sont tout d'abord prénettoyés dans des solutions acides, alcalines ou neutres. La surface de cuivre ouverte (motif conducteur) est ensuite désoxydée soit dans des solutions de persulfate de sodium ou des solutions d'acide sulfurique/eau hydrogénée. 0,5 à 1 µm de cuivre sont éliminés. La surface de cuivre est finalement trempée dans de l'acide pour offrir une surface nouvellement activée à la métallisation.

Cuivrage électrolytique

En règle générale, l'image primaire développe sur la surface de base de cuivre une couche de 20 µm minimum aux endroits où la surface n'est pas protégée par la réserve de métallisation, voir la figure 2.33 (cette quantité est proportionnellement inférieure à l'intérieur des cylindres ou des trous). Pour les détails, voir section 2.5.1.

Réserve de gravure – entraînement électrolytique

Afin de protéger l'image primaire de revêtement électrolytique contre la corrosion des agents d'attaque chimique, la surface de cuivre est couverte d'une couche d'étain (figure 2.34), traitement décrit dans la section 2.5.6.

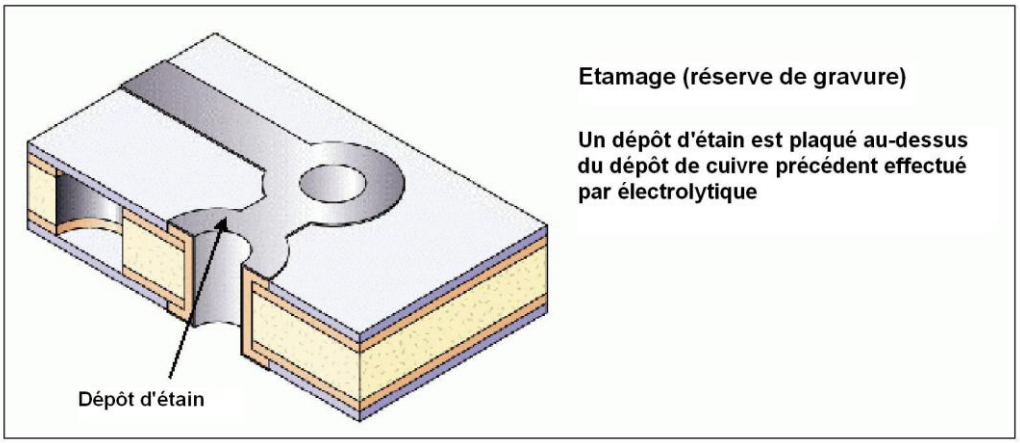


Figure 2.34 : Etamage électrolytique

Dorure électrolytique ou dépôt électrolytique d'autres métaux précieux

Les doigts de contact des connecteurs de prise sont fréquemment dorés. Dans certains cas, rarement, la finition est du rhodium, du ruthénium ou du palladium. Voir la section 2.5.7.

Préoccupations environnementales
Les électrolytiques de réserve de gravure été en général faits à partir de solutions à base de fluoroborates de plomb et d'étain. De nombreuses directives restreignent l'utilisation des produits à base de plomb et d'ici au 1er juillet 2006, les additifs à base de plomb pour les bains de dépôts électrolytiques pour la production de PCB seront éliminés au profit des dépôts d'étain à 100 %. (Les directives sont :

- la directive des véhicules hors d'usage (VHU) [99, CE 2000] ;
- la directive relative aux déchets des équipements électriques et électroniques (DEEE) [96, CE, 2003] ;
- la directive relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (directive LSD) [98, CE, 2003]).

Afin de satisfaire les exigences de leurs clients pour des produits de niche (cartes de refusion) offrant des dépôts de 10 µm d'étain/plomb (60/40 %), des électrolytes contenant ces produits sont toujours utilisés, mais avec une teneur en plomb réduite.

Les fabricants de PCB et leurs fournisseurs de produits chimiques sont en passe de changer rapidement au profit d'électrolytes sans plomb.

Le cuivrage chimique peut être remplacé par du palladium, du graphite ou des copolymères conducteurs, qui sont ce que l'on appelle des techniques issues de "technologies écologiques".

Pour empêcher la dégradation de l'atmosphère sur le lieu de travail, des réservoirs de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction de fumée pour éliminer les aérosols générés.

Des effluents peuvent nécessiter un traitement dans des installations de traitement des eaux résiduaires. Ces traitements comprennent le filtrage, la neutralisation et la décantation.

2.11.2.6 Adhérence de liaison des couches internes

Les traitements d'oxydation ont été fréquemment utilisés et sont décrits ci-dessous. Cependant, d'autres traitements apparaissent aujourd'hui (parfois dénommés : traitements alternatifs d'oxydation). Un de ces traitements créé un complexe d'azole cuivré au niveau de la surface. Les progrès concernant ces traitements sont rapides et sont entraînés par des exigences techniques toujours plus importantes [159, TWG, 2004].

La surface de cuivre sur les couches internes est oxydée en Cu(I) pour améliorer l'adhérence entre les noyaux et les préimprégnés et pour empêcher le décollement ultérieur (séparation des cartes multicouche). La couche d'oxyde d'une épaisseur de 0,5 à 5 µm est formée grâce à l'un de ces deux traitements :

- le traitement par oxydation brune est le plus couramment utilisé et est composé d'une solution d'eau oxygénée, d'additifs organiques (pour la passivation) et de chlorure (quantité réduite de l'ordre du mg), chauffés à 30 °C ;

- le traitement d'oxydation noir est effectué dans une solution de phosphate de sodium (Na_3PO_4), d'hydroxyde de sodium (NaOH), et de chlorate de sodium ($NaClO_2$) ou d'hypochlorite (NaOCl) à 80 °C.

Les effluents peuvent être réduits si l'on assure le maintien de la concentration des composants individuels grâce à des ajouts équivalents au taux d'évaporation.

Un rinçage minutieux est nécessaire après le traitement (voir section 2.4).

Préoccupations environnementales
L'utilisation du traitement par oxydation brune augmente car ce dernier fonctionne à des températures inférieures et n'a pas recours à l'utilisation de chlorate ou d'hypochlorite.

Le traitement peut nécessiter une extraction d'air.

La quantité d'effluents peut être minimisée (voir ci-dessus) et traitée dans une installation classique de traitement des eaux résiduaires.

Le bain est renouvelé à 24 mois d'intervalle, approximativement, et peut être évacué après traitement discontinu par précipitation alcaline.

Les traitements d'oxydation alternatifs réduisent les consommations de produits chimiques et d'eau et la production de déchets.

2.11.2.7 Stratification

Les stratifiés et les couches isolantes (les préimprégnés) doivent être liés fortement et l'utilisation de surfaces de cuivre oxydé (voir section 2.11.2.6) empêche le décollement de la carte une fois terminée. Les noyaux préoxydés de la carte multicouche sont stratifiés à l'aide de feuilles de collage (préimprégnés) et de feuilles de cuivre (couches externes), voir la figure 2.35.

Les préimprégnés sont des feuilles formées de résine époxy prépolymérisée renforcée de fibres de verre. Ils se liquéfient sous l'influence de la pression et de la température et collent aux noyaux internes.

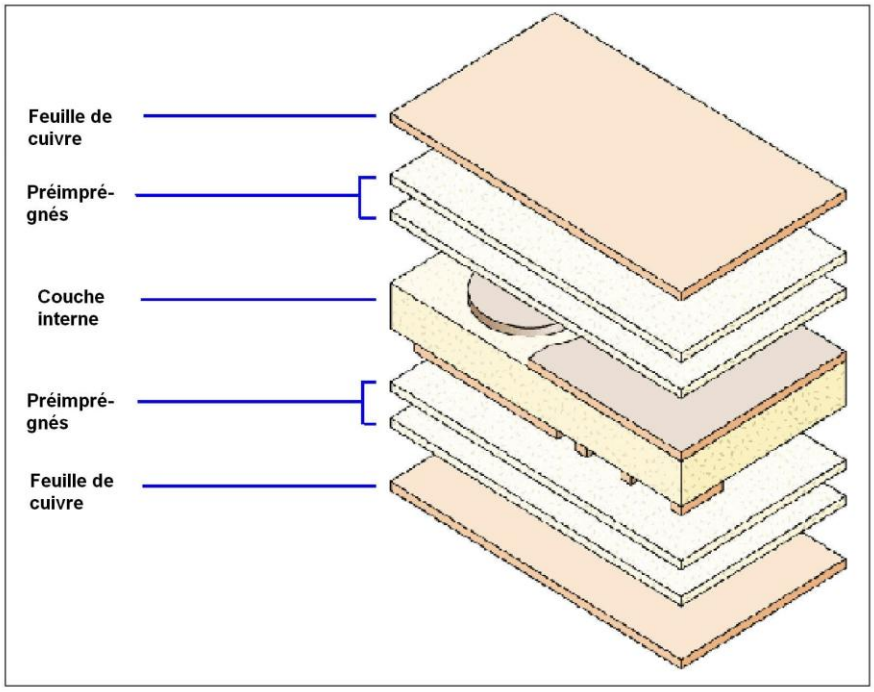


Figure 2.35 : Schéma d'une carte imprimée multicouche

Les principales étapes du fonctionnement du traitement de stratification sont les suivantes :

- superposition (positionnement) dans le poste de superposition ;
- stratification dans une presse sous vide ;
- retrait de la pile de l'outil de stratification ;
- détourage des bavures sur le bord de la MLB.

Préoccupations environnementales

Les chutes provenant de la stratification et du détourage peuvent être recyclées pour récupérer les métaux en faisant appel à des entreprises spécialisées.

2.11.2.8 Décapage de la réserve

Suit au dépôt électrolytique, la pellicule de résine photosensible a rempli son rôle, qui consiste à définir l'image du circuit et elle est donc totalement éliminée des surfaces de la carte (figure 2.36).

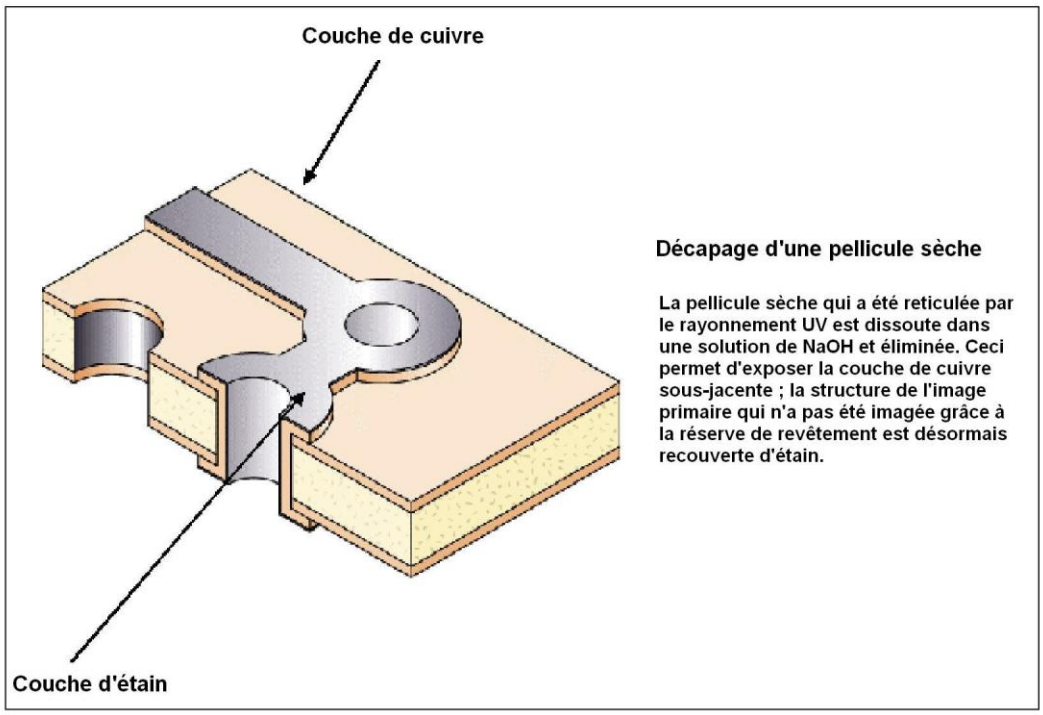


Figure 2.36 : Décapage d'une pellicule sèche

Les décapants de réserve sont conçus pour décaper entièrement le film sec aqueux et les résines liquides photosensibles. Les décapants de réserve ont été formulés afin d'éliminer la réserve rapidement sans s'attaquer au cuivre ou à l'étain/étain-plomb. Les caractéristiques de gonflement contrôlé permettent de minimiser la rétention d'une réserve entre des pistes fines.

- Température de fonctionnement classique 30 °C [159, TWG, 2004] ;
- Durée de maintien approximative 60 à 120 secondes ;
- Solution alcali dilué (NaOH ou KOh, 10 à 20 g/l) avec des additifs organiques tels que du butylglycol ou du butyldiglycol, bien qu'en Allemagne les systèmes soient souvent exploités sans additifs organiques [159, TWG, 2004]

Préoccupations environnementales
Les émissions de cuivre et de DCO provenant des additifs organiques solubles.

Le décapant brise la pellicule en particules de grande taille, qui sont aisément éliminées de l'effluent par filtration. L'effluent peut être concentré en utilisant la filtration et l'évaporation, le distillat étant envoyé vers des installations de traitement des eaux résiduaires (pour le DOC) et le concentré étant traité en tant que déchet dangereux.

Afin d'empêcher la dégradation de l'atmosphère du lieu de travail, les réservoirs de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols générés.

Les eaux résiduaires peuvent nécessiter un traitement dans une installation de traitement. Ces traitements comportent le filtrage, la neutralisation et la décantation.

2.11.2.9 Attaque chimique

L'attaque chimique est mise en œuvre pour éliminer complètement le cuivre de base et ne laisser ainsi que le motif du circuit, qui est protégé par le dépôt d'étain/étain-plomb (réserve de gravure), voir la figure 2.37. Généralement, les agents de gravure modernes élimineront le cuivre à une vitesse allant de 5 à 50 µm par minute à 50 °C.

Le type d'agent de gravure utilisé, l'équipement dans lequel il est utilisé et la vitesse de l'attaque chimique sont des paramètres cruciaux, car ils influencent tous l'importance de la gravure sous-jacente. La gravure sous-jacente se produit lorsque du cuivre est dissous sous la couche métallique de réserve de gravure, créant un surplomb de la réserve métallique.

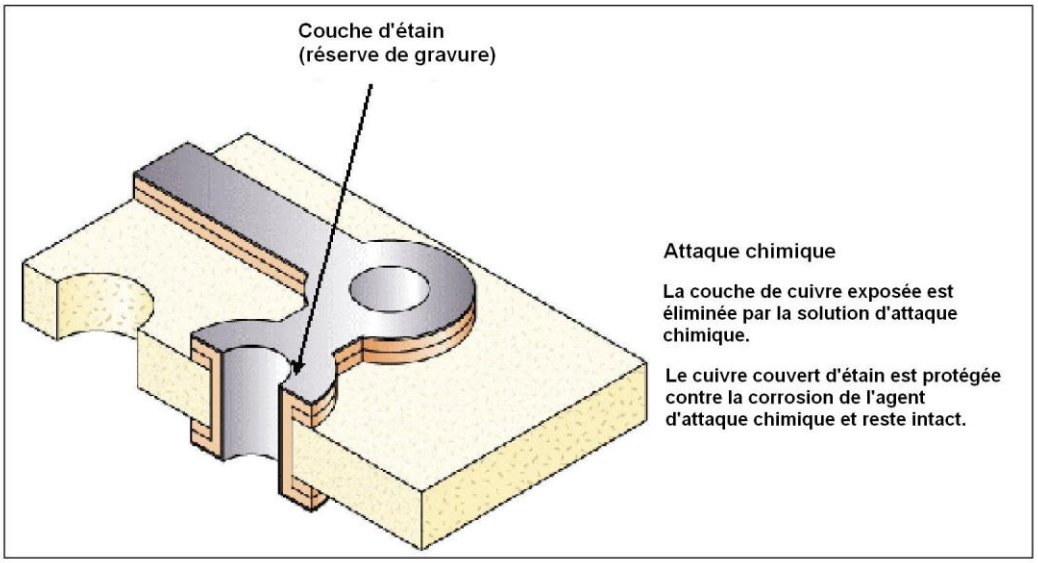


Figure 2.37 : Attaque chimique

Les agents de gravure suivants sont utilisés :

- agents de gravure ammoniacaux : sels d'ammonium (chlorure, sulfate, carbonate) : les PCB rendus résistants grâce à des métaux déposés, c'est-à-dire, l'étain (technologie de réserve à base de métaux) utilisent pratiquement tous exclusivement ce traitement, qui est utilisé fréquemment. L'oxygène de l'atmosphère agit en tant qu'agent oxydant ;
- les agents de gravure acides : une solution de chlorure de cuivre (II) utilisée en tant que solution d'amorce (approximativement 30 g/l de Cu), attaque le cuivre métallique en présence de HCl et forme du chlorure de cuivre (I) (CuCl). En présence d'acide chlorhydrique (200 à 240 mg/l) et d'eau oxygénée, le cuivre (I) inactif s'oxyde en cuivre (II). Elle est utilisée pour l'attaque chimique des couches internes, des cartes imprimées multicouche à trous débouchants non métallisés double face et simple face ;
- l'eau oxygénée/acide sulfurique sont utilisés pour la micro corrosion et en tant que solution de remplacement de l'acide sulfurique de persulfate ;
- le chlorure ferrique ($FeCl_3$) acide est désormais rarement utilisé.

Les attaques chimiques sont réalisées principalement dans des installations en ligne horizontale. Les PCB rendues résistantes grâce à des dépôts de métaux, c'est-à-dire l'étain (technologie de réserve par les métaux), sont par la suite quasiment exclusivement traitées dans des solutions composées d'agents de gravure ammoniacaux. Les bases sont des composés d'ammoniac comme le chlorure d'ammonium, le sulfate

d'ammonium et le carbonate d'ammonium. L'oxygène de l'air sert d'agent oxydant. La solution de gravure dispose des caractéristiques suivantes [159, TWG, 2004] :

- pH : 8,0 à 9,5 ;
- température : 20 à 45 °C ;
- cuivre : 145 à 170 g/l ;
- halogénure : 235 à 265 g/l ; teneur en chlorure 4 à 4,5 mol/l ;
- potentiel d'oxydo-réduction : environ 600 mV.

Il est probable qu'un système de ventilation soit nécessaire pour éliminer l'ammoniac et créer un environnement de travail confortable, ainsi que répondre aux exigences de santé et de sécurité. Un équilibre contrôlé est nécessaire. Une ventilation excessive réduira les niveaux de pH et d'ammoniac ; une ventilation insuffisante produira des vapeurs en excès et accroîtra les niveaux de pH et d'ammoniac. Dans l'idéal, le système de ventilation devrait uniquement être dédié à la chaîne de gravure.

Préoccupations environnementales
Il existe des traitements pour la récupération de quantités importantes de cuivre et permettant de minimiser l'ajout d'agent de gravure ainsi que le stockage et le transport de solutions dangereuses.

Lorsqu'un agent de gravure d'ammoniac est utilisé, les réservoirs de traitement peuvent être équipés d'un système d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols et les vapeurs générés afin de maintenir une qualité d'atmosphère du lieu de travail répondant aux exigences de santé et de sécurité. Les fumées extraites peuvent nécessiter une épuration, cette dernière accroîtra les niveaux d'ammoniac dans l'effluent.

Les effluents peuvent nécessiter un traitement séparé avant d'être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires classiques, en fonction de la composition chimique de l'agent de gravure.

Les solutions d'attaque chimique sont généralement renvoyées aux fournisseurs ou à des entreprises externes qui procèdent à leur traitement. Ceci implique l'échange des solutions de bain par de nouvelles solutions, ainsi que la manipulation et le stockage qui en découlent. Le retraitement en interne est envisageable grâce à des modules de recyclage supplémentaires.

Solutions de gravure acide : les concentrés générés au cours du traitement de gravure acide (acide hydrogène, chlorure de cuivre et eau oxygénée) sont recyclés par des fournisseurs externes ou des sous-traitants. La vente de ces déchets peut être envisagée grâce à une gestion optimale de tous les paramètres et à l'enrichissement du cuivre. L'acide chlorhydrique régénéré peut être réutilisé dans le traitement. D'autres procédés de recyclage ne se sont pas révélés adéquats.

Solutions de gravure à l'ammoniac : il existe des traitements destinés à récupérer des quantités importantes de cuivre et à minimiser l'ajout d'agent d'attaque chimique ainsi que des procédés de stockage et de transport des solutions dangereuses, voir section 4.15.7.

2.11.2.10 Décapage de l'étain

Ce traitement est désormais mis en œuvre de manière horizontale sous la forme d'une technique de décapage du plomb et de l'étain en deux étapes. La première étape décape la couche intermétallique, la seconde étape décape ensuite la couche intermétallique, laissant ainsi une surface de cuivre sans défaut. Du tétrafluoroborate d'hydrogène, du fluoroborate d'étain ou des solutions d'acide nitrique sont utilisés :

- étape 1 : température et durée d'immersion 25 à 35 °C pendant 20 à 60 secondes ;
- étape 2 : température et durée d'immersion 25 à 35 °C pendant 10 à 30 secondes.

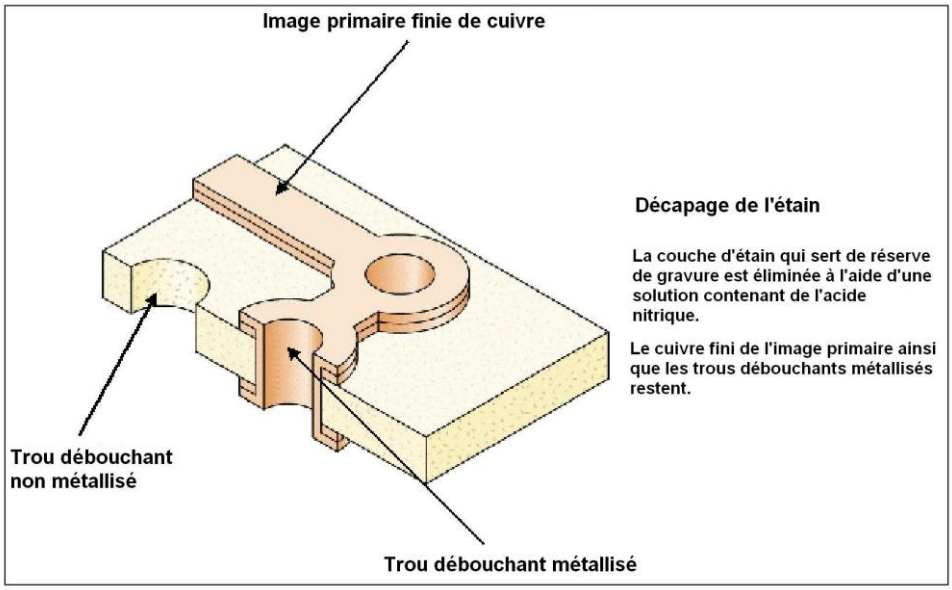


Figure 2.38 : Décapage de la réserve d'étain

Préoccupations environnementales

Afin d'empêcher la dégradation de l'atmosphère du lieu de travail, les réservoirs de traitement peuvent être équipés de systèmes d'extraction des fumées pour éliminer les aérosols générés.

Les eaux résiduaires peuvent nécessiter un traitement dans une installation de traitement. Ces traitements comprennent le filtrage, la neutralisation et la décantation. Le retraitement en interne ne s'est pas révélé efficace en comparaison avec la quantité de métal récupérée.

2.11.2.11 Application d'un masque de soudure

Après le décapage de la réserve de gravure, les surfaces de cuivre non protégées sur les PCB doivent recevoir une protection contre la corrosion et contre le pontage métallique (soudure créant des connexions non voulues entre des pistes) au cours du procédé de soudure lorsque des composants sont ajoutés sur la carte. Toutes les parties de cuivre qui n'entrent pas dans le processus d'assemblage sont couvertes à l'aide d'une matrice de résine isolante (voir la figure 2.39 et la figure 2.40). Plusieurs procédés sont disponibles, les plus importants étant la sérigraphie et le revêtement par voile.

La sérigraphie est décrite dans la section 2.11.1.3, la différence étant qu'ici un masque de soudure est appliqué. Cependant, cette technique n'est généralement pas utilisée pour la production en grande quantité.

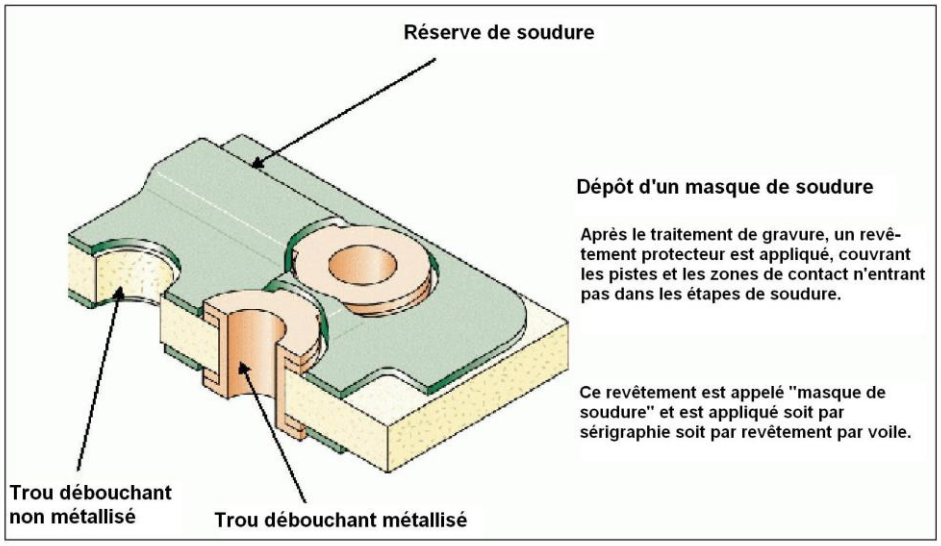


Figure 2.39 : Revêtement d'un masque de soudure

Le revêtement par voile est plus efficace et est utilisé pour une production en grande quantité. Les panneaux progressent sur un tapis horizontal (à une vitesse d'approximativement 20 m/min) au travers d'un voile de masque de soudure. Après cuisson, le panneau est exposé sous un pochoir de photosensibilisation (de manière identique à la réserve de gravure, voir section 2.11.2.5). Comme pour le développement de la réserve de gravure, les surfaces non exposées sont décapées de manière sélective à l'aide d'une solution de développement de carbonate de sodium ou d'éthyl glycol : l'utilisation de masque alcalin aqueux augmente. Les panneaux sont ensuite rincés, séchés, et cuits en ligne, voir la figure 2.39.

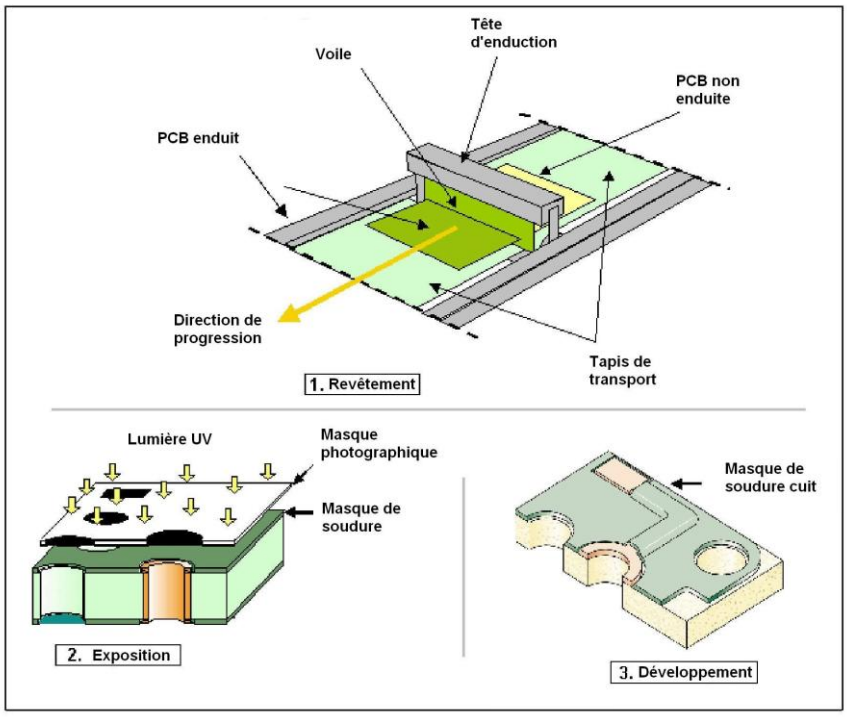


Figure 2.40 : Application par voile et cuisson d'un masque de soudure

Préoccupations environnementales
Des résidus provenant du développement d'encres photosensibles et de masques sont éliminés. Les récipients dans lesquels les vernis sont fournis peuvent encore contenir des résidus de leur contenu une fois vidés. Ces récipients seront collectés afin d'être recyclés.

2.11.3 Activités de finition de surface supplémentaire

Plusieurs finitions de surface sont disponibles : le nivelage de soudure à l'air chaud (HASL : Hot Air Solder Level), la passivation organique (OSP : Organic Solderability Precervative), la finition nickel chimique/hors chimique (ENIG) : Electroless Nickel Immersion Gold), l'immersion dans de l'argent (ImmAg), l'immersion dans de l'étain (ImmSn), la refusion d'étain/plomb, le dépôt électrolytique de nickel/or, et le dépôt autocatalytique de palladium. Certains de ces traitements sont décrits ci-dessous dans les sections 2.5.7 et 2.5.9. Le choix d'une étape particulière dépend des spécifications et des exigences de traitement ultérieures. Etant donné que ce secteur se développe rapidement, des informations supplémentaires peuvent être trouvées sur les sites Internet du secteur. [159, TWG, 2004].

L'application d'un masque de soudure permet d'obtenir des zones destinées au montage de surface des composants (ces zones sont appelées plages de contact et surfaces de contact). Ces surfaces doivent recevoir une protection, habituellement à base de Ni/Au, si le brasage des composants n'est pas effectué immédiatement.

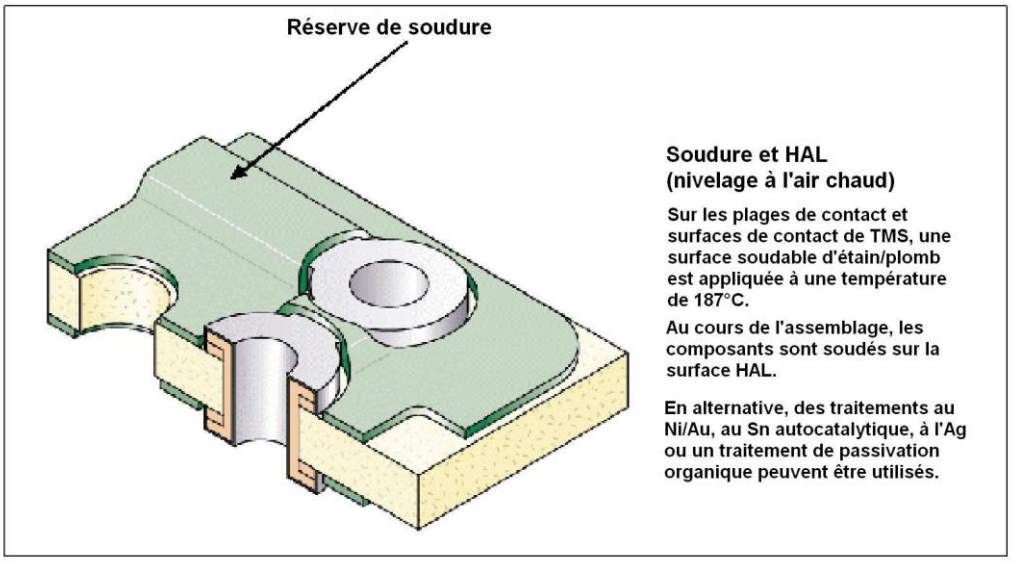


Figure 2.41 : Nivelage à l'air chaud

2.11.3.1 Application de soudure

Cette étape est également appelée nivelage à l'air chaud (HAL) ou nivelage de soudure à l'air chaud (HASL). Après un prénettoyage (dégraissage, désoxydation et séchage), les cartes sont immergées dans un bain de flux (cellophane), qui est suivi d'un trempage dans un bain d'étain/plomb eutectique à une température approximativement de 240 °C. Le mélange d'étain plomb fondu est expulsé des trous sous l'effet de la pression élevée. Cette lame d'air chaud nivelle le dépôt d'étain plomb, pour créer une épaisseur d'environ 1 à 25 µm, comme on peut le voir sur la figure 2.41. Les cartes sont rincées et séchées.

Préoccupations environnementales
Le rinçage produit des effluents contenant des flux craqués thermiquement et a donc une demande chimique en oxygène.

Un système d'extraction des fumées peut être nécessaire.
Le remplacement de la soudure à l'étain/plomb utilisé dans le traitement HAL sera finalisé d'ici au 1er juillet 2006 pour répondre aux exigences de la directive VHU [99, CE, 2000] et de la directive LSD [98, CE, 2003]. Les alternatives proposées sont soit des soudures sans plomb soit un dépôt autocatalytique d'étain, de nickel/or ou de substances organiques, qui protègent le cuivre métallique composant les pistes et les trous de la poussière et de l'oxydation, et maintiennent leur aptitude au brasage.

Les scories et la soudure qui en découlent ont une valeur commerciale et sont renvoyées au fournisseur pour un traitement externe.

2.11.3.2 Nickel-or et/ou étain

Après la préparation de la surface, une couche de nickel autocatalytique est appliquée (voir section 2.54.8), suivie d'un revêtement par immersion dans de l'or (voir section 2.5.9) [159, TWG, 2004].

Préoccupations environnementales
Les métaux précieux peuvent être recyclés.

2.11.3.3 Passivation organique

L'utilisation des passivations organiques augmente sur les chaînes à déplacement horizontal. Une couche protectrice de 0,2 à 0,3 µm est déposée à partir d'une solution d'acide acétique, de dérivés d'imidazole et de composés d'ammonium. Cette couche est éliminée par flux immédiatement avant le traitement de brasure.

Préoccupations environnementales
Les eaux de rinçage et les concentrés peuvent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires. Une séparation antérieure et/ou un traitement antérieur peuvent être nécessaires afin d'empêcher la formation de complexes avec des métaux.

2.11.3.4 Autres activités – Montages de décapage (démétallisation) et panier de métallisation

Un décapage régulier des formations métalliques sur les montages et les paniers de métallisation doit être effectué (voir section 2.3.9). Les dispositifs de transport utilisés lors du cuivrage autocatalytique sont généralement décapés dans des solutions de persulfate de sodium. Les dispositifs de transport métalliques enduits de cuivre et d'étain par dépôt électrolytique sont décapés chimiquement, très souvent à l'aide d'acide nitrique ou au cours d'un traitement anodique.

2.12 Produits consommables

Les consommables utilisés dans le traitement des surfaces comprennent le gaz naturel, le gaz propane et/ou le gaz de pétrole liquéfié (GPL), le fuel, le charbon, l'électricité et l'eau [128, Portugal, 2003].

2.12.1 Energie

Les consommations d'énergie sont décrites dans la section 1.4.3. L'électricité est utilisée sous la forme de courant continu pour les traitements électrochimiques. Le gaz, le pétrole, le charbon et/ou l'électricité peuvent être utilisés pour le chauffage des traitements, en fonction de leur disponibilité et du coût.

L'électricité est également utilisée pour le refroidissement des traitements et l'extraction des fumées. Le gaz et/ou l'électricité sont utilisés pour le séchage des pièces de fabrication dont la surface a été traitée.

Les proportions de consommation énergétique par utilisation pour un atelier sous traitant de zingage acide sont réparties selon les catégories suivantes :

- courant continu pour le prétraitement et le zingage 20 à 40 % ;
- chauffage du traitement pour le prétraitement et le zingage 20 à 40 % ;
- refroidissement du traitement pour le zingage 0 à 17 % ;
- extraction des fumées 5 à 13 % ;
- entraînement des moteurs, séchage, chauffage de la salle, éclairage 13 à 40 %.

2.12.1.1 Electricité

L'énergie peut être obtenue à partir d'une alimentation triphasée et/ou par diminution graduelle d'une alimentation haute tension. Les alimentations en courant alternatif CA sont redressées en courant continu pour les réactions électrochimiques à l'intérieur de l'installation par le biais d'un système de barres conductrices (généralement en aluminium ou en cuivre) entre les redresseurs et les anodes. Ces activités peuvent entraîner des pertes significatives d'énergie, qui sont examinées dans la section 1.4.3.

La consommation d'énergie électrique dans la réaction électrochimique par m^2 de surface traitée dans le traitement peut varier selon la composition chimique du traitement. Certains traitements, tels que le zinc acide, ont un rendement énergétique supérieur à d'autres (tels que le zinc cyanuré), dans lesquels l'énergie est perdue dans des réactions électrochimiques parallèles (dans ce cas, l'oxydation du cyanure).

2.12.1.2 Combustibles fossiles et chauffage du traitement

De nombreuses cuves de traitement doivent être chauffées et atteindre une température supérieure à la température ambiante pour fonctionner de manière efficace. Le pétrole et le gaz (et éventuellement dans certains cas, le charbon) sont des sources principales de chauffage utilisées pour la solution de traitement. Les cuves sont souvent chauffées indirectement grâce à un liquide chaud circulant au travers de serpentins de chauffage. Les systèmes d'eau chaude à pression élevée (dans lesquels l'eau peut être mise en circulation sous pression et à des températures supérieures à 100 °C, et des systèmes de fluide thermique (des huiles qui peuvent également être mises en circulation à des températures supérieures à 100 °C) peuvent fournir un apport énergétique plus important pour l'espace utilisé, et peuvent être nécessaires lorsque les températures de fonctionnement du traitement sont proches des 100 °C. L'eau chaude non pressurisée peut être utilisée lorsque les températures de traitement sont inférieures à 85 °C.

Les fuites touchant les systèmes fonctionnant à l'eau n'endommagent pas en général les solutions de traitement, mais peuvent diluer les solutions qui peuvent ne plus être récupérables d'un point de vue économique. Les fuites de fluide thermique peuvent nécessiter le remplacement entier des solutions de traitement, mais sont plus facilement décelables.

Des brûleurs peuvent être installés directement sur les réservoirs pour les chauffer [128, Portugal, 2003]. Des dispositifs électriques chauffant individuels pour les réservoirs (immersion) sont largement utilisés sur des chaînes de traitement utilisant des réservoirs à volume faible (comme ceux contenant des métaux précieux, et les installations de bobine à bobine), et ils peuvent être utilisés sur les chaînes mises en fonctionnement manuellement et dotées de réservoirs à volume plus importants mais à productions réduites ou en complément d'autres systèmes afin d'atteindre les températures de fonctionnement.

L'utilisation énergétique dépend de la température de fonctionnement requise pour un fonctionnement optimal du traitement et des pertes thermiques provenant du système.

Dans les traitements électrochimiques, le passage du courant au travers de la solution génère également de la chaleur et certains traitements chimiques peuvent également être exothermiques.

2.12.1.3 Refroidissement des solutions de traitement

Pour de nombreux traitements, le maintien dans une plage de température est nécessaire pour une efficacité optimum de la qualité du traitement et la minimisation de la décomposition des produits chimiques de traitement. Le chauffage des traitements peut être nécessaire avant d'entamer le traitement (comme par exemple après une période de fermeture nocturne), mais la circulation du courant au cours des réactions électrochimiques ou certaines réactions chimiques peuvent chauffer la solution jusqu'à une température supérieure à la plage requise. Des informations supplémentaires sont disponibles dans [85, EIPPCB,]. Trois systèmes de refroidissement sont fréquemment utilisés pour le traitement des surfaces :

- le système de refroidissement le plus simple est le refroidissement à passage unique dans lequel l'eau circule une fois au travers des serpentins de refroidissement dans les cuves et est évacuée vers les égouts ou les eaux de surface : l'eau provient du réseau de distribution local, d'une rivière proche ou d'un puits d'extraction des eaux souterraines. On récupère également l'eau utilisée dans d'autres parties de l'installation (comme par exemple l'eau de rinçage usée ou un effluent traité), avant d'être évacuée. L'eau utilisée peut nécessiter un traitement avant son utilisation, comme par exemple une filtration des eaux souterraines ou provenant d'un cours d'eau. Ces systèmes représentent les volumes de consommation d'eau les plus élevés et seront les postes les plus importants d'utilisation de l'eau dans une installation ;
- dans les systèmes de tour de refroidissement à recyclage, l'eau de refroidissement est constamment recyclée à l'aide d'une tour de refroidissement. Cependant, la circulation de l'eau dans la tour de refroidissement entraîne le maintien d'un niveau élevé d'oxygène dissous qui peut provoquer la corrosion de l'intérieur du système et l'évaporation de l'eau dans la tour peut occasionner la formation de solides en suspension. L'eau remise en circulation peut donc nécessiter un traitement afin d'empêcher la corrosion et il est nécessaire

d'évacuer périodiquement une partie de l'eau pour empêcher la formation d'un excès de solides dissous ;
- les systèmes fermés, dans lesquels le fluide de refroidissement n'est pas en contact avec l'air extérieur. Ceci permet de minimiser la corrosion et n'entraîne pas la formation de solides dissous. Le système de refroidissement peut être un système réfrigéré ou un système équipé de radiateurs refroidis par ventilateurs.

Les systèmes de refroidissement consomment également de l'électricité pour le pompage et le refroidissement des systèmes réfrigérés.

2.12.1.4 Autres exigences énergétiques à l'intérieur de l'installation

L'électricité est également utilisée pour les équipements auxiliaires, voir section 1.4.3. L'utilisation énergétique pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation des espaces de travail et de stockage dépendra de la construction de l'installation, de l'implantation géographique (par exemple : Europe du nord ou Europe du sud) et des pertes thermiques et de vapeur d'eau ainsi que des émanations provenant des lignes de traitement.

2.12.2 Eau

L'alimentation en eau et la qualité de cette dernière sont essentielles dans ce secteur. L'eau peut être utilisée pour le refroidissement (voir section 2.12.1.3) mais elle est également largement utilisée pour le rinçage entre les étapes de traitement pour empêcher la contamination des traitements suivants, une surréaction ou une altération d'aspect sur ou de la pièce de travail ou du substrat (voir section 2.4). L'utilisation de l'eau détermine la qualité requise et la ou les sources qui peuvent être utilisées, et une installation peut disposer de plus d'une source d'eau ayant des objectifs différents. Les sources d'eau sont :

- les puits ;
- les rivières ;
- l'eau du réseau de distribution locale ;
- l'eau recyclée provenant d'autres utilisations dans l'installation, telle que les eaux de rinçage ou les effluents traités.

2.13 Réduction des émissions éventuelles dans l'environnement

Cette section résume les options de traitement de réduction pour les émissions éventuelles. Les principales émissions sont décrites dans la section 1.4.4. Les préoccupations environnementales majeures identifient, pour chaque activité décrite dans les sections précédentes du chapitre 2, les émissions environnementales éventuelles. On retrouve :

- l'émission de polluants dans les eaux résiduaires ;
- la production de déchets dangereux ;
- les émissions atmosphériques.

Parmi celles-ci, les émissions atmosphériques sont les moins significatives [104, UBA, 2003] Toute émission peut nécessiter un traitement afin de satisfaire aux réglementations environnementales (IPPCD, art 9 et art 10 [1, CE, 1996]), qui

comprennent les exigences locales (normes de qualité environnementale ou législation) [121, France, 2003].

2.13.1 Eau résiduaire

Des installations destinées au traitement de surface ayant recours à des activités chimiques et électrolytiques utilisent principalement de l'eau et génèrent des quantités significatives d'effluents contenant à la fois des polluants inorganiques et organiques. La large gamme de traitements disponibles et de matières premières utilisées signifie que les effluents sont complexes et leur composition varie selon le temps, le traitement et l'installation.

Le procédé le plus efficace pour empêcher l'entrée des polluants dans l'environnement aquatique est la minimisation des pertes de matériau. Les traitements à base d'eau subissent des pertes de matériau par entraînement dans les eaux de rinçage, la réduction au maximum de ces pertes de matériau lors du rinçage est examinée dans les sections décrivant les procédés destinés au contrôle du rinçage et des pertes par entraînement, section s 2.4, 4.6 et 4.7. Ces section s examinent également la minimisation de l'utilisation de l'eau.

Les points suivants sont la base du choix des moyens les plus appropriés de traitement des eaux résiduaires et de l'établissement des valeurs limites d'émission [11, ACEA, 2003] [3, CETS, 2002] :

- le type de traitement qui amène la création d'eaux résiduaires ;
- le volume et la composition des eaux résiduaires ;
- le devenir ou l'utilisation des eaux résiduaires évacuées (c'est-à-dire, une réutilisation interne ou externe, une évacuation vers des installations de traitement des eaux résiduaires locale, ou l'évacuation directe vers les eaux de surface) et les normes ou exigences qualitatives associées (exigences environnementales : normes auxquelles doivent répondre l'eau reçue et/ou les boues des eaux usées ou les exigences de production) [111, ACEA, 2003] ;
- les exigences d'évacuation réglementaires ;
- la composition des autres flux d'évacuation vers le même cours d'eau ou réseau d'égout (il peut s'agir d'une préoccupation de l'organisme régulateur) ;
- les impacts environnementaux à plus grande échelle lors de l'adoption d'un traitement particulier (par exemple, une consommation énergétique élevée pour des gains environnementaux minimes).

Le traitement des eaux résiduaires est décrit abondamment dans d'autres ouvrages, comme par exemple de manière générale dans [87, EIPPCB,] et de manière spécifique pour ce secteur dans [6, IHOBE, 1997, 13, UNEP, et al., 2002, 21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002]. Les sections suivantes (sections 2.13.1.2 à 2.13.1.15) décrivent donc brièvement les polluants classiques et les activités mises en œuvre pour leur traitement.

Les eaux résiduaires sont contaminées par les réactifs utilisés et les produits de décomposition provenant des traitements. Les ingrédients préoccupants principaux sont les ions métalliques (cations), qui sont persistants (voir section 1.4.4.1), et les anions toxiques tels que le cyanure ou le chromate. Certains traitements des eaux résiduaires peuvent eux mêmes produire des polluants qui nécessitent un traitement supplémentaire,

ainsi une ou toutes les catégories de constituants suivants examinées dans cette section [21, Agence de l'eau de France, et al., 2002], voir également la section 1.4.4 :

- matériaux organiques (section 2.13.1.2)
  - non miscibles – huiles non halogénées, graisses, solvants ;
  - non miscibles – huiles halogénées, solvants dégraissants, solvants de peinture ;
  - solubles – agents mouillants, azurants, ions organiques et ligands, par exemple, l'acétate, l'EDTA (section 2.13.1.8), les matériaux organiques de la catégorie DOC ;
  - AOX – éventuellement formés lors du traitement des effluents
- particules solides en suspension – les hydroxydes métalliques, les carbonates, les poudres et les poussières, les résidus de pellicule, les particules métalliques, etc. (section 2.13.1.4) ;
- acides et alcalis (section 2.13.1.3) ;
- métaux – anions solubles provenant des activités de traitement (sections 2.13.1.5, 2.13.1.6 et 2.13.1.7) ;
- matériaux azotés – NH4+, NO3-, NO2- (section 2.13.1.9) Substances provenant du graissage, du lavage, du revêtement, de la phosphatation, du traitement thermique, du nickelage chimique, etc. ;
- cyanures – CN-, SCN- ; provenant du dégraissage, du revêtement, etc. (section 2.13.1.10) ;
- fluorures – provenant du lavage, de la passivation, du polissage, du revêtement, etc. (section 2.13.1.12) ;
- composés phosphatés – provenant du dégraissage, de la phosphatation, du brillantage, du nickelage chimique, etc. (section 2.13.1.13) ;
- sulfures (section 2.13.1.11) ;
- autres sels – Cl-, SO42-, K+, Na+, Ca+ ,(section 2.13.1.14).

Tous les polluants doivent subir l'un de ces traitements ou les deux :

- un traitement chimique destiné à les détruire ou à les transformer en espèces chimiques moins dangereuses, ou en espèces chimiques traitées ou éliminées plus facilement ;
- la séparation du milieu aqueux jusqu'à des niveaux prédéterminés. L'élimination des polluants de l'eau peut être obtenue grâce à des techniques de filtrage et/ou de décantation, suivies par floculation à un niveau de pH adéquat et décantation.

Dans certains cas, la totalité de l'installation de traitement des eaux résiduaires peut traiter les flux résiduaires mélangés. Pour certaines substances, il est préférable de séparer les flux d'eaux résiduaires pour un traitement individuel avant de les évacuer séparément, ou de les traiter ultérieurement sous forme mélangée.

Le traitement peut s'effectuer de manière discontinue ou continue pour la totalité ou des parties du flux [3, CETS, 2002]. Le traitement discontinu permet une surveillance et un contrôle plus facile, mais nécessite une capacité d'installation plus importante et donc plus coûteuse afin de contenir le flux à traiter et peut exiger une surveillance directe plus longue. Un traitement continu nécessite des systèmes de contrôle plus sophistiqués et l'entretien de ces derniers.

La figure 2.42 présente la configuration d'une installation de traitement classique des eaux résiduaires.

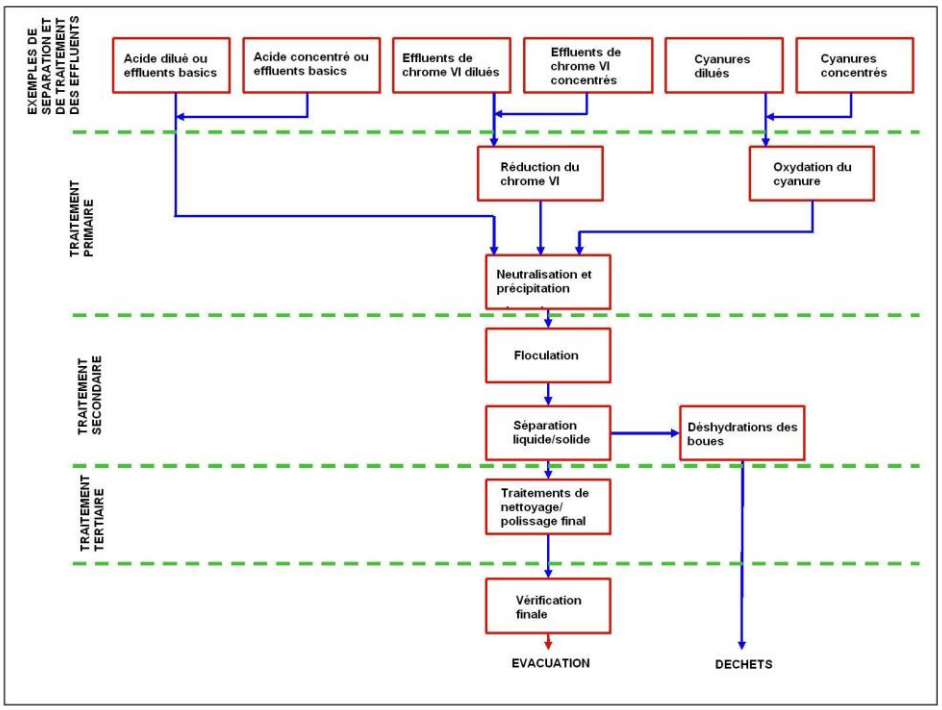


Figure 2.42 : Organigramme d'une installation de traitement des eaux résiduaires classique
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002]

La séparation s'effectue normalement par retrait des polluants de l'eau, mais peut également être effectuée par retrait de l'eau des contaminants grâce à :

- l'évaporation, avec ou sans condensation des vapeurs d'eau, avec formation de boues résiduelles ;
- l'osmose inverse, qui permet d'obtenir une eau purifiée, mais non pure, et avec formation d'eaux résiduaires, qui contiennent les impuretés concentrées.

Les concentrés résiduels peuvent à leur tour être réduits en un solide par l'ajout d'autres matériaux ou l'évaporation de l'eau restante [3, CETS, 2002].

2.13.1.1 Techniques de traitement

Diverses techniques de traitement sont mentionnées dans les sections suivantes. Certaines d'entre elles sont également utilisées pour l'entretien de la solution de traitement, le traitement de l'eau d'arrivée et pour le traitement des eaux résiduaires avant leur recyclage, voir section 2.7.

2.13.1.2 Matériaux organiques

Matériaux organiques non miscibles
Ces derniers sont divisés en deux groupes :

- les matériaux non halogénés – huiles, graisses, solvants ;
- les matériaux halogénés – huile, solvants dégraissants, solvants de peinture.

Ces substances peuvent être d'abord réduites jusqu'à atteindre leur limite de solubilité grâce à une séparation physique, par exemple par flottation (techniques utilisables pour les huiles, les solides de peinturage par électrophorèse) ou pour les substances volatiles, à l'aide d'une séparation de phase liquide/liquide. Pour les matières organiques volatiles, lorsque des niveaux supérieurs à la limite de solubilité sont requis, deux options sont envisageables [3, CETS, 2002] :

- le décapage à l'air, avec élimination grâce à l'air, par exemple au charbon actif, de particules allant jusqu'à environ 1 mg/l et avec polissage final par passage de l'eau résiduaire au travers d'un filtre au charbon actif ;
- l'oxydation au dioxyde de carbone (et acide halogéné dans le cas des matières organiques halogénées) grâce à l'utilisation d'un rayonnement UV et l'ajout d'eau oxygéné.

Matériaux organiques solubles

Les agents mouillants, les azurants, les ions et les ligands organiques, par exemple, l'acétate, l'EDTA, etc.

Les agents séquestrants accroissent la difficulté d'élimination des métaux par floculation et décantation en les complexant et, s'ils sont en excès, ils permettent de solubiliser les métaux dans l'environnement [22, Fraunhofer, 2002]. La concentration de matières organiques miscibles peut être réduite par oxydation (telle que par hypochlorite) grâce à un rayonnement UV et l'ajout d'eau oxygénée (30 minutes en général) ou leurs effets négatifs peuvent être réduits par l'ajout de sels métalliques faibles, par exemple du chlorure de calcium/hydroxyde [3, CETS, 2002].

Réduction de la DOC

Les matières organiques dissoutes dans les eaux résiduaires accroissent la demande chimique en oxygène (DOC). Les types de composés présents ont des vitesses de décomposition extrêmement variables, à la fois chimiquement et biologiquement. Une prévention en amont est généralement l'option la plus simple pour réduire la charge de DOC.

Lorsque la DOC nécessite un traitement, l'option de traitement la plus simple consiste généralement en un traitement biologique permettant de modifier les émissions rejetées ultérieurement dans l'installation de traitement des eaux résiduaires locales. Il est à noter cependant que certains composés contenus dans les effluents peuvent être résistants à l'oxydation biologique, et il peut être nécessaire de tester la biodégradabilité de l'effluent [121, France, 2003]. Dans certaines circonstances, des traitements chimiques peuvent être nécessaires, parmi lesquels [21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002] :

- un traitement physico-chimique ;
- une rupture de l''émulsion chimique ;
- une adsorption sur charbon actif ou sur d'autres matériaux identiques ;
- des techniques utilisant des membranes ;
- la concentration par évaporation ;
- des techniques d'oxydation utilisant l'hypochlorite, le peroxyde, etc.

AOX

Les composés organiques de chlore peuvent éventuellement être formés lors du traitement d'un effluent lorsque de l'hypochlorite ou du chlore est utilisé en tant qu'agent oxydant.

2.13.1.3 Acides et alcalis

Les émissions d'acide et d'alcalis nécessitent généralement un ajustement de pH d'une gamme de valeurs qui dépend des eaux ou des égouts récepteurs avant d'être évacués. Des flux à écoulement constant de pH opposé peuvent être partiellement neutralisés en les mélangeant. Les émissions intermittentes, comme c'est le cas pour les solutions de traitement en fin de vie peuvent être stockées et mélangées à des solutions de pH opposé.

Les compositions chimiques des prétraitements d'effluents, telle que la réduction du chrome hexavalent ou l'oxydation du cyanure, nécessitent un pH proche de celui de la solution de traitement d'origine et sont généralement effectuées avant neutralisation.

En règle générale, le contrôle du pH est réalisé sur une base d'écoulement continu et ces contrôles sont automatisés, bien que certaines émissions soient traitées sur une base discontinue.

2.13.1.4 Matériau particulier

Les hydroxydes métalliques, les carbonates, les poudres et les poussières, les résidus de pellicule, les particules métalliques, etc., peuvent être éliminés par décantation ou filtration, voir section 2.13.2.1.

2.13.1.5 Métaux – anions solubles

La concentration des métaux réutilisables ou recyclables, soit directement soit après traitement supplémentaire, peut être une solution viable, en fonction de la composition chimique de la solution et de la technique utilisée. Ces techniques sont décrites dans la section 2.7. La récupération de métaux précieux, par exemple, le platine, l'or, l'argent, le rhodium, et le ruthénium, peut être obtenue à partir des eaux résiduaires par récupération électrochimique ou par échange ionique (voir section 2.7.6 et 2.7.8) avec la vente consécutive de la résine chargée ou de la liqueur de régénération concentrée à des entreprises de recyclage spécialisées. La récupération d'autres cations contenus dans les flux d'eaux résiduaires peut être effectuée individuellement pour chaque métal ou globalement sous la forme d'un composé de plusieurs métaux. La figure 2.43 représente une installation de référence de traitement utilisant l'échange ionique.

Lorsque plusieurs traitements sont utilisés et lorsque le recyclage des métaux est mis en œuvre, il peut être préférable de concentrer ou de précipiter les métaux provenant de différentes chaînes de métallisation dans des flux séparés. Cela peut permettre d'améliorer les aspects économiques et/ou les détails pratiques du recyclage des métaux.

Figure 2.43 : Installation de référence de traitement des eaux résiduaires utilisant l'échange ionique
(Productmetal S.A. et Agence de l'eau Seine-Normandie)

2.13.1.6 Réduction de l'état d'oxydation des ions métalliques

Dans certains cas, il est nécessaire de réduire l'état d'oxydation du métal car un ou des états d'oxydation importants peuvent ne pas permettre une simple floculation et précipitation par changement de pH [3, CETS, 2002]. Par exemple, la réduction de Cr(VI) par dithionite de sodium donne :

$$4\ Na_2Cr_2O_7 + 3\ Na_2S_2O_3 + 13\ H_2SO_4 \rightarrow 4\ Cr_2(SO_4)_3 + 7Na_2SO_4 + 13\ H_2O$$

2.13.1.7 Précipitation du floc métallique

Les ions métalliques plurivalents sont éliminés le plus facilement par précipitation, car l'hydroxyde et des concentrations en métaux individuels dans l'effluent de poste de décantation bien inférieurs à 1 mg/l sont en théorie possibles. Etant donné que les métaux de transition sont amphotères on obtient une solubilité minimum nécessitant un choix et un contrôle attentif du pH (figure 2.44) :

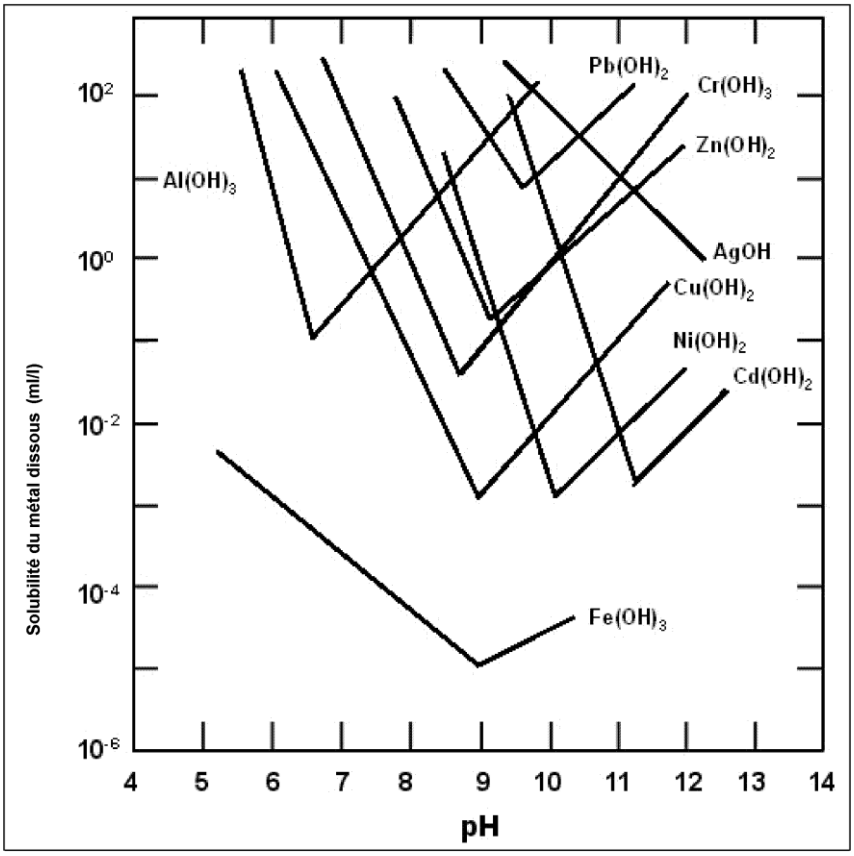


Figure 2.44 : Variation de solubilité du métal dissous par rapport au pH

Les éliminations simultanées de plusieurs ions métalliques jusqu'à des niveaux très bas peuvent nécessiter de choisir des valeurs de phase différentes et une décantation consécutive. Le traitement des flux séparés peut être préférable aux ajustements séquentiels de phase avec des étapes intermédiaires d'élimination des solides. Le pH peut en outre nécessiter un ajustement avant évacuation.

Les métaux précipités peuvent être séparés par décantation. Il existe divers types de séparateurs ou de réservoirs de décantation comme par exemple : [21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002, 87, EIPPCB,] :

- séparateur longitudinal ;
- séparateur radial à écoulement vers le haut ;
- séparateur laminaire.

L'utilisation d'un agent de décantation anionique (un coagulant à densité de charge ionique élevée, comme les ions ferriques, le chlorhydrate d'aluminium) ou d'un polyélectrolyte peut être avantageuse pour la coagulation d'un floc stable et pour l'optimisation de la décantation. Il permet également de contribuer à la déshydratation ultérieure des boues (voir section 2.13.2.1).

Pour des niveaux d'émission faibles (par exemple, inférieurs à environ 3 mg/l pour le zinc), l'effluent nécessitera un polissage (traitement tertiaire) par filtration à l'aide de sable, d'un mélange d'agents, de filtres à cartouches ou sous pression. Pour de faibles émissions, la filtration directe de la suspension à la place de la décantation peut être plus rentable.

Le floc ou filtrat décanté contiendra environ 5 % de matières solides et sa concentration augmente grâce à la déshydratation de ce dernier (voir section 2.13.2.1).

Afin d'obtenir des concentrations en ions métalliques résiduels inférieures à celles que l'on peut obtenir uniquement par l'ajout d'hydroxyde, des sels à base de sulfures insolubles peuvent être utilisés en plus de l'ajout ultérieur d'hydroxyde. Dans la gamme des matériaux appropriés à la réduction de la concentration des métaux de transition solubles à une quantité inférieure à 0,1 mg/l, on trouve le dithiocarbamate (DDC).

2.13.1.8 Agents complexants (séquestrants, chélatants)

Les agents séquestrants, en particulier l'EDTA sont utilisés en quantité croissante dans le secteur des cartes de circuit imprimé afin de garantir l'obtention des spécifications de niveau élevée exigées par la technologie moderne des circuits imprimés [22, Fraunhofer, 2202].

Le succès des traitements par précipitation dépend de la réaction entre les ions métalliques solubles et l'hydroxyde. Les métaux complexés posent problème car les hydroxydes sont difficiles à former et la présence d'agent complexant peut provoquer une défaillance des installations de traitement des eaux résiduaires (c'est-à-dire, un dépassement des limites de fonctionnement de la quantité de métaux dans l'effluent). Les flux d'eaux résiduaires contenant le cyanure (qui est un agent complexant) peuvent être facilement traités (voir section 2.13.1.10). D'autres agents séquestrants présents dans un certain nombre de nettoyants et électrolytes propriétaires sont plus difficiles à traiter. Lorsque des agents complexants posent problème, la précipitation métallique peut être envisageable avec l'utilisation d'hydroxyde de calcium à la place de l'hydroxyde de sodium ou par l'ajout de chlorures de calcium ou de magnésium qui se complexent de préférence avec l'agent. Une digestion préalable prolongée (>30 minutes) avec des agents oxydants forts s'est révélée avantageuse dans la réduction de l'effet des agents séquestrants mais provoquant l'oxydation du chrome et du manganèse qui nécessiteront ensuite une réduction ultérieure avant d'être précipités, lorsque ces métaux sont présents. Des traitements d'élimination organique alternatifs, par exemple, au charbon actif et à l'aide de résines non ioniques, avant précipitation, peuvent être écologiques. L'oxydation microbiologique de matières organiques reste une éventualité théorique.

2.13.1.9 Matériaux azotés

Des composés contenant de l'azote, tels que le NH_4^+, le NO_3^- et le NO_2^- proviennent du dégraissage, du lavage, du revêtement, de la phosphatation, du traitement thermique, du nickelage chimique, etc. [21, Agence de l'eau de France, et al., 2002].

Ammoniac

Si le recyclage par décapage à la vapeur ne se révèle pas économique, l'ammoniac peut alors être oxydé en azote et en eau à l'aide d'hypochlorite de sodium. Tout excès d'hypochlorite peut être réduit par l'utilisation de sulfite de sodium. L'ammoniac peut également être oxydé de manière biologique, généralement au sein des installations locales de traitement des eaux résiduaires.

Oxydation de nitrites

Les nitrites peuvent être oxydés grâce à de l'hypochlorite de sodium à un pH de 6 avec contrôle du rH, réalisé généralement de manière automatique. Les nitrites peuvent également être oxydés par l'eau oxygénée en nitrate [113, Autriche, 2003]. Les nitrites peuvent être réduits en N_2 grâce à du bisulfite de sodium à un pH de 2 ; dans ce cas, le contrôle par rH n'est pas possible [121, France, 2003]. Dans une solution acide, le nitrite peut aisément être réduit en gaz d'azote en utilisant de l'acide sulfamique [113, Autriche, 2003].

Préoccupations environnementales
De l'AOX peut être formé lors de l'utilisation de la solution d'hypochlorite [113, Autriche, 2003].

2.13.1.10 Cyanures

Le cyanure (CN^-, SCN^-) provenant du dégraissage et du revêtement peut être oxydé. L'option la moins onéreuse et la plus largement retenue est celle de l'hypochlorite ou du gaz chlore utilisé à un niveau élevé de pH, qui oxyde d'abord le cyanure en cyanate de sodium et ensuite en ammonium et en carbonate après neutralisation du pH (pH à environ 8,5). Tout excès d'hypochlorite peut être réduit par l'utilisation de sulfite de sodium. La solution d'hypochlorite de sodium peut être utilisée, ou le gaz chlore afin de générer des ions hypochlorite *in situ*, dans des installations de plus grande taille. D'autres agents oxydants comme l'eau oxygénée peuvent être utilisés, avec un pH variant selon l'agent oxydant [113, Autriche, 2003] [159, TWG, 2004].

Préoccupations environnementales
De l'AOX peut être formé lors de l'utilisation d'une solution d'hypochlorite ou du gaz chlore.

Lors de l'utilisation de la solution d'hypochlorite ou du gaz chlore, le pH de la première étape doit être maintenu à un niveau élevé pour garantir une vitesse rapide de réaction et empêcher la formation et la libération des gaz lacrymogène volatil, le chlorure de cyanogène.

2.13.1.11 Suflure

Le sulfure est généralement contrôlé par le surplus de cations plurivalents présents dans la plupart des flux d'eaux résiduaires, sans qu'aucun autre traitement ne soit nécessaire. Lorsqu'un excès de sulfure est constaté, il peut être précipité sous la forme de soufre élémentaire par oxydation à l'aide d'eau oxygénée ou de sels de fer III.

2.13.1.12 Fluorures

Le fluorure apparaît suite aux opérations de lavage, de passivation, de polissage, de revêtement etc., et est facilement précipité sous la forme de fluorure de calcium à un pH supérieur à 7. La solubilité la plus basse du fluorure de calcium est de 15 mg/l pour un pH de 11,2.

2.13.1.13 Composés phosphatés

Les composés phosphatés sont utilisés dans les traitements de dégraissage, de phosphatation, les traitements thermiques, le brillantage, le nickelage chimique, etc. Bien qu'il ne soit, en règle général, pas source de problèmes, il peut être nécessaire de les contrôler en fonction des conditions environnementales locales : l'émission de

plusieurs kilos de phosphore par jour peut avoir un impact sur la rivière réceptrice et son eutrophisation [121, France 2003], le phosphate est précipité le plus commodément sous la forme de phosphate d'hydroxyde de calcium.

Leur solubilité est inférieure à 5 mg/ pour un pH supérieur à 10.

2.13.1.14 Autres sels

D'autres ions tels que le Cl^-, le SO_4^{2-}, le K^+, le Na^+ et le Ca^+ ne posent généralement pas de problèmes, mais les conditions environnementales locales peuvent nécessiter leur élimination.

Le sulfate est aisément précipité sous forme de sulfate de calcium ; le produit de la solubilité est de 2 g/l en fonction de la concentration d'autres ions.

Une concentration d'autres ions peut être souhaitable et l'échange ionique, l'osmose inverse ou l'évaporation peuvent être utilisés avant l'un ou l'autre des traitements (décrits ci-dessus) ou afin de produire un concentré qui sera éliminé en tant que déchet.

2.13.1.15 Nettoyage final de l'effluent (polissage)

Quelle que soit la technologie de traitement des eaux résiduaires utilisée, l'eau traitée contiendra de faibles quantités des composants traités et une concentration significativement plus élevée de matériaux en plus faible quantité provenant des réactifs de traitement utilisés. L'effluent peut subir un traitement supplémentaire comme par exemple [3, CETS, 2002].

- un filtrage fin (au sable) (pour des particules d'environ 5 µm) pour éliminer les particules résiduelles de matériau ;
- un filtrage sur lit de charbon actif pour éliminer les matériaux organiques ;
- un lit de résine d'échange cationique chélatant, à couronne ou de thiol pour éliminer les ions plurivalents de manière sélective.

2.13.2 Déchets

2.13.2.1 Déshydratation des boues

Les solides éliminés de l'effluent principal par précipitation ou filtrage peuvent en outre être concentrés grâce à l'utilisation d'un filtre-presse, d'une presse à bande ou d'une centrifugeuse, traitement grâce auquel on obtient un gâteau de filtration que l'on peut traiter en tant que solide. Le traitement par filtre presse de la boue d'hydroxyde de métal à des pressions avoisinant les 15 bars peut engendrer un gâteau de filtration final comportant 15 à 35 % de solides. Les substances solides ultimes des boues provenant de l'anodisation s'élèvent rarement au-dessus de 25 % [118, ESTAL, 2003, Sheasby, 2002 # 132].

2.13.2.2 Séchage des boues

Le gâteau de filtration peut être ensuite séché pour en diminuer sa teneur en eau.

Préoccupations environnementales

Le séchage nécessite 450 kWh d'énergie thermique par tonne. La chaleur perdue provenant d'autres traitements peut être utilisée.

Le séchage peut créer un déchet poudreux lorsque la teneur en eau est inférieure à 40 %. La manipulation d'une telle substance peut entraîner la création de problèmes supplémentaires liés à la poussière, en comparaison d'un gâteau de filtration solide.

On sait que les boues séchées contenant des résidus de composants oxydants, tels que du H_2O_2, du NaOCl ou des persulfates produisent de la chaleur par réaction exothermique lorsqu'elles sont stockées dans des conteneurs souples (sacs d'une tonne) et peuvent finalement engendrer une combustion spontanée [3, CETS, 2002].

Dans certains cas, le séchage des boues peut contribuer à un traitement ultérieur, comme la solidification.

2.13.2.3 Déchets liquides

Certaines solutions de traitement usées peuvent être stockées et éliminées en tant que déchets liquides, envoyées chez un sous-traitant spécialisé dans le recyclage ou la récupération ou éliminées en tant que déchets dangereux. Des exemples de ces déchets sont les solutions de dépôt autocatalytiques, les agents d'attaque chimique usés et les boues provenant de l'anodisation.

2.13.2.4 Autres déchets solides

Le traitement de surface des métaux et des matières plastiques génère d'autres déchets industriels. Ceux-ci comprennent en général les emballages usés des matières premières (produits chimiques) et des pièces de fabrication ou substrats d'entrée, ainsi que les éléments d'équipement mis au rebus comme les supports et les tonneaux brisés.

2.13.2.5 Stabilisation des boues

Dans certains cas, comme par exemple lorsque les réglementations de gestion des déchets l'exigent, les boues peuvent être stabilisées [21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002], bien que ce traitement soit généralement effectué en dehors du site, par des sous-traitants étant spécialisés dans la gestion des déchets, [89, EIPPCB]. Concernant la solidification, deux types principaux de liant sont utilisés :

- hydraulique, comme les ciments, les cendres volantes provenant des fours à ciment ou des centrales thermiques au charbon ;
- à base d'hydrocarbures, comme les goudrons ou le bitume, (traitement dérivé de l'étain nucléaire).

Le séchage des boues peut être nécessaire avant stabilisation.

Préoccupations environnementales
Le volume des déchets solidifiés à l'aide de liants hydrauliques augmente de 1,5 à 2 fois.

Les déchets traités à l'aide des liants hydrauliques (tel que la chaux) peuvent avoir une réactivité pouzzolanique et développer des propriétés mécaniques qui en augmentent la stabilité avec le temps. Cependant, les agents de surface actifs présents dans ces traitements peuvent interférer avec cette réaction.

2.13.2.6 Valorisation des déchets

Il existe des techniques consistant à réutiliser ou à recycler des déchets de manière externe. Ces dernières incluent l'utilisation des boues en tant que matière première dans le raffinage des métaux non ferreux et la régénération des acides usés. Ces techniques sont décrites dans la section 4.17.

2.13.3 Déchets gazeux et autres émissions atmosphériques

Le traitement des émissions atmosphériques dans les installations de traitement de surface est utile pour deux raisons [111, ACEA, 2003] :

- lorsqu'une législation sur la santé et la sécurité s'applique à l'atmosphère d'un lieu de travail pour la protection des employés face aux substances dangereuses avec lesquelles ils peuvent être en contact sur leur lieu de travail ;
- dans des environnements de travail humides, acides, alcalins ou qui contiennent d'autres produits chimiques et/ou particules qui sont susceptibles d'être corrosives pour les matériaux, les pièces de fabrication et les substrats, l'équipement et la structure des immeubles. Un tel environnement peut engendrer des problèmes comme la détérioration des matières premières, la corrosion des produits finis entraînant leur mise au rebus, des dysfonctionnements d'équipements et la détérioration rapide des immeubles. Dans de nombreuses installations, les vapeurs d'eau, ainsi que les polluants acides alcalins ou d'autres formes gazeuses ou aérosols sont aspirés pour prévenir ce type de problème.

Un traitement supplémentaire des gaz aspirés peut être nécessaire pour répondre à des valeurs minimales d'émission.

2.13.3.1 Sources et types d'émission

Les émissions atmosphériques incluent des gaz, des vapeurs, des brumes et des particules [111, ACEA, 2003]. Les sources principales sont présentées dans le chapitre 2 et comportent le décapage des couches (comme par exemple les bains de décapage et de démétallisation), les bains électrolytiques dégraissants, les processus de traitement individuels ainsi que certains processus de pertes par entraînement et de rinçage (en particulier lorsque les produits de rinçage sont chauffés et/ou pulvérisés). Des particules peuvent provenir des traitements mécaniques comme le travail à la bande abrasive et le polissage, ou de certaines brumes comportant des produits chimiques dans lesquels l'eau s'évapore à partir des gouttelettes composant la brume, laissant des particules de produits chimiques en suspension dans l'atmosphère.

Des substances dangereuses peuvent être libérées dans l'atmosphère sous forme de gaz provenant des traitements correspondants (par exemple, du NO_X, HF, HCl) ainsi que des aérosols chargés en agents corrosifs, en acides ou en d'autres produits chimiques (par exemple, une solution de soude caustique, d'acide sulfurique, des composés de chrome (VI), du cyanure), voir le tableau 1.4.

Des émissions de solvants provenant d'un dégraissage au solvant ou d'un séchage de revêtements inorganiques (tel que le peinturage par électrophorèse ou le vernissage) sont examinées dans [90, EIPPCB,].

2.13.3.2 Mesures destinées à réduire les émissions

Des mesures peuvent être prises pour minimiser l'émission de polluants des diverses sources citées. Par exemple :

- l'agitation par air des solutions de traitement peut être remplacée par d'autres procédés tels que :
  - la mise en circulation de la solution de traitement par pompage ;
  - des mécanismes destinés à mettre les supports en mouvement ;
- des bains utilisés par intermittence peuvent être couverts ;
- des additifs peuvent être ajoutés pour supprimer la formation d'aérosols, comme par exemple pour le chromage. Voir les sections 1.4.4.1 et 2.5.3.

2.13.3.3 Systèmes d'extraction

Les systèmes d'extraction peuvent être installés afin de capter les éventuelles émissions. Bien que certains ateliers disposeront d'un système d'extraction général pour l'ensemble du lieu de travail, un système d'extraction de bord ou de rive au niveau des cuves engendrant des émissions est un système répandu. Des chaînes complètes peuvent être fermées et dotées de systèmes d'extraction. Les systèmes de transport peuvent comporter un couvercle incorporé qui est mis en place sur les barres d'anode.

La quantité d'air évacué capté par le système d'évacuation de bord et la quantité de polluants contenus dans l'air dépendent de plusieurs paramètres :

- la taille du bain ;
- le fonctionnement continu ou par intermittence du bain ;
- la température du bain ;
- les caractéristiques physico-chimiques des produits chimiques spécifiques ;
- le classement des produits et les valeurs de concentration autorisées sur le lieu de travail ;
- l'utilisation d'additifs pour la diminution et/ou l'élimination des émissions de HF, NO_X et Cr (VI) ;
- d'autres procédures de contrôle des émissions ;
- les chaînes de traitement entièrement fermées.
-

2.13.3.4 Traitements des déchets gazeux

Les systèmes de nettoyage suivants sont utilisés :

- des dévésiculeurs qui utilisent un matériau de remplissage pour condenser les aérosols et les gouttelettes. Le condensat est généralement traité dans des installations de traitement des eaux résiduaires ;
- des épurateurs d'air par voie humide. Ces derniers peuvent être :
  - des épurateurs à garniture fibreuse dotés d'une garniture de feutres ou de fibres ;
  - des épurateurs à lit mobile dotés d'une zone de garniture mobile, généralement des sphères de plastique de faible densité qui se déplacent librement entre des grilles de support ;

- des épurateurs à garnissage contenant un lit fixe constitué d'un matériau de garniture de formes diverses
- des épurateurs à impact ;
- des tours de pulvérisation.

De l'eau, ou des solutions de produits chimiques spécifiques, sont pulvérisés dans les épurateurs par voie humide, généralement à contre courant (pas dans tous les cas) de l'écoulement gazeux.

La réduction du NO_X pourrait être obtenue par réduction sélective en utilisant des composés NH_2-X (avec X = H, CN ou $CONH_2$) injectés dans le flux gazeux. L'agent de réduction le plus courant est l'ammoniac. Il existe deux types de techniques : les techniques non catalytiques (RSNC) et les techniques catalytiques (RCS).

Ces techniques et dispositifs sont décrits de manière plus détaillée dans le document de référence sur les MTD dans les systèmes de traitement/gestion des eaux résiduaires et des gaz résiduaires dans le secteur chimique [87, EIPPCB].

2.13.4 Bruit

Le chargement et le déchargement de composants en vrac au cours de la livraison sur des plateaux et le chargement en tonneaux pour le traitement des composants peut produire des pics discontinus. Le travail à la bande abrasive et le polissage génèrent des niveaux de bruit continu. Les deux peuvent engendrer des effets connexes sur la santé en interne.

Pour prévenir les problèmes de santé et de sécurité sur le lieu de travail il est souvent nécessaire d'installer des extracteurs d'air en plus des épurateurs d'air. Les moteurs et ventilateurs des extracteurs fonctionnant à des vitesses de rotation élevées peuvent avoir des effets défavorables sur l'environnement extérieur aux alentours des immeubles du site [121, France, 2003].

D'autres sources de bruit comprennent les systèmes de réfrigération, les systèmes de chauffage, les véhicules de livraison, etc. [158, Portugal, 2004].

3 NIVEAU DE CONSOMMATION ET D'EMISSION ACTUELS CONCERNANT LE TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX ET DES MATIERES PLASTIQUES

3.1 Introduction – services et matériaux consommables

Les facteurs environnementaux les plus importants dans les installations de traitement de surface sont l'énergie et la consommation d'eau, l'utilisation efficace des matières premières, l'émission de polluants dans les eaux, et la production de déchets dangereux. L'émission de polluants dans l'atmosphère a des conséquences moindres.

De nombreux facteurs déterminent la consommation de matières premières ainsi que l'émission de polluants dans les installations en question. Il est quelque peu difficile de fournir des statistiques comparatives à la fois pour les consommations et les émissions car les chiffres varient énormément entre les installations : il ne paraît pas vraisemblable que deux installations parmi les 18 000 que comptent les 15 États membres de l'UE (UE-15) soient suffisamment similaires en termes de conception et de clientèle pour être comparables directement, sur des bases équivalentes de production. Les variations parmi les options de conception d'installation sont dues au grand nombre de paramètres de fonctionnement, voir section 1.2 et l'introduction générale au chapitre 2. Les plus importantes sont : [104, UBA, 2003]

- les substrats entrants (e.g., l'acier, les métaux non ferreux, les matières plastiques, etc.) ;
- la forme des pièces de fabrication (e.g. de petits composants, des fils, des tôles, de petites et des grandes bobines, des tuyaux, des assemblages complexes) ;
- la technologie de transport du traitement (sur support, au tonneau, en bobine continue)
- la technologie de nettoyage (aqueuse, alcaline, acide, électrochimique, etc.) ;
- la technologie de fabrication d'une surface métallique brillante (décapage à l'aide d'acide chlorhydrique, d'acide sulfurique, de mélanges d'acides, etc.) ;
- le programme de revêtement (e.g, cuivrage, nickelage, chromage, zingage, étamage, revêtement d'alliages, combinaisons de couches individuelles comme le placage suivi de l’application de peinture par électrodéposition) ;
- le choix des revêtements individuels (chimique, électrolytique et composition chimique industrielle) ;
- les systèmes de post-traitement (de type chromatation, autres systèmes) ;
- la technologie de rinçage ;
- les techniques de purification des déchets gazeux et des eaux résiduaires.

Le meilleur point de départ pour déterminer les consommations et les émissions afin de procéder à des comparaisons serait une mesure de la production sous la forme « d'unité utilisée par mètre carré traité ». Ceci permettrait à la fois des comparaisons entre installations mais aussi aux installations individuelles de disposer d'outils de surveillance de leur performance pour envisager et gérer des changements au sein d'une même installation. En ce qui concerne les traitements de surface, la base préférée serait la superficie traitée. Cependant, les dimensions, les formes différentes ainsi que la complexité des pièces de fabrication et/ou substrats augmentent la difficulté d'un calcul précis d'une superficie dans la plupart des cas.

En ce qui concerne les émissions, la situation paraît plus simple, car il existe des normes et des mesures d'émission. Cependant, ces dernières s'appliquent principalement aux émissions en fin de traitement. Le mieux serait de comparer les quantités d'émission aux facteurs de production afin d'obtenir une comparaison précise mais ceci est une nouvelle fois très compliqué.

Cependant, aucun de ces problèmes ne devraient empêcher d'établir des références. Des données de consommation comme par exemple l'utilisation énergétique, peuvent toujours être utilisées en interne pour surveiller les performances en cours des installations individuelles [112, Assogalvanica, 2003]. D'autres références peuvent en être dérivées et peuvent être utilisées pour des comparaisons entre installations. Les points de référence concernant le rendement des matériaux sont plus faciles à appliquer que les points références concernant la surface et sont étroitement liés au rendement économique du traitement (voir par exemple le tableau 3.7 et les exemples de l'annexe 8.5). On peut obtenir ces références en soustrayant la quantité de matériaux émis dans les déchets et les eaux résiduaires à la quantité totale de métaux utilisés [127, Oekopol, 2003 ÜBA, 2004 # 123]. Cependant, des précautions doivent être prises afin de garantir une base d'égale à égale : il peut exister, au sein même de l'installation, d'autres sources du matériau en question, par exemple, la dissolution d'un substrat tel que le zinc à partir de moulages par injection de zinc dans des cuves de traitement.

Cette section met à disposition certaines données de base. Un ensemble d'études concernant la consommation et l'émission de métaux dans dix installations de référence en Allemagne est joint dans l'annexe 8.5.

Des données relatives aux préoccupations environnementales clés, comme l'émission de substances préoccupantes, sont présentées avec les descriptions des procédés dans le chapitre 2.

L'Annexe 8.3.1 fournit des exemples de limites réglementaires pour différents procédés et dans divers pays.

3.2 Consommations et émissions – utilités

3.2.1 Energie

Les sources d'énergie et leurs modes d'utilisation sont décrits dans la section 2.12.1.

Pertes énergétiques provenant de la surface des solutions de traitement chauffées
Des pertes énergétiques provenant de la surface des solutions de traitement chauffées liées aux températures de traitement sont présentées sur la figure 3.1, ci-dessous. Cette figure montre que la perte la plus élevée d'énergie se produit à la surface de la solution en présence d'un système d'extraction d'air et d'une agitation du liquide. Le système d'extraction d'air situé au-dessus de la surface des solutions de traitement augmente l'évaporation et donc la perte d'énergie [3, CETS, 2002].

Température de traitement (°C)	*Sans* agitation du liquide, *sans* système d'extraction d'air (W/m^2 de la surface du réservoir)	*Sans* agitation du liquide, *avec* système d'extraction d'air (W/m^2 de la surface du réservoir)	*Avec* agitation du liquide, *avec* système d'extraction d'air (W/m^2 de la surface du réservoir)
30	352	559	839
35	530	837	1 209
40	757	1 196	1 677
45	1 048	1 635	2 268
50	1 426	2 198	3 012
55	1 922	2 910	3 949
60	2 587	3 815	5 129
65	3 505	4 973	6 621
70	4 824	6 469	8 521
75	6 844	8 436	10 974
80	10 279	11 096	14 212
85	17 386	17 386	21 188
90	41 412	41 412	46 023

Tableau 3.1 : Pertes énergétiques à la surface des solutions de traitement chauffées, en watts/m^2

3.2.2 Eau

L'eau est directement utilisée pour les rinçages, ou en appoint pour les systèmes de recirculation de l'eau de rinçage. Dans une moindre mesure, elle est nécessaire pour compenser des pertes par évaporation des réservoirs de traitement et le lavage des équipements de filtration et d'échange thermique. Elle peut également être utilisée dans les systèmes de refroidissement. Notons qu'à moins que l'eau ne soit recyclée ou réutilisée par ailleurs, ce chiffre de consommation sera le chiffre de l'évacuation vers l'installation de traitement des eaux résiduaires.

L'utilisation classique de l'eau de rinçage, par exemple dans une installation automatisée de zinc au tonneau est [3, CETS, 2002] :

- production — 6 tonneaux/h
- longueur du tonneau — 1200 mm
- débit — = environ 500 kg/h en fonction des composants
- électrolyte de dépôt — zinc acide, 33 g/l de zinc
- étapes de dépôt — 5
- utilisation d'anodes de zinc — 20 à 25 tonnes/an
- durée de métallisation — 45 min
- rinçage en cascade
  - première étape de post-nettoyage — 4 étapes (avec renvoi des pertes par entraînement)
  - post-décapage à l'acide — 3 étapes
  - post-dégraissage électrolytique — 3 étapes [125, Irlande, 2003]
  - post-métallisation — 5 étapes (avec évaporation forcée et renvoi des pertes par entraînement)
  - post passivation — 2 étapes
- utilisation globale de l'eau de

rinçage 600 à 1 000 l/h

Les références concernant l'utilisation de l'eau sont :

- l'évacuation d'un effluent nettoyé à un rythme de 50 l/m^2 de superficie traitée et avec un effluent contenant moins de 0,1 % du métal utilisé [8, Nordic-Council, 2002]
- une référence industrielle d'environ 40 l/m^2 (communication personnelle de la Surface Engineering Association, RU)
- un débit maximum de 8 l/m^2 au niveau de chaque étape de rinçage [121, France, 2003] [58, France, 2003]. Ceci revient à un débit de 40 l/m^2 pour 5 étapes de rinçage, ce qui est le cas dans approximativement 80 % des entreprises de traitement de surface françaises dans lesquelles le volume des cuves de traitement est supérieur à 10 m^3. Les détails concernant ces calculs et la définition de l'étape de rinçage sont donnés dans la section 4.1.3.1. La fabrication des PCB est un domaine dans lequel ces chiffres ne peuvent être donnés avec précision (voir section 3.4.3.1).

3.2.3 Consommations et émissions – matériaux

3.2.3.1 Prétraitement – dégraissage

[104, UBA, 2003] Les émissions principales provenant des traitements de dégraissage aqueux sont les eaux de rinçage, les solutions d'huile séparée et de dégraissage usées. Leur génération, ainsi que la consommation de dégraissants, sont déterminées par un certain nombre de facteurs sur lesquels l'exploitant n'a qu'une influence réduite. Trois facteurs sont importants dans la consommation de produits chimiques et la production appropriée d'eaux résiduaires :

- le degré de pollution des pièces de fabrication ;
- la durée de vie de la solution de dégraissage ;
- le recyclage du concentré des eaux de rinçage dans le réservoir de dégraissage.

Le tableau 3.2 présente les différences importantes que l'on peut trouver en pratique. Ici, toutes les entreprises ont des programmes de revêtement similaires et sont considérées comme des installations de référence en ce qui concerne les techniques des règles de bon usage.

Entreprise	Production de surface traitée (m^2/an)	Consommation d'agent nettoyant (t/an)	Consommation spécifique (t/100 000 m^2)
1	158 000	1,24	0,78
2	200 000	12,8	6,4
3	63 000	0,13	0,2
4	468 000	12,4	2,6
5	66 000	7	9,0

Tableau 3.2 : Consommation spécifique de produits chimiques dégraissants

Les différences sensibles montrent qu'il est difficile d'établir de manière générale des chiffres de consommation valables pour cette étape de production.

Des solutions de traitement saturées en huile et à huile séparée sont produites. La quantité de l'huile séparée est identique à la quantité d'huile introduite avec les pièces de fabrication.

Les eaux de rinçage et les bains dégraissants usés sont généralement éliminés conjointement grâce à un système de traitement des eaux résiduaires. On suppose que tous les matériaux utilisés dans les solutions de nettoyage achèvent leur course dans les eaux résiduaires.

3.2.3.2 Décapage

Il existe de grandes différences concernant les données de consommation spécifique des acides de décapage, voir le tableau 3.3 [104, UBA, 2003].

Entreprise	Production de surface enduite (m^2/an)	Consommation d'acide (le type et la puissance de l'acide ne sont pas connus) (t/an)	Consommation d'acide (t/100 000 m^2)
1	158 000	24	15
2	200 000	202	101
3	63 000	21	33
4	468 000	150	32
5	6 000	1,3	2

Tableau 3.3 : Consommation spécifique d'agent décapant

Au Danemark, une consommation de 5 000 kg (96 %) de H_2SO_4/100 000 m^2 est normale. [73 BSTSA,] (5 t/100 000 m^2, en comparaison des chiffres du tableau 3.3).

Les données présentées au tableau 3.4 indiquent la quantité de métal dissous à partir du substrat par l'action décapante et la quantité évacuée sous la forme d'un pourcentage divisée par la quantité de métal traité.

Traitement	Rapport d'émission (%)
Décapage du cuivre (cuivre et alliages)	0,013
Décapage du zinc (zinc et alliages)	0,045
Décapage de l'acier inoxydable (18 % Cr et 10 % Ni)	0,12
Attaque chimique du cuivre des cartes de circuit imprimé	10
Décapage de l'étain-plomb	15
Attaque chimique de l'aluminium	2

Tableau 3.4 : Pertes de métaux provenant du décapage et des traitements connexes [51, France, 2003]

3.2.3.3 Rinçage

Voir la section 3.2.2 ci-dessus, et les sections 4.7.9 et 4.7.10.

3.2.3.4 Traitements de surface principaux

Les traitements incluent non seulement les métaux utilisés, mais également les produits chimiques industriels (par exemple, l'acide inorganique, les alcalis et les sels) et les additifs propriétaires (par exemple, les azurants, les métaux anodiques et les produits chimiques de traitement des effluents). La perte en matériaux est principalement causée par la perte par entraînement, mais le nettoyage et l'entretien (en particulier du matériel de filtration), les fuites et les produits renversés sont des facteurs non négligeables.

Traitements de revêtement (dépôt)
Les agences de l'eau françaises ont déterminé les niveaux d'émission de polluants pour les principales utilisations du traitement de surface. Ces valeurs sont des estimations qui ne tiennent pas compte des techniques de réduction ou de recyclage des agents polluants. Certaines d'entre elles peuvent être surestimées, en particulier les chiffres concernant le secteur des cartes de circuit imprimé [51, France, 2003]. Les données indiquent la quantité de métal évacué sous la forme d'un pourcentage de métaux utilisés dans le traitement (anodes, sels, etc.).

Traitement	**Taux d'émission (%)**
Nickelage (électrolytique)	19
Nickelage (autocatalytique/chimique)	45
Nickelage (phosphatation)	55
Cuivrage (électrolytique)	9
Cuivrage (autocatalytique/chimique)	16
Zingage par immersion à chaud (non décrit dans ce BREF)	6
Zingage (phosphatation)	32
Cadmiage (métallisation)	8
Chromage (dur)	40
Chromage (décoratif)	52

Tableau 3.5 : Pertes de métaux provenant des traitements de revêtement
[51, France, 2003]

Des différences similaires existent pour la consommation d'électrolyte spécifique avec le zingage électrolytique (galvanisation) [104, UBA, 2003] (il est important de spécifier le type de bain de zingage) [73, BSTSA,].

Entreprise	Production de surface enduite (m^2/an)	Consommation d'électrolyte (t/an)	Consommation spécifique d'électrolyte (t/100 000 m^2)
1	**158 000**	**38**	**24**
2	**200 000**	**160**	**80**
3	**63 000**	**6**	**9,5**
4	**468 000**	**90**	**19,2**
5	**66 000**	**15,3**	**23**

Tableau 3.6 : Consommation spécifique d'électrolyte

Au Danemark, la consommation de métaux dans un bain acide de zingage à chaud est estimée à 1 500 kg de Zn/100 000 m^2, si l'on procède à la récupération des résidus (1,5 t de Zn/100 000 m^2).

Installation	Métal	Quantité de métal entrant	Métal présent dans les déchets	Métal présent dans les eaux résiduaires	Rendement du métal
I	Zn kg/an	4 520	770	15	82,63
	Zn %	100	17,04	0,33	
II	Zn kg/an	10 000	1830	0,75	81,69
	Zn %	100	18,30	0,01	
III	Zn kg/an	12 500	2630	3,9	78,93
	Zn %	100	21,04	0,03	
IV	Zn kg/an	25 200	4620	32	81,54
	Zn %	100	18,33	0,13	

Tableau 3.7 : Repères de rendement pour différentes installations de zingage
Oekopol : extrait d'une base de données provenant des installations 2003 [127, Oekopol, 2003]

Nickelage autocatalytique

Il existe de nombreux procédés de nickelage autocatalytique faisant appel à des quantités différentes de phosphore, chaque traitement ayant une durée de vie différente en termes de renouvellement des métaux. La quantité de métal par litre est d'environ 6 g. Huit renouvellements des métaux du bain et du placage, jusqu'à 5 g/l, entraînent l'utilisation de 49 g de nickel et résidu de 5 g dans la solution usée. Les déchets de nickel peuvent être réduits par électrolyse à membrane et le reste de la solution usée peut être réduit jusqu'à environ 3 g/l en utilisant des cathodes d'acier. Des essais sont actuellement effectués procédant de 15 à 20 renouvellements des métaux. Un renouvellement des métaux en 4 fois n'est pas inhabituel et présente un rendement bien moindre. Cela ne facilite pas le calcul d'un rendement universel en % (communication personnelle, CETS VOM).

Chromage hexavalent

L'annexe 8.6 présente en détail une chaîne de chromage décoratif classique de petite taille, utilisant l'éco-rinçage (voir section 4.7.4) et deux rinçages en cascade à contre-courant (dont la solution n'est pas renvoyée vers l'éco-rinçage). Le rendement en matériau mesuré est de 52 %. Sans éco-rinçage, celui-ci tomberait à 20 ou 30 % (Collini, GmbH).

Phosphatation

Le tableau 3.8 présente le rendement de l'absorption métallique dans la couche appliquée de phosphate et les pertes provenant d'un système trimétal moderne typique de prévention contre la corrosion, comme celui utilisé dans le secteur automobile. Le rendement de nickel peut atteindre des chiffres de l'ordre de 8 à 16 %.

	Zn %	Ni %	Mn %
Conditions de traitement			
pH de traitement	**1,3 à 1,7**		
Solubilité phosphate-métal	**95**	**98**	**96**
Répartition des métaux dans un système de phosphatation classique			
Rendement de l'absorption du métal dans une couche de corrosion au phosphate	**40**	**8**	**21**
Quantité de métal dans les eaux usées	**7**	**55**	**25**
Métal contenu dans les boues phosphatées	**53**	**37**	**54**

Tableau 3.8 : Rendements et pertes de phosphatation dans le secteur automobile
[163, Gock and Schlmrosczyk, 2004]

La production de boues est inévitable avec des substrats d'acier à ce niveau de pH, dans une optique industrielle qui veut que plus la quantité de Fe dissous est importante, meilleur est le revêtement. La phosphatation sur zinc ne produit quasiment pas de boue, alors que celle sur aluminium engendre une grande quantité de cryolite (un Na_3AlF_6).

Les chaînes de peinture standard modernes (conçues au cours de ces 10 à 15 dernières années) utilisaient généralement le rinçage à contre courant en deux ou trois étapes. Cette technique a permis d'engendrer des économies massives d'eau dans de nombreuses entreprises. Les eaux de rinçage pourraient être réutilisée, mais en général, la quantité de liquide est trop importante lorsque des produits chimiques d'appoint sont ajoutés.

Des tentatives de concentration des eaux de rinçage utilisant des techniques de concentration par membrane comme l'osmose inverse ou l'électrodialyse ont été menées. Cependant, ces dernières ont engendré des problèmes de maîtrise du pH et la précipitation de phosphates, bien que du H_3PO_4 puisse être ajouté. L'électrodialyse a été testée sur de grandes chaînes, mais a échoué car la maîtrise de la solution échappe rapidement à l'opérateur étant donné la cinétique complexe de la solution. [164, Wittel, 2004]

Conclusions

Les données issues de l'industrie regroupées dans le tableau 3.9 montrent des rendements en matériau faibles à l'exception des domaines où des facteurs financiers (liés à l'or, à l'argent) ou des pressions environnementales réglementaires (comme pour le cadmium) sont primordiales. [3, CETS, 2002]. Ainsi des rendements supérieurs peuvent être obtenus en réduisant le re-travail des pièces et l'utilisation de techniques destinées à la récupération des résidus et des matériaux, et un bon nombre de ces techniques peuvent être utilisées avec d'autres procédés (voir, de manière générale, les sections 4.1.2, 4.6., 4.7 et 4.12). Les données de rendement en matériau concernant les installations de zingage modernes varient principalement avec la forme des pièces de fabrication et la technologie de transport utilisée.

Traitement	**Rendement en % [29, EA, 2001-2003]**	**Rendement en % [3, CETS, 2002]**	**Commentaires relatifs aux données**
Zingage tous (type de traitement)	90 95 pour le revêtement en bande [119, Eurofer, 2003]	70 à 80	70 % est envisageable avec une passivation (lorsque le Zn est redissous par l'acide de chromatation), 80 % sans passivation
Nickelage (en circuit fermé)	95	(sans recyclage) 80 à 85 (avec recyclage) 95	
Nickelage autocatalytique	95 (sans les pertes des solutions usées)	95 (sans les bains usés)	Les chiffres varient de manière importante en fonction du type de traitement, les caractéristiques spécifiques auxquelles le produit doit répondre et les renouvellements en métaux. Les données sont très difficiles à définir (voir section 2.5.8

			et les commentaires dans cette section)
Cuivrage (traitement au cyanure)	95	80	
Etain et alliages d'étain	95	95	
Chromage (en circuit fermé)	95	96 15 (sans recyclage)	Rendement faible (25 à 30 %) sans recouvrement garanti (Annexe 8.6)
Dépôt de métaux précieux	98	98	
Cadmium	99	99	
Phosphatation	90		Zn 40 %, Ni 8 à 16 %, Mn 21 %: sont des valeurs obtenues en général, manque de données décrivant les techniques permettant d'expliquer les différences importantes entre la colonne 2 et le tableau 3.8
Anodisation	90		
Dépôt électrolytique d'un pigment (i.e., peinturage par électro-déposition)		98	

Tableau 3.9 : Rendements des traitements par rapport aux matériaux d'entrée

3.3 Emissions globales

3.3.1 Eaux résiduaires

Vue d'ensemble

Des informations concernant les émissions d'eaux résiduaires provenant de plusieurs sources ont été étudiées

Secteur	Type de données	Type d'échantillon
ACEA	Emissions de phosphatation provenant de trois installations de production automobile	Selon les instances régulatrices locales, c'est-à-dire allemandes ou britanniques.
CETS Pays-Bas	Une installation : étude des données sur six années	Composites journaliers
Finlande	Deux installations de traitement du phosphate	
France	Etude d'un échantillonnage anonyme sur la période 2002-2003 pour plus de dix installations de traitement de surface représentant la gamme d'activités décrites dans le BREF	Composites journaliers
Allemagne	419 échantillons réalisés	Conformément aux règles d'échantillonnage allemandes
Pays-Bas	Une installation	Echantillons ponctuels sur une année
Conseil	Données récapitulatives d'une évaluation des	

Nordique	MTD	
Suède	Rapport d'émission analytique annuel concernant neuf installations, aussi bien sous-traitance qu'en interne	Composites journaliers et mensuels en proportionnels aux flux
RU	Etude de 30 applications de PRIP	Principalement des échantillons ponctuels

Tableau 3.10 : Sources et types de données concernant les émissions d'eaux résiduaires

Les sources individuelles sont examinées plus en détail ci-dessous. Les données sont résumées à la fin de cette sous-section et dans le tableau 3.20. Ces données incluent la dérivation des plages d'émission associées aux MTD éventuelles.

Les données se focalisent sur les valeurs d'émission des substances, et les gammes d'émission constatées. Un grand nombre d'exemples paraissent aberrants. Cependant, il est également important, lorsque l'on considère une installation, de regarder l'ensemble des quantités évacuées par jour (ou pour toute autre période, par exemple par an). Dans certains cas, on a pu identifier que des valeurs d'émission inhabituellement élevées sont associées à des charges relativement faibles. De même, on peut constater que des charges peuvent ne pas varier de manière significative, bien qu'il y ait d'importantes aberrations associées aux valeurs d'émission.

Comme l'indiquent les sources ci-dessus, il existe d'importantes différences parmi les sources et les types de données ainsi que l'échantillonnage et le mode d'analyse utilisés. L'analyse des données (ci-dessous) montre que :

- certaines données ont déjà pu être résumées, d'autres pas. Il n'est pas possible d'en tirer des conclusions globales concernant la fiabilité, la reproductibilité et la précision des données, ni même des intervalles de confiance,
- il existe peu d'informations sur ce qui semble être des erreurs au sein des données fournies,
- chaque installation présente des différences qui n'apparaissent pas totalement (y compris l'utilisation éventuelle d'une MTD) concernant :
  - la taille et la capacité de production ;
  - la configuration des chaînes de production ;
  - le rinçage et les autres techniques de maîtrise intégrées au process ;
  - les produits chimiques ;
  - le traitement des eaux usées.
- aucune donnée n'est fournie concernant :
  - l'âge de l'installation ou des transformations importantes ;
  - le pourcentage de la capacité totale de chaque processus de production ;
  - les capacités et les contributions relatives lorsqu'il existe plus d'un processus de production ;
  - l'emplacement géographique et les conditions environnementales locales (excepté ce qui suit : informations de l'ACEA concernant l'évacuation vers les réseaux d'égouts publics, et les effluents contenant du phosphate et de l'aluminium déversés vers le réseau d'égout public de Suède).

ACEA

L'ACEA a fourni des données provenant de trois installations de phosphatation (avant l'étape de peinture), présentées au tableau 3.11. Les échantillons sont réalisés en

fonction des réglementations locales (Allemagne et Royaume Uni). Les émissions provenant d'activités de traitement de surface dans ces grandes installations sont combinées aux effluents provenant d'autres sources : le facteur de dilution a été pris en compte. L'ACEA indique que les émissions provenant de ces installations sont déversées dans le réseau d'égouts publics (REP) et que ces valeurs prennent en compte les conditions environnementales locales, y compris le traitement effectué dans les stations d'épuration municipales des eaux résiduaires. L'ACEA indique également qu'il est pertinent de considérer les matières en suspension dans les effluents émis, mais ce n'est pas le cas des matières sédimentables. Les matières sédimentables sont utiles en interne pour la maîtrise du process par l'exploitant .

	REP mg/l	**Type d'échantillon (e.g. ponctuel, composite sur 2 heures ou journalier), dilution et type d'effluents sans PO_4 inclus dans l'échantillon**
Nickel	0,99	Procédé de traitement par lots, i.e. échantillons discontinus. Dilution minimale, environ 5 % de l'effluent n'est pas dû au TSM.
DCO	600 - 1400 (installation 1) ou 2000 (installation 4)	Des échantillons composites, prélevés en aval d'installations de traitement des eaux (STEP), donc dilués avec des traitements non liés à la TSM, ont donné une gamme de 600 à 1400 mg/l (installation 1). Echantillons ponctuels depuis 2002 (pour l'installation 3) atteignant jusqu'à 1 100 mg/l. Des lots du traitement des eaux de l'installation 4 ont été échantillonnés, donnant 2 000 mg/l.
HC totaux	Composite estimatif : 2,7 - 20, moyenne : 8 (installation 3) 22,5 (installation 4)	Les données représentent l'huile/les graisses en tant que matières non volatiles extraites au white spirit 40/60. La moyenne des échantillons ponctuels avoisine les 24 mg/l (dans un intervalle de 8 à 61) De même, les données concernant l'huile et la graisse pour l'installation 4 = 22,5 mg/l (déterminées par acidification et extraction au tétrachloroéthylène. Les échantillons traversent des colonnes contenant du fluorisil et du sulfate de magnésium et les extraits obtenus sont quantifiés par spectroscopie à transformée de Fourier).
VOX	0,3	Valeurs moyennes annuelles basées sur un échantillonnage aléatoire. Echantillonnage effectué au niveau du point de rejet dans le cours d'eau ; la concentration est donc réduite de par la dilution par d'autres sources. Les calculs sont effectués avec un facteur de dilution égal à 10, qui a été appliqué pour obtenir la valeur de 0,3 mg/l (installation 5).
Matières sédimentables	30 - 100	Echantillons composites prélevés en aval du traitement des eaux (STEP), et donc dilués par les procédés non TSM (1).

Tableau 3.11 : Valeurs d'émission de l'ACEA pour les installations de phosphatation

CETS Pays-Bas

La CETS des Pays-Bas (VOM) a fourni des données concernant un important atelier de métallisation en sous-traitance, réalisant des dépôts électrolytiques et autocatalytiques. Les échantillons étudiés étaient des échantillons quotidiens proportionnels aux flux. La gamme des valeurs d'émission est donnée dans le tableau 3.11. Des données sur les charges totales de métaux et les volumes totaux pendant plusieurs années ont également été fournies. Les émissions ont été réduites environ de moitié, grâce au développement du rinçage en cascade et du remplacement d'une chaîne de nickelage au tonneau par une

chaîne de nickelage autocatalytique. Cependant, les charges sont, d'une manière générale, restées les mêmes (en dehors de l'effet de la situation économique globale du secteur). On attribue cela à la difficulté à trouver, sur les chaînes de traitement les plus anciennes, de l'espace afin d'accroître le nombre d'étapes de rinçage en cascade. De même, il est indiqué qu'il n'est pas possible d'obtenir les niveaux plus bas simultanément pour tous les métaux, ou pour un métal quel qu'il soit, sur 100% du temps. Ceci peut être dû à un chargement différent sur chacune des chaînes, à certaines interférences chimiques dans le procédé ou aux caractéristiques physicochimiques de l'installation de traitement des eaux résiduaires (par exemple, voir les différences de solubilité des métaux, figure 2.44). Voir également les données allemandes ci-dessous.

	Débit annuel m^3	**Charge annuelle de métal k/an***	**Charge quotidienne moyenne kg/jour**	**Commentaires**
1979 à 1997	9 032	20	0,084	
1998	9 244	12,5	0,053	
2000	10 233	26	0,109	Mise en œuvre de changements dans les rinçages et ~~d~~les traitements
2002	5 607	14,5	0,052	Production anormalement basse engendrée par la situation économique du secteur
2003	5 881	10,5	0,042	
* Les métaux sont : la totalité du Cr, Cu, Ni, Zn, Sn, Pb. 238 jours ouvrables par an				

Tableau 3.12 : CETS Pays-Bas (VOM). Données de débit et de charge d'un atelier de métallisation en sous-traitance

Finlande

Les données relatives aux émissions de phosphate ont été obtenues grâce à deux installations de référence finlandaises sur la base d'échantillons composites journaliers moyens pour des installations utilisant d'éventuels MTD de traitement du phosphate (voir section 4.16.8.2)

	Installation de référence 1	Installation de référence 2
Procédé	Première étape : Précipitation séparée avec du $Ca(OH)_2$ pour les eaux résiduaires provenant de la phosphatation (10 m^3/h). Deuxième étape : Traitement des résidus provenant de la première étape conjointement avec d'autres eaux résiduaires (5 m^3/h) provenant d'une installation de traitement de surface. Cela comporte la précipitation d'hydroxyde et une filtration sur sable et, après ces deux traitements, les eaux résiduaires sont évacuées vers le réseau d'égout public.	Les eaux résiduaires provenant d'une installation d'anodisation sont traitées par précipitation
Evacué vers :	Les flux combinés sont évacués vers le réseau d'égout~~s~~ public~~s~~ (REP)	Evacué vers les eaux de surface (ES)
Taux	0,4 à 2,5 mg/l de phosphore total	0,03 à 0,41 mg/l de phosphore total
Intervalle proposé		0,5 à 4,0 mg/l de phosphore total

Tableau 3.13 : Valeurs d'émissions de phosphate finlandaises

France

En France, la politique nationale était pendant de nombreuses années d'évacuer les eaux résiduaires des installations de traitement de surface vers les eaux de surface après un traitement complet sur site. L'évacuation vers les installations de traitement d'eaux résiduaires locales n'a été envisagée qu'après une analyse détaillée comportant des études de biodégradation, et doit aboutir à une diminution supplémentaire de la pollution [121, France, 2003].

L'analyse française a passé en revue des échantillons composites quotidiens provenant d'échantillonnages anonymes (non attendus) au cours des années 2002 et 2003. Ces données concernent plus de 10 installations de traitement de surface choisies pour représenter la gamme d'activités de ce BREF. Le résumé des données est présenté dans le tableau 3.20.

Allemagne

L'Allemagne évacue actuellement environ 94 % des eaux résiduaires produites par le secteur du traitement des surfaces dans les réseaux d'égouts locaux. [104, UBA, 2003] Un prétraitement est requis au niveau des installations avant évacuation. Dans le cas d'un prétraitement physicochimique, les anions toxiques (comme par exemple les cyanures) contenus dans les eaux usées sont détruits et les métaux lourds sont éliminés jusqu'à ce que la norme requise soit atteinte. Un traitement supplémentaire est réalisé dans l'installation de traitement biologique des eaux locales.

Grâce à l'utilisation des techniques les plus modernes de rinçage pour économiser l'eau et grâce à des installations de traitement des eaux résiduaires à plusieurs étapes, la quantité d'eau résiduaire et la concentration des polluants dans les eaux résiduaires nettoyées peut être minimisée. La charge des polluants provenant du traitement de surface dans les eaux est donc faible, comme le montrent le tableau 3.14 et les installations de référence présentées dans l'annexe 8.5 :

Entreprise	Surface traitée m^2/an	Charge en zinc kg/an	Charge en chrome kg/an	Charge spécifique en zinc kg/100 000 m^2	Charge spécifique en chrome kg/100 000 m^2
I	63 000	3 036	0,910	4 600	1 370
II	158 000	3 900	1 120	2 470	0,709

Tableau 3.14 : Charges en métaux lourds provenant des installations de dépôt électrolytique dans les réseaux d'égouts municipaux
[104, UBA, 2003]

L'Allemagne a fourni des données concernant neuf installations de référence (voir l'annexe 8.5). Le tableau 3.15 présente le pourcentage de métal entrant émis par chaque installation de référence après traitement des eaux résiduaires (les jeux de données ne sont pas complets pour toutes les installations)

Installation de référence	Chrome %	Cuivre %	Nickel %	Zinc %	Ensemble des métaux évacués en % des intrants
A		0,05	0,05		0,05
C	0,032	0,14	0,008		0,02

D	Données insuffisantes				
E				0,007	0,007
F	0,05 (estimé)			0,008	0,01
G				0,037	0,037
H				0,015	0,015
K	Pas de déversement				
L				0,002	0,002
Intervalles	0,32 à 0,48	0,05 à 0,14	0,008 à 0,05	0,002 à 0,037	0,002 à 0,037

Tableau 3.15 : Installations de référence allemandes de l'annexe 8.5 : pourcentage des métaux entrants évacués dans les eaux résiduaires

Ces données montrent de manière générale des émissions de métaux dans les eaux résiduaires sous la forme d'un pourcentage des intrants de métaux allant de 0,002 % à 0,037 %. Ces niveaux sont significativement inférieurs aux valeurs norvégiennes (voir ci-dessous). Les détails exacts ne sont pas connus, mais les installations de traitement des eaux résiduaires peuvent être optimisées pour l'un des métaux, comme par exemple le zinc ou le nickel puisque dans deux cas où plus d'un métal est utilisé, le métal le moins employé est le métal le moins efficacement récupéré ou éliminé (voir également la partie concernant le CETS des Pays-Bas).

L'Allemagne a également fourni 429 détails d'échantillons réalisés sur des émissions d'eaux résiduaires. Les échantillons ont été réalisés selon les réglementations allemandes d'échantillonnage. Ces données sont regroupées dans le tableau 3.16.

	Cr total mg/l	Cu mg/l	Ni mg/l	Zn mg/l	CN libre mg/l
Nombre d'échantillons rapportés pour le métal	398	419	399	419	116
Maximum mg/l	0,5	0,6	0,7	1,9	0,11
Minimum mg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,5	<0,05
Médian mg/l	0,125	0,2	0,2	0,8	0,04
Moyenne mg/l	0,181	0,207	0,215	0,972	0,046
Ecart type	0,109	0,123	0,116	0,368	0,024
95 % d'intervalle de confiance (1,96 d'écart type)	0,214	0,241	0,227	0,721	0,047
Valeur max. pour un intervalle de confiance de 95%	0,395	0,448	0,442	1,693	0,093
99 % d'intervalle de confiance (3,29 d'écart type)	0,359	0,405	0,382	1,211	0,079
Valeur max pour 99 % de certitude	0,54	0,612	0,597	2,183	0,125
Remarque : calcul réalisé grâce au tableur Excel et supposant que la moyenne équivaut à la valeur moyenne.					

Tableau 3.16 : Synthèse des données provenant des échantillons d'eaux résiduaires de traitement des surfaces en Allemagne
UBA

Ces données montrent que les valeurs moyennes et médianes sont généralement bien inférieures au poids moyen donné par la moyenne des deux extrêmes des intervalles, à l'exception du zinc. Ceci laisse supposer que la distribution n'est pas dite normale. Il est important de remarquer que les émissions moyennes réelles, en tant que valeur ou

charge instantanée, sont dans la plupart des cas bien inférieures à la valeur moyenne d'un intervalle. Les intervalles de confiance de 95 % et de 99 % montrent que la valeur établie couvre respectivement 95 % et 99 % des valeurs comprises dans l'intervalle. Par exemple, pour le zinc, une valeur de 2,183 mg/l couvre la totalité de l'intervalle de valeurs attendu avec un taux de confiance de 99 %, tandis que pour le chrome cette valeur est de 0,54 mg/l.

Pays-Bas

L'ensemble des données synthétisées dans le tableau 3.17 correspond à 312 échantillons ponctuels provenant d'une usine sur l'année 2003. L'entreprise est spécialisée dans l'anodisation dure, le nickelage chimique, l'argenture, l'étamage ainsi que d'autres types de finitions. Les valeurs moyennes sont très basses, et les valeurs médianes avoisinent fréquemment zéro. Les écarts types sont significativement plus étendus que les moyennes. Chose intéressante, le maximum de l'intervalle pour le nickel et à un niveau de confiance de 99 % sont les mêmes que la valeur limite. Le maximum et la valeur à 99 % de confiance pour l'aluminium sont également proches de la valeur limite. Les valeurs concernant le chrome sont moins proches, mais pour ce jeu de données, les données montrent que pour une valeur moyenne de 0,127 mg/l (ce qui est, de nouveau, bas) et à 99 % de confiance on obtient des valeurs conformes à 1,059 mg/l.

	Al	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni	Volume quotidien
Unités des valeurs limites	**20 mg/l**	**mg/l**	**0,7 mg/l**	**1,5 mg/l**	**1,5 mg/l**	**1,5 mg/l**	**15 m^3**
Echantillons par *determinand* (312 au maximum)	303	302	302	302	302	303	312
Max	19,500	0,070	0,358	0,245	1,500	1,500	81
Min	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Médian	1,958	0,000	0,000	0,000	0,020	0,174	26,5
Moyenne	3,165	0,003	0,004	0,011	0,127	0,323	26
Ecart type	3,553	0,011	0,026	0,035	0,238	0,386	19,64
Niveau de confiance 95 %	10,264	0,022	0,025	0,067	0,585	1,274	55,45
Niveau de confiance de 99 %	19,122	0,067	0,069	0,181	1,059	1,500	72

Tableau 3.17 : Récapitulatif des données concernant les échantillons d'eaux résiduaires pour une usine néerlandaise.
Remarque : les calculs ont été effectués à l'aide du tableur Excel et en supposant que la moyenne équivaut à la valeur moyenne.

Conseil nordique

Dans les pays nordiques, une enquête menée auprès des installations utilisant les règles de bonnes pratiques a permis d'établir une valeur de référence de déversement d'effluent traité de 50 l/m^2 de surface traitée, l'effluent contenant moins de 0,1 % du métal utilisé [8, Conseil nordique, 2002].

Suède

La politique suédoise est similaire à la politique française : les installations de traitement de surface traitent leurs effluents afin de les déverser vers les eaux de surface. Il existe des exceptions, à savoir les effluents à teneur élevée en aluminium et en phosphate, qu'il est nécessaire d'évacuer vers une installation municipales de traitement des eaux résiduaires. Le contrôle réglementaire se base sur la charge à l'année, avec des valeurs guides concernant les valeurs limites d'émission. Ces dernières sont basées sur des compositions quotidiennes et mensuelles proportionnelles aux flux des émissions.

Des données brutes ont été obtenues pour neuf installations. Il s'agit d'une série d'installations internes et de sous-traitances, et de tailles classiques dans le secteur : généralement deux ou trois chaînes de production et 25 à 100 m^3 de déversements par jour. Les échantillons concernent des moyennes quotidiennes ou mensuelles, selon le degré de priorité du contrôle : Des échantillons quotidiens pour les substances telles que le cyanure, dont l'impact est instantané, et mensuels lorsque la charge est plus critique. Les données sont synthétisées dans le tableau 3.18. Lorsque les données maximales ont été obtenues, leur examen a permis de calculer la charge quotidienne sur la base des flux moyens (les flux quotidiens individuels n'étaient pas disponibles). Pour l'aluminium, la valeur la plus élevée suivante a également été donnée afin de montrer la nature exceptionnelle des valeurs les plus élevées. Celles-ci impliquent que la charge quotidienne soit relativement faible, et que la valeur élevée occasionnelle n'a pas d'impact majeur sur la charge annuelle (ou charge quotidienne moyenne). Ceci suggère que la valeur moyenne (moyennes) et la médiane de ces données seraient également bien inférieures à la valeur à mi-chemin entre le maximum et le minimum de

l'intervalle, comme c'est le cas pour les données concernant l'Allemagne et les Pays-Bas.

Les plages des échantillons quotidiens et mensuels sont généralement similaires et ont été combinées pour former une seule plage dans la plupart des cas. Les plages concernant les émissions dans les eaux de surface et les émissions dans le réseau d'égout public rejoignant la station d'épuration des eaux résiduaires ont également été combinées lorsque la différence constatée était minime : elles sont maintenues séparément lorsque la différence est significative ainsi que pour l'aluminium pour lequel il existe des raisons de les envisager séparément.

Determinand **(ce qui doit être déterminé) (et valeurs limites recommandées en Suède)**	**Eau de surface (ES)**		**Réseau d'égouts publics**		**Plage combinée**	**Charge : kg par jour associé à la valeur d'émission la plus élevée**
	Echantillon quotidien de composé	**Echantillon mensuel de composé**	**Echantillon quotidien de composé**	**Echantillon mensuel de composé**		
Ag mg/l (0,1)	0,013 à 0,019				0,013 à 0,019	
Al mg/l		-	-	-		-
Al mg/l		<0,2 à 75	17 à 20	<0,002 à 230	ES <0,2 à 75 (niveau suivant le plus élevé 0,67) REP <0,002 à 230	ES 0,291 (niveau suivant le plus élevé 0,001) REP 0,341
CN libre mg/l (0,1)	<0,01 à 0,17	-	-	-	<0,01 à 0,17	
Total de CN mg/l (1,0)	<0,01 à 0,26	-	-	-	<0,01 à 0,26	
Cr VI mg/l (0,1)	<0,01 à 0,18	-	<0,02 à 0,11	<0,02 à 0,02	<0,01 à 0,18	0,0005
Cr total mg/l (0,05)	-	<0,01 à 1,5	-	<0,01 à 0,28	<0,01 à 1,5	0,008
Cu mg/l (0,05)	-	<0,01 à 0,8	-	-	<0,01 à 0,8	0,063
Fe mg/l	-	0,06 à 1,2	0,08 à 1,5	-	0,06 à 1,5	0,071
Ni mg/l (0,05)	-	<0,03 à 2,1	-	<0,04 à 0,31	<0,03 à 2,1	0,046
Phosphate sous ~~la~~ forme PO_4 ~~en~~ mg/l	0,11 à 2,6	1,1 à 20	-	0,02 à 5,1	0,11 à 20	0,017
Pb mg/l (0,05)	-	<0,05 à <0,1	-	-	<0,05 à <0,1	
Sn mg/l (1,0)	-	0,2 à 30	-	-	0,2 à 30 (niveau suivant le plus élevé 2,4)	0,002
Zn mg/l (0,05 à 2,0)	-	0,01 à 1,3	-	<0,01 à 0,62	0,01 à 1,3	0,025
DCO mg/l	110 à 240	-	-	-	110 à 240	
Matériau aliphatique total pouvant être extrait mg/l	<1 à 15	-	-	-	<1 à 15 <1 à 32 Plage pour matériau organique total pouvant être extrait <1 à 32	
Matériau aromatique total pouvant être extrait mg/l	<1 à 32	-				
Solides en suspension mg/l (10 pour l'ES)	<5 à 17	<5 à 25	<5 à 710	5 à 10	ES <5 à 25 REP <5 à 710	

Tableau 3.18 : Synthèse des données concernant les eaux résiduaires provenant de neuf installations en Suède

Royaume-Uni

Des données provenant de 37 sites soumis à permis IPPC ont été regroupées. Parmi ces sites, seuls quatre libéraient de l'aluminium dans les égouts publics, un libérait vers les eaux de surface à des niveaux très faibles, deux présentaient des niveaux si faibles que l'effluent était transporté par citerne. Les 30 sites restants déversaient tous leurs effluents après traitement dans les égouts publics. La réglementation au Royaume-Uni définit en général des valeurs limites d'émissions instantanées, bien que la charge par jour soit prise en considération. Les données proviennent d'un mélange d'échantillons

ponctuels, de moyennes d'échantillons ponctuels sur une période donnée, et de certains échantillons composites. Les données sont synthétisées dans le tableau 3.19. On ne sait pas si les valeurs pics concernent des échantillons ponctuels, mais une intervalle issu des échantillons ponctuels est susceptible d'engendrer des valeurs plus élevées que des échantillons composites (voir les données de l'Allemagne). La nouvelle valeur de référence est donnée.

Métal	Nombre de sites libérant des métaux dans un échantillon de 30 sites	Minimum mg/l	Maximum mg/l	Plage normale mg/l	Valeur référence IPPC (octobre 2004)
Chrome (total)	17	0,1	5	1 à 3	1
Cuivre	6	0,25	3	0,25 à 1	1
Plomb	7	<0,01	0,2	0,05 à 0,15	1
Nickel	10	0,1	5	0,2 à 1	1
Argent	1	0,1	-	-	0,1
Etain	1	2	-	-	2
Zinc	16	0,01	8	0,2 à 6	2

Tableau 3.19 : Données concernant les valeurs d'émission des eaux résiduaires provenant de 30 sites soumis à permis IPPC.

3.3.1.1 Conclusions concernant les émissions d'eaux résiduaires

Commentaires généraux

Les plages d'émission examinées ci-dessus sont synthétisées dans le tableau 3.20. Des valeurs d'émission de référence (référence) sont issues de ces données, comme étant représentatives des performances actuelles des installations examinées ci-dessus, installations qui utilisent un certain nombre de techniques telles que celles décrites dans le chapitre 4 afin de :

- minimiser des quantités d'eau et de matériaux émises provenant des procédés (voir les sections 4.5, 4.6, 4.7)
- traiter des eaux résiduaires (voir section 4.16).

Cependant, il est à noter qu'il peut être difficile de maintenir des valeurs de pH stables à l'intérieur des marges étroites requises pour minimiser la solubilité des métaux individuellement lorsque l'on a affaire à un mélange. La réduction des volumes d'eau peut également accroître la concentration des sels dissous et des divers métaux. Ces deux facteurs peuvent être un facteur d'augmentation de la solubilité des métaux au cours du traitement des eaux résiduaires. Tout ceci démontre que, lors de l'application d'un certain nombre de MTD potentielles au cours du procédé et en fin de procédé, il n'est pas possible d'optimiser tous les paramètres, c'est-à-dire, de minimiser les quantités relarguées pour tous les métaux, de maximiser leur maintien dans le procédé et de réduire la consommation d'eau (voir section 4.16)

La quantité des métaux relarguée en pourcentage des métaux entrants varie de 0,002 à 0,1 %. Les données, limitées, indiquent que ce chiffre dépend des techniques au sein du procédé et des techniques de traitement des eaux résiduaires, ainsi que de la combinaison de techniques de procédé et des métaux utilisés. Le rendement de rétention et/ou d'élimination dépend de la proportion de métal utilisé lorsque plusieurs procédés sont utilisés, ce qui montre qu'il peut ne pas être possible d'optimiser le système dans le but de réduire de manière égale l'ensemble des composants émis (voir le cadmium et le mercure ci-dessous).

Des exemples d'application d'une combinaison de techniques de minimisation et de traitement sont décrits dans les installations de référence à l'annexe 8.5 [123, UBA, 2004] et dans des rapports de sites visités [Tempany, 2002#18].

Les valeurs d'émission associées aux MTD potentielles obtenues ici reflètent les performances actuelles de certaines installations du secteur (lorsque les données ont été fournies). Cependant, il ne s'agit pas de valeurs limites (voir la préface et l'introduction du chapitre 5). Certaines valeurs limites sont indiquées dans l'analyse ci-avant à titre de référence. Certaines limites typiques d'émission de quelques pays européens sont présentées dans le tableau 8.2 et le tableau 8.3, de l'annexe 8.3. Des valeurs sont également indiquées pour les recommandations PARCOM 92/4 et HELCOM 23/7, et pour des valeurs limites de métaux dans la directive 98/83/CE sur l'eau destinée à la consommation humaine. Les intervalles de références du tableau 3.20 sont largement compris dans celui des valeurs limites.

Les valeurs d'émission associées aux MTD potentielles sont envisagées pour des échantillons composites quotidiens :

- obtenus après traitement et avant toute dilution avant évacuation ;
- non filtrés avant analyse.

A l'examen des valeurs, une pondération a été appliquée aux échantillons composites quotidiens et les chiffres aberrants ont été écartés. Comme c'était le cas pour l'examen des groupes de données individuelles et qu'il est impossible de voir dans les valeurs composant les intervalles, dans de nombreux cas, les valeurs moyennes utilisées pour les calculs de charge avoisineront l'extrémité inférieure de l'intervalle.

Cadmium et mercure

Ces deux substances font l'objet d'une autre législation. Le cadmium est utilisé dans le secteur, mais dans un nombre limité d'installations et sous des contrôles rigoureux. On le trouve également en tant que polluant, en particulier dans toutes les anodes de zinc (voir section 2.5.4). De faibles niveaux de cette substance peuvent parfois être détectés ce qui renforce l'argument selon lequel les métaux ne peuvent être retenus ou éliminés en proportion de leur utilisation dans l'~~es~~ installation~~s~~. Le mercure n'est pas utilisé dans les procédés de ce secteur, mais peut être présent du fait de la contamination de la soude caustique produite par procédés chlore-~~-~~alcali dans des cellules à mercure.

Autres métaux

L'argent est supposé se trouver dans l'extrémité inférieure de l'intervalle de données disponible limité, pour des raisons évidentes de coût (voir section 4.11). Les concentrations d'aluminium sont importantes uniquement au niveau des déversements dans les eaux de surface (voir section 4.17.3), ainsi, une plage a été établie sur cette base. En ce qui concerne le chrome, le cuivre, le nickel et le zinc, les données montrent que les installations étudiées restent dans les plages établies (à l'exception de certains résultats exceptionnels), bien que pour des sites individuels, les données moyennes peuvent se situer aux alentours de la partie basse de l'intervalle. La plage des valeurs du fer n'est applicable qu'aux émissions dans les ~~-~~eaux de surface.

Fluorure

Une plage de valeurs pour les eaux de surface a été définie à partir des données françaises.

DCO
Une plage de valeurs pour les eaux de surface a été définie à partir des données françaises.

Phosphates
Ici, la plage de valeurs définie concerne uniquement les effluents émis vers les eaux de surface (voir section 4.18.8.2).

Hydrocarbures
En ce qui concerne ces substances, les définitions et les procédés analytiques varient en fonction de la source. Une plage de valeurs pour les eaux de surface a été définie à partir des données françaises.

VOX
Il existe des données pour les eaux de surface, qui proviennent de France, et pour les réseaux d'égouts publics, qui proviennent de l'ACEA.

Solides
Certains États membres utilisent des matières en suspension (comme par exemple la Suède) et d'autres utilisent des matières sédimentables (comme par exemple la France). Il n'existe pas de données permettant d'établir une relation quelconque entre ces valeurs. La plage de valeurs a été définie pour des données d'eau de surface en France et en Suède : ces deux plages de valeurs sont proches, mais les valeurs les plus élevées de la plage ont été légèrement augmentées pour tenir compte des différences éventuelles.

Toutes les valeurs sont en mg/l	France	Finlande	RU	Allemagne	Suède	Pays-Bas	CETS VOM	ACEA	Niveaux d'émission associés à une MTD potentielle	
Remarque : REP=réseau d'égout public ES=eaux de surface	>10 installations	2 installations	Plage normale de 30 installations	1 installation	9 installations	1 installation	1 installation	Evacuation vers les REP 3 installations	REP OU ES	*Determinands* supplémentaires applicables aux eaux de surface (ES) uniquement
Ag	0,1 à 0,5				0,01 à 0,02		LdD à 2,0		0,1 à 0,5	
Al	1 à 5,0				<0,02 à 6,7 (ES) <0,02 à 230 (REP)	<0,1 à 19,5				1 à 10
Cd	0,1 à 0,2								0,1 à 0,2	
CN libre	0,1 à 0,2			<0,2 à <0,28	<0,01 à 0,17				0,01 à 0,2	
Cr (VI)	0,1 à 0,2				<0,01 à 0,18				0,1 à 0,2	
Cr total	0,5 à 2,0		1 à 3	<0,1 à 0,5	<0,01 à 1,5	<0,1 à 1,5	0,02 à 0,1		0,1 à 2,0	
Cu	0,5 à 2		0,25 à 3,0	<0,1 à 0,5	<0,01 à 0,8	<0,1 à 1,5	LdD à 2,8		0,2 à 2,0	
F	10 à 20									10 à 20
Fe	1 à 5				0,06 à 1,2 (ES) 0,06 à 1,2 (REP)					0,1 à 5
Hg	<0,05								0,01 à 0,05	
Ni	0,5 à 2		0,2 à 1,0	<0,1 à 0,3	<0,03 à 2,1	<0,1 à 1,5	0,02 à 2,7	0,99	0,2 à 2,0	
Phosphate sous la forme P	5 à 10	0,03 à 2,5			0,11 à 0,62					0,5 à 10
Pb	0,2 à 1		0,05 à 0,15		<0,05 à <0,1		Tout<LdD		0,05 à 0,5	
Sn	1 à 2				0,2 à 2,4		0,3 à 2		0,2 à 2	
Zn	0,5 à 2,0		0,2 à 6,0	<0,5 à 1,5	0,01 à 1,3	<0,1 à 0,4	0,5 à 1,4		0,2 à 2,0	
DCO	150 à 500				110 à 240			600 à 2000		100 à 500
HC total	1 à 5 (REP ou ES)							2,7 à 20 (moyenne de 8)		1 à 5
VOX	0,1 à 0,5							0,3		0,1 à 0,5
Solides	5 à 20				<5 à 25 (ES) <5 à 710 (REP)			30 à 100		5 à 30 (pour les émissions vers les eaux de surface)

Tableau 3.20 : Synthèse des données concernant les plages d'émission de substances dans l'eau comprenant des valeurs associées à une MTD potentielle

3.3.2 Déchets

Il existe plusieurs types de déchets (voir section 1.4.4.10). Une vue d'ensemble de la consommation des matériaux destinés au traitement et dans les émissions, en particulier contenus dans les déchets et les eaux résiduaires, est présentée à la section 3.1. Dans la plupart des ateliers de traitement de surface, les solides (boues) produits dans l'installation de traitement des eaux résiduaires représentent la part la plus significative des déchets, et la quantité produite est directement liée aux consommations de matériaux et aux rendements du procédé. De plus amples détails sont dans la section 3.2.3.

Les boues ou le gâteau de filtration sont généralement concentrées grâce à un filtre sous pression discontinue et contient de 60 à 80 % d'eau, en fonction de la pression de filtration maximum et de la composition des boues [104, UBA, 2003]. Les boues d'hydroxyde d'aluminium provenant de l'anodisation ne descendent généralement pas au-dessous d'un contenu en eau égal à 75 % [118, ESTAL, 2003]. L'ajout d'agents floculants peut contribuer à l'extraction d'eau (voir section 4.16.7.3). Pour une telle teneur en eau, le gâteau de filtration paraît sec et est aisément friable. Les boues contiennent des poussières, de faibles quantités de sels inorganiques insolubles, des composés organiques et des métaux enlevés (dissous) de la surface des pièces de fabrication ou des substrats et des produits chimiques, y compris des métaux dissous, provenant des solutions de traitement. Les métaux dissous sont généralement précipités sous forme d'hydroxydes, y compris des hydroxydes de Fe (II) et de Fe (III) et des oxydes dissous des substrats d'acier, ou de l'aluminium dissous du substrat au cours de l'anodisation et précipités sous forme d'alumine. Les déchets provenant du traitement par phosphatation sont principalement du manganèse de fer ou du phosphate de zinc. Ces dernières substances peuvent former des parties importantes de la boue. La boue est généralement considérée comme étant un déchet dangereux, et le secteur produit une quantité de déchets dangereux de l'ordre de 300 000 tonnes par an en Europe[3] (approximativement 16 tonnes par an et par installation) [92, CE, 1991, 100, CE, 2000]. Ces déchets nécessitent un traitement conforme aux réglementations en vigueur [93, CE, 2000, 103, CE, 1991].

Le gâteau de filtration peut être séché afin d'obtenir une teneur en eau inférieure pour en réduire les coûts de transport et d'élimination. Il se transforme cependant en poussière lorsque la teneur en eau est inférieure à 40 %. Voir la section 2.13.2.2.

La quantité de boue générée dépend d'une part de l'état de la pièce de fabrication et d'autre part de facteurs spécifiques au procédé au cours du traitement par dépôt électrolytique.

Les facteurs importants sont :

- la présence de polluants ;
- l'érosion des oxydes métalliques de la surface des pièces de fabrication ;
- les pertes par entraînement de la solution de traitement contenant les pièces de fabrication ;
- la conversion de couches de métaux, par exemple lors de la chromatation ;
- la durée de vie des solutions de traitement.

[3] Chiffres issus d'une estimation du secteur d'une quantité <1 % de déchets dangereux en Europe et des chiffres d'Eurostat concernant la gestion des déchets dangereux dans les 15 pays membres de l'UE.

La quantité de boue liée au dépôt électrolytique provenant des ateliers de galvanisation peut être estimée à partir de la quantité de métaux utilisée dans les ateliers de dépôt électrolytique en Allemagne et des pertes par entraînement engendrées. Sur une base annuelle d'utilisation de métaux de 20 000 t/an, avec un taux de perte par entraînement de 20 %/t/an, on obtient une perte de métaux de 4 000 t. En supposant que les métaux sont présents sous forme de sulfate et qu'ils sont précipités au moyen d'une précipitation classique à la chaux :

$MSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow M(OH)_2 + CaSO_4$ (M = métal)

Si l'on présuppose que la boue a une teneur en eau de 70 %, le rapport métal/boue est alors d'un facteur approximatif de 1 : 10. Ce qui signifie qu'environ 10 tonnes de boue liées au dépôt électrolytique sont produites par tonne de métal perdu. Par conséquent, en Allemagne, 40 000 tonnes de boue liées au dépôt électrolytique sont générées par des pertes de métaux non ferreux.

Une enquête menée sur les consommations et les émissions pour la période 1998-2000 a été menée dans 13 ateliers de nickelage électrolytique en Italie du nord. Tous ces ateliers produisent un gâteau de filtration à partir de filtres sous pression discontinue. La teneur habituelle en eau est d'environ 70 % en poids ; la teneur en nickel dans les boues s'étend de 1 800 à 42 000 mg/kg ; le facteur d'émission (nickel émis dans les boues/ nickel utilisé total) est compris entre 40 et 80 g/kg (4 à 8 %) [112, Assogalvanica, 2003], ce qui est légèrement inférieur au taux allemand.

En plus de l'estimation allemande, il est nécessaire de prendre en compte les métaux provenant des traitements avant dépôt électrolytique, en particulier le décapage. Ici, cependant, l'estimation est difficile car l'état des pièces de fabrication livrées, qui est un facteur important, reste inconnu. Au vu de ces incertitudes, la quantité de boue liée au dépôt électrolytique ne peut être qu'estimée. Un nombre compris entre 70 000 et 80 000 t/an semble réaliste pour l'ensemble des ateliers de dépôt électrolytique en Allemagne.

En 2003, en Allemagne, environ 30 % de la boue liée aux dépôts électrolytiques a été utilisée en tant que matière première secondaire dans le secteur des métaux non ferreux. Le reste a été entreposé en centre d'enfouissement technique de déchets dangereux. Le rendement de l'utilisation des boues dans l'industrie des métaux non ferreux n'est pas pris en compte : il n'est pas de 100 % et peut ne s'élever qu'à 70 % [165, Tempany, 2004].

Certaines solutions de traitement arrivant en fin de vie sont directement éliminées en tant que déchets liquides. Ces dernières sont soit renvoyées au producteur qui les recyclera (par exemple, agents de gravure du cuivre dans la fabrication des cartes de circuit imprimé) ou soit traitées en dehors du site en tant que déchets liquides dangereux, e.g., les solutions de traitement usées contenant du cadmium, des cyanures, les solutions de nickel autocatalytiques, et/ou des agents complexants, etc. [121, France, 2003].

3.3.3 Emissions atmosphériques

Vue d'ensemble

Le traitement de surface des métaux et des matières plastiques n'est pas une source importante d'émissions atmosphériques [104, UBA, 2003] et ces émissions n'engendrent pas d'accroissement significatif des problèmes transfrontières, tels que les pluies acides.

Cependant, la qualité atmosphérique locale peut poser problème pour certaines installations (par exemple, les émissions de NO_X dans des zones urbaines). Les raisons et les techniques de contrôle des émissions atmosphériques sont examinées dans la section 4.15.

Certains matériaux utilisés dans les procédés ont des effets négatifs sur la santé et leurs concentrations atmosphériques sur le lieu de travail sont généralement limitées par la législation sur la santé et la sécurité. Lorsque les conditions de travail sur le lieu de travail et les réglementations l'exigent, ces substances devront subir un moyen de maîtrise, réalisé également par les techniques examinées dans la section 4.15, dont les systèmes d'extraction d'air sont un exemple. Certaines substances peuvent également se révéler corrosives pour les bâtiments, le matériel et les pièces de fabrication ou substrats stockés ; leur maîtrise est nécessaire afin d'empêcher une corrosion, des dommages et un remaniement inutiles (voir section 4.3.1.2).

Le tableau 3.21 établit la liste de certaines substances et/ou activités dont les émissions ponctuelles peuvent avoir des impacts environnementaux locaux dans certaines situations. Ces substances sont étudiées en détail dans les sections spécifiques des chapitres 2 et 4.

Type de solution ou d'activité	**Solutions nécessitant une extraction d'air**	
Dans tous les cas :		
Cyanure		
Cadmium		
Chrome hexavalent	Solutions utilisées pour le dépôt électrolytique et/ou chauffées et/ou agitées par air	
Solutions au nickel	Solutions agitées par air	
Ammoniac	Solutions émettant de l'ammoniac, que l'ammoniac soit un composant ou un produit de décomposition	
Activités produisant des poussières comme le polissage et le travail à la bande abrasive		
Solutions utilisant des anodes insolubles	Dans toutes les solutions, de l'hydrogène et/ou de l'oxygène sont formés : il existe un risque de déflagration, voir les procédés et les techniques individuelles présentés dans les chapitres 2 et 4.	
Solutions acides		
	Solutions ne nécessitant pas d'extraction	**Solutions nécessitant une extraction**
Procédés contenant de l'acide nitrique avec émissions de NO_X		Les procédés destinés au traitement de surface de métaux susceptibles d'entraîner la libération dans l'atmosphère d'un oxyde d'azote acidifiant quelconque incluent : • brillantage chimique de l'aluminium ; • décapage brillant ou le polissage chimique des alliages de cuivre ; • décapage à l'aide d'acide nitrique, qui peut également contenir de l'acide fluorhydrique ; • nettoyage in situ à l'aide d'acide nitrique ; • démétallisation chimique à l'aide d'acide nitrique.
Décapage et démétallisation à l'aide d'acide chlorhydrique	L'acide chlorhydrique utilisé à température ambiante et à des concentrations inférieures à 50 % en volume, de qualité technique, avec de l'eau, ne produit en général pas de gaz ou de vapeur de HCl qui nécessiterait une extraction pour des raisons de santé et de sécurité	L'acide chlorhydrique utilisé à des concentrations supérieures et/ou à des températures élevées entraîne la libération significative de gaz ou de vapeur de HCl qui nécessite d'être extrait pour des raisons de santé et de sécurité et pour empêcher la corrosion sur le lieu de travail
Décapage et démétallisation à	L'acide sulfurique utilisé à des températures inférieures à 60 °C	L'acide sulfurique utilisé à des températures supérieures à 60 °C libère un aérosol fin de l'acide

l'aide d'acide sulfurique	n'entraîne pas en général la formation de brumes acides qui nécessiteraient d'être extraites pour des raisons de santé et de sécurité	qui nécessite d'être extrait pour des raisons de santé et de sécurité et pour empêcher la corrosion sur le lieu de travail
Décapage à l'aide d'acide fluorhydrique		Dans tous les cas
Solutions alcalines		
Nettoyage aqueux alcalin	Les produits chimiques de nettoyage alcalins sont non volatiles et ne nécessitent pas d'extraction des vapeurs pour des raisons de santé et de sécurité ou la protection locale de l'environnement	Les réservoirs de nettoyage alcalins fonctionnant à une température supérieure à 60 °C peuvent générer des quantités significatives de vapeur d'eau qui peuvent être extraites pour le confort de l'opérateur et afin d'empêcher toute corrosion

Tableau 3.21 : Solutions et activités pouvant nécessiter la prévention d'émissions ponctuelles

Des données relatives aux d'émissions issues de diverses sources ont été étudiées ; elles sont regroupées au tableau 3.22 :

Source	Type de données	Type d'échantillon
Industrie autrichienne	Deux grandes chaînes de traitement au tonneau	Mesures réglementaires de contrôle par méthodes standard
CETS Pays-bas	Une installation (la même que dans la section 3.3.1)	Mesures réglementaires de contrôle par méthodes standard
CETS RU	Un sous-traitant important de chromage	Une mesure réglementaire réalisée par méthodes standard
Allemagne	Dix installations	
Suède	Systèmes installations, 14 points d'échantillonnage	Mesures réglementaires pour le contrôle par méthodes standard

Tableau 3.22 : Sources et types de données concernant les émissions atmosphériques

Industries autrichiennes

Des exemples d'émissions atmosphériques provenant de deux grandes chaînes de production exploitant trois types de procédés sont présentés dans le tableau 3.23.

Procédés et émissions	Les chaînes de traitement au tonneau de zinc alcalin	Chaîne de traitement au tonneau de cuivre-nickel	
Type de traitement et taille	16 bains sur la chaîne de traitement 26 m^3 de bain de zinc alcalin doté d'anodes insolubles	9 bains 28 m^3 de cuivre cyanuré	18 bains 58 m^3 de bain de nickel de type Watts
Traitement de l'air évacué	Epurateur d'eau	Flux d'air cyanuré lavé dans un épurateur d'air alcalin	Extraction de gouttelettes d'eau par échangeur thermique. Condensation pour traitement des eaux résiduaires
Volume d'air émis Nm^3/h	37 700	27 800	12 200
Emission de zinc mg/Nm^3	0,048 à 0,071		
Charge de zinc émise g/h	2,2		
Emission de cuivre mg/Nm^3		<0,01	
Charge de cuivre émis g/h		<2,78	

Procédés et émissions	Les chaînes de traitement au tonneau de zinc alcalin	Chaîne de traitement au tonneau de cuivre-nickel	
Emission de cyanure mg/Nm^3		0,11 à 0,16	
Charge de cyanure émise g/h		3,75	
Nickel présent dans les émissions atmosphériques mg/Nm^3			<0,01 à 0,011
Charge de nickel émise g/h			0,134
Emission de poussière mg/Nm^3	<1 à 4,0	<1	<1

Tableau 3.23 : Emissions atmosphériques provenant de chaînes de traitement au tonneau de zinc alcalin et de cuivre-nickel, Autriche, Collini Gmbh, Autriche

CETS Pays-Bas

Des mesures d'émissions réglementaires réalisées en 2001 auprès d'une grande installation de sous-traitance de traitement de surface néerlandaise sont présentées dans le tableau 3.24. Les données relatives aux émissions des eaux résiduaires obtenues auprès de la même installation sont présentées dans la section 3.3.1.

Substance	Détails et commentaires concernant le procédé	Valeur mesurée (mg/m^3)	Intervalle (mg/m^3)	Débit m^3/h
Nickel	Nickelage autocatalytique, avec épurateur par voie humide		0,014 à 0,039	2450
Cuivre	Bain agité par air 1,7 m^3, pas d'épurateur	0,001		3320
Ammoniac	Nickelage autocatalytique, avec épurateur par voie humide. Ajout de 1 kg/h à la solution de traitement		<LdD à 9,2	
Cyanure	Démétallisation du nickel	<LdD		Aucun chiffre disponible
Cyanure	Cyanure d'argent, température basse Agitation par pompes, pas d'épurateur		<LdD à 2,7	1847
HCl		1		
Chrome Y compris Cr (VI)	Chromage dur principalement, utilisant du PFOS (2 kg/an)	Cr(VI) : 5 mesures à 0,0001	0,006 à 0,019 du Cr total	2000
Ag		<LdD		
NO_X	Provenant de la démétallisation du nickel des matières plastiques (PVDF) : Avant installation d'un épurateur par voie humide Après installation		 9 033 à 35 450 <500	
Remarque : LdD est la limite de détection				

Tableau 3.24 : Emissions atmosphériques, CETS Pays-Bas
CETS VOM

CETS RU

Les émissions atmosphériques provenant d'une grande installation de métallisation sous-traitante du Royaume-Uni sont présentées dans le tableau 3.25. Les échantillons ont été obtenus selon les méthodes données dans l'annexe 8.4.1.2. Les données concernent une installation de chromage trivalent fonctionnant par rotations de 8 heures.

Source	**Réservoir d'acide chlorhydrique 8013x0,9x0,9 m^3**	**Réservoir d'acide chlorhydrique 2253x0,9x0,9 m^3**	**Réservoir d'acide chlorhydrique 1003x0,9x0,9 m^3**	**Acide chlorhydrique et chrome trivalent brillant 2,5x0,8x1,2m^3**	**Chrome trivalent noir 2,5x0,8x1,2m^3**
Matériel de réduction d'émission	2 systèmes d'extraction de bord ; pas de traitement	2 systèmes d'extraction de bord ; pas de traitement	2 systèmes d'extraction de bord ; pas de traitement	2 systèmes d'extraction de bord ; pas de traitement	2 systèmes d'extraction de bord ; pas de traitement
Débit (normalisé) Nm^3/h	4 418	1 907	6 031	5 600	7 189
Matière particulaire totale mg/m^3	-			0,4	0,2
Chrome (total) Mg/m^3	-			<0,01	<0,01
HCl mg/m^3	0,6	4,2	0,6	1,3	

Tableau 3.25 : Emissions atmosphériques provenant du chromage trivalent
CETS RU (SEA)

Les émissions provenant de l'installation de brillantage de l'aluminium britannique sont décrites dans l'annexe 8.12. L'installation effectue un brillantage automatique/semi-automatique de l'aluminium avant anodisation. Les étapes de la chaîne de traitement sont : nettoyage/dégraissage alcalin au trempé ; brillantage ; ~~et~~ élimination des dépôts à chaud ; anodisation, avec rinçage entre les étapes, utilisant :

- une solution de brillantage à 6 - 7 % d'acide nitrique à 70 % (concentration à l'approvisionnement) ;
- 15 % d'acide sulfurique (approvisionné à 96 %) ;
- 78 à 79 % d'acide phosphorique (approvisionné à 50 %).

L'air est évacué à 30 000 m^3/h et passe au travers d'un épurateur. La plupart du NO_2 est absorbé, laissant principalement du NO qui est plus difficilement absorbable. Les valeurs caractéristiques d'émissions de NO_X après épuration humide sont de 60 à 70 mg/m^3.

Allemagne

Les tableaux 3.26 représentent les valeurs d'émission concernant des installations de décapage et des chaînes de chromage hexavalent en Allemagne [104, UBA, 2003], [NRW UBA]. Des paramètres supplémentaires sont fournis, comme par exemple le débit d'évacuation de l'air, la composition des décapants, etc. lorsque ces informations sont connues. Des procédures simples de maîtrise des émissions ont été utilisées, par exemple, des laveurs d'effluents gazeux à colonne à garnissage et à contre-courant ou des dévésiculeurs. A noter que le procédé chimique de décapage diffère d'une installation de décapage à l'autre.

Un épurateur par voie humide suffit normalement pour le NO_X (e.g. installation 5, tableau 3.26). Afin d'atteindre les valeurs d'émission de la TA-Luft allemande concernant le HF (3 mg/m^3), un épurateur alcalin est généralement nécessaire. Par conséquent, lorsque du NO_X est libéré, une valeur très faible de NO_X est alors également atteinte (voire installation 1, 2 et 10, tableau 3.26). L'installation 8 utilisait, pour les bains de décapage, du HF et du HNO_3 ; avant que ne soit construite leur nouvelle installation et que la composition des bains ne soit modifiée, la réduction à des niveaux inférieurs à 3 mg/m^3 de HF par l'utilisation d'épurateur par voie humide sans alcali posait problème. Ils atteignent désormais une valeur de HF faible et ont éliminé les émissions de NO_X car la solution n'utilise plus d'acide nitrique.

Des valeurs d'émission de HCl comprises entre 30 et 10 mg/m^3 peuvent généralement être obtenues grâce à l'utilisation d'un épurateur à eau. Des valeurs inférieures à 10 mg/m^3 peuvent être atteintes grâce à un épurateur par voie humide, ce procédé présentant néanmoins l'inconvénient d'accroître de manière significative la consommation d'eau.

Des valeurs d'émission très faibles de Cr (VI) (0,001 à 0,011 mg/l) peuvent être obtenues par l'utilisation d'un dévésiculeur sur brume/aérosol. Des niveaux faibles de Ni peuvent également être atteints, mais aucune donnée n'a pu être obtenue.

Données concernant les installations	Installation 1	Installation 2	Installation 3	Installation 4	Installation 5	Installation 6	Installation 7	Installation 8	Installation 9	Installation 10
Type et taille des bains	Décapage 8,2 m^3	Décapage >10 m^3	Décapage 22 m^3	Décapage ~50 m^3	Décapage 11x18 m^3	Décapage ~150 m^3	Décapage ~90 m^3	Nouvelle installation de décapage de l'acier de qualité : 22 m^3	Chromage : 25 m^3	Décapage 9,3 m^3
Dispositif d'extraction- par les côtés				non	Conduites d'extraction d'air			Oui	Oui	Oui
Débit d'évacuation en m^3/h	6 500	<10 000	12 000	3 000 à 6 000	<8 500	~50 000	30 000	4 600 à 7 460	2 800	7 000
Réduction des émissions et milieu de lavage	Epurateurs d'effluents gazeux ; solution d'hydroxyde de sodium	Epurateurs d'effluents gazeux ; solution d'hydroxyde de sodium	Aucun	Chambre d'absorption ; eau	Epurateurs d'effluents gazeux ; solution d'hydroxyde de sodium	Aucun	Epurateurs d'effluents gazeux ; eau	Pas d'épurateur ; uniquement par séparateur d'aérosol/dévésiculeur	Pas d'épurateur ; uniquement par séparateur d'aérosol/dévésiculeur	Tour de lavage à contre-courant doté de 3 plaques et d'un dévésiculeur ; valeur du pH maintenue à 9,0 avec ajout de KOH
Composition du décapant										
% d'acide nitrique	20 à 40	<30	12	-	<40	Inconnu	Inconnu	Aucun		15
% d'acide fluorhydrique	<7	<2	4	5	<7	inconnu	0	5 à 6,5		10
% d'acide sulfurique								1,5 à 2		
% d'acide phosphorique								0,5		
Additifs de décapage	Nitrite		Nitrite, HF							
g de CrO_3/l									250 à 260	
Gestion des bains								Température basse, pas d'agitation par air, pas d'additif	Agent de surface sous la forme d'additifs (pas de PFOS)	Température d'environ 70 °C
Substance en mg/Nm^3										
NO_X	4 à 45	<15	21 à 29		15 à 40 (valeur limite 200)-	<12	<5			7 à 11
HF	0,04 à 0,06	<0,1	2 à 5	0,01 à 0,1		0,05 à 0,07		0,4 à 1,6		0,1 à 0,2
HCl						0,07 à 0,27	<0,4			
H_2SO_4							<0,6			

Données concernant les installations	Installation 1	Installation 2	Installation 3	Installation 4	Installation 5	Installation 6	Installation 7	Installation 8	Installation 9	Installation 10
NaOH							0			
NH_3							<0,2			
CN^-						0,25 à 0,46				
CrVI (ions)						<0,1	<0,3			
Chrome total									0,001 à 0,011 (LdD 0,001)	
Ni	<0,003					<0,1				
Remarque : LdD = limite de détection										

Tableau 3.26 : Valeurs des émissions atmosphériques concernant des exemples d'installations de décapage et de chromage en Allemagne [104, UBA, 2003], [Allemagne, NRW]

Suède

Le tableau 3.27 présente des données provenant d'échantillons prélevés pour des rapports réglementaires établis en 2003 et provenant de 5 installations. Les installations 1 à 4 réalisent des activités d'usinage, et les installations 5 et 6 disposent de lignes de dépôt électrolytiques.

	Installation 1	Installation 2	Installation 3	Installation 4	Installation 5							Installation 6		
Procédé	**Fonderie d'aluminium**	**Fonderie**	**Usinage**		**Zn II**	**$CuSO_4$**		**Décapage**	**Zinc**	**Cyanure**	**Nickel**	**Zinc sur montage**	**Zinc au tonneau**	**Ni/Cr**
Nm^3/h												**33 100**	**2 100**	**2 400**
Emissions en mg/Nm^3														
Chlorure d'hydrogène					0,49 à 0,63			6,89 à 9,13	0,49 à 0,63		0,177 à 0,184	0,6 à 1,0	0,04 à 2,3	<0,3 à <0,4
SO_X sous la forme de SO_2					0,05 à 0,96	0,02 à 0,06			0,05 à 0,96		0,01 à 0,08	0,2 à 2,7	1,1 à 7,0	<0,3 à <0,4
NaOH												0,03 à 0,04	0,2 à 1,2	<0,01 à 0,09
Cyanure d'hydrogène										<0,01				
Cr(VI) et composés sous la forme de Cr														<0,01 à <0,01
Ni et ses composés sous la forme de nickel				0,05 à 0,08 après filtration							<0,04 à 0,06			<0,3 à <0,4
Matière particulaire	1. Après nettoyage <5 2. Autres sources d'émission <10	1,7 à 1,8	23,1 à 29,7 sans nettoyage				7,1 à 8,5							
Zinc					0,06 à 0,126				0,06 à 0,126			<0,01 à <0,01	0,08 à 0,46	
Cuivre						<0,005 à 0,012								

Tableau 3.27 : Valeurs d'émission atmosphérique pour des exemples d'activités de traitement de surface des métaux en Suède [104, UBA, 2003]

3.3.3.1 Conclusions concernant les émissions atmosphériques

Commentaires généraux

Les plages d'émission examinées ci-dessus et celles issues du revêtement à grande échelle sur bobine d'acier (tableau 3.30 et tableau 3.31) sont synthétisées dans le tableau 3.28. Pour cet échantillon, les plages d'émission concernent uniquement des installations de traitement de surface ; chaque installation est associée aux données dans les sections et les tableaux et à une gamme de MTD (par exemple, voir section 4.18). Les valeurs devraient être interprétées en tenant compte des commentaires ci-dessous, et des ~~l~~indications du BREF concernant la surveillance [91, EIPPCB]. Si l'on considère une installation spécifique, les émissions atmosphériques ne sont susceptibles d'être significatives que localement. Il est important de tenir compte de la charge totale libérée, en plus de la concentration. Dans certains cas, un dispositif d'extraction est mis en œuvre pour la santé et la sécurité à l'intérieur de l'installation, et non pour recueillir des émissions ponctuelles. Certaines des faibles valeurs obtenues pour certaines substances proviennent des faibles quantités émises par les procédés et/ou des mesures existantes au sein du procédé : des valeurs faibles ne sont pas toujours associées à l'utilisation de traitements en fin de procédé.

Les données ne présentent en général que de faibles variations entre les sources. Ceci peut s'expliquer par le fait que les émissions atmosphériques de ce secteur ne sont pas significatives et sont traitées facilement en utilisant des techniques déjà disponibles en cours et/ ou en fin de, techniques examinées dans la section 4.15. De même, les mesures d'émission atmosphérique sont réalisées en utilisant des techniques standardisées ne variant probablement pas de manière significative entre les pays et les systèmes réglementaires (au contraire des mesures effectuées sur les émissions d'eau, voir section 3.3.1).

L'analyse des données montre que :

- certaines données fournies le sont sous forme résumée, et d'autres ne le sont pas. Dans certains cas, il est impossible de déterminer clairement si les données fournies proviennent d'un échantillon, d'un composite ou d'une synthèse de plusieurs échantillons ;
- Il n'est pas possible d'établir de conclusions globales à propos des erreurs et de la fiabilité, de la reproductibilité et de la précision des données, ainsi que sur les intervalles de confiance ;
- dans certains cas, des valeurs faibles peuvent avoir été incluses pour des substances qui ne sont pas utilisées dans le procédé ou l'installation étudiés. Cependant, elles ont été soumises comme faisant partie d'un ensemble prescrit (ou suite) de paramètres réglementaires ;
- chaque installation présente des différences qui ne sont pas totalement indiquées et qui concernent :
  - ° la MTD éventuelle utilisée, en particulier si un système d'agitation par air est utilisé ;
  - ° la taille et la production du procédé étudié ;
  - ° les produits chimiques utilisés dans les procédés et leurs concentrations ;
  - ° les substrats traités ;
  - °le traitement de l'air rejeté.
- peu de données sont fournies concernant :
  - ° le type et l'âge des installations, les procédés importants ou la MTD éventuelle utilisée ;

° le pourcentage de la capacité totale de l'activité de production et les techniques de maîtrise au moment de l'échantillonnage ;
° les contributions relatives lorsque l'air est évacué au niveau du même point d'échantillonnage pour plus d'une activité de production ;
° l'emplacement géographique et les conditions environnementales locales.

Les plages d'émission associées aux MTD éventuelles obtenues ici reflètent les performances actuelles de certaines installations du secteur (lorsque des données ont pu être obtenues). Cependant, il n'existe pas de valeurs limites (voir la préface et le chapitre 5). Certaines limites d'émission classiques concernant les pays européens sont indiquées dans l'annexe 8.3. L'intervalle de valeurs de référence est largement compris dans celui des valeurs limites .

Les plages d'émission associées à une MTD éventuelle concernent des échantillons réglementaires et les intervalles de durée sont spécifiés au sein des méthodes standardisées utilisées. Ces échantillons sont souvent réalisés sur une période de 30 à 60 minutes au cours de la période de fonctionnement.

Commentaires concernant la définition des intervalles
Etant données les incertitudes évoquées ci-dessus, en particulier le fait que certaines valeurs basses pourraient être dues à la substance non utilisée, les valeurs inférieures des intervalles ont été arrondies. Les valeurs supérieures de certaines intervalles ont également été arrondies, là encore pour tenir compte des incertitudes.

Oxydes d'azote (quantité totale d'acide se formant sous forme de NO_2)
Les séries de données concernant le NO_X présentent des valeurs qui varient couramment : De moins de 5 à 45 mg/Nm^3 en Allemagne jusqu' à moins de 500 mg/Nm^3 pour le CETS des Pays-Bas. Une installation étudiée en Allemagne a maîtrisé la quantité de NO_X émise au décapage en substituant la composition chimique du procédé. L'intervalle d'émission de NO_X est étendu mais des niveaux inférieurs à 100 mg/l ont été obtenus au RU avec l'utilisation de laveurs ou tours d'adsorption, (voir l'annexe 8.12).

Fluorure d'hydrogène
Une gamme de valeurs a été obtenue à partir des données concernant une installation de décapage en Allemagne.

Chlorure d'hydrogène
Le tableau 3.25 montre que des valeurs faibles peuvent ne pas être associées au traitement des déchets gazeux. Cette gamme comporte des données provenant du CETS Pays-Bas et du CETS RU, d'Allemagne et de Suède.

SO_X sous forme de SO_2
Une gamme de valeurs a été obtenue à partir des données suédoises.

NaOH
Des données sont fournies et concernent une installation en Suède. Cependant, aucun procédé de détermination n'a été fourni et on estime en général que lorsque le niveau de NaOH doit être contrôlé, il peut être retrouvé dans la valeur limite de poussières. Aucune gamme de valeur associée à une MTD éventuelle n'en a été dérivée.

Ammoniac sous forme de N-NH_3

Les données concernent le nickelage autocatalytique. Aucune donnée n'est intégrée à propos de la fabrication de cartes de circuit imprimé, secteur dans lequel l'ammoniac en tant qu'agent de gravure est fréquemment utilisé et peut être une source importante d'ammoniac dans le secteur.

Cyanure d'hydrogène
Des valeurs faibles ont pu être obtenues pour un traitement grâce à des mesures en cours de traitement : ce traitement utilisait une solution à température basse et une agitation créée par pompe (et non par air). Une gamme de valeurs a été déduite à partir quatre sources et plusieurs traitements. Les valeurs composant la partie inférieure de la gamme peuvent être obtenues grâce à des épurateurs alcalins.

Zinc
Une gamme de valeurs n'a pas été déduite des données provenant d'Autriche et de Suède.

Cuivre
Une gamme de valeurs proches des limites de détection a été obtenue grâce aux données provenant d'Autriche, du CETS Pays-Bas et du Royaume-Uni et de Suède.

Chrome et ses composés
Une gamme de valeurs a pu être obtenue pour le chrome hexavalent : <0,1 à 0,2 mg/Nm^3. Les chiffres concernant la quantité de chrome totale sont tous situés au-dessous de <0,1 mg/Nm^3. Le chiffre concernant la quantité de chrome totale devrait être supérieur à celui concernant le chrome hexavalent, cependant, les chiffres sont proches de la limite de détection, ce qui peut expliquer les anomalies.

Nickel et ses composés
Une gamme de valeurs proche des limites de détection a été obtenue à partir de trois sources.

Matière particulaire
La gamme de valeurs est obtenue à partir de trois sources qui comportent des traitements par voie humide et par voie sèche. La gamme de valeurs peut être obtenue dans certaines circonstances sans nettoyage, bien qu'il puisse être nécessaire pour atteindre la partie inférieure de la gamme de valeurs concernant les particules sèches en suspension. La partie inférieure de la gamme de valeurs concernant les traitements aqueux est généralement obtenue après épuration par voie humide ou alcaline pour d'autres émissions.

Emissions mg/Nm^3	Activités : sur support ou au tonneau					Activités sur bande d'acier à grande échelle	Quelques plages d'émission	Quelques techniques utilisées pour répondre aux exigences environnementales locales associées aux plages d'émission (voir le tableau 3.21)
Source	Autriche tableau 3.23	CETS NL tableau 3.24	CETS RU tableau 3.25	Allemagne tableau 3.26	Suède tableau 3.27	EUROFER tableau 3.30 et tableau 3.31		
Oxydes d'azote (formation totale d'acide sous forme de NO_2)		**<500**		**<5 à 45**		**DNC** ***Voir la Note 1***	**<5 à 500**	**Epurateurs ou tours d'adsorption**
Fluorure d'hydrogène				**<0,1 à 1,6**			**<0,1 à 2**	**Epurateur alcalin**
Chlorure d'hydrogène			**0,6 à 4,2**		**0,3 à 9,0**	**Traitement à l'étain ou au chrome (ECCS) 25 à 30**	**<0,3 à 30**	**Epurateur à l'eau** ***Voir la Note 2***
SO_x sous forme de SO_2					**0,1 à 7,0**	**DNC**	**1,0 à 10**	**Tour à garnissage à contre courant avec épurateur alcalin**
NaOH					**0,3 à 1,2**	**DNC**	**Aucune gamme de valeur obtenue**	
Ammoniac sous forme de $N - NH_3$		**0,1 à 9,2**				**DNC**	**0,1 à 10**	**Note : les données proviennent d'un nickelage autocatalytique. Aucune donnée n'est fournie pour la fabrication de PCB ; Epurateur par voie humide**
Cyanure d'hydrogène	**0,11 à 0,16**	**LdD à 2,7**		**0,25 à 0,46**	**<0,1**	**DNC**	**1) 0,1 à 3,0** **2) 0,1 à 0,5**	**Agitation sans air ; Traitements à température basse ; Traitements sans cyanure ; La partie inférieure de la gamme de valeurs peut être obtenue par l'utilisation d'un épurateur alcalin**
Zinc	**0,05 à 0,07**				**<0,01 à 0,46**	**Traitement au zinc ou au zinc nickel**	**<0,01 à 2,5**	**Epurateur à eau** ***Voir la Note 2***
Cuivre	**<0,01**	**0,001**			**<0,005 à 0,012**	**DNC**	**<0,01 à 0,02**	***Voir la Note 2***

Cr(VI) et ses composés sous forme de chrome		**Cr(VI) 0,006 à 0,02 Cr total (5 résultats) 0,0001**	**Cr total <0,01 à <0,01**	**Cr(VI) <0,01 à 0,11**	**<0,01 à <0,01**	**DNC**	**Cr(VI) <0,01 à 0,2 Cr total <0,1 à 0,2 *Voir la Note 3***	**Substitution du Cr(VI) par du Cr(III) ou des techniques sans chrome ; Dévésiculeur ; Epurateurs ou tour d'adsorption**
Ni et ses composés sous forme de nickel	**<0,01 à 0,01**	**0,014 à 0,04**			**<0,04 à 0,06**	**DNC**	**<0,01 à 0,1**	**Extraction et condensation dans un échangeur thermique ; Epurateur à eau ou alcalin ; Filtration *Voir la Note 2***
Matière particulaire			**0,2 à 0,4**		**<5 à 29,7**	**Traitement à l'étain ou au chrome (fer chromé) 1 à 20**	**<5 à 30**	**Epurateur par voie humide ; Cyclone ; Filtration ; (les valeurs comptabilisent les données même lorsqu'aucun traitement n'est effectué**
Note 1 :DNC = données non communiquées ***Note 2 : dans certaines circonstances, certains opérateurs obtiennent ces gammes de valeur sans EoP*** ***Note 3 : le Cr total <0,1 à 0,2 est obtenu à partir de la gamme de valeurs des mesures d'émissions de Cr(VI) et des émissions totales de Cr***								

Tableau 3.28 : Regroupement des données pour des gammes d'émissions atmosphériques provenant de certaines installations

3.3.4 Le bruit

Les problèmes de bruit internes aux installations sont régis par la législation de la santé du travail.

Le bruit extérieur est un facteur de nuisance et dépend des entités proches touchées, telles que les logements, d'autres entreprises, les cibles sensibles d'un point de vue social comme les hôpitaux, les lieux publics, la faune et la flore, etc. Le bruit est généralement mesuré sous forme de niveaux constants et les niveaux record sont souvent comparés aux niveaux de fond locaux. Les réglementations fixent souvent un niveau de bruit maximum et un niveau supplémentaire par rapport aux normes locales. Le bruit est parfois contrôlé par l'instauration d'heures de travail autorisées ou la mise en place de seuils de bruit différents pour différents moments de la journée et des fins de semaine, par exemple, les périodes qui affecteraient le plus les personnes habitant ou travaillant aux environs de la source de bruit.

Les activités particulièrement bruyantes sont identifiées dans les sections 2.13.4 et 4.19. Aucune valeur n'est fournie pour des installations exploitées.

Un exemple de niveau réglementaire correspondant à un niveau supplémentaire s'ajoutant au niveau de fond est fourni à l'annexe 8.3 [121, France, 2003].

Les vibrations peuvent également être envisagées, avec le bruit, comme un problème de nuisances locales. Ce problème est plus difficile à évaluer.

3.4 Consommations et émissions concernant d'autres activités

3.4.1 Etamage électrolytique continu de l'acier et chromage électrolytique continu de l'acier (ECCS)

Les données de cette section ont été obtenues sur la base d'informations fournies par sept chaînes de production européennes. Les données doivent être considérées comme des données habituelles pour ce type d'activité et ne doivent pas être considérées comme définitives.

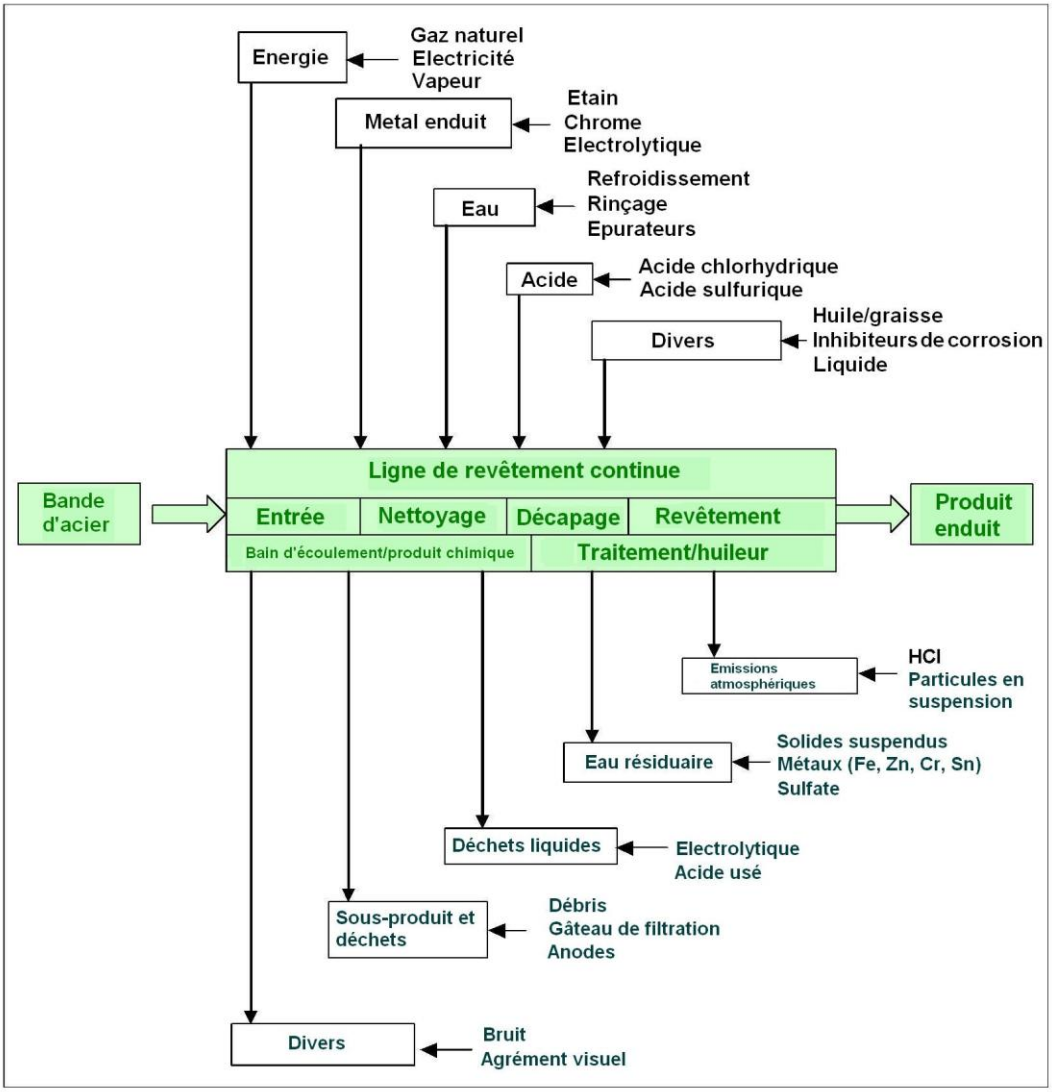


Figure 3.1 : Vue d'ensemble de masse continue de fer blanc et d'ECCS

Le tableau 3.29 et le tableau 3.30 présentent des gammes de valeurs de niveaux de consommation et d'émission concernant la totalité des chaînes de revêtement. Il est à noter que des installations de traitement d'effluents de sites communes (partagées avec d'autres activités de traitement de l'acier) sont souvent utilisées pour ces types de traitements ; les données relatives aux évacuations d'effluents finales provenant de chaînes de revêtement individuelles sont donc limitées. Les émissions atmosphériques ayant un impact relativement faible, les données disponibles sont limitées.

Matériaux	
Fer blanc – étamage électrolytique	**250 à 300 t/an**
	Composition 17 à 40 g/l - Sn
	10 à 28 g/l – SA
	3 à 5 g/l – ENSA
Chromate – bichromate de sodium	**40 à 50 t/an**
Energie	
Gaz naturel	**26 à 40 MJ/t**
Electrolyte	**360 à 720 MJ/t**
Vapeur	**124 à 368 kg/t**
Consommation d'eau totale	**6,71 à 42,1 m^3/t**

Tableau 3.29 : Intrant classique et niveaux de consommation pour le revêtement en continu de l'acier par étamage électrolytique ou ECCS

Emission spécifique	Gamme de valeurs habituelle
Vers l'atmosphère	
HCl **Particule en suspension (sèches)**	**25 à 30 mg/Nm^3** **1 à 20 mg/Nm^3**
Vers l'eau *	
Solides totaux en suspension	**4 à 40 mg/l**
DCO	**120 à 200 mg/l**
Fer	**2 à 10 mg/l**
Chrome	**0,03 à 1 mg/l**
Zinc	**0,02 à 0,2 mg/l**
Etain	**0,03 à 1 mg/l**
Chrome (VI)	**0,0001 à 0,01 mg/l**
Sous forme de déchet **	
Gâteau de filtration provenant du traitement de l'effluent	**8 000 à 14 000 t/an**
*** à la suite d'un traitement des eaux résiduaires et pour plusieurs chaînes de production différentes** **** par voie humide et en fonction du débit de production**	

Tableau 3.30 : Valeurs d'émissions habituelles pour le revêtement en continu de l'acier par étamage électrolytique ou ECCS

3.4.2 Zingage et dépôt de zinc-nickel électrolytique continu de l'acier

Les données présentées dans cette section sont basées sur des informations fournies par 14 chaînes de production européennes. Les données doivent être considérées comme des données habituelles pour ce type de traitement plutôt que comme des valeurs définitives.

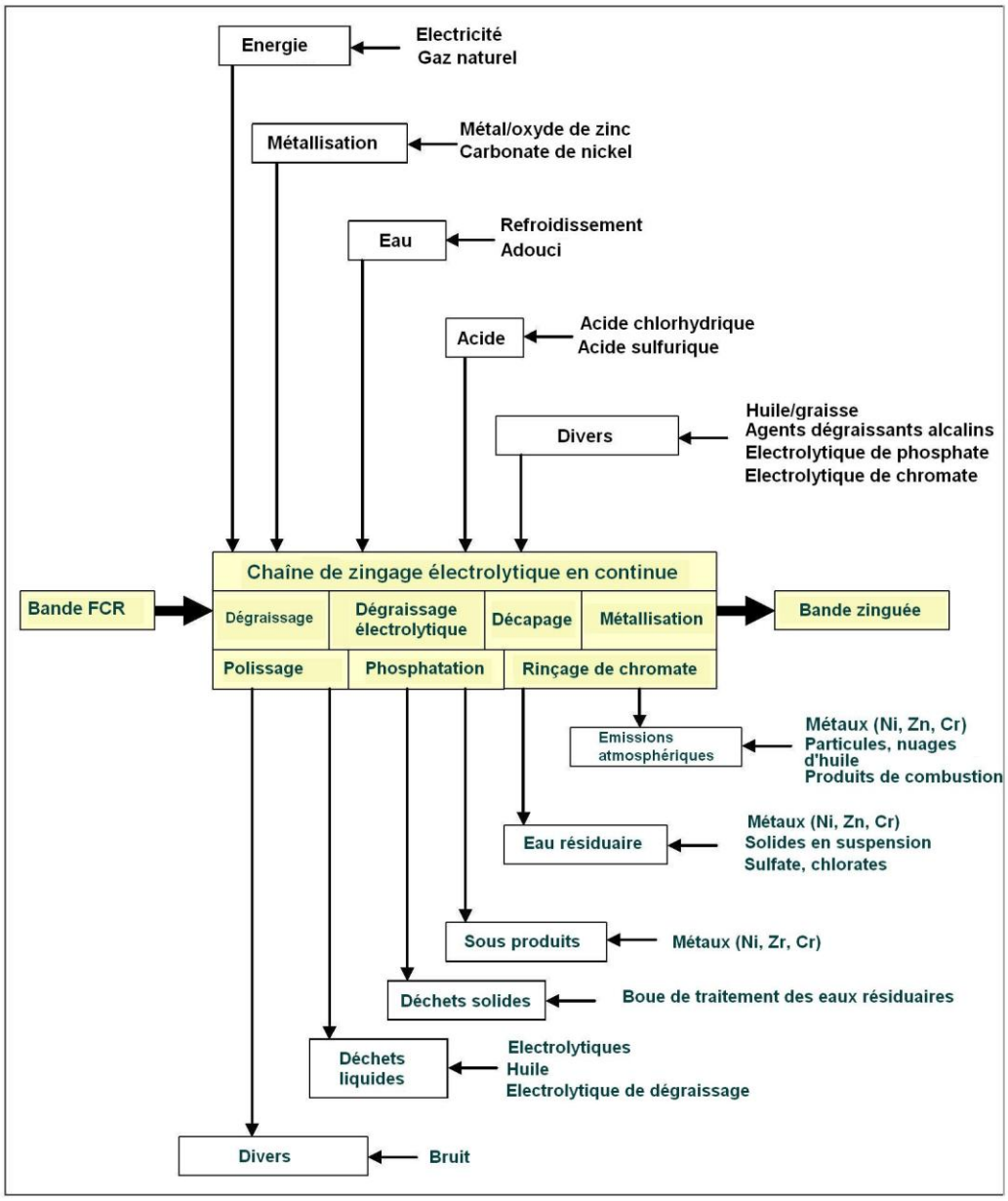


Figure 3.2 : Vue d'ensemble d'un flux de masse de revêtement continu pour le zinc et le zinc-nickel

Le tableau 3.31 présente des gammes de valeurs des niveaux de consommation et d'émission concernant la totalité des chaînes de revêtement. Il est à noter que des installations de traitement d'effluents de sites communes (partagées avec d'autres activités de traitement de l'acier) sont souvent utilisées pour ces types de traitement et les données relatives aux évacuations d'effluents finales provenant des chaînes de

revêtement individuelles sont donc limitées. Etant donné l'impact relativement faible des émissions atmosphériques, les données disponibles à leur sujet sont limitées.

Niveau d'intrants/consommation	
Energie (GJ/t d'acier enduit) Electrique Naturelle : gaz/vapeur	0,4 à 1,5 0,08 à 0,63
Matériaux (kg/t d'acier enduit) Zinc Nickel Détergeant	9,3 à 16,3 0,7 à 1,3 <0,45
Emissions spécifiques	
Eaux résiduaires **traitées** (m^3/t d'acier enduit) Eaux libérées	0,3 à 4,1
Emissions atmosphériques (mg/nm^3) Zinc Nickel	0,17 à 2,2
Vers l'eau* (mg/l) Zinc Nickel Chrome DCO	0,2 à 2,2 - - -
Déchets solides** (kg/t d'acier enduit) Boues huileuses Gâteau de filtration	0,18
Recyclé/valorisé	
Métal Déchets d'acier Anodes de zinc	Recyclé Recyclé (traitements avec anodes solubles)
Electrolyte Electrolyte de zinc	Recyclé (traitements avec anodes solubles)
* Suite à un traitement des eaux résiduaires et pour plusieurs chaînes de production différentes ** Humides et en fonction du niveau du débit de production	

Tableau 3.31 Niveaux de consommation et d'émission habituels pour le zingage et le zingage au nickel d'acier en continu

3.4.3 Fabrication de cartes de circuit imprimé

3.4.3.1 Consommation d'eau dans la production de PCB

La consommation spécifique en eau par m^2 de PCB produit dépend des traitements appliqués (par exemple, la consommation augmentera lors de la fabrication de cartes multicouche avec un nombre de couches plus important et de cartes HDI). Donc, la consommation peut s'échelonner de 170 à 600 l/m^2.

3.4.3.2 Matières premières et produits auxiliaires utilisés et moyens éventuels de les éliminer

[122, UBA, 2003] Le tableau suivant regroupe les substances utilisées dans les étapes de production individuelles, les émissions dans l'atmosphère et dans l'eau qu'elles entraînent, ainsi que les déchets produits.

Réf	Etape de traitement	Substances importantes					
		Dans le produit individuel	**Dans l'effluent du traitement**	**Dans l'air évacué**	**Effluent résultant de l'épuration de l'air**	**Dans les déchets**	**Gestion éventuelle des déchets**
	Génération de masques photographiques	Fixateur : émulsions, thiosulfate d'ammonium, acide acidique, sulfite de sodium, tétraborate de sodium, sulfate d'aluminium, acide sulfurique Révélateur : sulfite de potassium, phosphate de potassium, hydroquinone, n-butyl diéthanolamine	Fixateur : émulsions, thiosulfate d'ammonium, acide acidique, sulfite de sodium, tétraborate de sodium, sulfate d'aluminium, acide sulfurique Révélateur : sulfite de potassium, phosphate de potassium, hydroquinone, n-butyl diéthanolamine, argent	Acide acidique, sulfites		Argent	Bonne possibilité de recyclage car l'argent peut être récupéré
	Génération de tamis pour la sérigraphie, le décapage	Emulsions, hypochlorite, composé d'iode, solvants sans halogène	Emulsions, hypochlorite, composé d'iode	Hypochlorite, composé d'iode			Elimination
	Traitement de surfaces	Stratifié cuivré, aluminium, bois	Traitements mécaniques : Abrasion par rouleaux à brosse, cuivre Traitements chimiques (micro corrosion, gravure en retrait, déglaçage) : persulfate de sodium, acide sulfurique, cuivre, péroxyde d'hydrogène, permanganate de sodium	SO_2	SO_2	Traitements mécaniques : poussière de fraisage (constituée de résine d'époxy/de fibre de verre, de cuivre, d'aluminium) Traitements chimiques : hydroxyde de cuivre, sulfate de potassium	Traitements mécaniques : élimination Traitements chimiques : recyclage dans une installation de traitement des eaux résiduaires avec recyclage des boues
	Traitements d'oxydes bruns	Eau oxygénée, acide sulfurique, composés de cuivre		Vapeurs de SO_2	SO_3	Hydroxyde de cuivre	Recyclage dans une installation de traitement des eaux résiduaires avec recyclage des boues
	Traitement mécanique	Stratifié cuivré		Poussières (résine époxy et fibres de verre)		Poussière de fraisage et de détourage constituée de cuivre, de fibre de verre et de résine époxy Perçage des cartes en aluminium et de parties à percer	Elimination des déchets dangereux, recyclage auprès d'entreprises

Réf	Etape de traitement	Substances importantes					
		Dans le produit individuel	**Dans l'effluent du traitement**	**Dans l'air évacué**	**Effluent résultant de l'épuration de l'air**	**Dans les déchets**	**Gestion éventuelle des déchets**
							spécialisées ; Retour au fabricant ou élimination
		Coupe au format et traitement du contour				Déchet du stratifié et de PCB	Recyclage
	Dépôt électrolytique sur les PCB						
	Dépôt au cours d'un traitement de cuivrage autocatalytique	Acide sulfurique, persulfate de sodium, composés d'étain, palladium, acide chlorhydrique, formaldéhyde, EDTA/tartrate/quadrol, hydroxyde de sodium, composés de cuivre		HCl, SO_2		Sulfure de cuivre	Recyclage dans un équipement de traitement des eaux résiduaires avec recyclage des boues ; Récupération du palladium
	Dépôt direct	Dérivé de thiophène, acide sulfurique, permanganate de potassium		SO_2			
	Génération d'une image primaire par sérigraphie ou photo impression	Pellicule sèche, encre de sérigraphie photosensible	Polyacrylates, carbonate de sodium	Acrylates		Boue provenant du masque de soudure ; Pellicules protectrices (PE, PES), matériau d'emballage, pellicule sèche, encres	Traitement des effluents avec élimination des boues d'encre ; Recyclage des matières plastiques et des matériaux d'emballage
	Dépôt électrolytique d'une image primaire	Acide sulfurique, persulfate de sodium, sulfate d'étain, sulfate de cuivre, acide chlorhydrique, acide tétrafluoroborique, acide nitrique		SO_2, HCl, NO_X		Boue d'hydroxyde de cuivre, boue d'hydroxyde d'étain	Recyclage dans un équipement de traitement des eaux résiduaires avec recyclage des boues
	Décapage de la réserve photosensible et de l'encre de sérigraphie	Hydroxyde de sodium, acrylates polymérisés	Polyacrylates, hydroxyde de sodium	Acrylates		Boue provenant du masque de soudure	Recyclage grâce à un équipement de traitement des eaux résiduaires et élimination des boues
	Attaque chimique						
	Attaque chimique acide	Acide chlorhydrique, composés de cuivre, péroxyde d'hydrogène		Acide chlorhydrique, composés de cuivre, péroxyde d'hydrogène		Acide chlorhydrique, composés de cuivre, péroxyde d'hydrogène	Recyclage des concentrés
	Attaque chimique alcaline	Composés d'ammonium, composés de cuivre		Composés d'ammonium, composés de cuivre		Composés d'ammonium, composés de cuivre	Recyclage
	Décapage de la réserve métallique	Acide nitrique, composés métalliques (étain)		NO_X		Composés métalliques, en particulier hydroxyde d'étain	Recyclage dans un équipement de traitement des eaux résiduaires avec recyclage des boues
	Application d'un masque de soudure	Acrylates multifonctionnels, méthoxypropylacétate, cétones, carbonate de sodium		Acrylates monomériques et polymériques, carbonate de sodium	Solvant sans halogène (MPA)	Boue provenant du masque de soudure	Recyclage dans un équipement de traitement des eaux résiduaires avec recyclage des boues
	Nivelage à l'air chaud	Alliage d'étain-plomb, bromure d'hydrogène, polyéthylèneglycol		Bromure, étain, plomb	Polyéthylèneglycol (produits de décomposition)	Polyéthylèneglycol (produits de décomposition, scories d'étain-	Incinération des déchets dangereux Recyclage

Réf	Etape de traitement	Substances importantes						
		Dans le produit individuel	**Dans l'effluent du traitement**	**Dans l'air évacué**	**Effluent résultant de l'épuration de l'air**	**Dans les déchets**		**Gestion éventuelle des déchets**
							plomb)	
	Surface de nickel/or	Sulfate de peroxyde de sodium, acide sulfurique, acide chlorhydrique, sel de nickel, eau, phosphite de sodium, acides organiques, sel d'or			HCl, SO_2		Nickel, or, sulfate	Echange ionique sélectif avec raffinage ultérieur de l'or, précipitation dans un équipement d'eaux résiduaires avec recyclage des boues
	Passivation de surface organique	Acide acidique, dérivé d'imidazole, composés d'ammonium			CO_2, NO_X, NH_4	Acide acidique, ammonium		Traitement de l'effluent

Tableau : 3.32 : Cartes de circuit imprimé : résumé des types de consommation et des productions de déchets

3.4.3.3 Eaux résiduaires provenant de la production de PCB

Les techniques similaires aux techniques de contrôle d'émission vers l'eau étant utilisées pour la production des PCB, l'étude de ces dernières et les conclusions établies dans la section 3.3.1 sont ici valables. Les valeurs limites réglementaires d'évacuation des déchets provenant de la production de PCB, émis à la fois vers le réseau d'égout public et les cours d'eau, sont présentées à l'annexe 8.3.

3.4.3.4 Déchets provenant de la production de PCB

Des déchets provenant de diverses étapes de traitement sont décrits dans les sections appropriées de la section 2.11.

Le tableau 3.33 indique ci-dessous les quantités maximum de déchets les plus communs résultant de la production de PCB (par 100 m^2 de surface produite), ainsi que leur gestion éventuelle, et les numéros de référence de la liste de déchets dangereux (HWL : Harzardous Waste List), à titre indicatif [100, CE, 2000]. Les quantités dépendent en grande partie du programme de production, du type de cartes produites et de leur conception et des traitements des déchets et les effluents.

Déchets provenant de la fabrication de PCB	Numéro HWL indicatif	Traitements éventuels de déchets	Quantité maximum (kg/1000 m^2)
Boues pouvant contenir des substances dangereuses provenant du traitement physicochimique	11 01 09	Recyclage	2 500
Boues provenant d'une installation de traitement des eaux interne	11 01 09	Elimination	1 000
Agents décapants acides	11 01 05	Recyclage	3 000
Agents décapants alcalins	11 01 07	Recyclage, utilisation dans une solution d'entretien régénérée	2 500
PCB nue (exempte d'argent), déchets provenant du traitement global	16 03 04	Recyclage	1 500
PCB nue (avec Au)	16 03 04	Recyclage	100
Matériau provenant du reperçage	12 01 05	Elimination/renvoi	1 000
Poussières du perçage et du débourage	12 01 05	Elimination	600
Cartes guide de perçage		Recyclage	800
Boue provenant du masque de soudure et réserve sèche de photo impression	08 01 16 08 01 18	Recyclage des matériaux, élimination thermique	900
Pellicules protectrices PP/PE	15 01 02	Recyclage	400
Métaux précieux/métaux (Ag, Au, Cu, Ni, Pd, Sn/Pb)	11 01 99	Recyclage, compensation significative par raffineries	<100 à 500

Tableau 3.33 : Déchets issus de la fabrication de PCB

3.4.3.5 Emissions atmosphériques issues de la production de PCB

Les substances émises attendues au cours de divers traitements de la production de PCB sont présentées dans le tableau 3.34 ci-dessous. Des techniques similaires aux techniques de contrôle des émissions atmosphériques étant utilisées pour la production de PCB, l'étude et les conclusions établies dans la section 3.3.3 sont valables.

Traitement	Substances
Dépôt direct	Formaldéhyde, manganèse, cuivre et acide sulfurique sous forme d'aérosol
Dépôt	Acide sulfurique, acide nitrique, fluorure d'hydrogène et oxydes d'azote
Attaque chimique et décapant	Ammoniac, aérosol de cuivre, chlorure d'hydrogène et oxydes d'azote
Equipement de nivelage à l'air chaud	C_{total}, aldéhyde, plomb et étain

Etamage par immersion	Etain, acide sulfurique, acide méthylsulfonique et thiourée
Traitement au plasma pour le nettoyage des trous de perçage	Adsorption nécessaire des radicaux par épuration des gaz
Masques de soudure	Ctotal et CO

Tableau 3.34 : Emissions atmosphériques provenant de la production de PCB

Une épuration de l'air thermique ou catalytique peut être nécessaire pour garantir que les niveaux de C_{total} respectent les exigences réglementaires.

4 TECHNIQUES A PRENDRE EN CONSIDERATION POUR DETERMINER LES MTD

Ce chapitre présente des techniques considérées de manière générale comme permettant d'atteindre potentiellement un niveau élevé de protection de l'environnement dans les secteurs visés par ce document. Des systèmes de management, des techniques de traitement intégrées aux procédés et des mesures appliquées ~~de~~ en fin de chaîne sont proposés. Mais ces trois types de solution peuvent se croiser parfois lorsque l'on cherche à obtenir les meilleurs résultats.

Les procédures de prévention, de contrôle, de minimisation et de recyclage sont envisagées ainsi que la réutilisation des matériaux et de l'énergie.

Les techniques peuvent être présentées individuellement ou en combinaison afin d'atteindre les objectifs fixés par la directive IPPC. L'annexe IV de la directive énumère un certain nombre de considérations générales à prendre en compte pour déterminer les MTD et les techniques envisagées dans ce chapitre tentent de répondre à une ou plusieurs de ces considérations. Dans la mesure du possible, une structure standard est utilisée pour exposer chaque technique, afin de permettre la comparaison de ces techniques et une évaluation objective au regard de ~~à~~ la définition des MTD donnée dans la directive.

Le contenu de ce chapitre n'est pas une liste exhaustive de techniques. D'autres techniques peuvent exister ou être développées et être également valides dans le cadre des MTD.

Une structure standard est généralement utilisée pour exposer chaque technique, ~~celle-ci~~ comme cela est présentée dans le tableau 4.1 :

Type d'informations considérées	Type d'informations incluses
Description	Description technique de la technique
Bénéfices environnementaux atteints	Principaux impacts environnementaux traités par la technique (traitement ou réduction), comprenant les valeurs d'émission obtenues et les performances de rendement. Les avantages environnementaux de la technique en comparaison d'autres techniques.
Interactions	Effets secondaires et inconvénients entraînés par la mise en œuvre de la technique. Détails concernant les problèmes environnementaux de la technique en comparaison avec d'autres techniques
Données opérationnelles	Données concernant les performances des émissions/déchets et la consommation (matières premières, eau et énergie). Toute autre information utile concernant le fonctionnement, l'entretien et le contrôle de la technique, y compris les aspects liés à la sécurité, les contraintes de fonctionnement de la technique, la qualité de la production, etc.
Applicabilité	Etude des facteurs entrant dans l'application et l'adaptation de la technique (par exemple, espace disponible, spécificité du procédé)
Aspects économiques	Informations concernant les coûts (investissement et fonctionnement) et toute économie envisageable (par exemple, consommation réduite de matière première, taxe sur les déchets) liées également à la capacité de la technique
Elément moteur de la mise en œuvre	Raisons de mise en œuvre de la technique (par exemple, législation différente, amélioration de la qualité de la production)
Installations de référence	Référence à une installation dans laquelle la technique est utilisée
Documentation de référence	Ouvrages destinés à l'obtention d'informations détaillées sur la technique

Tableau 4.1 : Type d'informations fournies pour chaque technique décrite dans ce chapitre

Les principaux problèmes liés à la mise en œuvre de la PRIP dans ce secteur sont :

- des systèmes de management efficaces ;
- un bon rendement de l'utilisation des matières premières, de l'énergie et de l'eau ;
- une utilisation optimisée des produits chimiques dans les traitements et les activités directement liées ;
- la substitution des substances dangereuses ;
- la réduction, la récupération et le recyclage des déchets ;
- la prévention des accidents environnementaux et la minimisation de leurs conséquences.

Des section s individuelles peuvent éventuellement concerner plus d'une de ces questions. De bons systèmes de management, à la fois au niveau de la production et de l'environnement sont essentiel pour traiter les questions de prévention et de contrôle de la pollution dans le secteur du traitement des surfaces des métaux et des matières plastiques. Les principaux problèmes que rencontrent les systèmes de management dans la recherche d'un effet optimum sont :

- une autocritique constructive ;
- la mise en œuvre de systèmes de production et environnementaux entièrement complémentaires l'un envers l'autre ;
- la présence d'audits concernant l'utilisation de l'énergie et de l'eau, ainsi que la consommation de matières premières ;
- la conception et le fonctionnement des installations afin de réduire l'impact de rejets imprévus chroniques ou aigus.

4.1 Techniques de gestion

4.1.1 Outils de management environnemental

Description
Les meilleures performances environnementales sont généralement obtenues grâce à l'installation de la meilleure technologie et à son fonctionnement le plus efficace et efficient. Il s'agit de l'interprétation de la directive PRIP qui définit les techniques comme : *« aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt »*.

Un système de management environnemental (SME) est, pour les installations PRIP, un outil dont disposent les exploitants pour répondre aux exigences de conception, de construction, d'entretien, d'exploitation et de mise à l'arrêt de manière systématique et démontrable. Un SME inclut la structure organisationnelle, les responsabilités, les pratiques, les procédures, les traitements et les ressources destinés à développer, mettre en œuvre, entretenir, réviser et surveiller la politique environnementale. Les systèmes de management environnementaux sont plus efficaces et efficients lorsqu'ils font partie intégrante de la gestion globale et du fonctionnement d'une installation.

Au sein de l'UE, de nombreuses organisations ont décidé, volontairement, de mettre en œuvre des systèmes de management environnemental sur la base de la EN ISO 14001 : 2004 ou le système de management environnemental et d'audit de l'UE, l'EMAS. L'EMAS inclut les exigences des systèmes de management de la EN ISO 14001, mais insiste également sur la conformité réglementaire, les performances environnementales et l'implication des employés ; elle exige également la vérification externe du système de management et la validation d'une déclaration environnementale publique (dans la

EN ISO 14001, une auto-déclaration de l'organisme est une alternative à une vérification externe). De nombreuses organisations ont également décidé de mettre en place des SME non standardisés.

Bien qu'en principe les deux systèmes, standardisés (EN ISO 14001 : 2004 et EMAS) et ceux non standardisés (« personnalisés »), considèrent l'*organisation* comme l'entité, ce document a une approche plus étroite, qui n'inclut pas toutes les activités de l'organisation, comme par exemple leurs produits et leurs services, car l'entité concernée par la directive PRIP est l'*installation* (tel que défini dans l'Article 2).

Un système de management environnemental (SME) d'une installation PRIP peut comprendre les composants suivants :

(a) la définition d'une politique environnementale
(b) la planification et la mise en place d'objectifs et de cibles
(c) la mise en œuvre et l'exploitation de procédures
(d) des audits et des actions correctives
(e) la revue de direction
(f) la préparation d'une analyse environnementale périodique
(g) la validation par un organisme de certification ou une instance de vérification externe du SME
(h) la prise en compte de la conception, et de la mise à l'arrêt de l'installation au terme de son exploitation
(i) le développement de technologies plus propres
(j) l'analyse comparative avec d'autres organismes (« benchmarking »)

Ces caractéristiques sont développées en détail ci-dessous. Pour obtenir des informations détaillées des composants (a) à (g), qui sont tous intégrés à l'EMAS, veuillez consulter les ouvrages de référence indiqués ci-dessous.

(a) Définition d'une politique environnementale

La direction d'une entreprise est responsable de la définition d'une politique environnementale pour une installation et doit garantir :

- que cette politique est appropriée à la nature, à la dimension et aux impacts environnementaux des activités, produits et services
- qu'elle comporte un engagement d'amélioration continue et de prévention de la pollution
- qu'elle comporte un engagement de conformité à la législation et à la réglementation environnementales applicables et aux autres exigences auxquelles l'organisme a souscrit
- donne un cadre pour l'établissement et l'examen des objectifs et cibles environnementaux
- qu'une documentation relative à cette politique est disponible et que les employés en sont informés
- que cette politique soit accessible au public et aux parties intéressées

(b) Planification, c'est-à-dire :

- des procédures pour identifier les aspects environnementaux de l'installation, afin d'en déterminer les activités, produits ou services qui

ont ou peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement, et mettre à jour ~~de~~ ces informations
- des procédures pour identifier et accéder aux exigences légales et autres exigences auxquelles l'organisation a souscrit et applicables aux aspects environnementaux de ses activités, produits ou services
- établir et revoir des objectifs et des cibles environnementaux documentés, prenant en compte les exigences légales et autres et les points de vue des parties intéressées
- établir et mettre à jour régulièrement un programme de management environnemental, comprenant la définition de responsabilité afin d'atteindre les objectifs et des cibles à chaque niveau et pour chaque fonction ainsi que les moyens et les délais de leur réalisation.

(c) Mise en œuvre et fonctionnement

Il est important de disposer de systèmes en place pour garantir que les procédures soient connues, comprises et appliquées, un management environnemental~~e~~ effectif implique donc :

(i) Une structure et des responsabilités
- définir, documenter et communiquer les rôles, les responsabilités et les compétences, ce qui nécessite de nommer un responsable spécifique du SME
- fournir les ressources indispensables à la mise en œuvre et au contrôle du système de management environnemental, y compris les ressources humaines et les compétences spécifiques, les ressources technologiques et financières.

(ii) L'information, la sensibilisation et la compétence
- identifier les besoins de formation et garantir que l'ensemble du personnel, dont les tâches peuvent affecter l'environnement de manière significative, ait reçu une formation appropriée.

(iii) Communication
- établir et maintenir des procédures de communication internes entre les divers niveaux et postes au sein de l'installation, ainsi que des procédures favorisant le dialogue avec les parties intéressées externes et des procédures destinées à la réception, à la documentation et lorsque cela est envisageable, à la réponse aux demandes de ces parties intéressées externes.

(iv) Implication des employés
- l'implication des employés dans le système de management visant l'obtention d'un niveau élevé de performances environnementales par l'application de formes appropriées de participation de ces derniers au travers d'un système de boîte à idées ou de travaux de groupe fondés sur un projet ou de comités environnementaux.

(v) Documentation

- établir et mettre à jour les informations, sous forme électronique ou sur papier, afin de décrire les éléments principaux du système de management et leurs interactions et d'indiquer où trouver la documentation adéquate.

~~(vi)~~ Maîtrise opérationnelle des procédés
- contrôler de façon adéquate les procédés concernant tous les modes opératoires, c'est-à-dire, la préparation, le démarrage, le fonctionnement quotidien, les arrêts et les conditions anormales d'exploitation
- identifier les principaux indicateurs de performance et les procédés de mesure et de contrôle de ces paramètres (par exemple, le débit, la pression, la température, la composition et la quantité)
- documenter et analyser des conditions de fonctionnement anormales pour identifier les causes et pouvoir ensuite les traiter pour garantir que des événements ne se reproduisent plus (ce qui est facilité par la culture de « déculpabilisation » dans laquelle l'identification des causes du problème est plus importante que l'imputation de la faute sur les individus).

(vii) Programme de maintenance
- établir un programme de maintenance structuré basé sur des descriptions techniques de l'équipement, des normes, etc. ainsi que des défaillances de l'équipement et ses conséquences
- contribuer au programme d'entretien par un système de conservation approprié des observations et des tests de diagnostic
- désigner clairement les responsabilités pour la planification et la réalisation des activités de maintenance.

~~(viii)~~ Prévention des situation d'urgence et capacité à réagir
- établir et maintenir des procédures d'identification des accidents et des situations d'urgence potentiels et les réponses à y apporter, afin de prévenir et d'atténuer les impacts environnementaux qui pourraient y être associés.

(d) Contrôle et action ~~et~~ corrective, c'est-à-dire :

~~(i)~~ Surveillance et mesurage
- établir et maintenir des procédures documentées pour surveiller et mesurer~~,~~ régulièrement, les principales caractéristiques de fonctionnement des activités qui peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement, y compris l'enregistrement d'informations permettant de suivre les performances, les contrôles opérationnels appropriés et la conformité de l'installation aux objectifs et cibles environnementaux *(voir également le document de référence sur la surveillance des émissions)*
- établir et maintenir une procédure documentée afin de pouvoir évaluer périodiquement la conformité de l'installation à la législation et aux règlements environnementaux appropriés.

(ii) Action corrective et préventive

- établir et maintenir des procédures destinées à définir la responsabilité et l'autorité, pour la prise en compte et l'analyse des non-conformités, pour la prise des mesures de réduction de tout impact éventuel, ainsi que pour engager et mener à bien les actions correctives et préventives correspondantes vis à vis, entre autres, des exigences légales et autres, des objectifs et des cibles. Toute action corrective ou préventive conduite dans le but de supprimer les causes des non-conformités, réelles et potentielles, doit être adaptée à l'importance des problèmes et proportionnée à l'impact environnemental considéré.

(iii) Enregistrements

- établir et maintenir des procédures destinées à l'identification, au maintien et à la destruction d'enregistrements relatifs à l'environnement lisibles, identifiables et que l'on puisse retrouver aisément, y compris les enregistrements concernant la formation et les résultats d'audits et les revues.

(iv) Audit

- établir et maintenir (a) un/des programme(s) et des procédures pour la réalisation périodique d'audits du système~~s~~ de management environnemental qui incluent des échanges avec le personnel, l'inspection des conditions d'exploitation et des équipements, l'examen des enregistrements et de la documentation. Toutes ces informations sont reprises sous la forme d'un rapport écrit, établi de façon impartiale et objective par des employés (audits internes) ou des tiers externes (audits externes), couvrant la portée, la fréquence et les méthodologies de l'audit, ainsi que les responsabilités et les exigences nécessaires à la réalisation d'audits et la publication des résultats afin de déterminer si oui ou non le système de management environnemental est conforme aux dispositions planifiées et a été correctement mis en œuvre et entretenu
- mener l'audit ou le cycle d'audit, au choix, sur des intervalles de temps qui n'excèdent pas trois ans, en fonction de la nature, de l'ampleur et de la complexité des activités, l'importance des impacts environnementaux générés, l'importance et l'urgence des problèmes détectés lors d'audits précédents et l'historique des problèmes environnementaux ; les activités plus complexes, avec un impact environnemental plus significatif, sont vérifiées plus fréquemment
- mettre en place des mécanismes appropriés afin de garantir le suivi des résultats d'audits.

(v) Evaluation périodique de la conformité réglementaire

- étudier la conformité à la législation applicable concernant l'environnement et aux conditions définies par le/les permis environnemental(aux) détenus pour l'installation
- documentation de l'évaluation.

(e) Revue de direction, c'est-à-dire :

- étudier, au niveau de la direction, à des intervalles qu'elle détermine, le système de management environnemental, pour s'assurer que le système reste approprié, adéquat et efficace

- s'assurer que les informations nécessaires soient recueillies pour permettre à la direction de mener à bien cette évaluation
- documenter la revue.

(f) Préparation d'une analyse environnementale périodique :

- préparer une analyse environnementale qui fasse particulièrement attention aux résultats obtenus par l'installation ~~à~~ vis à vis de ses objectifs et cibles environnementaux. Elle est établie régulièrement, d'une fois par an à une fréquence moindre en fonction de l'importance des émissions, de la génération de déchets etc. Cette analyse envisage les besoins en information des parties intéressées pertinentes et est mise à disposition du public (par exemple, dans des publications, des bibliothèques etc.).

Lors de la rédaction d'une analyse environnementale, l'exploitant peut utiliser les indicateurs de performance environnementaux existant pertinents, en s'assurant que les indicateurs choisis :

i. donnent une appréciation précise sur les performances de l'installation
ii. sont compréhensibles et clairs
iii. autorisent une comparaison année après année permettant l'évaluation du développement des performances environnementales de l'installation
iv. autorisent les comparaisons avec des indicateurs du secteur, nationaux ou régionaux selon le cas
v. autorisent la comparaison avec les exigences réglementaires selon le cas.

(g) Validation par un organisme de certification ou une instance de vérification externe de SME :

- une fois le système de management, la procédure d'audit et l'analyse environnementale examinés et validés par un organisme de certification agréé ou une instance de vérification de SME externe, cette vérification, lorsqu'elle est menée de manière appropriée, améliore la crédibilité du système.

(h) Projets envisagés pour la mise à l'arrêt de l'installation arrivant au terme de son exploitation

- envisager l'impact environnemental de la mise à l'arrêt éventuelle de l'unité en anticipant, au moment de la conception d'une nouvelle installation, la mise à l'arrêt, permet que celle-ci soit plus facile, plus propre et moins onéreuse
- la mise à l'arrêt d'une installation engendre des risques environnementaux liés à la contamination des terres (et des eaux souterraines) et génère de grandes quantités de déchets solides. Les techniques préventives sont spécifiques au procédé mais on peut envisager de manière générale :

  i. d'éviter les structures souterraines
  ii. d'incorporer des caractéristiques qui facilitent le démantèlement de l'installation

iii. de choisir des finitions de revêtement de matériels qui sont facilement décontaminées
iv. de prévoir une configuration de l'installation qui permette de minimiser le piégeage de produits chimiques et de faciliter la vidange des produits ou le lavage
v. de concevoir des unités souples autonomes qui permettent une fermeture par étape
vi. d'utiliser des matériaux biodégradables et recyclables lorsque cela est possible.

(i) Développement de technologies plus propres :

- la protection de l'environnement devrait être une caractéristique inhérente à toute activité de conception de procédés menée par l'exploitant, car des techniques incorporées au stade les plus précoces de la conception sont à la fois plus efficaces et moins coûteuses. Des activités ou des études de R&D peuvent par exemple envisager le développement de technologies plus propres. En alternative aux activités internes, des dispositions peuvent être prises pour s'informer – lorsque cela est nécessaire, du travail à façon d'autres opérateurs ou d'instituts de recherche actifs dans le domaine ;

(j) Analyse technico-économique comparative (benchmarking), c'est-à-dire :

- effectuer des comparaisons systématiques et régulières avec des indicateurs du secteur, nationaux ou régionaux, y compris des comparaisons de rendement énergétique et des activités d'économie d'énergie, du choix des matériaux utilisés, des émissions atmosphériques et des rejets dans l'eau (en utilisant par exemple le registre européen des émissions de polluants (REPE)), de consommation d'eau et de production de déchets.

SME standardisé et non standardisé
Un SME peut prendre la forme d'un système standardisé ou non standardisé (« personnalisé »). La mise en œuvre et l'adhésion à un système standardisé reconnu au niveau international comme la norme EN ISO 14001 : 2005 peut renforcer la crédibilité du SME, en particulier lorsque ce dernier est soumis à une vérification externe menée de manière appropriée. LE SME offre un supplément de crédibilité du fait de l'interaction avec le secteur public au travers de l'analyse environnementale et du mécanisme destiné à garantir la conformité à la législation environnementale en vigueur. Cependant, des systèmes non standardisés peuvent en principe être tout aussi efficaces à condition qu'ils soient conçus et mis en œuvre de manière appropriée.

Bénéfices environnementaux atteints
La mise en œuvre d'une adhésion à un SME concentre l'attention de l'exploitant sur les performances environnementales de l'installation. En particulier, le maintien de procédures de fonctionnement claires et leur conformité dans des situations à la fois normales et anormales ainsi que ~~et~~ les responsabilités associées devraient garantir que les conditions d'octroi de permis d'exploitation de ~~à~~ l'installation et d'atteinte d'autres cibles et objectifs environnementaux soient réunies à tout moment.

Typiquement, les systèmes de management environnemental garantissent l'amélioration continue des performances environnementales de l'installation. Plus le point de départ est bas, plus on peut espérer des améliorations significatives à court terme. Si

l'installation dispose déjà d'un bon niveau de performance environnementale globale, le système permet à l'exploitant de maintenir ce niveau élevé de performance.

Effets d'interaction d'interaction
Les techniques de management environnemental sont conçues pour traiter l'impact environnemental global, ce qui est cohérent avec l'approche intégrée de la directive PRIP.

Données opérationnelles
Aucune information spécifique rapportée

Applicabilité
Les composants décrits ci-dessus peuvent généralement être appliqués à tout type d'installation PRIP. L'ampleur (par exemple le niveau de détail) et la nature du SME (standardisé ou non) seront généralement liées à la nature, la complexité de l'installation, et la gamme d'impacts environnementaux qu'elle peut entraîner.

Aspects économiques
Il est difficile de déterminer précisément les coûts et les bénéfices économiques de mise en place et de maintien d'un bon SME. Un certain nombre d'études sont présentées ci-dessous. Cependant, il s'agit uniquement d'exemples et leurs résultats ne sont pas complètement cohérents. Ils peuvent ne pas être représentatifs de tous les secteurs concernés dans l'UE et doivent ainsi être envisagés avec précaution.

Une étude suédoise effectuée en 1999 a été menée auprès de toutes les entreprises certifiées ISO et enregistrées auprès de l'EMAS, au nombre de 360, en Suède. Avec un taux de réponse de 50 %, cette enquête a permis de conclure, entre autre chose, que :

- les dépenses de mise en place et de fonctionnement d'un SME sont élevées mais pas de manière déraisonnable, à part pour certaines très petites entreprises. Les dépenses sont supposées diminuer dans le futur
- un degré plus élevé de coordination et d'intégration du SME avec d'autres systèmes de gestion est envisagé comme une possibilité de diminuer les coûts
- la moitié de tous les objectifs et cibles environnementaux atteints sont amortis en l'espace d'un an grâce aux économies d'échelle et/ou de revenus accrus
- les économies d'échelle les plus importantes ont été réalisées grâce à la diminution des dépenses d'énergie, de traitement des déchets et des matières premières
- la plupart des entreprises pensent que leur position sur le marché s'est trouvée renforcée grâce au SME. Un tiers des entreprises font état d'un accroissement des revenus grâce au SME.

Dans certains États membres le montant des droits d'exploitation est réduit si l'installation obtient une certification.

Un certain nombre d'études[4] montre qu'il existe une relation inverse entre la taille de l'entreprise et les coûts de mise en œuvre d'un SME. On retrouve une relation inverse

[4] Par exemple, Dyllick et Hamshmidt (2000, 73) cités dans Klemish H. et R. Holger, *Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen – Befunde bisheriger Umsetzung*, journaux de la KNI 01/02, janvier 2002, page 15 ; *Clausen J., M. Keil and M. Jungwirth,* The State of EMAS in the EU.Eco-Management as Tool for Sustainable Development – *Literature Study*, Institute for Ecological Economy Research (Berlin) and Ecologic – Institut pour une politique européenne et internationale de l'environnement (Berlin), 2002, p 15.

similaire pour la période d'amortissement du capital investi. Ces deux éléments impliquent une relation coût-bénéfice de mise en œuvre d'un SME moins favorable dans les PME que dans les entreprises de taille plus importante.

Selon une étude suisse, le coût moyen de construction et de fonctionnement d'un SME ISO 14001 peut varier :

- pour une entreprise de 1 à 49 employés : 64 000 CHF (44 000 euros) pour la mise en place du SME et 16 000 CHF (11 000 euros) par an de coût de fonctionnement
- pour un site industriel comptant plus de 250 employés : 367 000 CHF (252 000 euros) pour la mise en place du SME et 155 000 CHF (106 000 euros) par an de coût de fonctionnement.

Ces chiffres moyens ne représentent pas nécessairement le coût réel pour un site industriel donné car il dépend également fortement d'un certain nombre de paramètres importants (les polluants, la consommation énergétique, ...) et de la complexité des problèmes devant être étudiés.

Une étude allemande récente (Schaltegger, Stefan and Wagner, Marcus, *Umweltmanagement in deutschen Unternehmen – der aktuelle Stand der Praxis*, février 2002, page 106) indique les coûts suivants liés au SME dans différentes branches du secteur. On remarque que ces chiffres sont inférieurs à ceux de l'étude suisse citée ci-dessus. Ceci confirme la difficulté de déterminer les coûts d'un SME.

Coûts de construction (en euro) :
minimum – 18 750
maximum – 75 000
moyenne – 50 000

Coûts de certification/agrément (en euro) :
minimum – 5 000
maximum – 12 500
moyenne – 6 000

Une étude réalisée par la German Institute of Entrepreneurs (Unternehmerinstitut/Arbeitsgemeinschaft Selbständiger Unternehmer UNI/ASU, 1997, *Umweltmanagementbefragung – Öko-Audit in der mittelständischen Praxis – Evaluierung und Ansätze für eine Effizienzsteigerung von Umweltmanagementsystemen in der Praxis,* Bonn.) apporte des informations concernant les économies moyennes obtenues par l'EMAS par an et la durée d'amortissement moyenne. Par exemple, pour des coûts de mise en œuvre de 80 000 euros, les économies moyennes ont été de 50 000 euros par an, ce qui correspond à une durée de d'amortissement d'un an et demi.

Les coûts externes liés à la vérification du système peuvent être estimés grâce aux informations fournies par l'International Accreditation Forum (http://www.iaf.nu).

Elément moteur pour la mise en œuvre
Les systèmes de management environnementaux peuvent engendrer un certain nombre d'avantages, par exemple :

- un meilleur aperçu des aspects environnementaux liés à l'entreprise ;

- des bases plus solides pour la prise de décision ;
- une motivation accrue du personnel ;
- des opportunités supplémentaires de réduction de coût de fonctionnement et l'amélioration de la qualité des produits ;
- des performances environnementales améliorées ;
- une meilleure image de l'entreprise ;
- une réduction des coûts en terme de responsabilité, d'assurance et de non-conformité ;
- un accroissement de l'attrait auprès des investisseurs, des clients et des employés ;
- une confiance accrue des instances régulatrices, qui peut amener une réduction de la surveillance réglementaire ;
- une amélioration des relations avec les groupes de protection de l'environnement.

Exploitations de référence
Les caractéristiques décrites dans les points (a) à (e) ci-dessus sont des éléments de la EN ISO 14001 : 2004 et du système communautaire de management environnemental et d'audit (EMAS), tandis que les caractéristiques développées dans les points (f) et (g) sont spécifiques à l'EMAS. Ces deux systèmes standardisés sont appliqués dans un certain nombre d'installations PRIP.

Les sites visités sont par exemple :
- CROPU S.A., Burgos, Espagne : ISO 14001
- SIKEL N. V. Gand, Belgique : ISO 14001
- Société de Galvanoplastie industrielle (SGI), Plaisir, France
- Exhall Plating, Ltd. Coventry, RU : EMAS et ISO 14001. Charge directe réduite de 500 000 GBP en sept ans.

Dans ce secteur, l'application d'un SME (et le fait que le SME soit un système standardisé ou non) est souvent un impératif imposé par la clientèle.

Documentation de référence
(Règlements CE) n° 761/2001 du Parlement Européen et du conseil, autorisant la participation volontaire d'organisations à un système communautaire de management environnementale et d'audit (EMAS), JO L 114, 24/4/2001, http://europa.eu.int/comm/environment/emas/index_en.htm).

(EN ISO 14001 : 1996, http://www.iso.ch/iso/en/iso9000-14000/iso14000index.html ; http://www.tc207.org)

4.1.1.1 Problèmes spécifiques d'un SME liés aux activités de traitement de surface

Des problèmes liés au SME peuvent être relevés :

- l'installation de vannes et leur numérotation sur tous les tuyaux. Les numéros sont ensuite utilisés pour les instructions de séquences de fermeture, qu'il s'agisse de fermeture sur du long ou court terme ;
- la vérification régulière de toutes les cuves et des réseaux de tuyauterie à la recherche de fuite. Ceci nécessite que le fond des cuves et les tuyaux soient visibles, qu'il n'y ait pas d'accumulation de poussières, de déchets, de vieux

gabarits, de morceaux d'anode, etc. dans des zones fermées et autour des cuves et de la tuyauterie ;

- l'utilisation de pompes fixes et temporaires, de systèmes hydrauliques et de filtres sur cuves mobiles ou des gouttières dotées d'une capacité suffisante afin de retenir les fuites et les débordements. Les extrémités des tuyaux doivent être maintenues au-dessus du réservoir de traitement ou des gouttières. Ceci permet de recueillir les restes de liquide et de les renvoyer vers les solutions de traitement appropriées ou de les traiter en tant que déchets ou eaux résiduaires ;
- veiller à la propreté des zones de traitement et à ce que ces dernières soient peintes pour permettre une identification aisée des fuites chroniques ;
- l'utilisation d'alarmes de niveau haut à la fois pour les cuves de traitement et le traitement des eaux résiduaires, lorsqu'un débordement est possible [125, Irlande, 2003] ;
- la gestion des produits chimiques et des produits spécifiques pour une utilisation appropriée, et en particulier, l'identification des risques associés au stockage et à l'utilisation de matériaux incompatibles [125, Irlande, 2003] ;
- l'identification de l'utilisation d'agents polluants prioritaires au sein de l'installation (produits utilisés actuellement et par le passé). La législation réglementant l'utilisation d'agents polluants prioritaires peut également exiger cette identification, voir l'annexe 8.1 de la directive-Cadre sur l'eau (2000/60/EG) [113, Autriche, 2003]. Les agents polluants prioritaires sont également identifiés par la PARCOM [12, PARCOM, 1992]. Les principaux exemples concernant ce secteur sont :
  - les polychlorobiphényles (PCB), contenus par exemple dans les condensateurs et autres équipements électriques,
  - le cadmium,
  - d'autres matériaux qui ne se détériorent pas ou très lentement, comme d'autres métaux sous forme soluble (comme par exemple le nickel, le chrome, le zinc, le cuivre, le plomb),
  - les COV utilisés pour les étapes de dégraissage (y compris les chloroalcanes C10 – C13),
  - les cyanures,
  - les acides et les alcalis ;
- établir l'utilisation faite des terrains et des bâtiments de l'installation avant l'installation actuelle et/ou les activités en cours et vérifier si les activités menées antérieurement pourraient être confondues avec les activités de l'installation de traitement de surface ;
- l'auto-surveillance d'indicateurs destinés aux performances environnementales ainsi que des indicateurs affectant les traitements individuels. Parmi ceux-ci, on trouve :
  - les effluents rejetés et leurs qualités, voir l'annexe 8.4.2 [56, France, 2003, 121, France, 2003],
  - la consommation de matière première ~~brute~~ par type,
  - la consommation énergétique,
  - la consommation d'eau,
  - la quantité de déchets produits et leur nature.

Ces chiffres sont plus significatifs lorsqu'ils sont mis en relation avec d'autres paramètres de production appropriés, comme par exemple la surface produite de pièces de fabrication ou de substrat, le nombre de tonneaux ou de barres d'anodes exploités, le poids des pièces de fabrication ou du substrat traité, etc.

4.1.2 La diminution des étapes de traitement par à l'introduction de spécification de procédés et d'un contrôle qualité

Description

Les pièces de fabrication ou les surfaces de substrat traitées de manière inadéquate, ou des spécifications inappropriées, incorrectes, ou encore mal appliquées peuvent entraîner le décapage et la rectification de quantités importantes de métal (travaux au tonneau et sur support) comme le décrit la section 2.3, décapage des métaux. Les pièces de fabrication et/ou substrat peuvent parfois être mises au rebus, principalement des bobines de grande taille et des cartes de circuit imprimé, puisque certaines pièces de fabrication traitées sur support et au tonneau peuvent être endommagées irrémédiablement.

La diminution du retraitement et de la mise au rebus peut être obtenue de nombreuses manières, en utilisant par exemple des systèmes de management de la qualité, SMQ. Comme pour les outils de management environnemental, décrits dans la section 4.1.1, pour garantir la réussite de ces systèmes au sein de l'installation, les règles de bonnes pratiques veulent que ces systèmes soient établis de manière formelle et que leur contenu soit communiqué au du personnel. Bien que bon nombre de ces systèmes soient agréés de manière externe (ce qui peut être une exigence de la clientèle), il ne s'agit pas là d'une condition essentielle. Cependant, il est de coutume que le système soit vérifié par un organisme externe, afin de garantir l'objectivité de la validation et de la mise à jour du système, et obtenir la confiance de la clientèle. Ces systèmes comprennent généralement un contrôle statistique du processus (CSP).

Une attention particulière apportée au respect des spécifications de traitement appropriées et à leur contrôle de qualité est également un facteur important. Dans les activités de traitement de surface, une "première approche appropriée" est généralement prévue et fait souvent partie d'un système formalisé. Afin d'obtenir ce résultat, la pratique courante est de garantir que le traitement approprié est appliqué de la bonne manière afin d'obtenir l'effet souhaité. Une bonne compréhension des propriétés obtenues grâce au traitement de surface et des opérations ultérieures à réaliser sur la pièce de fabrication ou le substrat comme par exemple le pressage, le formage, le pliage, le gaufrage, le perçage, le soudage, le brasage, etc., est donc indispensable. D'autres techniques faisant partie des étapes destinées à obtenir les spécifications appropriées sont examinées dans le (section 4.1.1) et dans les systèmes de management de production, comme la norme ISO 9001.

Pour que le traitement corresponde aux objectifs requis, les systèmes de management environnemental et/ou de la qualité (selon le cas) peuvent faire l'objet d'un certain nombre de discussions et d'accords entre l'exploitant et le client au sujet des spécifications de traitement appropriées, des dessins techniques et des points de mesure de contrôle de la qualité des pièces de fabrication et/ou des substrats (voir l'applicabilité ci-dessous). Les exemples suivants présentent des domaines qui peuvent être étudiés :

- les traitements de surface peuvent altérer les dimensions de la pièce de fabrication selon l'épaisseur de la couche ajoutée (modifiant par exemple la taille des composants filetés), les caractéristiques du substrat (par exemple, fragilisation par l'hydrogène lors du zingage acide) ou rendre la pièce de fabrication inappropriée à une manipulation ultérieure (par exemple, certaines

finitions peuvent être fragiles et s'écailler lors du pliage ou du gaufrage ultérieur d'une pièce traitée) ;

- au cours de traitements électrolytiques, lorsque le matériau appliqué est conducteur, les dépôts se forment de préférence au niveau des bords et des coins de la pièce de fabrication et/ou du substrat, où la densité de charge est la plus importante. Le procédé de mesure et les points à mesurer pour le contrôle ~~de~~ qualité de la finition peuvent faire l'objet d'un accord en tenant compte des différences d'épaisseur sur différentes parties de la pièce de fabrication ou du substrat à traiter. Certains procédés de mesure nécessitent des surfaces planes et, afin de répondre à certaines exigences de performance, une attention particulière peut être apportée à l'épaisseur du revêtement qui est significativement moins épais dans des zones planes qu'au niveau des bords (le rapport de l'épaisseur centrale par rapport à l'épaisseur de bord est d'approximativement 1 : 3 ou 1 : 4). De même, bien que les spécifications puissent être obtenues dans les zones planes mesurées, un accroissement de la couche sur le bord peut entraîner un écaillage si les bords sont manipulés par la suite, comme lors d'un gaufrage ;
- des spécifications de performance (comme par exemple, l'obtention d'un niveau spécifié de résistance à la corrosion) sont préférables au fait de se conformer totalement à des spécifications normatives. Des techniques de mesure d'épaisseur les plus appliquées habituellement et les plus faciles à réaliser sont optimales lorsqu'elles sont menées conjointement avec des spécifications de performance et lorsque les épaisseurs au niveau de points convenus, qui répondent aux performances spécifiées, peuvent être établies (voir également la section concernant la Substitution, section 4.9) ;
- les modifications du procédé de fabrication en préalable au traitement de surface. Par exemple, le changement des huiles utilisées pour le pressage (pour un type d'huile qui peut être intégré à la microstructure du substrat et ne répond pas au traitement de dégraissage habituel), du type de substrat, le pressage des pièces de fabrication au lieu de leur usinage, du durcissement précédant le traitement de surface, etc. ;
- des modifications des spécifications d'utilisation finales ;
- un traitement au tonneau à la place d'un traitement sur support (éventuellement dû à des contraintes de coût) ;
- de grandes organisations ou des secteurs industriels ayant largement recours au traitement de surface peuvent dicter leurs propres spécifications (comme par exemple les entreprises automobiles ou aérospatiales). Les organisations de taille plus modeste utilisent fréquemment ces spécifications disponibles publiquement. Afin de répondre à ces spécifications, il est nécessaire de s'assurer que l'on se réfère aux dernières versions disponibles, et que les spécifications peuvent être utilisées pour d'autres produits, leur traitement ultérieur et leur utilisation finale ;
- certains clients peuvent exiger les spécifications de qualité les plus élevées existantes, comme par exemple les spécifications militaires et aérospatiales impliquant l'utilisation de cadmium pour d'autres produits. Cependant, les applications militaires et aérospatiales ne se plient pas à la législation de commercialisation et d'utilisation s'appliquant au cadmium.

La stabilité et l'homogénéité dans le temps des traitements de surface peuvent être améliorées de plusieurs façons et bon nombre des techniques décrites dans le chapitre 4 présentent cet avantage tout en permettant l'augmentation des performances environnementales. De telles techniques sont détaillées dans la section "Eléments moteurs de mise en œuvre". On trouve par exemple l'utilisation d'anodes insolubles avec

ajout externe (voir section 4.8.2), l'agitation de la solution de traitement (section 4.3.4) et le contrôle de la concentration des produits chimiques de traitement (section 4.8.1).

Bénéfices environnementaux atteints
Le fait de parvenir à éviter le retraitement permet de minimiser les pertes de matières premières, de réduire les intrants d'énergie et d'eau, ainsi que de minimiser le traitement des eaux résiduaires et la production de boues et de déchets acides liquides.

Le décapage des métaux à l'aide d'acides forts est souvent effectué sous la forme d'un traitement discontinu. La réduction de ce type d'activité peut entraîner des réductions en terme de :

- débordement corrosif pour les sols en béton et polluant les eaux de surface et souterraines ;
- surcharge de la station de traitement des eaux résiduaires entraînant le dépassement des quantités rejetées autorisées ;
- vapeurs et ~~les~~ de brouillards acides entraînant des problèmes liés à la qualité de l'air local, à la santé et à la sécurité et à la détérioration de l'installation et des équipements.

La réduction de la surface des pièces à traiter permet de réduire les émissions atmosphériques d'autres installations comme les hauts-fourneaux et les fonderies. Dans ces derniers, certains des tonneaux ferreux peuvent être vaporisés et des revêtements organiques sont brûlés et entraînent des produits de décomposition inconnus.

Interactions
Aucune interaction négative n'est à mentionner.

Données opérationnelles
Si les spécifications ou les procédés sont inadéquats, une partie importante de la capacité de production peut être affectée.

Dans certains cas, des pièces de fabrication et/ou des substrats sont endommagés au cours du retraitement, ou ne peuvent être retraités et sont mise au rebus.

Applicabilité
Applicable à tout type d'installation. Cependant, il est à noter que la directive PRIP s'applique à l'installation et à ses systèmes de management. Elle ne s'applique pas à la chaîne d'approvisionnement et aux produits.

Aspects économiques
La justification économique est suffisamment importante pour garantir que les spécifications sont correctes et que la chaîne de production y répond, évitant ainsi un travail de retraitement. Pouvoir éviter le retraitement est une action positive vers une fabrication durable et permet d'accroître le rendement de production du traitement, ainsi que la confiance des clients. Des économies d'échelle sont réalisées en matières premières, en élimination de déchets dangereux, en énergie et en eau, ainsi qu'en travail. En ce qui concerne les installations sous-traitantes, les coûts de décapage et de retraitement sont généralement supportés par le sous-traitant.

Inversement, la mise en place et le maintien de systèmes de management des procédés et d'un CSP génèrent des coûts.

Eléments moteurs pour la mise en œuvre
Economies pour l'entreprise et durabilité
Exigences clients pour des systèmes de management de la qualité

Exploitations de référence
Tous les sites visités disposent de systèmes de management de la qualité ; certains sont agréés, mais tous sont évalués par un organisme externe. Exemples de sites : SIKEL SA, Gand, Belgique ; Exhall Plating, Ltd. Coventry, RU ; SGI, Plaisir, France ; Corus, Llanelli, GB ; Cropu SA, Burgos, Espagne.

Documentation de référence
[11, Tempany, 2002, 18, Tempany 2002]

4.1.3 Evaluation comparative

Description
L'évaluation comparative consiste en l'enregistrement systématique des intrants (matières premières, énergie et eau) et des sortants (émissions atmosphériques, eau et eaux résiduaires), pour les comparer régulièrement aux données antérieures concernant l'installation, son secteur, des valeurs de référence nationales ou régionales, voir section 4.1.1 (j). Une évaluation comparative appropriée nécessite des données comparables – une comparaison "d'égale à égale". Pour les activités de traitement de surface, cette comparaison serait optimale sur la base d'une superficie traitée ou sur une autre base de consommation ou de production. Par exemple, la quantité de zinc utilisée (en kg) pour 10 000 m^2 de surface, la quantité de zinc évacuée (en kg) pour 10 000 m^2 de surface, le nombre de kWh pour 10 000 m^2 de surface.

La superficie des parties embouties ou pressées, ou des parties fabriquées à partir de la même épaisseur de substrat, peut être calculée [145, LeCarre, 2004] comme suit :

$$S = \frac{\text{poids (kg)}}{\text{densité (kg/m}^3\text{) x e (m)}}$$

où : S = superficie, e = épaisseur et m = mètres

La directive concernant les émissions de solvant [97, CE, 1999] donne une formule de calcul de la superficie pour l'industrie de revêtement des véhicules et d'autres parties enduites composées de tôles (remarque : le facteur "2x" s'applique pour le revêtement des deux côtés) :

$$\frac{\text{2 x le poids total de la pièce de production}}{\text{épaisseur moyenne de la tôle x la densité de la tôle}}$$

Certaines variables font que de telles données sont difficiles à obtenir de manière précise : par exemple, des pièces de fabrication ont des formes irrégulières et des épaisseurs différentes, ainsi, la précision des estimations de superficie peut varier, et l'épaisseur des revêtements déposés peut présenter des différences importantes [124, Allemagne, 2003]. Cependant, ces difficultés n'empêchent pas l'utilisation des données collectées, comme le décrit la section 4.1.1 (j) (voir le tableau 3.5). Les conceptions obtenues électroniquement par CAO peuvent également être sources de données divergentes.

Lorsque des données sont des valeurs de référence pour une installation, les règles de bonnes pratiques impliquent la mise en œuvre d'un système destiné à la mise en pratique des données, système qui comprend :

- l'identification d'une personne ou d'un groupe de personnes responsables de l'évaluation des données et d'actions réalisées en conséquence ;
- l'information rapide et efficace des personnes en charge des performances de l'installation, y compris les exploitants, lorsque lesdites performances diffèrent des chiffres normaux ;
- d'autres investigations destinées à établir les raisons des variations de performance ou d'un écart avec les valeurs de référence externes.

Des exemples de procédés d'évaluation comparative et d'application sont présentés ci-dessous. Lorsque des données de secteur, nationales ou régionales sont recueillies, elles peuvent être rendues publiques tout en conservant la confidentialité de l'identité des sites individuels :

Installation
Une entreprise de dépôt électrolytique ou de phosphatation de pièces à forme complexe utilise cinq chaînes au tonneau, toutes dotées de tonneaux de la même taille. Les intrants d'eau sont mesurés au niveau de chaque point d'entrée. Les mouvements des tonneaux sont enregistrés pour chaque barre d'anode. Toutes les données, comme par exemple la consommation de matière première, la consommation d'eau et d'énergie etc., sont ensuite rapprochées des mouvements des barres d'anodes, et ces données sont étudiées et comparées régulièrement pour surveiller les performances de l'installation et ses coûts.

Secteur
Au Royaume-Uni, la « Surface Engineering Association » mène une enquête nationale auprès de ses membres afin d'établir des valeurs comparatives de coûts, etc.

Régional
La méthode d'enveloppe des données (DEA) est un procédé d'analyse qui a été développé pour comparer le rendement d'unités organisationnelles lorsqu'il est difficile de comparer les intrants ou les sortants avec des quantités non équivoques. Elle peut être appliquée dans des situations dans lesquelles les observations proviennent de plusieurs unités de production relativement homogènes. Dans ce contexte, l'homogénéité se rapporte aux intrants et aux sortants produits par les unités. Il n'est aucun besoin de les organiser de la même manière ou d'utiliser les mêmes types de technologie de production.

Un exemple de DEA appliqué au traitement de surface est présenté sous la forme de variables de données provenant d'une enquête menée auprès de 15 entreprises de dépôt électrolytique, étudiées en quatre groupes :

- la quantité de pièces de fabrication/substrat produites ;
- la main d'œuvre et le capital investi dans l'équipement ;
- consommation d'eau et d'énergie ;
- rejets.

Les résultats de la DEA ont été calculés en utilisant une combinaison variable de facteurs d'entrée. La note de rendement (rendement productif) a été calculée pour les entrées de capitaux et d'heures de main d'œuvre, d'eau et d'énergie avec diverses émissions environnementales. L'unique indicateur de production était le revenu annuel obtenu par traitement. Les données ont été modélisées en utilisant des procédés de programmation linéaire avec des facteurs de pondération.

La section 3.3.4 présente également des exemples qui concernent le revêtement en bande d'acier.

Bénéfices environnementaux atteints
Cela contribue à l'évaluation des performances environnementales d'installations individuelles avec d'autres installations. Cela contribue à identifier les techniques utilisées par les installations obtenant les meilleures performances.

Interactions
Aucun

Données opérationnelles
Permettent d'obtenir des valeurs de référence et une évaluation des performances environnementales opérationnelles pour les installations et les techniques.

Applicabilité
Il est nécessaire que des données concernant plusieurs installations présentant une homogénéité des intrants et des sortants soient disponibles avant qu'une installation individuelle puisse être évaluée comparativement. L'étendue des données et des installations doit être suffisamment large pour présenter un défi relevable, par exemple, [8, Conseil Nordique, 2002] des valeurs de référence de 50 litres par m^2 concernant l'utilisation de l'eau. La moyenne du secteur britannique est d'environ 44 litres par m^2 (information obtenue verbalement de la TWG) et la valeur maximum réglementaire en France est de 8 litres par m^2 par opération de rinçage ce qui équivaut à 40 litres par m^2 pour une installation comptant cinq chaînes de traitement (voir section 3.2.2) [58, France, 2003].

Des facteurs de pondération doivent être déterminés. Une connaissance de la DEA et de son application avec une programmation linéaire est nécessaire. Cette approche peut être utile pour un groupement d'entreprises ou une organisation professionnelle. Cette technique ne prend pas encore en compte les effets d'interaction.

Aspects économiques
L'application de la DEA peut nécessiter la contribution d'expert.

L'optimisation des performances environnementales d'une installation permet en général d'obtenir une optimisation économique.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Une évaluation comparative dépend également de bonnes performances économiques. Une évaluation comparative et l'optimisation de performance environnementale (comme par exemple les intrants de matière première, d'eau et d'énergie, ainsi que les pertes de matériau) seront optimisées d'un point de vue économique au même moment.

Installations de référence

Des exemples anonymes sont donnés par [8, Conseil Nordique, 2002] Oekepol et Eurofer.
Plans régionaux/ de secteur : Ford-BOS (par exemple, Frost Electroplating Ltd., Birmingham, RU)
Installations : Exhall Plating, Ltd. Coventry, RU, par exemple, m^3 par chaîne de production au tonneau par poste,
Metal Colours Ltd., Slough, RU : par exemple kWh/kg de Zn
SIKEL SA, Gand, Belgique : par exemple, rendement de l'utilisation de zinc (>95 %).

Documentation de référence
A propos des installations et au niveau national : [18, Tempany, 2002], [127, Oekopol, 2003],
Régional : [8, Conseil Nordique, 2002], [19, Eurofer, 2003]

4.1.3.1 Evaluation comparative des consommations d'eau

Description
En France, une valeur référence concernant l'utilisation de l'eau de 8 l/m^2/étape de rinçage a été introduite en 1985 dans la législation s'appliquant à toutes les installations de traitement de surface exploitant un volume total de réservoir de traitement de plus de 10 m^3.

Bénéfices environnementaux atteints
Cette valeur de référence permet de réduire l'utilisation de l'eau et les exigences de traitement d'eaux résiduaires, permet d'empêcher la dilution d'effluents et de réduire le flux des matériaux perdus (en poids par jour).

Effets d'interaction
Ces derniers dépendent des techniques de réduction de consommation d'eau utilisées.

Données opérationnelles
Une fois celles-ci déterminées, elles doivent être vérifiées périodiquement. Il ne s'agit pas d'une valeur limite programmée et pour cette raison, l'obtention de cette valeur passe uniquement par le changement périodique de certaines mesures clés, tel que par exemple, le nombre de rinçages dans un dispositif en cascade, voir section 4.7. D'autres mesures de contrôle des variables peuvent être utilisées, telles que l'utilisation de conductimètres sur les cuves de rinçage ainsi que des débitmètres et des vannes de régulation au niveau de chaque point d'utilisation d'eau : il s'agit de facteurs importants dans l'obtention de chiffres conformes à la plage de données et le maintien de ces valeurs, voir section 4.4.5.

Les mesures concernent uniquement le volume d'eau quittant l'installation, ce qui évite ainsi des problèmes de calcul d'évaporation, de solutions liquides ajoutées, la quantité d'eau recyclée, etc. Ce chiffre des rejets tient compte de toute l'eau utilisée, à l'exception de l'eau à usage domestique (toilettes, réfectoires, etc.).

Les valeurs des étapes de rinçage individuelles (ou les étapes constituantes) ne sont pas calculées, seul le volume total par rapport au nombre total d'étapes de rinçage pour l'installation est calculé. Ceci permet que des étapes de rinçage utilisent plus d'eau que d'autres, selon les besoins de fonctionnement.

La superficie est difficilement calculable, voir section 4.1.3, mais dans 80 à 90 % des cas, l'exploitant la connaît pour des raisons commerciales, ou est en mesure de la déterminer. Dans certains cas, les exploitants peuvent déterminer et utiliser une mesure de substitution ; par exemple, le traitement peut être mis en fonctionnement pendant une période donnée, en utilisant les composants les plus simples géométriquement, et en mesurant les rejets d'eau, tout en mesurant au même moment un autre facteur de consommation ou de production (par exemple, l'utilisation d'énergie, le nombre de tonneaux ou de support, le nombre ou le poids des pièces, la quantité de produits chimiques ou la consommation d'anode, etc.). La quantité d'eau évacuée est ensuite rapportée à ce facteur de production de consommation secondaire. Ce facteur secondaire peut ultérieurement être utilisé afin de re-vérifier la valeur de référence en comparaison à des composants géométriquement plus complexes.

La superficie représente simplement la surface géométrique humidifiée. Elle inclut toutes les surfaces des supports progressant au travers des étapes de rinçage, c'est-à-dire, les tonneaux (les surfaces interne et externe) et les supports.

Un stade (ou une étape) représente toutes les cuves d'une opération de rinçage effectuée après un traitement ou une activité associée. Il peut s'agir d'une cuve unique ou de cuves multiples. Les cuves multiples utilisés dans une étape de rinçage en cascade réduisent de manière significative l'utilisation d'eau (tel que décrit dans la section 4.7), voir la figure 4.1.

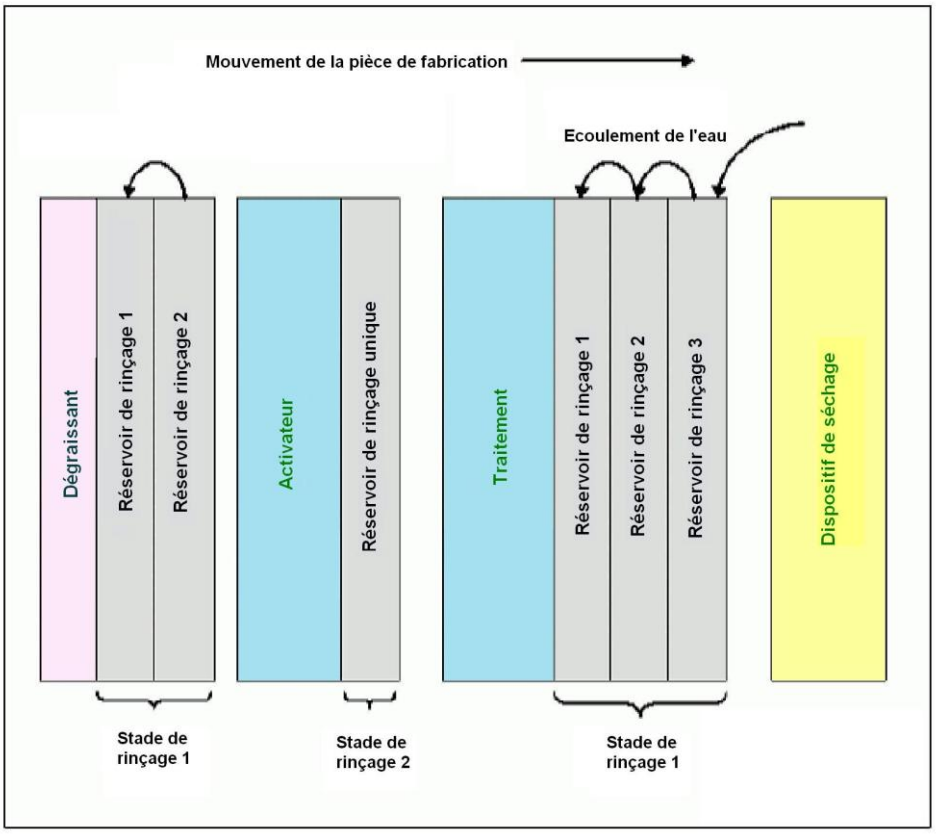


Figure 4.1 : Définition d'un stade de rinçage

Applicabilité

Ce procédé est utilisé de manière tout à fait satisfaisante dans 80 % des installations françaises depuis 1985. L'utilisation d'eau peut se révéler supérieure dans des activités extrêmement spécifiques telles que la production de cartes de circuits imprimés (voir section 3.4.3.1).

Aspects économiques
Cette valeur de référence peut permettre de réduire les coûts d'investissement (en particulier les coûts liés à l'eau brute et au traitement des eaux résiduaires) et les coûts d'exploitation (en particulier les matières premières et l'eau).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
La réduction du débit d'eau au cours du traitement est un aspect essentiel, non seulement pour ce qui est des économies d'eau, mais également, conjointement avec les contrôles des pertes par entraînement, afin de réduire l'utilisation de matières premières et d'accroître le rendement des matériaux. Ceci permet en outre de réduire la taille de la station de traitement des eaux résiduaires nécessaire et la quantité de produits chimiques de traitement et l'énergie utilisée pour ledit traitement.

Exploitations de référence
80 % des installations de traitement de surface en France.

Documentation de référence
[58, France, 2003] [121, France, 2003], [165, Tempany, 2004]

4.1.4 Optimisation de la chaîne de traitement

Description
Le calcul des intrants et théoriques nécessaires à certaines options choisies, telles que celles présentées dans les sections 4.4.2, 4.4.4.2, 4.6 et 4.7, se révèle utile à l'évaluation comparative des performances environnementales et économiques de l'installation. Bien que ce calcul puisse être effectué manuellement, il se révèle rapidement fastidieux et chronophage. Des progiciels de modélisation peuvent être utilisés pour contribuer à optimiser les performances des chaînes de traitement en facilitant et en accélérant les ~~re~~ calculs. Les logiciels destinés au traitement peuvent être programmés par des prestataires externes ou en interne. Il peut s'agir de logiciels à utilisation générale ou conçus sur mesure pour une installation spécifique.

Un logiciel se base sur une feuille de calcul de type Excel et permet d'entrer une série de paramètres concernant le zingage électrolytique sur montage ou au tonneau. Les calculs utilisés dans la feuille de calcul sont les mêmes que, ou identiques à, ceux cités dans ce BREF, ainsi que d'autres informations similaires, comprenant des calculs financiers standard. Un exemple de calcul est présenté dans l'annexe 8.11. Un ensemble de données est considéré comme provenant d'une installation "appliquant les règles de bonnes pratiques " (l'installation modèle FE 2000) et l'autre ensemble de données provient à l'origine d'une installation moyenne du secteur industriel britannique et est dénommé la "valeur de référence" (l'expression "valeur de référence" n'est pas utilisée de la même manière que dans ce BREF, elle signifie ici niveau habituel de pratique). L'exemple présenté montre les coûts occasionnés lors de la modification d'une installation moyenne du secteur en installation "appliquant les règles de bonnes pratiques", utilisant plusieurs options d'amélioration décrites dans le chapitre 4 de ce BREF.

Par exemple, en utilisant le logiciel présenté dans l'annexe 8.11, le calcul de la différence entre une chaîne de passivation et de zingage au tonneau classique et une chaîne utilisant les techniques optimisées à l'aide de diverses MTD donne les chiffres suivants :

- chaîne classique : 11 500 m^3 d'eau utilisés par an ;
- chaîne optimisée : 2 951 m^3 d'eau utilisés par an soit 74 % d'économies

Les données d'entrée concernant l'installation "moyenne du secteur" (valeur de référence) peuvent être ajustées à une installation réelle afin d'en effectuer une évaluation comparative, ou être utilisée afin d'examiner les effets de diverses options, telles que l'ajout d'étapes de rinçage, d'évaporateur, ou un changement de traitements, etc.

Bien que le logiciel soit programmé pour le zingage, toutes les variables, telles que le type d'ajout de produits chimiques, et tous les coûts entrants et sortants peuvent être modifiés. Le logiciel peut ainsi être utilisé pour d'autres traitements, soit sur des chaînes entières comme par exemple pour un traitement de cuivrage, soit pour évaluer les effets entraînés par la modification d'une activité.

Bénéfices environnementaux atteints
Ce procédé permet l'optimisation théorique d'une chaîne de traitement au niveau de la consommation d'eau, d'énergie et de la conservation des matières premières ainsi que la minimisation des émissions dans l'eau.

Effets d'intéraction
Cela permet, dans le même temps, l'optimisation des intrants (matières premières et consommables) et des émissions dans l'eau.

Données opérationnelles
Peuvent utiliser les données existantes et celles-ci peuvent être utilisées pour évaluer comparativement les performances ainsi que les améliorations prévues.

Applicabilité
Dans cet exemple, "l'interface utilisateur" (page visible du logiciel) présente le zingage électrolytique, mais les mêmes calculs peuvent facilement être adaptés par l'utilisateur à d'autres activités de traitement de surface, simplement en entrant les données appropriées dans le modèle. Ce dernier peut donc être utilisé pour toutes les chaînes de traitement à étapes multiples, ou les sous-procédés individuels.

Bien que les données financières apparaissent en livre sterling (GBP), cette valeur est purement symbolique, toutes les données financières peuvent être intégrées dans d'autres devises et être calculées.

Le programme ne permet pas d'optimiser la totalité de l'installation.

D'autres logiciels ou manuels peuvent être utilisés ou développés, parfois pour une installation spécifique, voir l'exemple ci-dessous.

Aspects économiques
Le logiciel présenté est gratuit.
Avant un quelconque engagement, une période d'essais et d'utilisation du logiciel peut aider à la prise de décisions relative à la gestion des procédés de traitement de surface et aux investissements induits.
L'annexe 8.11, en tant qu'exemple, présente une un retour sur investissement pour l'optimisation d'une chaîne de passivation et de zingage au tonneau (sans travaux

d'infrastructure) de 0,6 ans, sur la base d'économies en eau, en matières premières et en retraitement des pièces rejetées.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Le critère environnemental peut permettre d'optimiser les procédés de traitement de l'installation et les performances économiques

Exploitations de référence
Un exemple général est présenté dans l'annexe 8.11 et concerne une installation non optimisée et une installation utilisant diverses techniques MTD en accord avec l'industrie britannique et qui sont utilisées à titre de comparaison dans le logiciel.

Sikel S.A. Gand, Belgique, pour l'optimisation grâce à un logiciel sur mesure

Documentation de référence
[26, Envirowise, 2003]

4.1.5 Contrôle de procédés ~~traitement~~ en temps réel

Description
Des systèmes de contrôle de traitement numériques recueillent des données et ré-agissent afin de maintenir des valeurs de traitement prédéterminées en temps réel.

Bénéfices environnementaux atteints
Meilleur rendement de l'installation et de la qualité du produit ainsi qu'une diminution des émissions.

Effets d'intéraction
Aucun

Applicabilité
De nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en continu

Aspects économiques
Concernant le revêtement en bande, l'investissement initial est >0,8 euro/tonne installée avec des coûts de fonctionnement et d'entretien >0,8 euro/tonne installée.

Elément moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement et exigences de qualité.

Exploitations de référence
CROPU S.A., Burgos, Espagne, SIKEL S.A., Gand, Belgique

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003, 73, BSTSA,]

4.2 Conception, construction et fonctionnement d'une installation

4.2.1 Prévention de la pollution provenant de rejets accidentels– planification, conception, construction et autres systèmes

Description

La section 1.4.2 identifie le secteur comme source potentielle d'accidents environnementaux ou de rejets imprévus. Une approche planifiée et intégrée peut permettre de réduire ces accidents, en commençant par l'identification des aspects d'une installation qui peuvent avoir des impacts significatifs sur l'environnement. Les risques identifiés sont ensuite soigneusement traités grâce à des systèmes de conception et de construction ainsi que de management qui s'attachent à la prévention, la diminution et la gestion des accidents et des urgences, et qui étudient les infractions aux conditions établies par les permis d'exploitation.

Des systèmes réglementaires et/ou de règles de bonnes pratiques concernant la prévention de la pollution sont actuellement utilisés dans certains pays, par exemple, voir les ouvrages de référence ci-dessous. De nombreuses installations du secteur ont bénéficié de l'introduction de telles techniques. Les activités suivantes présentent les exemples principaux dans lesquels ces techniques permettent de réduire la fréquence et les impacts de pollution aiguë et chronique des eaux de surface et souterraines ainsi que des sols, et qui rendent le fonctionnement des installations plus rentable :

- l'entretien programmé et non programmé, comprenant l'entretien des solutions, voir section 4.11 ;
- la livraison et le stockage des matières premières, voir section 4.2.2 ;
- le contrôle des procédés, la surveillance des procédés et la surveillance environnementale, voir section 4.1.

Les principaux problèmes liés à la livraison et au stockage des matières premières consommables sont identifiés dans la section 2.1.2 et les effets environnementaux et sur la santé provenant des produits chimiques sont identifiés dans la section 1.4.4. Le BREF concernant les émissions provenant du stockage de produits chimiques traite aussi de ces questions [23, EIPPCB, 2002]. Dans les activités de traitement de surface, les solutions de traitement sont généralement conservées dans des cuves ouvertes raccordées par un réseau de conduites. Des situations étant analogues au stockage des produits chimiques, ~~et~~ de nombreuses techniques similaires peuvent alors s'appliquer, comme l'utilisation de réservoirs à double paroi ou de zones de rétention.

Certains aspects majeurs de la prévention de la pollution présentés dans les ouvrages de référence concernent :

- l'identification des dangers et de leur voie de propagation ;
- un classement simple du danger potentiel ;
- une mise en œuvre en trois étapes d'actions destinées à la prévention de la pollution :
  - ° des mesures primaires (structurelles)
    - ▪ des dimensions d'installations suffisantes,
    - ▪ le choix de matériaux d'étanchéité dans lequel les produits chimiques sont stockés ou manipulés, par exemple, pour les revêtements de sol, les zones de rétention,
    - ▪ la stabilité de la chaîne de traitement et de ses composants (y compris des équipements utilisés temporairement ou par intermittence, comme les pompes et les réservoirs utilisés pour les opérations d'entretien occasionnelles),
  - ° des mesures secondaires (installation ou équipement) ;
    - ▪ le confinement (ou le confinement secondaire) fait référence à une protection supplémentaire destinée à empêcher les rejets de réservoir

de stockage sur et au-dessus des protections prévues à l'origine pour le conteneur-réservoir lui-même (dans ce secteur, les réservoirs peuvent être destinés au stockage ou à la production). On dénombre deux types principaux de confinements secondaires concernant les fuites, à savoir les confinements qui font partie de la construction de la cuve, comme par exemple les doubles fonds de réservoirs (uniquement pour les réservoirs de surface), les réservoirs à double paroi et les barrières imperméables qui sont placées sous les réservoirs sur le sol,
    - la spécification appropriée de la taille et de la résistance des réservoirs destinés à recevoir des solutions vidangées (voir également la stabilité, dans les mesures primaires ci-dessus),
    - des systèmes d'identification des fuites,
- des mesures tertiaires (systèmes de gestion) ;
    - des inspections, réalisées par des experts externes et internes, et comprenant des plans d'urgence et de maintenance régulière relatifs aux accidents potentiels (voir section 4.1.1),
    - des programmes d'essai.

L'identification des voies de propagation et des cibles des effets environnementaux permet de déterminer le choix du site, de l'installation et de l'équipement ainsi que la conception et la construction de l'infrastructure et de l'installation.

Bénéfices environnementaux atteints
Dispositifs particulièrement utiles pour la minimisation de la contamination des sols et des eaux souterraines par des voies que l'on ne peut discerner facilement et qui sont difficilement identifiables.

Dispositifs qui facilitent la mise à l'arrêt du site

Dispositifs permettant la minimisation de rejets chroniques et aigus imprévus vers les eaux de surface ainsi que les systèmes de traitement des eaux résiduaires locales.

Effets d'interaction
Aucune application négative relevée

Données opérationnelles
Une planification et une conception minutieuses, mettant à profit une expérience opérationnelle, permettent de faciliter le fonctionnement, l'entretien et la surveillance programmés, tout en réduisant les coûts et en garantissant une installation plus sûre d'un point de vue environnemental.

Des réservoirs à revêtement simple au sein d'une zone de rétention sont aussi surs qu'un réservoir à double paroi. Une fuite quelconque est facilement et plus rapidement identifiable qu'à l'intérieur d'un réservoir à double paroi. Le confinement et la capacité des réservoirs sont examinés dans les ouvrages de référence (ci-dessous) : pour qu'elle remplisse la fonction de base, la zone de rétention doit pouvoir contenir une fuite ou un débordement prévu et, le volume contenu ou pouvant être reçu est, par exemple, fréquemment de 110 % du volume du plus grand réservoir contenu dans la zone. La zone de rétention peut être une zone étanche drainée soit vers une cuve de taille importante sous les réservoirs de traitement soit un sol doté d'un revêtement résistant aux produits chimiques (cerné de parois relevées ou de canalisations, ou dont le sol est en pente vers les canalisations). Au cours d'un nettoyage ou d'un entretien, les contenus (de la zone de rétention) peuvent être envoyés vers (ou

pompés vers) le flux d'eaux résiduaires approprié, mais pour garantir le contrôle opérationnel de fuite éventuelle, le raccord doit être effectué sous surveillance, voir section 4.1.1.

Applicabilité
Ces mesures peuvent être envisagées pour tout type d'installation ; cependant elles sont mises en œuvre de manière optimale au moment du projet et des étapes de conception et de construction initiales. De nombreux changements peuvent être incorporés au moment d'importantes mises à niveau, tandis que certaines améliorations peuvent être apportées aux installations existantes au cours des périodes d'entretien normales, bien qu'une amélioration rétrospective puisse être plus difficile à réaliser, et ne pas être si efficace. Diverses normes et guides peuvent également faire partie d'une planification à long terme pour améliorer les installations.

Aspects économiques
Ces derniers font partie des coûts d'investissement initiaux ou lors de mises à niveau. Certaines techniques peuvent n'engendrer aucun coûts lorsqu'il s'agit de nouvelles constructions ou de mises à niveau. Souvent, les coûts peuvent être recouverts grâce à un meilleur rendement du travail, l'entretien, et la suppression des coûts liés aux accidents et aux violations des autorisations.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Devoir de protection de son entreprise et responsabilité éventuelle en cas de pollution environnementale.

Exploitations de référence
Largement utilisées dans de nombreux pays.

Documentation de référence
[16, RIZA, 1999, 19, Eurofer, 2003, EIPPCB, 2002"23, 23, EIPPCB, 2002, 42, SEA, 2001, 81, INRS, 1998]

4.2.1.1 Bacs étanches à l'huile

Description
Une fuite d'huile provenant des systèmes hydrauliques est un problème de prévention de la pollution spécifique traité grâce à l'utilisation de bacs étanches à l'huile.

Bénéfices environnementaux atteints
Les bénéfices environnementaux sont moyens, par la minimisation de rejet éventuel d'huile vers les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines.

Effets d'interaction
Aucun

Données opérationnelles
Les bacs nécessitent une vérification et une vidange qui font partie d'un programme d'entretien.
Des quantités répétées et/ou significatives d'accumulation d'huile indiquent des problèmes d'entretien du système hydraulique.

Applicabilité de la MTD
Nouvelles installations et installations existantes dotées de systèmes hydrauliques importants

Aspects économiques
Les coûts d'installation pour les installations de traitement en bande à grande échelle sont de 0,001 à 0,15 euro /t et les coûts d'exploitation sont de 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Un environnement de travail propre, plus sûr et optimal (les employés ne glissent pas).

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.2.2 Stockage des produits chimiques

Description
Voir la section 2.1.2, et pour obtenir des informations détaillées, la section 4.2.1 et le BREF concernant le stockage [23, EIPPCB, 2002]. De nombreux autres documents permettent d'obtenir des conseils sur les règles de bonnes pratiques (par exemple, voir les ouvrages de référence ci-dessous).

Les problèmes cruciaux sont :

- éviter les émanations de gaz de cyanure libre en stockant les acides et les cyanures séparément ;
- stocker les acides et les alcalis séparément ;
- réduire le risque de feu en stockant les produits chimiques ~~à agents~~ inflammables et oxydants séparément ;
- réduire le risque de feu en stockant au sec et séparément les agents oxydants, les produits chimiques à combustion spontanée en condition humide. Marquer les zones de stockage de ces produits chimiques afin d'éviter l'utilisation d'eau en cas d'incendie ;
- éviter la contamination des sols et des eaux environnants provoquée par les débordements et les fuites de produits chimiques ;
- éviter ou empêcher la corrosion des cuves de stockage, de la tuyauterie, des systèmes d'alimentation et des systèmes de contrôle par les produits chimiques corrosifs et les vapeurs provenant de leur manipulation.

Bénéfices environnementaux atteints
Une réduction des rejets accidentels dans l'environnement, en particulier ceux provenant de la lutte contre les incendies.

Effets d'interaction
Aucun effet observé.

Données opérationnelles
Nécessité d'une gestion des produits chimiques au moment de leur livraison et de leur utilisation.

Applicabilité
Tous types de sites.

Aspects économiques
Les coûts de construction de zones de stockage séparées et/ou confinées.

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Législation de la santé au travail, un SME et d'autres systèmes de gestion, la directive Seveso [142, CE, 1996] et la législation sur l'eau, ainsi que la PARCOM [12, PARCOM, 1992].

Exploitations de référence
CROPU S.A., Burgos, Espagne

Documentation de référence
[16, RIZA, 1999, 19, Eurofer, octobre 2003, 23, EIPPCB, 2002, VITO, 1998#20, Agences de l'eau, 1996#82, 42, SEA, 2001, 79, Loire-Bretagne, 1985, 81, INRS, 1998]

4.2.3 Type de chaîne de traitement et construction

Description
Le type de chaîne de traitement est généralement imposé par divers facteurs (voir l'introduction à la section 2).

L'utilisation de chaînes de production en ligne horizontale est idéale pour la production de cartes de circuits imprimés, à l'exception de la génération des images primaires et des réserves de gravure. Ces chaînes contiennent souvent des modules qui peuvent être intégrés.

Les bobines sont adaptées également aux chaînes de production intégrées, que ce soit à petite ou grande échelle.

Dans certaines installations, il est possible de produire une chaîne de traitement de surface intégrée et fermée (voir la figure 4.2), ou d'intégrer le traitement de surface dans la production globale (voir section 6.1).

Bénéfices environnementaux atteints
Aucune émission atmosphérique ponctuelle dans l'installation.

Un contrôle du traitement élevé réduit l'utilisation d'eau et de produits chimiques.

Effets d'intéraction
Aucun.

Données opérationnelles
Le mouvement automatique de précision des composants et un revêtement de haute précision réduisent la durée de traitement et améliorent la qualité.

Figure 4.2 Chaîne de chromage intégrée et fermée
[140, Atotech, 2003]

Applicabilité
Procédé destiné aux installations et aux chaînes nouvellement construites. Applicable de manière optimale lorsque les pièces présentent une cohérence importante de taille et de forme, telles que les amortisseurs de choc (amortisseurs automobiles), les tiges de piston, les cartes de circuits imprimés et les bobines d'aluminium et d'acier, etc.

Aspects économiques
Coût élevé du capital.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Amélioration de l'environnement du lieu de travail.
Faibles coûts de main d'œuvre de production.

Précision et qualité élevées.

Exploitations de référence
Monroe, ZF-Sachs, Arvin aux Etats-Unis et en Europe.
Sikel S.A., Gand, Belgique
figure 4.2.
Voir la section 6.1.

Documentation de référence
[122, UBA, 2003]

4.3 Problèmes généraux de fonctionnement

4.3.1 Protection des pièces de fabrication et des substrats – avant et après traitement

La corrosion peut survenir sur les substrats métalliques avant le traitement de surface et sur les surfaces traitées des métaux et des matières plastiques après le traitement de surface et avant expédition. La corrosion peut entraîner une adhérence médiocre du dépôt ou endommager les finitions décoratives et donc nécessiter un décapage et un retraitement ou encore une mise au rebus. Les produits corrodés sont susceptibles de nécessiter un traitement supplémentaire pour en éliminer la corrosion avant le traitement de surface. La prévention de la corrosion peut réduire les impacts environnementaux associés au décapage et au retraitement (voir les sections 2.3).

La plupart des surfaces métalliques s'oxydent ou se corrodent lorsqu'elles sont exposées à l'oxygène ou d'autres facteurs en suspension dans l'atmosphère. La durée de corrosion dépend du type de matériau et des conditions dans lesquelles le matériau est stocké. Par exemple, les composants en acier ne se corrodent pas dans une atmosphère à un taux d'humidité inférieur à 50 %. L'humidité, la température et les atmosphères acides sont des facteurs qui déterminent la vitesse de corrosion des matériaux. Tous ces facteurs sont présents dans les installations de traitement de surface, il est donc important de contrôler l'exposition des produits stockés.

La protection des surfaces contre les dégâts mécaniques est également cruciale.

4.3.1.1 Réduction de la durée de stockage

Description
L'élimination ou la réduction du stockage entre les opérations comme par exemple, entre la fabrication et le traitement des surfaces, ou entre le traitement de surface et l'expédition, permet d'éviter le besoin d'autres traitements de prévention de la corrosion. Cette réduction peut faire partie d'un système formel de JAT (juste à temps) ou d'une bonne planification de la production.

Bénéfices environnementaux atteints
Prévention des opérations de décapage et de retraitement

Applicabilité
Technique applicable de la manière la plus optimale dans des installations internes et lorsque les liaisons de transport sont courtes et fréquentes. Cependant, cette technique peut ne pas être applicable lorsque les clients sont implantés à distance importante et que les dimensions d'un transport en vrac économique nécessitent un stockage avant et après traitement.

Aspects économiques
Les seuls coûts envisagés sont les coûts de main d'œuvre pour la planification et la supervision de la production et des délais de livraison. Réduction des coûts d'investissement et d'exploitation pour le stockage, ainsi qu'une réduction des coûts de production liés au décapage et au retraitement des produits rejetés.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir les aspects économiques ci-dessus.

Exploitations de référence
Documentation de référence

[3, CETS, 2002] [118, ESTAL, 2003]

4.3.1.2 Conditions de stockage et de transport

Description
Le stockage des composants, à la fois en attente de traitement et traités, à distance d'un air humide et acide, qui est associé à de nombreuses installations de traitement de surface, est habituel. Un bon système de ventilation du lieu de travail peut être une aide précieuse (voir la conception, section 4.2), et garantira également que l'air évacué humide et souvent acide n'entrera pas en contact avec les produits stockés ou en attente de transport. Le système de ventilation des zones de stockage peut également être utilisé à condition qu'il permette de réduire l'humidité et n'amène pas d'air humide et acide. L'humidité se condense sur les composants qui sont refroidis au cours du transport ou du stockage et sont ultérieurement livrés en un endroit chaud et humide. Le fait de maintenir la chaleur au cours du transport et du stockage des produits dans un environnement à humidité faible peut supprimer ces problèmes.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction du décapage et du retraitement

Effets d'interaction
Un accroissement de l'utilisation énergétique destinée à la déshumidification ou à la ventilation peut être compensé par des bénéfices environnementaux provenant d'une réduction du retraitement.

Applicabilité
Tous types d'emplacements. Cependant, une application particulière variera en fonction des conditions climatiques régionales comme les niveaux d'humidité ambiante et les températures moyennes quotidiennes.

Aspects économiques
L'accroissement des coûts de l'utilisation énergétique pour la déshumidification ou la ventilation peut être compensé par des économies sur le retraitement. Les économies réalisées sur la séparation du stockage pourraient permettre la mise en place de mesures complémentaires telles qu'une amélioration de la déshumidification ou de la ventilation améliorée.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Les gains économiques et environnementaux provenant de la réduction du décapage et du retraitement.

Exploitations de référence
SIKEL S.A. Gand, Belgique

Documentation de référence
[3, CETS, 2002]

4.3.1.3 Emballage

Description
Les pièces de fabrication ou les substrats peuvent être emballés dans des matériaux absorbant ou anticorrosion tels que des papiers ou agglomérés spéciaux. De tels

matériaux permettent à la fois d'empêcher la corrosion et d'empêcher les dégâts de surface entraînés par le transport et sont souvent exigés par le client, en particulier pour les composants de grande valeur, tel que les cartes de circuit imprimé et les composants aérospatiaux. Les bobines sont généralement protégées par les couches externes, à l'aide d'une bande protectrice offrant un contact immédiat avec le revêtement de sol et des berceaux empêchant les mouvements indésirables.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction du décapage et du retraitement.

Effets d'interaction
Une consommation accrue de matières premières, qui peut être compensée en privilégiant et en utilisant des systèmes d'emballage recyclables.

Applicabilité
Le système peut être envisagé dans tous types d'applications, mais les coûts seront limitatifs pour les composants à faible valeur ajoutée.

Aspects économiques
L'accroissement des coûts des matériaux d'emballage et de main d'œuvre peut être compensé par les économies sur la réduction du retraitement.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir les aspects économiques ci-dessus.
Exigences de qualité des clients.

Exploitations de référence
Sikel S.A. Gand, Belgique ; Corus, Trostre Works, Llanelli, RU ; SGI, Plaisir, France.

Documentation de référence
Visite des sites des installations citées en exemple.

4.3.1.4 Revêtement de prévention de la corrosion grâce à de l'huile ou de la graisse

Description
L'huile et/ou la graisse peuvent être utilisées pour prévenir la corrosion au cours du stockage. L'inconvénient est que les articles doivent ensuite être nettoyés (voir section 2.3). Lors du choix du type d'huile ou de graisse, le degré de protection nécessaire doit être envisagé. Cependant, ce type de revêtement peut être envisagé différemment grâce à la section 4.3.2 ci-dessous.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des étapes de retraitement et des rejets.

Effets d'interaction
Accroissement de l'utilisation de produits chimiques, d'énergie et d'eau pour éliminer l'huile et/ou la graisse.
Rejets accrus vers les eaux résiduaires et les autres voies de rejet.

Données opérationnelles

Les graisses sont souvent utilisées dans les applications militaires lorsque les composants sont stockés pendant de longues durées avant d'être utilisés. La durée du revêtement devient significative lors du nettoyage tardif des composants à une date ultérieure. De longues durées de stockage, particulièrement sous un climat chaud, compliquent le nettoyage.

Les huiles minérales pures sont généralement plus faciles à éliminer en comparaison d'émulsions et de produits à base végétale. Les huiles et les graisses à base végétale sont souvent préférées en tant que produits écologiques. Cependant, elles peuvent être particulièrement difficiles à éliminer notamment si le produit a été stocké au cours d'une période de chaleur. Ce facteur peut donc être plus important dans les régions plus chaudes.

Applicabilité
Approprié à certaines applications et souvent associé à la minimisation de l'usure d'outil en pressage, etc.

Aspects économiques
Les gains environnementaux et économiques provenant de la disparition du décapage, du retraitement ou des rejets peuvent compenser ou dépasser les coûts engendrés par la prévention de la corrosion.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Aspects économiques, voir ci-dessus.
Exigences des clients.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002]

4.3.2 Minimisation et optimisation des revêtements des traitements mécaniques antérieurs – huile et graisse

Description
L'huile ou la graisse sont utilisées pour minimiser l'usure de l'outil, par exemple, le pressage des tôles, les opérations de perçage ou d'étirage, ou pour la prévention de la corrosion avant un traitement de surface . Le choix des procédés de nettoyage commence donc lors du traitement de production. Les opérations de dégraissage précédant le traitement de surface peuvent souvent être simplifiées par la fabrication et le stockage adéquats de composants plutôt que par l'utilisation excessive d'huile ou de graisse. Certaines huiles utilisées lors du pressage peuvent être intégrées à la surface du métal et résister au nettoyage.

Les changements quelconques d'élimination ou de minimisation des revêtements huileux se déroulent souvent au stade de la production mécanique. Ces changements peuvent impliquer des négociations avec les clients (voir section 4.1.2, spécifications). En modifiant le procédé de fabrication, l'utilisation d'huile peut être minimisée, voir l'éliminée. L'utilisation d'huile peut être minimisée par une évaluation régulière des procédés d'application, du type et de la quantité d'huile utilisée. Une huile compatible avec le système de nettoyage ultérieur doit être utilisée. Les possibilités de réduction ~~de~~ sur l'application d'huile et de graisse dans les étapes de production mécanique comprennent :

- l'utilisation de lubrifiants volatils ;

- l'utilisation d'un graissage à froid à quantité minimale ;
- le décapage et/ou la centrifugation des pièces de fabrication ;
- le pré-nettoyage des pièces de fabrication au niveau du point de production ;
- la réduction de la durée de stockage, voir section 4.3.1.4 ;
- le perçage associé à un refroidissement par air comprimé ;
- l'utilisation de lubrifiants sur film plastique appliqués lors du pressage.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des exigences de traitement de dégraissage comprenant les consommations de produits chimiques et d'énergie, ainsi que des déchets produits.

Effets d'interaction
Consommation d'énergie et/ou de matériaux lors de l'utilisation de techniques alternatives, telles que les films lubrifiants secs et le perçage refroidi par air.
Les lubrifiants volatils contiennent des COV (composés organiques volatils), qui sont libérés dans l'atmosphère.

Données opérationnelles
Peuvent être envisagées pour toutes les pièces de fabrication/substrats huilés.

Applicabilité
En fonction du cas. L'utilisation et le type d'huile et de graisses peuvent être examinés d'un œil critique et de manière constructive avec tous les clients.

Aspects économiques
En fonction du cas : une installation fait état d'économies s'élevant à 25 000 euros par an en huile appliquée par l'un de leurs clients (coûts de l'année 2000), ainsi que des gains non intégrés de dégraissage de produits chimiques et d'énergie, de main d'œuvre et d'impacts sur la qualité de traitement.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Contrôle de traitement ultérieur amélioré ; réduction des retraitements.

Exploitations de référence
Exhall Plating, Coventry, RU.

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002] ; [104, UBA, 2003], [3, CETS, 2002]. [113, Autriche, 2003].

4.3.3 Gabarit de montage

Description
Voir la section 2.2. Le gabarit de montage adéquat, qu'il s'agisse de supports dotés de pinces à ressort pour retenir les pièces de fabrication ou câblés à l'aide de fil de cuivre, est important pour plusieurs raisons :

- une charge en courant/zone appropriée dans le traitement électrolytique ;
- la minimisation des pertes par entraînement, voir section 4.6.3 ;
- la prévention de la perte des pièces de fabrication :
  - les substrats de dissolution contaminent la solution de traitement,
  - mauvaise image en terme de qualité vis à vis du client.

Bénéfices environnementaux atteints
Permet d'optimiser l'utilisation des métaux
Minimise les pertes de matériaux
Réduit les exigences d'entretien des solutions

Effets d'interaction
Aucun

Données opérationnelles
Nécessite une main d'œuvre qualifiée
Peut présenter un travail intensif

Applicabilité
Toutes les installations à chaîne de traitement sur support

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité du traitement

4.3.4 Agitation des solutions de traitement

Description
L'agitation des solutions de traitement est une règle de bonnes pratiques afin de conserver une concentration constante de la solution dans l'ensemble de la cuve. Ce procédé permet de remplacer la solution épuisée et empêche la formation de bulles de gaz et de contaminants sur les pièces de fabrication ou la surface du substrat, entraînant des finitions irrégulières, une corrosion par piqûre, etc. Dans les traitements au tonneau, une agitation suffisante est généralement obtenue par la rotation des tonneaux et le mouvement des pièces de fabrication à l'intérieur de ces derniers.

L'agitation des solutions d'anodisation est essentielle au maintien d'une température constante du bain et permet d'éliminer la chaleur à la surface de l'aluminium.

Les options envisageables sont :

- des buses pulvérisant de l'air comprimé ;
- de l'air à basse pression ;
- une turbulence hydraulique ;
- l'agitation des pièces de fabrication par le déplacement des barres d'anode ou des tiges à l'aide de cames ou de moteurs.

L'utilisation de l'air comprimé engendre d'importantes pertes thermiques par évaporation, en particulier lorsque cette technique est utilisée conjointement avec l'extraction d'air, voir section 4.4.3, ainsi qu'une consommation énergétique du compresseur. Cependant, les pertes énergétiques peuvent être insignifiantes lorsque cette technique est utilisée dans de très petits réservoirs.

Une turbulence hydraulique est engendrée par un système de pompage doté de buses d'éjection placées au fond du réservoir. Bien que l'énergie requise soit plus importante que celle nécessaire à une agitation classique par air ou cathodique, la perte énergétique provenant de l'évaporation de l'eau dans les réservoirs agités par air compense l'énergie supplémentaire utilisée pour les turbulences hydrauliques.

Bénéfices environnementaux atteints

La consommation énergétique liée à l'utilisation de systèmes d'agitation par air est considérable, voir section 4.4.3.

Effets d'interaction
L'agitation par air peut créer ou aggraver les jets, les brumes ou vapeurs de particules en suspension dans l'air ou de gouttelettes. Ces dernières peuvent contenir des produits chimiques dangereux sur le lieu de travail et/ou dans l'environnement, si elles sont éliminées par des systèmes d'extraction sans filtration.

Les compresseurs utilisés pour l'agitation par air peuvent être source de bruit.
L'agitation par air peut être source de pertes importantes d'énergie, voir section 4.4.3.

Données opérationnelles
La turbulence hydraulique offre une agitation plus importante que les systèmes utilisant l'air. Ceci entraîne une qualité de revêtement améliorée, une réduction des rejets, et l'optimisation de la consommation d'additifs propriétaires.

Tous les systèmes ont besoin de fonctionner à un niveau de mise en mouvement efficace de la solution, mais n'entraînant pas le déplacement des pièces de fabrication des supports. Les pièces déplacées et restant dans la solution amènent souvent des problèmes de contamination (voir section 4.11).

Applicabilité
Tous les réservoirs de traitement nécessitant une agitation.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Les coûts économisés en consommation d'énergie, en qualité de traitement, en amélioration des conditions de santé et de sécurité sur le lieu de travail.

Exploitations de référence
Bodycote, Uxbridge RU (West Middlesex Plating)

Documentation de référence
[3, CETS, 2002], [18, Tempany, 2002] [118, ESTAL, 2003].

4.3.5 Entretien – installation et équipement

L'entretien de la totalité de l'installation et des équipements est une partie cruciale d'un SME, voir section 4.1.1 (c)viii.

4.4 Entrées de consommables et leur gestion

Cette section examine l'utilisation générale des consommables. Des mesures individuelles sont écrites en fonction de leurs activités spécifiques. Par exemple, l'optimisation de l'énergie dans des systèmes d'extraction d'air est examinée dans les émissions atmosphériques, section 4.18.2 et des mesures d'économie en eau de rinçage dans la section 4.7. Dans cette section , les intrants énergétiques sont examinés séparément : électricité et chauffage. La réduction des pertes thermiques est traitée dans la section concernant le chauffage. Le refroidissement est également examiné en ce qu'il utilise de l'eau et/ou de l'énergie. Les intrants d'eau sont également traités.

Les mesures et les systèmes d'économie d'énergie impliquent l'utilisation d'outils ou d'un équipement d'exploitation permettant de :

- maximiser le rendement énergétique de l'installation, par exemple, la gestion de l'alimentation électrique entrante ;
- minimiser l'énergie utilisée pour chauffer les solutions de traitement ;
- minimiser les pertes énergétiques (courant) dans les traitements électrochimiques ;
- minimiser l'utilisation de l'énergie destinée à refroidir les solutions de traitement ;
- maximiser le rendement d'autres utilisations de l'énergie, comme par exemple l'extraction d'air et d'autres moteurs à entraînement électrique, et le fonctionnement d'installations périphériques et de recyclage ;
- optimiser l'extraction d'air et le chauffage des locaux.

Toutes les entrées de consommables peuvent être enregistrées en base réelle, et réparties en fonction du type d'utilisation et de son utilisation finale principale sur une base spécifiée, mensuellement, quotidiennement, à l'heure, etc. Les intrants peuvent également être évalués comparativement et optimisés par rapport à d'autres mesures de production (voir section 4.1.3), comme par exemple la superficie ou la production en tonnes, le nombre de tonneaux, les coûts de traitement, etc. Comme le décrivent ses sections des actions peuvent être déclenchées lorsque des variations des valeurs de référence sont constatées.

4.4.1 Electricité

4.4.1.1 Alimentations entrantes en haute tension et demandes importantes en courant

Description

L'alimentation entrante doit être gérée pour correspondre aux différentes phases, pour minimiser les pertes en énergie réactive lors de réduction d'alimentation en haute tension et pour répondre à des demandes importantes en courant, etc.

Sur un site de grande taille, l'énergie est fournie à 150 kV et est redressée à 0,033 kV pour être utilisée dans les cellules galvaniques. Des opérations classiques de redressement comportent les étapes suivantes :

- étape 1 : deux transformateurs haute tension font chuter la tension de 150 kV à 15 kV ;
- étape 2 : 15 cellules d'alimentation font chuter la tension fournie aux redresseurs de 15 kV à 525 V ;
- étape 3 : 60 redresseurs (un par anode, quatre par cellule galvanique) font chuter la tension de 525 V à 33 V. Le redressement s'effectue au travers de ponts thyristor, de transformateurs et de ponts de diodes ;
- étape 4 : 15 cellules galvanique sont alimentées. La longueur des barres de distribution de cuivre est courte et l'eau est refroidie pour minimiser les pertes de résistance. Ceci grâce à :
  - une distance très courte entre les redresseurs et les rouleaux conducteurs et les anodes,
  - la connexion des rouleaux conducteurs et des anodes d'un côté (le même) des cellules,
  - l'alimentation en anode individuelle permet d'obtenir un réglage de courant optimal ;
- étape 5 : compensation de l'énergie réactive.

Tout équipement électrique en courant alternatif tel que les transformateurs, les moteurs etc., absorbent une quantité d'énergie totale appelée l'énergie apparente. Il s'agit de l'énergie active (sous la forme de travail ou de chaleur) et de l'énergie réactive qui n'est pas productive. L'énergie réactive augmente si le courant est déphasé par rapport à la tension, et correspond à la différence entre la tension et les pics d'onde de courant. Le facteur puissance (cos φ) d'un dispositif électrique est le rapport de la puissance active P

(kW) sur la puissance apparente S (kVA) et est le cosinus de l'angle entre les pics des courbes sinusoïdales de tension et de courant. Plus le cos φ est proche de l'unité (1), plus le rendement de puissance est élevé ; plus la valeur de cos φ est basse, plus le rendement énergétique est bas. Lorsque cos φ est établi de manière permanente au-dessus de 0,95, les pertes d'énergie réactives à 15 kV et 150 kV sont limitées.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation des pertes énergétiques

Effets d'interaction
Aucun

Applicabilité
Toutes les installations utilisant une alimentation triphasée. La correction de puissance et la réduction de l'énergie réactive nécessite une étude réalisée par des personnes qualifiées.

Toutes les installations utilisant des traitements électrolytiques peuvent obtenir une réduction des pertes de résistance des alimentations en courant.

Aspects économiques
Les pertes énergétiques comme par exemple le chauffage superflu, l'énergie réactive, etc. augmentent la consommation énergétique et entraîne une augmentation des coûts.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economie d'échelle

Exploitations de référence
Sikel S.A., Genk, Belgique

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003], (communications personnelles, Fernando Dorado Nevas, Escuela Superior de Ingenieros, Université de Séville).

4.4.1.2 Alimentation en courant continu

Description
Des économies d'énergie peuvent être obtenues grâce à :

- une réduction des chutes de tension dans les conducteurs et les connecteurs ;
- un entretien régulier des redresseurs et des contacts (barres de distribution) dans le système d'alimentation électrique ;
- l'installation de redresseurs modernes ayant un meilleur facteur de conversion en comparaison des anciens redresseurs, lorsque l'installation fonctionne à puissance maximum ;
- l'augmentation de la conductivité des solutions de traitement grâce à des additifs, par exemple, de l'acide sulfurique dans les bains de cuivre acides, et grâce à l'entretien des solutions, comme la diminution de la quantité de fer et de la teneur en chrome trivalent dans les bains de chrome dur ;
- des formes d'ondes modifiées (par exemple, impulsion, inverse) qui peuvent améliorer les dépôts métalliques. Cette technique, largement utilisée dans les cartes de circuits imprimés, et est décrite dans la section 6.2.

Bénéfices environnementaux atteints
Au total, une économie d'énergie de l'ordre à 10 à 20 % en alimentation en courant continu peut être envisagée.

Effets d'interaction
Des concentrations plus élevées dans les solutions signifient des pertes par entraînement de matériaux plus élevées.

Aspects économiques
Une consommation énergétique moindre et donc des coûts moindres

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Les économies d'échelle associées à des économies de 10 à 20 % de consommation en ~~de~~ courant continu

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 159, TWG, 2004]

4.4.1.3 Equipement offrant un bon rendement énergétique

Description
L'installation d'un équipement à bon rendement énergétique fait partie des règles de bonnes pratiques. Un exemple en est les moteurs offrant un bon rendement énergétique, voir section 4.14.3.1.

Bénéfices environnementaux atteints
Economies d'énergie

Effets d'interaction
Aucun

Applicabilité
En fonction de la taille de l'unité et de la consommation énergétique, l'utilisation de moteurs à bon rendement énergétique est une règle de bonnes pratiques pour les applications de taille importante. Ils peuvent être recommandés pour les nouvelles installations, pour le remplacement de moteurs défectueux ou pour l'obtention d'économies d'échelle.

Aspects économiques
Les applications de grande échelle sont concernés, voir section 4.14.3.1.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economie d'échelle

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.4.1.4 Optimisation du rendement électrique des procédés

Description

L'ajout de composés chimiques conducteurs à l'électrolyte permettant d'accroître la conductivité électrique.

Bénéfices environnementaux atteints
Réductions de la consommation en énergie électrique. En comparaison du coût, les bénéfices environnementaux sont élevés.

Effets d'interaction
Aucun

Applicabilité
Nouvelles chaînes et chaînes existantes
Un support technique est nécessaire, soit en interne soit mis à disposition par le fournisseur.

Aspects économiques
Pour le dépôt sur bande, l'investissement initial est de 0,001 à 0,15 euro/t installé, avec des coûts d'entretien et de fonctionnement de 0,01 à 0,15 euro/t installé.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Rendement et coût du traitement

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytiques en continu

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.4.2 Chauffage des solutions de traitement

Description
Il existe quatre façons de chauffer les solutions de traitement, passant toutes par l'utilisation de serpentins chauffants grâce à :

- de l'eau chaude sous haute pression ;
- de l'eau chaude non pressurisée ;
- des fluides thermiques – huiles ;
- un chauffage direct de réservoirs individuels grâce à des dispositifs électriques de chauffage (thermoplongeur) ou des brûleurs installés directement au niveau des cuves de traitement de surface. Les thermoplongeurs sont souvent utilisés pour compléter des systèmes indirects.

Les renseignements obtenues lors des visites de sites ont mis à jour les informations suivantes :

- l'eau chaude sous haute pression peut engendrer des coûts d'exploitation et d'entretien élevés ;
- l'eau chaude non pressurisée et les fluides thermiques peuvent être moins coûteux à exploiter ;
- la fuite d'un fluide thermique peut endommager les solutions de traitement de manière irréparable ;
- la fuite d'un système d'eau chaude peut entraîner la dilution des solutions de traitement de manière irréparable, bien que la solution puisse être récupérée si une fuite est réparée avant que la dilution n'ait pris trop d'importance.

Bénéfices environnementaux atteints

Effets d'interaction
Toutes les solutions de traitement peuvent être endommagées par des fuites provenant des serpentins chauffants, soit par contamination de fluides (huiles) thermiques non aqueux soit par dilution par des fuites d'eau.

Lorsque des thermoplongeurs ou un chauffage direct sont utilisés, il est conseillé de surveiller le niveau de liquide dans la cuve . Cette manière de chauffer un réservoir assèche ledit réservoir et peut provoquer des incendies.

Données opérationnelles
Les systèmes d'eau chaude sous haute pression nécessitent un entretien spécialisé. D'autres systèmes nécessitent une surveillance des solutions de traitement pour garantir qu'aucune fuite ne se produise dans les solutions.

Aspects économiques
Une installation revendiquait une période d'amortissement de 11 semaines pour un investissement de 96 000 euros lors du passage d'un système d'eau chaude sous haute pression à un système de chaudière de fluide thermique. Ce chiffre est basé sur les économies réalisées après une période de dépense exceptionnellement élevée pour l'entretien du système d'eau chaude sous haute pression, avant que ce dernier ne soit remplacé.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economies d'échelle.

Exploitations de référence
Exhall Plating Ltd, Coventry, RU.

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002] [125, Irlande, 2003, 128, Portugal, 2003].

4.4.3 Réduction des pertes thermiques des solutions de traitement

La minimisation des pertes thermiques des solutions de traitement est une pratique courante mais les techniques utilisées peuvent dépendre de la réutilisation de la chaleur, la disponibilité d'alimentation en énergie renouvelable et les conditions climatiques locales.
Cette section décrit de manière brève les pertes thermiques subies dans les installations de traitement de surface. Le BREF concernant les systèmes de refroidissement industriels met à disposition davantage d'informations concernant ce phénomène.

Description
Les températures des procédés de traitement de surface chauffés peuvent être surveillées manuellement ou automatiquement (en fonction de la taille et de la demande énergétique de la cuve chauffée), à l'aide de commandes automatiques et/ou verrouillables. Des informations sur des enregistrements et des valeurs de référence et sur un chauffage optimisé sont données dans la section 4.1.3.

Les pertes énergétiques provenant de la surface des solutions de traitement chauffées sont représentées dans le tableau 3.1 en fonction des températures de traitement. Ce tableau permet de démontrer que la perte énergétique la plus élevée se produit à la surface de la solution lorsqu'un système d'extraction d'air et d'agitation du liquide est utilisé. L'extraction d'air au-dessus de la surface des solutions de traitement améliore l'évaporation et donc la perte énergétique, voir section 4.3.4. Des techniques de réduction du volume d'air chaud extrait et de réduction des pertes énergétiques par évaporation sont décrites dans la section 4.18.3.

Lorsque le traitement doit être effectué dans une plage de température, la température peut être contrôlée afin de minimiser l'intrant énergétique :

- la réduction d'une température d'exploitation des solutions de traitement qui nécessitent d'être chauffées ;
- des traitements nécessitant d'être refroidis peuvent être exploités à des températures plus élevées.

Des réservoirs de traitement chauffés peuvent être isolés afin de réduire les pertes thermiques grâce à :

- l'utilisation de réservoirs à double paroi ;
- l'utilisation de réservoirs pré-isolés ;
- l'application d'un isolant.

Des sphères flottantes sont largement utilisées pour isoler la surface de la solution sans restreindre l'accès des pièces de fabrication des substrats dans cette dernière. Ces sphères permettent en effet aux supports, aux tonneaux, aux bandes ou à des composants individuels de passer entre elles.

Les solutions de traitement peuvent être chauffées par l'énergie provenant des étapes de traitement en générant. L'eau provenant du circuit de refroidissement de diverses solutions de traitement peut être utilisée pour chauffer les solutions à température inférieure, l'air entrant, etc. En alternative, l'eau de refroidissement chauffée est recueillie dans un réservoir central et refroidie grâce à une pompe à chaleur appropriée. Le gain énergétique peut être utilisé pour chauffer les solutions de traitement exploitées à des températures de traitement allant jusqu'à 65 °C, ou pour chauffer l'eau destinée à d'autres utilisations.

Bénéfices environnementaux atteints
Economie d'énergie

Effets d'interaction
Aucun

Données opérationnelles
Voir la description ci-dessus.
Un support technique est nécessaire lors du changement des températures d'exploitation des traitements.

Applicabilité
S'applique à toutes les solutions chauffées.

La réduction de la température d'exploitation des solutions dépendra du support mis à disposition par le fournisseur propriétaire du procédé ou des compétences internes à l'entreprise en matière de développement de solutions ou de procédés viables dans des gammes de températures inférieures ou supérieures. La réduction peut également être un

facteur déterminant du choix de la composition chimique de la solution de traitement (voir section 4.9).

De nombreuses solutions de traitement présentent une plage d'exploitation étroite, et ne peuvent être exploitées en dehors de cette plage. D'autres facteurs d'exploitation optimale doivent parfois être envisagés, comme la durée de traitement.
Dans l'anodisation, la chaleur dégagée par les solutions de colmatage usées peut être utilisée pour chauffer l'eau d'un nouveau traitement de colmatage, grâce à un échangeur thermique ou en acheminant par tuyau l'eau froide d'entrée au travers de la solution de colmatage chaude.

Sur les chaînes automatiques, des sphères flottantes peuvent être transportées jusqu'aux réservoirs de rinçage grâce aux tonneaux ou aux composants. Les sphères peuvent bloquer les tuyaux et entraîner un dysfonctionnement des pompes et des tubes de transport. Ce phénomène peut être limité dans une certaine mesure par le choix de la taille des sphères et l'installation de grilles de protection devant la tuyauterie et les équipements vitaux. Les sphères peuvent être source de désordre sur le lieu de travail lorsqu'elles se retrouvent en dehors des réservoirs. Le système peut être utilisé sur des chaînes manuelles, et dans des installations automatisées.

Aspects économiques
Applicable à tout type de solutions chauffées

Faibles coûts des sphères flottantes

Le coût d'investissement pour des systèmes d'échange thermique sophistiqués peut être important.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economie d'échelle et contrôle de la qualité de traitement

Exploitations de référence
Exhall Plating Ltd, Conventry, RU ; SGI, Plaisir, France ; Sikel S.A., Genk, Belgique

Documentation de référence
[3, CETS, 2202, Tempany, 2002, 165, Tempany, 2004] [85, EIPPCB,] [124, Allemagne, 2003] [118, ESTAL, 2003] [129, Espagne, 2003]

4.4.4 Refroidissement des solutions de traitement

4.4.4.1 Système de refroidissement par eau

Description
Les systèmes de refroidissement à circuit ouvert acheminent l'eau froide au travers du système de refroidissement une seule fois, et rejettent ensuite l'eau. Les sources d'eau sont décrites dans la section 4.4.5.1. Les systèmes de refroidissement ouverts envoient l'eau au travers d'une tour de refroidissement ouverte. Les systèmes fermés utilisent un système secondaire, comme un système de réfrigération, pour refroidir le fluide caloporteur remis en circulation dans le système primaire fermé. Ces systèmes sont décrits dans la section 2.12.1.3 et le BREF concernant les systèmes de refroidissement industriels les présente de manière plus détaillée.

L'eau provenant des systèmes de refroidissement à circuit ouvert peut être réutilisée pour récupérer la chaleur gagnée, par exemple dans une étape de rinçage avant séchage. L'eau peut également être utilisée dans des traitements, après avoir subi elle-même un traitement si nécessaire, voir section 4.4.5.1. De même, l'eau utilisée dans les procédés de rinçage peut être utilisée pour une étape de refroidissement avant rejet.

Bénéfices environnementaux atteints
L'utilisation de systèmes de refroidissement fermés permet d'économiser de l'eau.

Effets d'interaction
Le pompage de l'eau d'un quelconque système peut entraîner une consommation énergétique, et un accroissement de cette même consommation pour des systèmes réfrigérés.

Les systèmes de refroidissement à circuit ouvert peuvent diminuer les ressources locales en eau limitées, qui peuvent être contaminées par des produits chimiques et le rejet thermique peut avoir un impact sur les écosystèmes locaux.

Les systèmes de refroidissement à circuit ouvert peuvent être source d'infections par les bactéries légionelles. La combinaison d'une conception, d'un ~~de~~ nettoyage et d'un traitement des eaux appropriés peut généralement minimiser le développement de bactéries légionelles mais ne peut les éliminer entièrement.. Donc, l'emplacement et la conception des systèmes de refroidissement peuvent également viser à minimiser la répartition et la transmission des légionelles.

Données opérationnelles
Les règles de bonnes pratiques interdisent l'utilisation de :

- l'évacuation des eaux de refroidissement dans une station de traitement des eaux résiduaires, à moins qu'un traitement ne soit nécessaire (tel que l'élimination d'additifs anticorrosion) ;
- l'utilisation de l'eau de refroidissement pour diluer des eaux résiduaires de procédés.

Applicabilité
Les systèmes fermés ~~à~~ avec remise en circulation de l'eau dans les circuits sont largement utilisés. Le type de système de refroidissement peut dépendre de la disponibilité de l'eau et des conditions climatiques locales.

Lorsque les ressources en eau locales le permettent, des systèmes à circuit ouvert peuvent être utilisés, en particulier lorsque l'eau peut être renvoyée vers sa source.

Aspects économiques
Des systèmes d'eau à circuit ouvert sont susceptibles d'être économiques uniquement lorsque le coût de l'eau entrante est très bas, les coûts ou taxes quelconques d'extraction etc. étant pris en compte. Cependant, ils peuvent se révéler rentables lorsque l'eau est recyclée ou réutilisée à un autre endroit de l'installation, voir section 4.4.5.1. L'eau utilisée dans les traitements de rinçage peut être utilisée pour une étape de refroidissement avant d'être évacuée, bien que dans la plupart des cas et si d'autres techniques d'économie d'eau sont mises en pratique, l'eau provenant de telles sources est en quantité suffisante pour fournir un refroidissement suffisant.

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Les systèmes fermés peuvent permettre de bénéficier d'économie d'échelle en ce qui concerne l'utilisation de l'eau dans des systèmes à passage unique et une réduction des coûts d'entretien des systèmes de refroidissement ouverts.

Exploitations de référence
Sikel S.A. Genk, Belgique, Exhall Plating, Coventry, RU, Industria Galvanica Dalla Torre Ermanno e Figli SpA, Fontane di Villorba, Italie, (réutilisée de l'eau chauffée).

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002, 85, EIPPCB, , 159, TWG, 2004] [121, France, 2003] [159, TWG, 2004] (Communication personnelle, RIZA et Infomil NL).

4.4.4.2 Evaporation

Description
L'évaporation est largement utilisée afin d'éliminer une chaleur excessive des cuves par l'évaporation de l'eau de la solution de traitement et le maintien de la température de traitement au niveau souhaité. Cette technique peut être optimisée par l'utilisation d'une agitation par air (voir section 4.3.4), d'un système d'évaporation ou d'un évaporateur, et peut être utilisée dans des systèmes de rinçage en cascade pour préserver les matériaux, minimiser les rejets, et ce système contribue à la mise en place de procédés à boucles fermées pour le traitement des matériaux (voir les sections 2.7.4, 2.7.5, 4.7.11.2, 4.7.11.3 et 4.16.12).

Bénéfices environnementaux atteints
L'évaporation combine un système de refroidissement du traitement avec une récupération des pertes par entraînement et fait généralement partie de boucles fermées ou de systèmes de rejet zéro.

Effets d'interaction
Peut nécessiter des bains à température plus élevée entraînant un accroissement de la consommation énergétique et/ou de la récupération des pertes par entraînement.

Peut nécessiter un intrant énergétique destiné à l'évaporateur afin d'évaporer une quantité suffisante d'eau.

L'eau condensée peut être réutilisée.

Données opérationnelles
Procédé généralement mis en place sous la forme de système intégré avec rinçage à contre courant afin de maximiser les récupérations des pertes par entraînement et de minimiser les pertes de solution de traitement et donc le traitement des déchets. Avec un nombre suffisant d'étapes de rinçage à contre courant et/ou un chauffage supplémentaire dans l'évaporateur, certains matériaux peuvent être utilisés en cycle fermé.

Pour les traitements électrolytiques, les évaporateurs ont besoin d'un intrant énergétique moindre et les coûts sont inférieurs si la température de traitement est suffisamment élevée pour éliminer tout intrant énergétique électrolytique par évaporation naturelle à la surface de la solution (voir les annexes 8.5 et 8.11).

Applicabilité
Peut être utilisé avec des solutions exploitées à température ambiante.

Aspects économiques
Chaque kWh éliminé par évaporation équivaut à 1,4 litre d'eau qui peut être compensé par la récupération des pertes par entraînement contenant les produits de traitement et une réduction de la quantité d'eau de rinçage. Voir l'annexe 8.11 et, par exemple, les calculs et les sites pour les économies d'échelle.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Si l'évaporation directe est utilisée, aucun investissement de capital n'est alors requis. Voir la section 4.7.11 pour les dispositifs d'entraînement des traitements de récupération de solution et des traitements à rejet minimum.

Exploitations de référence
Merry Polishing and Plating, Wednesbury, West Midlands, RU, Frost Electroplating Birmingham, RU, la plupart des installations de l'annexe 8.5 utilisent un système d'évaporation mais les installations K et L (annexes 8.5.8 et 8.5.9) utilisent en particulier des évaporateurs.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 18, Tempany, 2002, 26, Envirowise, 2003] [104, UBA, 2003]

4.4.5 Eau

4.4.5.1 Alimentation en eau, traitement et recyclage/réutilisation

Description
L'eau provient généralement d'un réseau d'alimentation local, bien qu'elle puisse également provenir de puits ou des eaux de surface telles que des rivières ou des lacs, en fonction des ressources et des réglementations locales. Les types de traitement et les spécifications exigées par les clients nécessiteront une qualité minimum de l'eau utilisée.

L'eau peut également être réutilisée après une étape de refroidissement, de rinçage ou après un traitement des eaux résiduaires, voir section 4.7.8.

Il est important, lorsque l'on envisage la réutilisation/recyclage de l'eau, d'avoir une approche globale de l'installation en matière d'économies d'eau et de matières premières et de traitement des eaux résiduaires, voir section 4.7 (en particulier, les sections 4.7.8, 4.7.11, 4.7.12 et 4.7.13) et la section 4.16. Les options envisageables peuvent comprendre la combinaison de flux compatibles provenant de différents procédés de traitements destinés à être purifiés/récupérés. Ceci peut impliquer l'utilisation de systèmes de récupération uniques et à emplacement fixe (par exemple, une installation d'échange ionique/à osmose inverse centralisée destinée à recycler les eaux de rinçage provenant de plusieurs chaînes de traitement). Des stratégies combinées peuvent être plus rentables, car elles entraînent des économies d'échelle, à moins d'engendrer un accroissement sensible des exigences en matière d'interface entre les d'installations. Des systèmes à source ponctuelle peuvent permettre plus de flexibilité, de redondance et de fiabilité.

Pour les utilisations basiques de l'eau telles que le refroidissement et le nettoyage des sols et des installations, les aspects importants sont uniquement la teneur en matières dissoutes et/ou en suspension., L'eau peut donc être appropriée à ce type d'utilisation ;

mais en fonction de la source, une filtration peut être nécessaire. Pour de nombreuses solutions de traitement et étapes de rinçage, de l'eau d'une qualité similaire à l'eau de boisson est satisfaisante, éventuellement, après avoir été filtrée à nouveau. Pour des travaux exigeant une qualité élevée ou pour améliorer la qualité du traitement et des produits, les sources d'eau nécessitent d'être traitées pour obtenir une teneur en matières dissoutes inférieure à celle de l'eau déminéralisée ou déionisée :

- lorsque le ternissement provoqué par le taux de matières dissoutes dans l'eau et apparaissant après le séchage, atteint un niveau critique, comme par exemple pour les finitions décoratives ou les cartes de circuit imprimé

ou

- lorsque le traitement est parasité, comme pour la cuisson lors de l'anodisation.

Lorsque l'eau entrante est traitée afin de réduire le taux de matières dissoutes, elle peut être plus efficace pour le traitement et le recyclage des eaux de rinçage résiduaires, car la quantité de sels dissous ajoutés au cours du rinçage du traitement peut être inférieure à la quantité d'eau entrante.

Les options de traitement comportent (voir section 2.7) :

- la filtration ;
- la désionisation/déminéralisation ;
- l'ultrafiltration ;
- l'osmose inverse.

Les résidus de ces traitements contiendront les solides retenus et toutes solutions salines de régénération (désionisation/déminéralisation). Ces résidus peuvent être évacués vers l'unité de traitement des eaux résiduaires de l'installation ou directement vers les égouts, en fonction des préoccupations environnementales locales.

Bénéfices environnementaux atteints
Economie d'eau, lorsque l'eau est recyclée ou réutilisée.

Effets multimilieux
Accroissement des sels dissous dans les eaux résiduaires provenant des traitements tels que l'osmose inverse, la désionisation.
Utilisation de produits chimiques pour la désionisation.

Exploitations de référence
Voir les installations allemandes de l'annexe 8.5 ; BGT, Eindhovent, NL

Documentation de référence
[166, RIZA, 2004]

4.4.5.2 Contrôle de l'utilisation de l'eau

Description
L'enregistrement de tous les intrants d'eau sur base réelle, quels que soient les coûts de la source permet un contrôle de l'utilisation de cette dernière (y compris les eaux traitées de manière interne, voir section 4.4.5.1). Ce contrôle est obtenu grâce aux mesures réalisées sur tous les points d'utilisation de l'installation : sur les rinçages, l'appoint de solution, même dans des endroits tels que les sanitaires etc. Ce qui permet d'identifier les zones à forte consommation d'eau et de déclencher une mesure corrective appropriée.

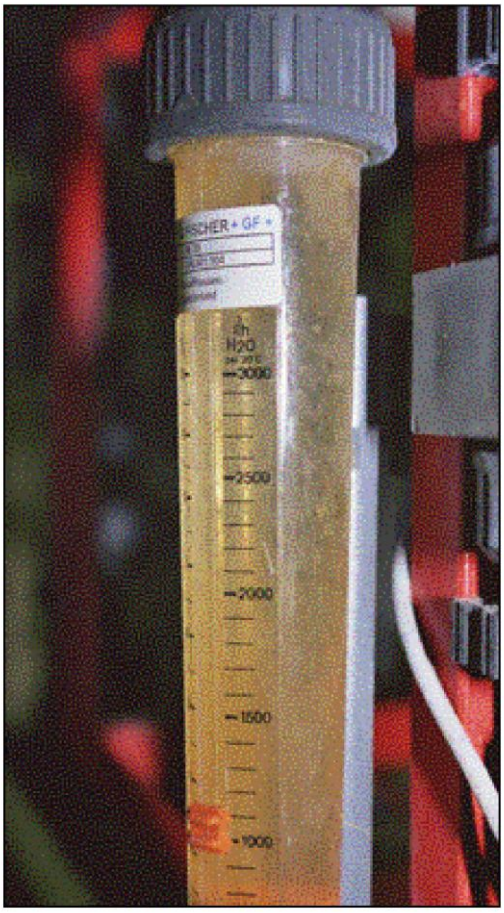


Figure 4.3 : Exemple de robinet de blocage d'écoulement
Menoni SA, France et Agence de l'eau Seine-Normandie

L'utilisation de l'eau peut être surveillée selon un type et l'usage final principal sur une base spécifiée, mensuellement, quotidiennement, par heure, etc. Les intrants peuvent également être évalués comparativement et optimisés par rapport à d'autres mesures de production (voir section 4.1.3.1), tel que la superficie ou la production en tonnes, le nombre de tonneaux, les coûts de traitement, etc. Lorsque la consommation se révèle être supérieure à des valeurs de référence externes et/ou internes, des mesures peuvent être envisagées dans les zones concernées pour en étudier la/les causes(s).

Lorsque l'utilisation optimum de l'eau est établie, le flux peut être maintenu à un niveau de débit d'utilisation optimum grâce à une diversité de mesures contrôlées par une personne mandatée, les mesures peuvent être :

- des robinets d'écoulement, - les vannes d'arrêt à font partie des règles de bonnes pratiques;
- des mesures de contrôle du traitement concernant la conductivité, la température, le pH ou autre – ces mesures peuvent être automatisées, et peuvent également être utilisées pour contrôler les systèmes de remplissage et de vidange statiques, soit manuellement soit automatiquement (voir section 4.7).

Bénéfices environnementaux atteints
La consommation d'eau, dans un cas, a été réduite en six ans de 83 %, de 263 636 m^3 à 31 818 m^3 par an par l'installation d'environ 70 compteurs d'eau (généralement, 20 à 30

mm). D'autres installations confirment que des économies importantes d'eau peuvent être réalisées.

Effets d'interaction
Aucun effet signalé

Données opérationnelles
Un effet maximum est obtenu lorsque le système est utilisé conjointement avec des robinets à verrouillage d'écoulement réglés à un taux d'utilisation optimum et à l'aide d'autres données de surveillance, telle que l'utilisation de l'eau par barre d'anode ou par mètre carré traité.

Applicabilité
S'applique à tout type d'installation

Aspects économiques
Des installations disposant d'un système de captage direct de l'eau brute provenant de ressources qui sont continuellement et totalement régénérées peuvent ne pas bénéficier d'amortissement financier. A noter que la réduction de la consommation d'eau signifie également réduction des volumes d'eau évacuée, ce qui peut se traduire par des coûts moindres liés à l'évacuation vers des installations de traitement des eaux locales ou tierces.

Eléments moteur Force motrice pour la mise en œuvre
Une période d'amortissement rapide lorsque les coûts en eau sont importants.

Exploitations de référence
Exhall Plating, Ltd., Coventry, RU ; Frost Electroplating Ltd., Birmingham, RU

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002]

4.4.5.3 Etapes de rinçage utilisant de l'eau recyclée

Description
La technique peut être considérée comme une extension du système de traitement intégré (mieux connu sous l'appellation système Lancy). L'eau provenant d'une étape de rinçage est réutilisée dans une autre étape de rinçage, lorsque les caractéristiques chimiques ou physiques acquises au cours de la première étape de rinçage peuvent être exploitées dans la seconde étape de rinçage sans nécessiter de traitement supplémentaire quelconque.

Par exemple, dans une installation de nickelage électrolytique, l'eau provenant de l'étape de rinçage postérieure au traitement de nickelage peut être réutilisée dans une séquence de plusieurs étapes de rinçage :

1ère étape : après dégraissage électrolytique à froid,
ensuite
2ème étape : après décapage,
et enfin
3ème étape : après pré-dégraissage chimique chauffé

Bénéfices environnementaux atteints

Réduction de la consommation d'eau allant jusqu'à 40 %
Réduction de la quantité de produits chimiques utilisés pour modifier le pH de l'eau après les étapes de rinçage.
Réduction de la quantité de produits chimiques utilisés pour neutraliser l'eau avant de l'acheminer vers l'installation de traitement.

Données opérationnelles
La technique s'applique uniquement aux traitements sans cyanure. Elle nécessite la mise en place d'un réseau approprié de tuyaux et de pompes.

Applicabilité
La technique peut être appliquée aux nouvelles installations. Elle peut être appliquée aux installations existantes, en fonction des circonstances locales.

Aspects économiques
Aucune donnée disponible

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economie d'eau et de produits chimiques

Exploitations de référence
Coletto Danilo Srl, Padova, Italie. Industria Galvanica Dalla Torre Ermano e Figli SpA, Fontane di Villorba, Italie.

Documentation de référence
Lancy Laboratories Inc., Zelienople, Pa (U.S.A) cité dans Bertorelle E. (1974) – Trattato di Galvanotecnica. 4ème édition, volume II, Hoepli, Ed. Milano, pages 693 à 697.

4.5 Réduction de l'apport par entraînement

Description
L'apport par entraînement peut contaminer une solution de traitement si le rinçage est insuffisant après les traitements précédents. L'apport par entraînement d'eau de rinçage propre peut diluer de manière significative une solution de traitement. L'apport par entraînement peut être minimisé par l'utilisation d'un éco-rinçage (ou pré-trempe), voir section 4.7.4, ou par l'élimination d'autant d'eau de rinçage que possible, comme par exemple à l'aide de lame d'air ou de rouleau racleur pour les substrats en feuille ou en bande. Les effets peuvent également être minimisés par l'utilisation de systèmes chimiques compatibles, voir section 4.6.2.

Bénéfices environnementaux atteints
Extension de la durée de vie des solutions de traitement

Effets d'interaction
Pulvérisation provenant de l'utilisation de lames d'air ou de ventilateur

Données opérationnelles
Voir la description et la section 4.7.4

Applicabilité
L'éco-rinçage ne peut être utilisé dans toutes les situations, voir section 4.7.4

Aspects économiques
Voir les aspects économiques globaux, section 4.7.1

Eléments moteur pour la mise en œuvre
L'extension de la durée de vie de la solution de traitement, l'amélioration de la qualité du traitement et la réduction des coûts de matériaux entrant dans la composition des produits chimiques.

Documentation de référence
[159, TWG, 2004, 165, Tempany, 2004]

4.6 Réduction des pertes par entraînement

4.6.1 Remarques préliminaires

Les pertes par entraînement sont décrites dans la section 2.4.

Une réduction des pertes par entraînement est une mesure primaire efficace afin de :

- minimiser les pertes de produits chimiques dans les étapes de rinçage ;
- réduire la quantité de rinçage nécessaire ;
- réduire les coûts des matières premières ;
- réduire les problèmes de qualité et d'entretien des traitements ultérieurs ;
- réduire les problèmes environnementaux associés aux eaux de rinçage.

Des techniques de réduction des pertes de produits chimiques entraînés par les pertes par entraînement sont esquissées dans cette section . Ces techniques sont également applicables à d'autres section s spécifiques de traitement, par exemple, le revêtement en bande, les cartes de circuits imprimés ~~PCB~~, etc.

Cependant, l'élimination de la perte par entraînement est impossible.

Les pertes par entraînement dépendent d'un grand nombre de paramètres et une réduction de cette étape majeure, engendrant de nombreux effets sur l'environnement et le traitement, peut uniquement être obtenue grâce à une coopération étroite de l'ensemble du personnel impliqué. Pour cette raison, une compréhension approfondie des corrélations complexes des multiples paramètres est nécessaire afin que le personnel d'exploitation parvienne à améliorer la situation, voir les questions telles que la formation aux systèmes de management environnemental, section 4.1.1.

4.6.2 Utilisation de produits chimiques compatibles

Description
L'utilisation de produits chimiques compatibles (par exemple, l'utilisation du même acide pour le décapage ou l'activation de surface avant un traitement de dépôt à l'acide) réduit les conséquences des pertes et des apports de produits chimiques dans le traitement ultérieur.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation des pertes de produits chimiques car ils sont utilisés dans le traitement qui suit.
Minimisation de l'utilisation d'eau dans des étapes de rinçage intermédiaires.

Effets d'interaction
Technique qui peut accroître le besoin d'appoint en produits chimiques dans la première étape qui serait autrement récupérée par rinçage à contre courant, etc. (voir section 4.7).

Données opérationnelles
Technique qui peut accroître les exigences d'entretien de la solution ultérieure, par exemple, élimination des métaux contaminants dissous.
Réduction du nombre d'étapes nécessaires sur une chaîne de traitement grâce à la suppression/la réduction des étapes de rinçage.

Applicabilité
Techniques applicables à tous types de traitements, mais limitées au traitement dans lequel des produits de composition chimiques compatibles peuvent être utilisés.

Aspects économiques
Coût réduit en fonction du choix de systèmes chimiques

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economies d'échelle

Documentation de référence
[CETS, 2002 #3 ;[104, UBA, 2003]

4.6.3 Réduction des pertes par entraînement – traitement sur support (montage)

Description
L'agencement des surfaces des plus grandes des pièces de fabrication en position verticale sur les supports (montage) permet l'écoulement de la solution adhérente vers le bord inférieur des pièces de fabrication.

Les dimensions les plus longues des articles sont généralement agencées horizontalement et/ou de manière légèrement inclinée afin de permettre à la solution adhérente de s'écouler, ce qui permet d'améliorer le drainage.

Le bord inférieur de tous les articles peut être incliné afin de permettre aux gouttelettes de s'assembler et de faciliter l'égouttement au-dessus du réservoir de traitement.

Lorsqu'ils sont retirés de la solution de traitement, les supports peuvent être inclinés de telle manière que de grosses gouttelettes peuvent se former plus rapidement et de s'écouler vers le point le plus bas des articles suspendus.
Cette technique permet une durée de drainage suffisante au-dessus du réservoir de traitement, laissant le liquide adhérent s'assembler et former des gouttelettes qui s'écouleront des articles.

Si le retrait des supports de la solution de traitement est lent, le volume de pertes par entraînement peut être considérablement réduit. Donc, un retrait lent et une durée de drainage suffisante au-dessus du réservoir de traitement permettent de minimiser significativement les pertes par entraînement. Les durées de retrait et de maintien données dans le tableau 4.2 ci-dessous sont valables pour certains traitements

spécifiques et ne sont donnés qu'à titre purement indicatif. Les durées varient en fonction des traitements spécifiques.

Traitement	Durée minimum du retrait (en secondes)	Durée minimum de maintien (en secondes)
Dépôt	10	10
Nettoyage/décapage	8	7
Passivation	10	10
Colmatants/vernis	10	5

Tableau 4.2 : Durée de retrait et de maintien des supports

Des retraits de forme hémisphérique sont généralement évités lorsque cela est possible, et des composants de forme hémisphérique sont déposés sur les supports, le côté de la forme hémisphérique vers le bas sur le versant, afin que la solution de traitement ne soit pas transportée dans l'eau de rinçage.

Dans certains cas, des agencements peuvent être réalisés suite à des négociations avec les clients pour que les composants présentant une forte perte par entraînement, tels que les composants de forme hémisphérique, soient dotés de trous de drainage au moment de la fabrication.

L'égouttement de la solution de traitement sur d'autres articles agencés plus bas sur le support est généralement réalisé grâce à un positionnement approprié des pièces de fabrication.

Des bacs de drainage insérés automatiquement ou manuellement au-dessous des supports permettront de recueillir les égouttements et d'empêcher la contamination de réservoirs et de solutions utilisées ultérieurement (lorsque le traitement n'utilise pas de cuves immédiatement adjacentes). Un transfert rapide des montages d’une cuve vers la cuve suivante minimise également ce phénomène.

Les pertes par entraînement provenant des supports peuvent être réduites en inclinant les bras de support afin d'éviter les surfaces horizontales qui empêchent la solution adhérente de s’écouler facilement.

Une inspection et un entretien normal consistent à vérifier le revêtement isolant des supports pour garantir des surfaces lisses, sans fissure ou fêlure dans la couche isolante qui endommagée pourrait piéger et retenir la solution. Une inspection régulière des supports à la recherche des couches isolantes défectueuses fait partie des règles de bonnes pratiques afin que ces dernières puissent être identifiées et remplacées ou réparées.

Les revêtements isolants des support sont généralement hydrophobes pour contribuer au drainage des pertes par entraînement.

Les supports peuvent être rincés ou pulvérisés à l'eau, ou de l'air peut être soufflé sur ces derniers afin d'en éliminer la solution perdue par entraînement (voir section 4.6.6).

Bénéfices environnementaux atteints
Il s'agit d'une étape clef de la réduction des pertes de produits chimiques solubles des cuves de traitement vers l'environnement par le biais des étapes de rinçage.

Effets d'interaction
Aucun effet signalé.

Données opérationnelles
Lorsqu'un arrêt rapide de la réaction des surfaces est nécessaire, il est souvent obtenu par une dilution rapide de la solution des traitements restante à la surface, en particulier pour :

- la passivation au chrome hexavalent ;
- l'attaque chimique, le brillantage et le colmatage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages ;
- le trempage au zincate ;
- le décapage ;
- la pré-trempe lord de l'activation du plastique ;
- l'activation antérieure au chromage ;
- l'éclaircissement des couleurs après zingage alcalin.

Dans certains traitements, la durée de drainage peut affecter la qualité de la surface traitée, comme par exemple lorsqu'un retard amène la désactivation de ou endommage la surface entre les traitements, par exemple entre une étape de nickelage suivie d'un chromage.

Pour les problèmes concernant le soufflage ou la pulvérisation, voir section 4.6.6.

Le volume perdu par entraînement est exprimé par :

$$W = 0.02 A \cdot \sqrt{\frac{a \cdot p}{t \cdot d}}$$

où :

W est le volume retiré en cm^3
A est la superficie de l'article en cm^2
a est la longueur verticale de l'article en cm
p est la viscosité dynamique de la solution de traitement en poise (une Poise = 0,1 Pascal seconde)
t est la durée de retrait en seconde
d est la densité de la solution de traitement.

La rugosité de la surface des articles s'est révélée ne pas avoir d'effet sur le volume de la perte par entraînement.

Les mesures réelles des pertes par entraînement peuvent être déterminées par produit chimique ou en mesurant l'accroissement en volume. En l'absence de telles données, les données classiques suivantes peuvent être utilisées pour le dépôt sur montage :

- surfaces planes 0,1 l/m^2
- surfaces profilées 0,2 l/m^2
- l'équation ci-dessus concerne les formes les plus plates. Une valeur classique pour les formes hémisphériques est de 1 l/m^2.

Applicabilité
Toutes les installations de traitement sur support (montages)

Aspects économiques

Toutes ces mesures peuvent être incorporées dans l'exploitation de n'importe quelle installation de traitement sur support (montage). Les supports ont une durée de vie relativement courte, ne sont pas gourmands en capitaux, et leur conception peut être améliorée et impliquée à tout moment. Un positionnement adéquat des pièces de fabrication sur les supports est généralement le fruit de l'emploi d'un personnel formé. D'autres mesures, telles que le drainage et la durée de maintien dépendront de l'équipement de contrôle du dispositif de transport utilisé.

L'allongement de la durée de drainage peut entraîner la réduction de la capacité de production de la machine.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Les économies d'échelle dans l'utilisation de produits chimiques et la réduction des coûts de traitement des eaux résiduaires.

Documentation de référence
K. G. Soderberg (compte rendu de l'American Electroplaters' Society 24 (1936) page 233 à 249), [3, CETS, 2002] [118, ESTAL, 2003] (communications personnelles, membres du TWG) [113, Autriche, 2003]. [104, UBA, 2003]

4.6.4 Réduction des pertes par entraînement des traitements au tonneau

Description
Le matériau plastique constituant le tonneau présente généralement une surface lisse et est inspecté à la recherche de zones usées et de la formation de creux ou de bosses autour des trous.

Les alésages et les trous des panneaux ont habituellement une section transversale suffisante afin de minimiser les effets capillaires, et l'épaisseur des panneaux du cylindre est suffisante pour satisfaire les exigences de résistance mécanique.

La proportion totale perforée du corps du tonneau est habituellement aussi élevée que possible afin de permettre à la solution perdue par entraînement de s'écouler facilement dans le réservoir de traitement. Ceci permet également d'améliorer le rendement du traitement par dépôt dans sa globalité en facilitant l'accès de la solution et en diminuant la chute de voltage.

La perte par entraînement peut être en outre réduite par la mise en rotation intermittente du tonneau au-dessus du réservoir de traitement lors du drainage (par exemple, une mise en rotation de 90 degrés, un arrêt de 10 secondes, une nouvelle séquence de rotation intermittente, etc.).

Une réduction accrue de la perte par entraînement peut être obtenue par l'application de rebords drainant à l'intérieur des tonneaux pour permettre au liquide de drainage de s'assembler et de s'écouler hors du tonneau en rotation.

Les pertes par entraînement peuvent être réduites de manière remarquable par le soufflage de la solution en excès en dehors du tonneau lors du drainage se déroulant au-dessus du bain. Pour les bains chauds, les tonneaux peuvent être rincés à l'eau ou pulvérisés (voir section 4.6.6), bien que pour les tonneaux, le lavage soit plus efficace : le lavage consiste en l'intégration d'un tuyau à l'intérieur du tonneau qui asperge de l'eau de rinçage à l'intérieur des tonneaux et sur les pièces de fabrication.

Dans un tonneau, les pièces de fabrication sont généralement disposées à l'horizontale de leurs surfaces principales. Afin d'obtenir un meilleur drainage, un retrait incliné des tonneaux depuis les réservoirs peut être envisagé. Les systèmes de suspension et de levage peuvent être adaptés à cette exigence. Cependant, dans les systèmes classiques, ceci est difficile à mettre en œuvre.

L'application de bouchons à maille remplaçant les trous s'est révélée fructueuse en réduisant la longueur des alésages dans les panneaux du corps cylindrique du tonneau. La perte par entraînement s'en trouve diminuée, et la chute de tension au niveau de la perforation est réduite de manière efficace.

Bénéfices environnementaux atteints
Il s'agit d'une étape clef de la réduction de la perte de produits chimiques solubles provenant des cuves de traitement vers l'environnement par le biais du rinçage.

Effets d'interaction
Lors du soufflage d'air sur le tonneau ou de la pulvérisation d'eau sur ce dernier, une attention particulière doit être apportée à l'opération pour garantir que les solutions éliminées ne tombent pas dans le bain situé au-dessous, et afin de minimiser la projection de gouttelettes ou de particules dans l'atmosphère. Les solutions éliminées pourraient se révéler dangereuses dans l'atmosphère du lieu de travail, mais également dans l'environnement, et peuvent contaminer d'autres traitements (voir section 4.6.6).

Données opérationnelles
Tout comme pour le dépôt sur support, lorsqu'un arrêt rapide de la réaction de surface est nécessaire, il est souvent obtenu par dilution rapide de la solution de traitement restant à la surface. Dans certains traitements, une durée de drainage excessive peut affecter la qualité de la surface traitée, voir les sections 2.5 et 4.6.3.

Afin de minimiser le volume de liquide perdu par entraînement, le tonneau peut être retiré lentement du liquide afin de diminuer la perte par entraînement de manière efficace, et être suivi d'une durée de drainage suffisante après retrait, tel que décrit dans le tableau 4.3.

		Durée minimum		
Traitement	**Trous (mm)**	**Retrait (secondes)**	**Maintien (secondes)**	**Périodes stationnaires** (voir la note***)**
Dépôt	2	5	24	3 x 6
	3	5	20	3 x 6
	4	5	16	2 x 6
	>6	5	12	2 x 6
Nettoyage/décapage	2	5	24	3 x 6
	3	5	20	3 x 6
	4	5	16	2 x 6
	>6	5	12	2 x 6
Passivation	2	5	16	1 x 6
	3	5	12	1 x 6
	4	5	8	1 x 6
	>6	5	4	1 x 6
Colmatage ~~Colmatants~~	2	5	24	3 x 6
	3	5	20	3 x 6
	4	5	16	2 x 6

	>6	5	12	2 x 6
Note* : le tonneau est mis en rotation une, deux ou trois fois à 90° avec une période de maintien de 6 secondes				

Tableau 4.3 : Durée de retrait et de maintien des tonneaux
CETS Italie, Assogalvanica

Les mesures réelles des pertes par entraînement peuvent être déterminées par la mesure de l'accroissement dans la concentration en produit chimique dans la première étape de rinçage ou par la mesure de l'accroissement en volume.

Les données concernant le zingage au tonneau sont présentées dans le tableau 4.4 et le tableau 4.5 :

	Tonneau d'une largeur de 760mm	**Tonneau d'une largeur de 1 200 mm**
Surfaces plates et profilées	1 - 2 l/tonneau	2- 3 l/tonneau
Formes hémisphériques	2- 4 l/tonneau	3- 6 l/tonneau

Tableau 4.4 : Rétention des pertes par entraînement, diamètre du tonneau : 380 mm, trous de 8 mm.

	Tonneau d'une largeur de 760 mm	**Tonneau d'une largeur de 1 200 mm**
Surfaces plates et profilées	2 - 4 l/tonneau	3 - 5 l/tonneau
Formes hémisphériques	3 - 6 l/tonneau	4 - 8 l/tonneau

Tableau 4.5 : Rétention des pertes par entraînement, diamètre du tonneau : 380 mm, trous de 2 mm

Pour certains traitements, tels que la passivation au chrome, une durée de drainage excessive peut affecter la qualité de la surface traitée, voir section 2.5. Lorsqu'un arrêt rapide de la réaction de surface est nécessaire, il est souvent obtenu par dilution rapide de la solution de traitement restante sur la surface.

Applicabilité
Tous types d'activités de traitement au tonneau

Aspects économiques
Un grand nombre de ces mesures peuvent être incorporées à l'exploitation d'une installation de traitement au tonneau. Les tonneaux ont une durée de vie limitée, nécessitent un entretien, ne sont pas gourmands en investissement, et leur conception peut être améliorée et adaptée progressivement.

D'autres mesures, telles que la durée de drainage et de maintien, dépendront de l'équipement de contrôle du dispositif de transport utilisé.

L'accroissement dans la durée de drainage peut réduire la capacité de production de la machine.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economies de produits chimiques et d'autres intrants de dégraissage. Réduction des déchets produits.

Exploitations de référence
Exhall Plating, Ltd, Coventry, RU.
Collini GmbH, Autriche

Documentation de référence
[3, CETS, 2002], [113, Autriche, 2003], [104, UBA, 2003] [165, Tempany, 2004] (communication personnelle, Martin Peter, GmbH, Collini GmbH)

4.6.5 Propriétés des solutions de traitement – effet sur la perte par entraînement

Description
La perte par entraînement dépend également des propriétés des solutions de traitement.

La perte par entraînement peut être réduite en élevant la température de la solution de traitement, ce qui a pour effet en général d'abaisser la viscosité de la solution.

La diminution des concentrations des solutions de traitement réduira de manière efficace la perte par entraînement, en diminuant la quantité de matériau contenu dans la solution perdue par entraînement, en réduisant également la tension superficielle et la viscosité des solutions ioniques normales.

L'ajout d'agents mouillants à la solution de traitement permet de réduire la perte par entraînement en réduisant la tension superficielle.

Afin d'éviter des accroissements de concentration, la solution de traitement peut être contrôlée pour en établir une composition constante au cours de sa régénération et de son entretien. Ceci, ainsi que le choix des solutions de traitement appropriées, est une étape importante de la réduction des pertes par entraînement.

Bénéfices environnementaux atteints
Il s'agit d'une étape clef dans la réduction de la perte des produits chimiques solubles des cuves de traitement vers l'environnement par le biais d'étapes de rinçage.

Effets d'interaction
L'accroissement de la température des solutions de traitement entraîne une consommation supplémentaire d'énergie.
L'ajout d'agents mouillants accroît la quantité de procédés chimiques utilisés.

Données opérationnelles
La réduction des concentrations de produits chimiques dans les solutions au-dessous des niveaux prescrits nécessitera des compétences techniques internes à l'entreprise ou mises à disposition par les fournisseurs.
Le fait de garantir des compositions constantes des solutions de traitement fait partie du CSP, voir section 4.8.1.
Des azurants sensibles à la température peuvent être affectés par l'élévation des températures.

Applicabilité
Techniques applicables à tous types de solutions de traitement

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Un contrôle des procédés de traitement amélioré et une réduction des coûts

Documentation de référence
[CETS, 2002 #3 ; UBA, 2003 #104, [124, Allemagne, 2003]

4.6.6 Transition du drainage des pertes par entraînement au rinçage

Description
Il existe un lien étroit entre la minimisation de la perte par entraînement et les étapes suivantes de rinçage. Dans les traitements par dépôt au tonneau, l'aspiration ou le soufflage d'une partie considérable des pertes par entraînement au-dessus du réservoir de traitement est une mesure efficace pour leur réduction.

Une mesure clé pour une réduction élevée des pertes par entraînement pour des pièces de fabrication ou substrats à section transversale uniforme consiste en l'utilisation de rouleaux racleurs ou essoreurs. Ces derniers sont utilisés dans les procédés en bande (ou en continu) voir section 4.14.5 et pour la fabrication de cartes de circuits imprimés, voir section 4.15.2.

Lorsque des supports (montages) ou tonneaux sont retirés d'un réservoir à solution chauffée, les règles de bonnes pratiques impliquent de les pulvériser à l'aide d'un brumisateur lorsqu'ils se trouvent suspendus au-dessus du réservoir de traitement. Ceci permet d'obtenir une réduction de la perte par entraînement, et l'eau utilisée compense l'évaporation du réservoir. Ce traitement peut être combiné à une étape de pré-rinçage renvoyant l'eau provenant du premier rinçage statique vers la solution de traitement. Pour éliminer une solution adhérent à, ou piégée dans, des recoins, une combinaison d'eau et d'air pulvérisés peut être utilisée respectivement au-dessus du réservoir de traitement et à l'intérieur d'un réservoir vide.

Des égouttoirs en matériau plastique et inclinés peuvent être prévus au niveau de l'extrémité de sortie de chaque réservoir. En effet, ces derniers permettent d'étendre la période de drainage des pièces de fabrication et de renvoyer autant de liquide provenant de l'égouttement que possible vers le réservoir d'origine.

Bénéfices environnementaux atteints
Il s'agit d'une étape clef de réduction de la perte de produits chimiques solubles provenant des cuves de traitement vers l'environnement par le biais d'étapes de rinçage.

Effets d'interaction
Consommation d'énergie des compresseurs d'air destinés à souffler les pertes par entraînement des pièces de fabrication.

Le soufflage ou la pulvérisation peuvent diffuser les aérosols des solutions de bain sur le lieu de travail et, par le biais des systèmes d'extraction, vers l'environnement. D'autres traitements peuvent en être contaminés.

Données opérationnelles
Le soufflage ou la pulvérisation des supports ou des tonneaux est difficile à mettre en pratique, et peut être techniquement compliqué.

Applicabilité

Techniques applicables à tous les types d'installation de traitement sur support et au tonneau.

Aspects économiques
Les coûts engendrés par la consommation d'énergie et le pompage peuvent être compensés par les économies en produits chimiques et en traitement des eaux résiduaires.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002] [113, Autriche, 2003]

4.7 Techniques de rinçage et récupération des pertes par entraînement

4.7.1 Introduction

Cette section est à considérer conjointement avec la section 4.6 précédente, qui met en relief les raisons du contrôle des pertes et des apports par entraînement. Cette section examine les techniques disponibles dans deux optiques liées [3, CETS, 2002] :

- la manière dont les pertes (et apports) par entraînement peuvent être réduites grâce à différents moyens ;
- la manière dont la consommation d'eau de rinçage peut être réduite.

La section 2.4 décrit la nécessite de rinçage afin de réduire les contaminations croisées et/ou la détérioration de l'apparence de la pièce de fabrication par attaque chimique ou sels séchés.

Des taux de rinçage recommandés sont présentés dans le tableau 4.6 :

Traitement		Taux
Rinçage post-nettoyage alcalin	/	2 000
Rinçage post-décapage acide	Prétraitement cyanuré	5 000
	Prétraitement non cyanuré	2 000
Rinçage post-dépôt	Cadmium, argent, zinc (alcalin)	2 000
	Zinc (acide)	3 000
	Nickel électrolytique	5 000
	Nickel autocatalytique	10 000
	Chrome VI	15 000
Rinçage post-passivation	/	5 000

Tableau 4.6 : Quelques taux de rinçage recommandés
[29, EA, 2001-2003]

La perte par entraînement de solution de traitement et l'apport par entraînement d'eau de rinçage provoque une dilution continue et une chute de la concentration chimique des solutions de traitement. Ce phénomène est représenté dans le tableau 4.4.

Remarque : *les formules théoriques ont été utilisées, car peu de données opérationnelles ont été fournies. Toutes les formules mentionnées dans cette section fournissent des résultats théoriques exacts*

qui ne correspondent pas aux résultats obtenus en pratique. Ceci est la conséquence (sans y être limitée) de paramètres simples comme par exemple les quantités variables de pertes par entraînement pour des charges de travail différentes, des rendements de rinçage différents provoqués par des formes différentes de composants traités ou des concentrations variables d'agents mouillants dans les solutions de traitement.

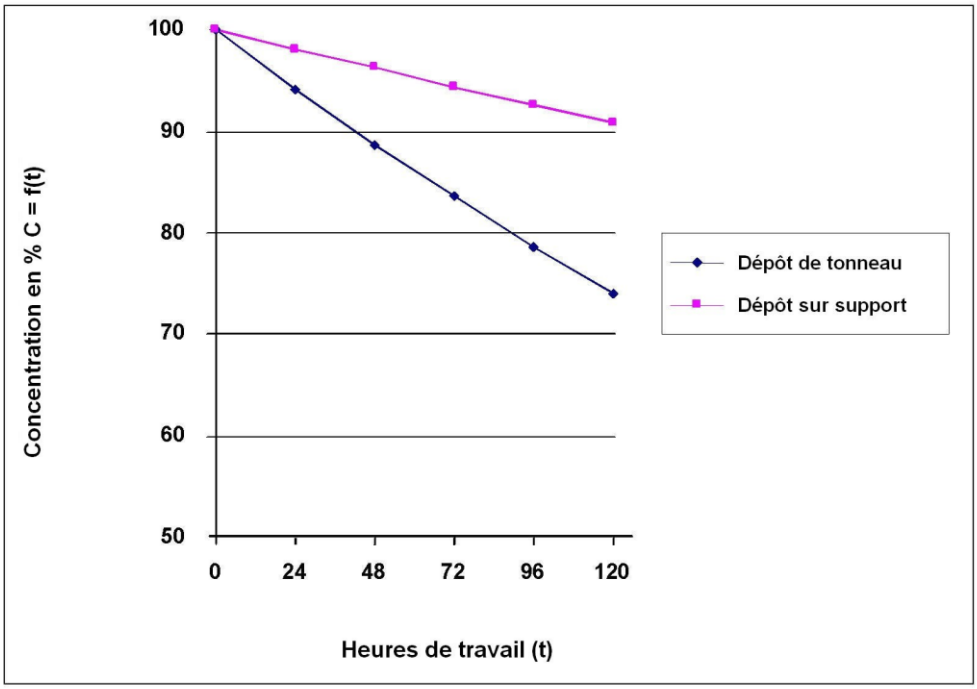


Figure 4.4 : Chute de la concentration chimique de la solution de traitement provoquée par un apport par entraînement d'eau de rinçage et une perte par entraînement de solution de traitement sans régénération
Remarque : C=f(t) est la concentration de la solution de traitement au temps (t)

La concentration restant dans la solution de traitement peut être calculée :

$$C_0 n = C_0 \left[V/(V+D) \right]^n$$

C_0n = concentration en produits chimiques dans la solution de traitement après n charges de travail
C_0 = concentration en produits chimiques dans la solution de traitement au démarrage de l'opération
V = volume de la solution de traitement
D = quantité d'apport par entraînement/perte par entraînement par charge de travail (au tonneau ou barre d'anode)
n = nombre de charges de travail traitées.

Données de référence pour la figure 4.4 :

Dépôt au tonneau :

- production : 10 tonneaux par heure
- apport/perte par entraînement : 1,5 litre par tonneau, 15 litres par heure
- solution de traitement : zinc cyanuré intermédiaire
- volume total : 6 m^3
- température de traitement : ambiante

Revêtement métallique sur support :

- production : 15 barres d'anode par heure (25 m^2 de superficie déposée)
- apport/perte par entraînement : 0,4 litre par barre d'anode, 6 litres par heure
- solution de traitement : nickel brillant, agitée par air
- volume total : 7,5 m^3
- température de traitement : 60 °C

Effets opérationnels et interactionss générales
La perte par entraînement peut être utilisée comme un moyen de régénération de la solution de traitement, car elle élimine de manière continue les résidus perturbant le traitement des produits de dégradation provenant d'agents azurants et autres additifs organiques. Ceci ne tient pas compte de la perte simultanée de composants non dégradés utiles. Cependant, l'utilisation de techniques de réduction et de récupération des pertes par entraînement est susceptible d'accroître le besoin de techniques spécialement conçues afin de réduire ou éliminer les contaminants *in situ*, voir section 4.11.

Aspects économiques globaux
Les aspects économiques liés à la récupération des matériaux et à la réduction de l'utilisation d'eau, en comparaison du coût de l'accroissement du nombre de réservoirs de rinçage dans une étape de rinçage, des modifications de l'installation, etc. peuvent être calculés en utilisant les données de cette section , ainsi que les données spécifiques de l'installation. Ils peuvent également être calculés en utilisant des outils logiciels destinés à l'optimisation de l'installation, voir section 4.1.4. L'annexe 8.11 présente des exemples de rinçage après nettoyage, après décapage, après nettoyage électrolytique, après revêtement métallique et conjointement à une évaporation forcée, mais également après une étape de passivation.

4.7.2 L'évaporation nécessaire à la récupération des pertes par entraînement

L'évaporation est décrite dans les sections 2.7.4 et 2.7.5. Un accroissement de la récupération des pertes par entraînement est rendu possible grâce à l'utilisation de l'eau de rinçage pour égaler les pertes d'évaporation provenant des solutions de traitement. Des techniques destinées à mettre à profit et à accroître l'évaporation sont examinées dans les sections 4.7.11.2 et 4.7.11.3.

4.7.3 Evaluation comparative du rinçage

Des valeurs de référence du rinçage sont présentées dans la section 3.2.2 et le procédé destiné à calculer le volume d'eau de rinçage par m^2 par étape de rinçage est présenté dans la section 4.1.3.

4.7.4 Eco-rinçage ou prétrempe

Description
Certaines pertes par entraînement provenant des solutions de traitement exploitées à température ambiante (sans y être limitées) peuvent être récupérées grâce à un poste de rinçage unique dans lequel la pièce de fabrication est trempée avant et après son traitement. La figure 4.5 montre de manière schématique, la séquence du transport de la pièce de fabrication.

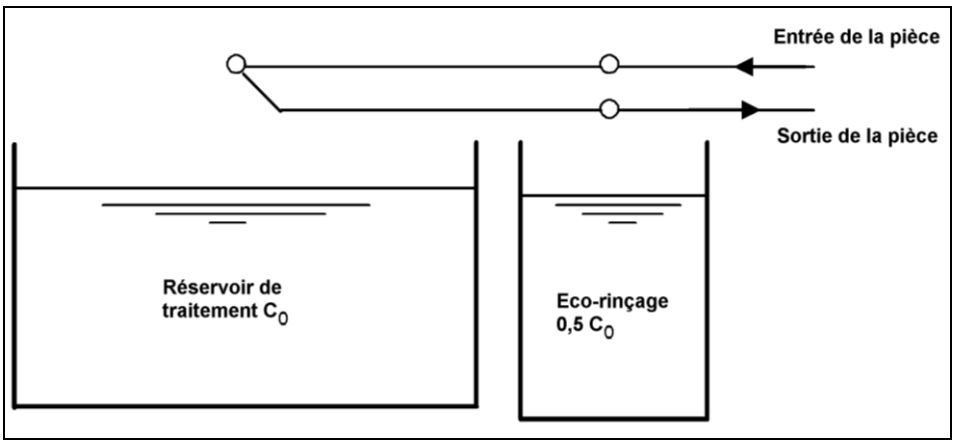


Figure 4.5 : Récupération des pertes par entraînement grâce à l'éco-rinçage

Le poste d'éco-rinçage (ou de pré-trempage) peut être composé d'une solution de traitement diluée dès le départ ou être uniquement rempli d'eau déionisée. Dans ce cas, un certain temps est nécessaire pour atteindre la concentration d'équilibre final de 0,5 C_0 (50 %). La solution doit uniquement être changée lorsque le réservoir lui-même et/ou les parois de réservoir doivent être nettoyées.

Un réservoir d'éco-rinçage peut également être utilisé conjointement avec d'autres options destinées à réduire la consommation d'eau, voir les sections 4.4.5.2 et 4.7.

Bénéfices environnementaux atteints
En fonctionnement normal, aucune quantité d'eau ne doit être ajoutée en supposant que l'apport par entraînement est équivalent à la perte par entraînement. Le taux de récupération des pertes par entraînement (dépôt sur support et au tonneau) est d'approximativement 50 %.

Effets d'interaction
Aucun effet signalé

Applicabilité
Cette technique peut être utilisée afin de minimiser la consommation de produits chimiques pour les bains de dépôt métallique, lorsque la concentration en métaux et en autres ions doit être accrue par des sels afin qu'un certain niveau soit maintenu. Dans certains traitements, le pré-trempage peut poser problème. Par exemple, le cuivrage sur pièce moulée entraîne des problèmes d'adhérence du fait d'un dépôt chimique partiel prématuré. Un pré-trempage dans des bains d'éco-rinçage contenant des particules solides peut également provoquer la rugosité de la couche suivante.

Cette technique peut être envisagée lorsque d'autres alternatives ne peuvent être mises en œuvre ou sous la forme d'une étape de rinçage parmi plusieurs étapes de rinçage.

Cette technique n'est pas envisageable dans les cas suivants :

- lorsqu'elle entraîne des problèmes avec des traitements ultérieurs (tels qu'un pré-dépôt chimique partiel) ;
- carrousel, chaînes de revêtement en bande ou de bobine à bobine car la pièce de fabrication ne peut être renvoyée et passer au travers d'un réservoir de prétrempe. Un second réservoir pourrait être installé à la suite et couplé grâce à un système de pompage, mais cette technique n'est pas connue en pratique et nécessiterait la création

d'un autre réservoir sur la chaîne, ce qui peut être impossible dans les installations existantes ;
- attaque chimique ou dégraissage ;
- chaînes de nickelage car cette technique engendre des problèmes accrus de qualité.

Pour l'anodisation, le matériau est éliminé du substrat (non ajouté) et la technique n'est pas utilisée.

Aspects économiques
Voir les aspects économiques globaux, section 4.7.1.
Un accroissement du nombre d'étapes entraîne une réduction de la capacité de production.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Lorsque la solution de traitement fonctionne à température ambiante et/ou lorsque le taux d'évaporation est faible.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002] [113, Autriche, 2003]

4.7.5 Rinçage par pulvérisation

Description
Le rinçage par pulvérisation peut être effectué de deux manières : au-dessus de la solution de traitement (comme sur la figure 4.6) ou dans un réservoir vide séparé.

La pulvérisation avant rinçage (ou pré-rinçage) au-dessus du bain de traitement est un procédé de rinçage efficace. L'eau de rinçage est pulvérisée sur les pièces de fabrication tandis qu'elles sont suspendues au-dessus de la surface du bain. Elle peut être réalisée manuellement sur des petites chaînes de traitement, ou de manière automatique. En ce qui concerne le pré-rinçage, la quantité d'eau à utiliser doit égaler la quantité d'eau perdue par entraînement de la cuve de traitement afin de maintenir l'équilibre en eau. Le pré-rinçage entraîne une réinjection directe de la solution de traitement dans la cuve de traitement.

Le rinçage par pulvérisation dans une cuve séparé agit comme un premier rinçage. La solution peut ensuite être recyclée et renvoyée dans le bain de traitement en quantités égales aux pertes dues à l'évaporation et aux pertes par entraînement.

Figure 4.6 Rinçage par pulvérisation manuelle
Producmetal S.A., France

Bénéfices environnementaux atteints
Il s'agit d'une étape clef de la réduction de la perte de produits chimiques solubles provenant des cuves de traitement vers l'environnement par le biais du rinçage.

Effets d'interaction
Il existe un risque d'infection par la légionelle dans les extrémités de tuyau des systèmes de pulvérisation et cette infection peu s'étendre aux aérosols de pulvérisation.

Données opérationnelles
La pulvérisation au-dessus des bains permet de récupérer la solution de traitement directement dans la cuve. Aucune cuve supplémentaire n'est nécessaire. Cependant, un excès de pulvérisation peut poser problème, mais celle-ci peut être contrôlée de diverses manières, par exemple :

- dans l'anodisation, la pulvérisation est utilisée à basse pression, elle est dénommée "rinçage par projection", ce qui permet d'éviter la formation d'aérosol et un excès de pulvérisation ;
- la pulvérisation en cuve réduit l'excès de pulvérisation.

Une infection par la légionelle peut être évitée grâce à la conception de systèmes spéciaux de pulvérisation ou par un nettoyage régulier.
Des tests peuvent se révéler nécessaires.

Applicabilité
Cette technique peut être envisagée pour tous types d'installations, mais peut être limitée lorsqu'il existe un risque de séchage et d'apparition de résidus sur les pièces de fabrication ou le substrat avant une étape de rinçage ou de traitement supplémentaire.

Exploitations de référence
SGI, Plaisir, France
Voir les installations de référence de l'annexe 8.5.

Documentation de référence
[104, UBA, 2003] (Communication personnelle provenant de l'ESTAL)

4.7.6 Chaîne manuelle ou semi-automatique

Description
Les chaînes manuelles ou semi-automatiques sont utilisées pour les productions à faible débit, ou pour les travaux de recherche et développement. Le contrôle de l'utilisation de l'eau, des pertes et des apports par entraînement peut sembler plus difficile. Pour obtenir une durée de drainage appropriée sur une chaîne manuelle, le support ou le tonneau doit être supporté par un montage statique au-dessus du bain précédent.

Ceci permet le rinçage par pulvérisation (voir section 4.7.5) directement au-dessus de la cuve de traitement pour y renvoyer les pertes par entraînement. Cette technique peut permettre aussi un drainage chronométré de manière appropriée avant immersion dans un bain de rinçage.

Sur les chaînes semi-automatiques, un rinçage par pulvérisation peut également être effectué manuellement, voir section 4.7.5 et la figure 4.6.

Bénéfices environnementaux atteints
Tout comme pour le contrôle des apports et pertes par entraînement, voir les sections 4.5 et 4.6.

Effets d'interaction
Aucun effet relevé

Données opérationnelles
Cette technique garantit une meilleure fiabilité et reproductibilité du rinçage et du drainage, pour les chaînes automatiques et semi-automatiques.

La quantité de liquide pulvérisé au-dessus du procédé de traitement doit être contrôlée pour éviter qu'elle ne dépasse les pertes par entraînement et par évaporation.

Applicabilité
Toutes les chaînes manuelles et semi-automatiques

Aspects économiques
Peu coûteux et facile à installer

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Santé et sécurité du personnel qui utilise les chaînes manuelles

Exploitations de référence
Bodycote West Middlesex Plating Co. Ltd., Uxbridge, RU

Documentation de référence
[118, Tempany, 2002, 165, Tempany, 2004]

4.7.7 Rinçages chimiques

Description

Une technique plus rapide pour obtenir ~~d'obtention du rendement de une~~ l'efficacité de nettoyage requise est réalisée au moyen de rinçages chimiques, ce que l'on appelle le procédé Lancy. Dans ce procédé, la solution de traitement perdue par entraînement réagit chimiquement avec le liquide de rinçage au même moment.

Bénéfices environnementaux atteints
Cette technique réduit les besoins en traitement des effluents usés en diminuant ou éliminant les étapes de traitement d'eaux résiduaires primaires.

Effets d'interaction
La principale utilisation du procédé Lancy, l'oxydation des cyanures perdus par entraînement par rinçage dans une solution caustique de blanchiment au chlore, doit désormais être limitée du fait de préoccupations concernant les émanations d'AOX qui y sont associées.
Ces procédés rendent la récupération de la solution perdue par entraînement impossible.

Données opérationnelles
D'un fonctionnement technique simple.
L'incorporation de produits chimiques de rinçage peut réduire le nombre de postes de rinçage mais peut entraîner par conséquent un accroissement de la contamination du rinçage.
Peut entraîner la formation de grandes quantités de boue dans les réservoirs de rinçage.
Il existe un danger de formation de gaz si le dosage automatique est mauvais.

Applicabilité
Nécessite une réaction chimique appropriée qui peut facilement être réalisée dans les la première cuve récupérant les pertes par entraînement. Ces principales utilisations sont :

- l'oxydation du cyanure ;
- la réduction du chrome hexavalent.

Une durée de contact limitée ne permet pas d'éliminer le produit chimique visé, en particulier, le cyanure. Ceci limite l'utilité de la réaction de réduction du Cr(VI), surtout lorsque les pièces de fabrication présentent une géométrie complexe et retiennent une partie de la solution de Cr(VI). Le système habituel est composé d'une cuve placée après le bain de chrome et contenant de l'acide sulfurique et du bisulfite de sodium.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Cette technique peut être utilisée lorsque la capacité de traitement des eaux résiduaires est limitée.

Documentation de référence
[THOBE, 1997 #6 ; UBA, 2003 #104[3, CETS, 2002, 6, IHOBE, 1997] [124, Allemagne, 2003]
Lancy Laboratoires Inc., Zelienople, Pa (USA)

4.7.8 Régénération et réutilisation/recyclage de l'eau de rinçage

La section 4.4.5.1 souligne la manière dont peut être régénérée et réutilisée l'eau, et le fait que cette étape doit être envisagée dans le cas d'une utilisation de l'eau pour la totalité de l'installation.

L'eau de rinçage usée peut être régénérée, par exemple grâce à l'une des techniques décrites ci-dessous (pour les autres possibilités, voir section 4.10). Une telle régénération peut entraîner des économies de consommation d'eau et permettra de réduire la quantité d'eaux résiduaires à traiter, réduisant ainsi les coûts d'investissement liés au traitement des eaux résiduaires, les coûts énergétiques et ceux dus à l'utilisation de ~~et~~ produits chimiques. Cependant, ces économies sont contre balancées par le coût de l'équipement de régénération, de ~~et~~ l'énergie et des produits chimiques dont ce dernier peut avoir besoin. Il est souvent plus facile et moins coûteux (en termes de capitaux, de produits chimiques et d'énergie déployés) de récupérer et réutiliser à cet effet l'eau de rinçage que de la traiter dés sa première utilisation, car la concentration ionique ou la totalité des solides dissous de cette eau peut être supérieure à celles de l'eau de rinçage réutilisée.

Les effets d'interaction liés aux milieu d'une application ont été étudiés, voir section 4.7.8.2 [159, TWG, 2004, 166, RIZA, 2004].

4.7.8.1 Régénération par échange d'ions

Description
En acheminant l'eau au travers d'échangeurs cationiques et/ou anioniques, les cations sont échangés par des molécules H^+, et les anions par des molécules OH, et on obtient une eau d'une qualité approchant celle de l'eau déminéralisée. Cette eau est renvoyée vers le système de rinçage.

Bénéfices environnementaux atteints
Utilisation d'eau réduite

Effets d'interaction
La fabrication et le fonctionnement d'un échangeur ionique ainsi que la consommation d'énergie et la régénération de produits chimiques.

Données opérationnelles
Un filtre est utilisé avant l'échangeur d'ions afin de protéger ce dernier d'un éventuel blocage par des particules solides.

Applicabilité
Un échangeur d'ions destiné à régénérer l'eau de rinçage ne peut être utilisé si l'eau présente une forte quantité d'oxydants, des concentrations élevées de matières organiques, et des complexes métalliques cyanurés. Afin de régénérer des eaux de rinçage hautement concentrées, des installations à grande échelle et une régénération fréquente du système sont nécessaires, par exemple, à l'aide de HCl ou de H_2SO_4 et NaOH.

En général, les résines ne permettent pas d'éliminer les matières organiques, qui s'accumuleront dans l'eau de rinçage. Ces matières peuvent nécessiter un traitement supplémentaire. Si ce traitement n'est pas réalisé, dans un système doté d'une installation d'échange ionique centralisé, les matières organiques peuvent se répandre dans tous les procédés et peuvent interférer avec d'autres traitements, comme la récupération de l'eau de rinçage, à moins que des traitements de nettoyage supplémentaires ne soient ajoutés, comme par exemple une filtration au charbon actif, ou que l'utilisation de l'eau recyclée soit limitée à des usages particuliers.

L'utilisation du précédés d'échange d'ions se révèle irréaliste dans le cas où les concentrations de matières totales dissoutes dépassent les 500 ppm, car avec un tel taux, une régénération fréquente est nécessaire.

Les résines présentent des plages de pH efficace différentes. Par exemple, une résine chélatante d'iminodiacétate fonctionne de manière optimale dans une plage de pH légèrement acide ; sa sélectivité est inférieure avec un pH plus élevé et au-dessous d'un pH d'approximativement 2,0.

Des oxydants, des solvants, des matières organiques, de l'huile et de la graisse peuvent dégrader les résines et les solides en suspension peuvent obstruer les colonnes de résine

Aspects économiques
Le coût d'immobilisation de l'équipement en comparaison des économies d'utilisation d'eau dépendra des spécificités du site.

Exploitations de référence
Richard (Argenteuil), SATEC (Buchelet), SEAM (les Mureaux), France

Documentation de référence
[104, UBA, 2003], [114, Belgique, 2003, 124, Allemagne, 2003, 162, USEPA, 2000]

4.7.8.2 Régénération par osmose inverse

Description
L'eau de rinçage peut, dans certains cas, être régénérée par osmose inverse (ce traitement est décrit dans la section 4.7.11.5).

Bénéfices environnementaux atteints
Les bénéfices environnementaux obtenus constituent plus qu'une simple réduction de la consommation d'eau et s'étendent aux économies d'énergie et à une réduction significative de l'utilisation de produits chimiques dans le traitement des eaux résiduaires.

Effets d'interaction
La fabrication et le fonctionnement de l'échangeur d'ions ainsi que la consommation d'énergie et des produits chimiques de régénération. La teneur en sels de l'eau résiduaire est élevée et peut être difficile à traiter dans une installation de traitement des eaux résiduaires classique. Les membranes doivent également être rincées à l'eau douce.

Applicabilité
L'eau à traiter peut ne pas être appropriée ou peut nécessiter un prétraitement car elle peut contenir des solides ou des particules non dissoutes, des matières organiques, du calcium, de l'aluminium et des métaux lourds, voir section 4.7.11.5.

Exploitations de référence
BGT Eindhoven, Pays-Bas

Documentation de référence
[126, Pays-Bas, 2003]

4.7.9 Techniques de rinçage unique

Description
Dans certaines situations, des opérations de rinçage unique sont nécessaires (voir section 4.6.3). Ce type de rinçage peut être nécessaire lorsqu'une perte de qualité est constatée si le rinçage de la surface est trop important, par exemple, pour du zinc de passivation noir, pour des passivations de film épais ou le rinçage entre une étape de nickelage et de chromage brillant.

Dans d'autres cas, l'arrêt de la réaction de surface intervient uniquement après une dilution rapide dans la première étape de rinçage, ce qui nécessite l'utilisation de grandes quantités d'eau. Dans de tels cas, la concentration des produits chimiques de réaction dans la première étape de rinçage doit être maintenue à un niveau bas.

Les chaînes manuelles ou semi-automatiques à faible débit de production, ou utilisées dans un but de développement, en constituent d'autres exemples, voir section 4.7.6 ci-dessus.

Afin de minimiser les impacts sur l'environnement :

- l'eau utilisée ici peut être régénérée et recyclée à l'intérieur même du traitement, par exemple, grâce à un déioniseur, ou de l'eau régénérée ailleurs dans l'installation peut être utilisée ;
- lorsque cela est techniquement possible, l'utilisation de composés chimiques compatibles entre les solutions consécutives permet de minimiser le besoin de rinçage (par exemple, une même base acide), voir section 4.6.2.

Bénéfices environnementaux atteints
Des étapes de minimisation des impacts environnementaux sont décrites dans la description, ci-dessus.

Effets d'interaction
Consommation élevée d'eau et pertes de matériau.

Données opérationnelles
Le rinçage à étapes multiples peut endommager le traitement de surface, en réduisant par exemple la résistance à la corrosion.

Applicabilité
Voir la description, ci-dessus.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003], [113, Autriche, 2003, Allemagne, 2003 #124]

4.7.10 Techniques de rinçage multiples

Description générale
Le rinçage à étapes multiples est particulièrement approprié afin d'obtenir un taux de rinçage élevé avec une faible quantité d'eau de rinçage.

Par exemple, pour le rinçage en cascade, l'eau s'écoule dans la direction opposée aux pièces de fabrication, tel que représenté dans la figure 4.7. Cela nécessite une eau de

rinçage-d'une qualité de rinçage constante (le taux de rinçage), exprimée mathématiquement par la formule :

$$Q/t = \sqrt[n]{Sk}\ (V/t)$$

Q/t = quantité d'eau de rinçage (en l/h) nécessaire pour atteindre le taux de rinçage
n = nombre d'étapes de rinçage
Sk = taux de rinçage
V/t = perte par entraînement (en l/h)

Les économies principales sont obtenues avec la transition de la première étape à la seconde étape. Comme le montre le tableau 4.7, une quantité d'eau de rinçage moindre est envisageable grâce au choix du système de rinçage approprié. L'effet de l'économie en eau décroît avec un nombre croissant d'étapes de rinçage. Cependant, le volume d'eau requis diminue jusqu'à un point où un ajout direct d'eau destiné à compenser les pertes des solutions de traitement à température ambiante peut être envisagé. Le taux de récupération que l'on peut obtenir est, en fonction d'un volume donné d'évaporation, directement lié à la concentration des produits chimiques dans le premier poste de rinçage.

Taux de rinçage (x:1)	**10 000**	**5 000**	**1 000**	**200**
Nombre d'étapes	Quantité d'eau de rinçage nécessaire en l/h			
Etape unique	10 000	5 000	1 000	200
Deux étapes	100	71	32	14
Trois étapes	22	17	10	6
Quatre étapes	10	8	6	4
Cinq étapes	6	5	4	3

Tableau 4.7 : Le taux de rinçage est fonction d'une quantité donnée d'eau de rinçage spécifique (exprimé en litre d'eau de rinçage par litre d'électrolyte perdu par entraînement) et le nombre de cascades
[3, CETS, 2002]

Certaines options et modifications sont soulignées dans les sections 4.7.10.1, 4.7.10.2, 4.7.10.3 et 4.7.10.4. Elles peuvent être utilisées conjointement avec d'autres techniques, telles que celles décrites dans les sections 4.7.1, 4.7.4, 4.7.5, 4.7.7 et 4.7.8.

Seule une description de chaque option est proposée, les autres facteurs sont décrits dans cette section générale.

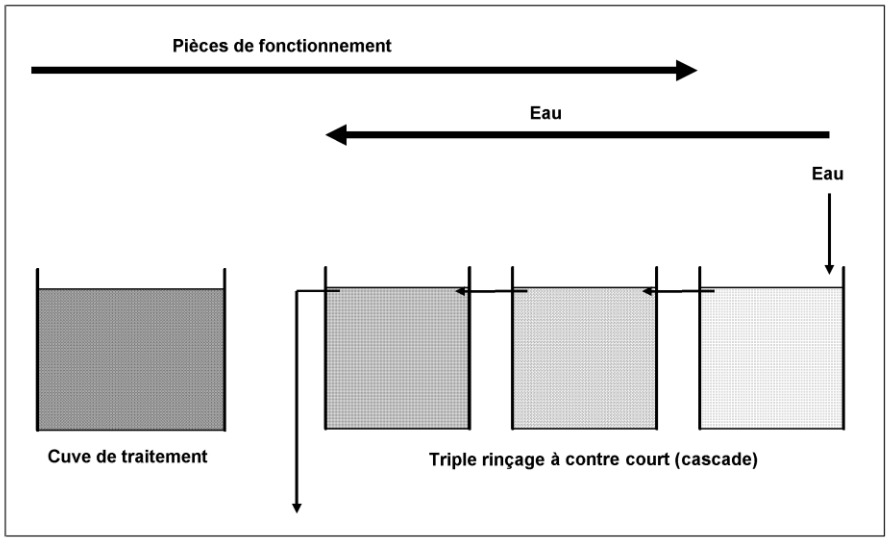


Figure 4.7 : Technologie de rinçage à niveau multiple (technologie des cascades)
[104, UBA, 2003]

Bénéfices environnementaux globaux obtenus pour toutes les options décrites
Les techniques de rinçage multiples jouent un rôle important dans la réduction de l'utilisation de l'eau et la récupération des matériaux. Le rejet zéro (ou bilan hydrique au carré) est souvent considéré comme le critère ultime de la technologie de rinçage pour une solution de traitement de surface à faible émission et il nécessite des techniques supplémentaires afin d'empêcher tout rejet d'eau (voir section 4.16.12). Toutefois, le fonctionnement en cycle fermé de matériaux destinés à des compositions chimiques de traitement spécifique au sein d'une chaîne de traitement est très facile à obtenir, voir section 4.7.11.

Le fonctionnement en cycle fermé d'un traitement nécessite que l'eau renvoyée vers la bain de traitement depuis le premier poste de rinçage atteigne un équilibre avec l'eau perdue par évaporation et par entraînement. La solution de traitement exploitée à des températures supérieures et avec un rinçage à étapes multiples permet d'atteindre cet équilibre (voir les sections 4.7.11.2 et 4.7.11.3). Grâce à l'introduction de systèmes de rinçage à étapes multiples combinés en partie à un système de recyclage de l'eau de rinçage et à d'autres techniques (voir section 4.7.11) une diminution de la quantité d'eaux résiduaires produites allant jusqu'à 90 % peut être obtenue. Une installation de revêtement en bande (en continu) indique qu'elle a obtenu une réduction de 30 m^3 par heure.

Le tableau 4.8 présente les taux de récupération des pertes par entraînement qui peuvent être obtenus grâce à différentes techniques de rinçage multiples, en prenant comme base les valeurs respectives des chaînes de référence. Les règles de bonnes pratiques établissent que le critère de rinçage après les deux principales étapes de traitement ait une valeur minimum R = 1 000, pour les exemples donnés ici : dépôt au tonneau de zinc cyanuré intermédiaire et nickelage brillant sur support (voir le tableau 4.7).

Technique de rinçage	Taux de récupération Dépôt au tonneau de zinc cyanuré intermédiaire	Taux de récupération Nickelage brillant sur support
Rinçage triple à contre courant	<24 %	<57 %

Cette technique n'offre pas de taux de récupération satisfaisant dans une installation de traitement au tonneau car WD>3WR (voir les formules 4.7.10.1). Si aucun investissement supplémentaire majeur n'est nécessaire, un taux de 57 % dans une installation de traitement sur support semble intéressant.		
Triple rinçage statique	>40 %	>95 %
La nécessité de changer l'eau de rinçage immédiatement après une durée de fonctionnement inférieure à huit heures dans une installation de dépôt au tonneau rend cette technique difficilement applicable, tandis que dans une installation de traitement sur support, l'eau de rinçage doit être changée au-delà d'une durée de fonctionnement de 56 heures et un taux de récupération de 95 % peut être obtenu, de nouveau sans investissement supplémentaire d'importance		
Double rinçage statique plus rinçage	>90 %	>98 %
Lorsqu'une quantité élevée de récupération des pertes par entraînement est nécessaire, cette technique devrait être utilisée dans une installation de dépôt au tonneau. Un changement de l'eau de rinçage est requis après 24 heures de fonctionnement. L'installation d'un équipement d'échangeur d'ions approprié ou d'un système de rinçage à contre courant minimisera l'utilisation d'eau.		

Tableau 4.8 : Taux de récupération pouvant être obtenu pour quelques techniques de rinçage multiples.

Effets multimilieux globaux pour toutes les options décrites

Aucun effet concernant le rinçage multiple seul.
S'il est utilisé conjointement avec d'autres techniques, le rinçage multiple peut entraîner l'accroissement de la consommation énergétique si l'évaporation ou d'autres techniques de concentration sont utilisées (voir section 4.7.11) et de la quantité de produits chimiques destinés à la régénération si une désionisation est mise en œuvre.

Données opérationnelles globales pour toutes les options décrites

Une combinaison de rinçage par pulvérisation, en particulier si celle-ci est effectuée au-dessus du bain de traitement, comme étape d'un système de rinçages multiples permet de combiner les avantages de la réduction de l'utilisation d'eau obtenue grâce aux étapes multiples avec une exigence minimum d'espace supplémentaire. Cette technique permet en outre de réduire la consommation d'eau.

Applicabilité globale de toutes les options décrites

Des options et des combinaisons sont applicables à la plupart des installations. Dans certains cas, la nécessité d'un rinçage unique peut limiter l'application de cette technique, voir section 4.7.9.

Une formation de matériaux décomposés qui peut réduire la qualité du traitement est susceptible de se produire à moins que d'autres mesures d'entretien de la solution soient prises, voir section 4.11.

Aspects économiques globaux pour toutes les options décrites

De manière générale, l'installation de techniques de rinçage à étapes multiples nécessite une augmentation de l'espace et des investissements associés (les coûts engendrés par l'ajout de cuves, d'un équipement de transport des pièces de fabrication et de contrôles supplémentaires). La diminution de la consommation d'eau, la récupération des produits chimiques de traitement de surface et le rejet en quantité moindre des effluents, nécessitant un équipement de traitement des eaux résiduaires plus petit et moins de produits chimiques de traitement, permettent de réduire les coûts totaux.

Les aspects économiques de la récupération de matériaux et de la réduction de l'utilisation d'eau, en comparaison du coût de l'accroissement du nombre de cuves de rinçage dans une étape de rinçage, de la modification de l'installation, etc. peuvent être calculés en utilisant les données de cette section , avec les données spécifiques de

l'installation. Ils peuvent également être calculés en utilisant des outils logiciels pour l'optimisation d'une installation, voir section 4.1.4 et l'annexe 8.11 pour des exemples de rinçage après nettoyage, après décapage, après nettoyage électrolytique, après dépôt et conjointement avec une évaporation forcée, ainsi qu'après une passivation.

Une installation de référence a évité de construire une station de traitement des eaux résiduaires grâce à l'utilisation d'une technique de rinçage en cascade à étape multiple combinée à l'évaporation de la solution de traitement, voir section 4.7.11.3.

Forces motrices globales de mise en œuvre concernant toutes les options décrites
Voir ci-dessus.les aspects économiques globaux concernant toutes les options

Exploitations de référence
SGI, Plaisir, France, Sikel, S.A., Gand, Belgique, Exhall Plating Ltd, Coventry, RU, Frost Electroplating Ltd, Birmingham, Merrydale Ltd, Wednesbury, RU ; Bodycote Metallurgical Coatings, Uxbridge, RU, annexe 8.5.8, Allemagne

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 18, Tempany, 2002, 104, UBA, 2003], [159, TWG, 2004]

4.7.10.1 Rinçage à contre courant à étapes multiples

Description
Cette technique est représentée sur la figure 4.8, par une technique de récupération des pertes par entraînement. Le taux de rinçage R pouvant être obtenu à l'aide du rinçage à contre courant, peut être calculé par :

$$R = C_0/C_n = (q^{(n+1)}-1)/(q-1)$$

où $q = W/D$

R = taux de rinçage
C_0 = concentration en produits chimiques dans la solution de traitement
C_n = concentration en produits chimiques dans le dernier $n^{ième}$ poste de rinçage
D = quantité de pertes par entraînement,
n = nombre de rinçages à contre courant

W = quantité d'eau de rinçage afin d'obtenir R pour une D donnée,

Un triple rinçage de récupération à contre courant est représenté dans la figure 4.8, ci-dessous.

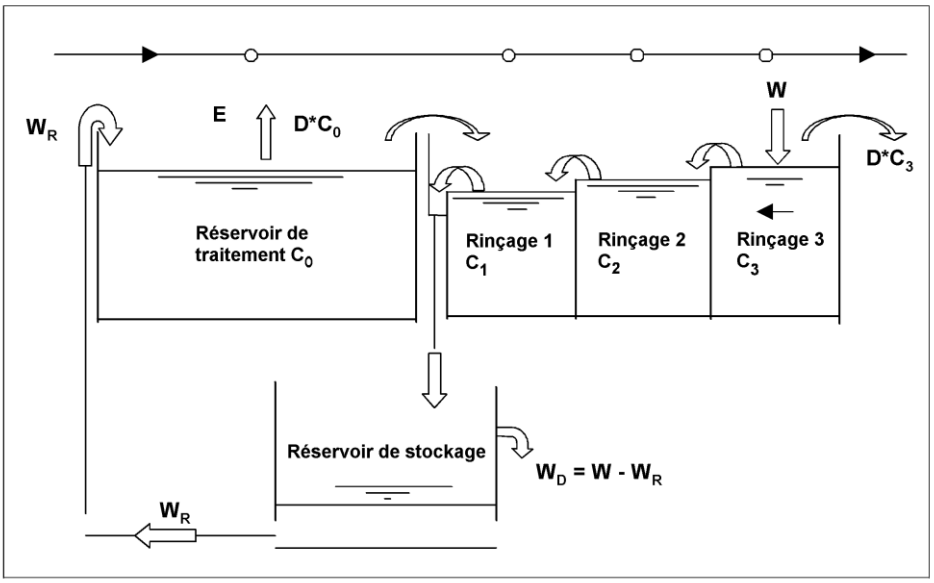


Figure 4.8 : Récupération des pertes par entraînement à l'aide d'un triple rinçage à contre courant

Dans les cas où $E \geq W$, le taux de récupération de pertes par entraînement est de :

$$Rc_R = 1 - C_3/C_0$$

Dans les cas où $E = W_R < W$, le taux de récupération de pertes par entraînement est réduit à :

$$Rc_R = (1 - C_3)*W_R/W$$

C_0	=	concentration en produits chimiques dans la solution de traitement
C_3	=	concentration en produits chimiques de traitement dans le poste de rinçage 3
E	=	pertes par évaporation
Rc_R	=	taux de récupération de pertes par entraînement
W	=	quantité d'eau de rinçage utilisée
W_D	=	quantité d'eau de rinçage à évacuer
W_R	=	quantité d'eau de rinçage disponible pour la récupération des pertes par entraînement.

La figure 4.6 représente la consommation d'eau spécifique des triples et quadruples rinçages à contre courant en litre par litres de pertes par entraînement.

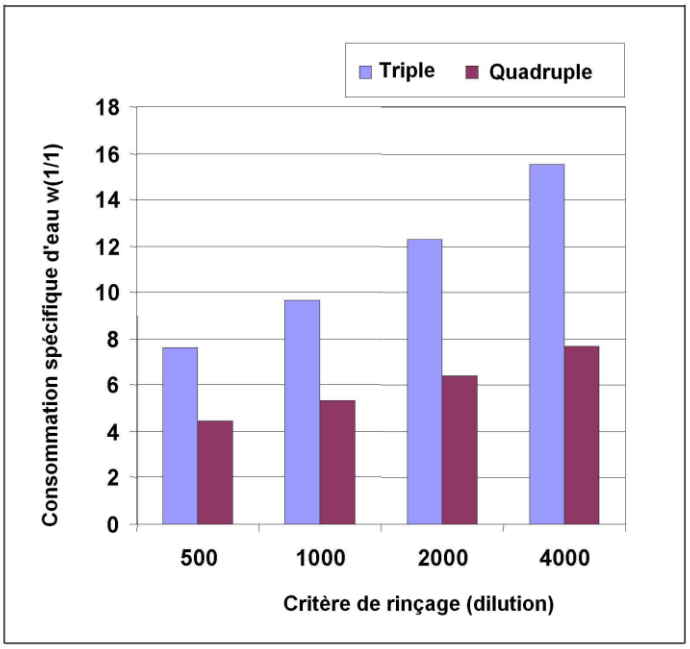


Figure 4.9 : Consommation spécifique d'eau "w" des triples et quadruples rinçages à contre courant

4.7.10.2 Rinçage multiple statique

Description

Le rinçage multiple statique, en remplacement du rinçage à contre courant, permet de réduire la consommation d'eau [3, CETS, 2002].

La figure 4.10 montre l'agencement des cuves et la séquence de traitement d'un triple rinçage statique.

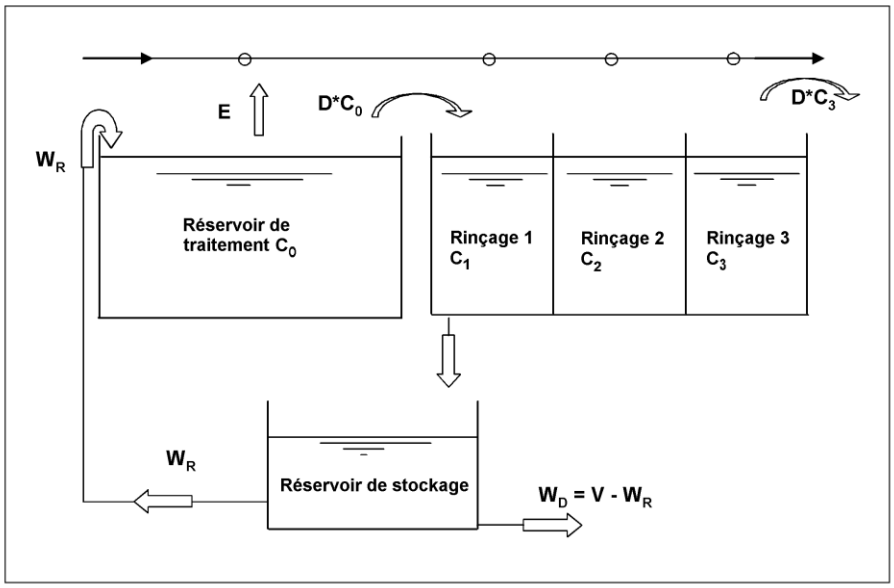


Figure 4.10 : Récupération des d'une pertes par entraînement à l'aide d'un triple rinçage statique

Plutôt que d'être alimenté en continu et de déborder, le rinçage 1 est évacué dans le réservoir de stockage uniquement lorsque C_3 a atteint une valeur établie. L'eau de

rinçage provenant de la cuve 2 est ensuite pompée dans la cuve 1 et l'eau de la cuve 3 dans la cuve 2. Une fois la cuve 3 remplie d'eau propre, le traitement peut se poursuivre.

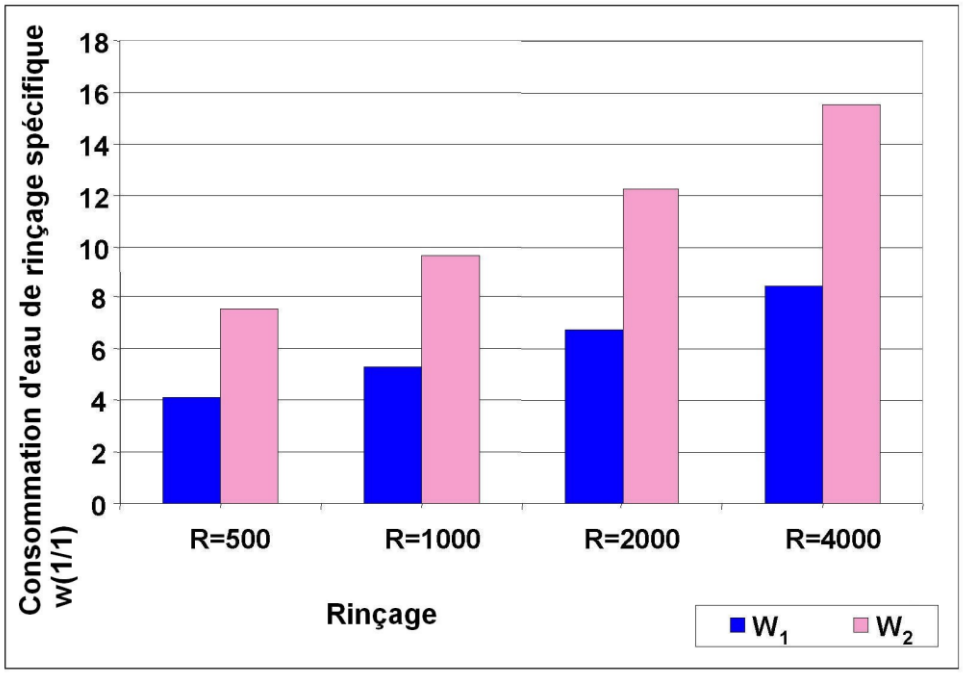


Figure 4.11 : Consommation d'eau spécifique en litre par litre de pertes par entraînement, triple rinçage statique W1 par rapport à un triple rinçage à contre courant W2
(Les valeurs de W_1 sont valables lorsque les trois cuves sont remplies d'eau propre)

Comme le montre la figure 4.11, des économies sensibles d'eau peuvent être réalisées en comparaison du rinçage à contre courant : des économies d'approximativement 45 % lorsque tous les cuves de rinçage sont remplis d'eau propre, et d'approximativement 40 % lorsque l'eau provenant du réservoir 2 est remplie dans le réservoir 1 et le réservoir 3 dans le réservoir 2, ce qui constitue un fonctionnement normal.

La concentration de produits chimiques dans les rinçages statiques 1, 2 et 3 peut être calculée à l'aide des équations suivantes :

$$C_1n = C_0 (1-qn)$$

$$C_2n = C_0\{1-(n+1)*qn+n*q(n+1)\}$$

$$C_{3n} = C_0\{1-(1/2)*(n+1)(n+2)*qn+n*(n+2)*q^{(n+1)}-(n/2)(n+1)*q^{(n+2)}\}$$

C_0 = concentration en produits chimiques dans la solution de traitement
$C_{1,2,3}n$ = concentration en produits chimiques dans les postes de rinçage 1, 2, 3 etc. après n pièces de fabrication rincées
D = quantité de pertes par entraînement
n = nombre de pièces de fabrication rincées
V = volume d'eau par poste de rinçage
q = V/(V+D)

4.7.10.3 Double rinçage statique suivi d'un rinçage final par écoulement avec recyclage de l'eau

Pour des taux de pertes par entraînement comparativement élevés, même les triples rinçages statiques ou à contre courant peuvent se révéler insuffisants pour une récupération satisfaisante des pertes par entraînement. Un triple rinçage modifié est représenté dans la figure 4.12.

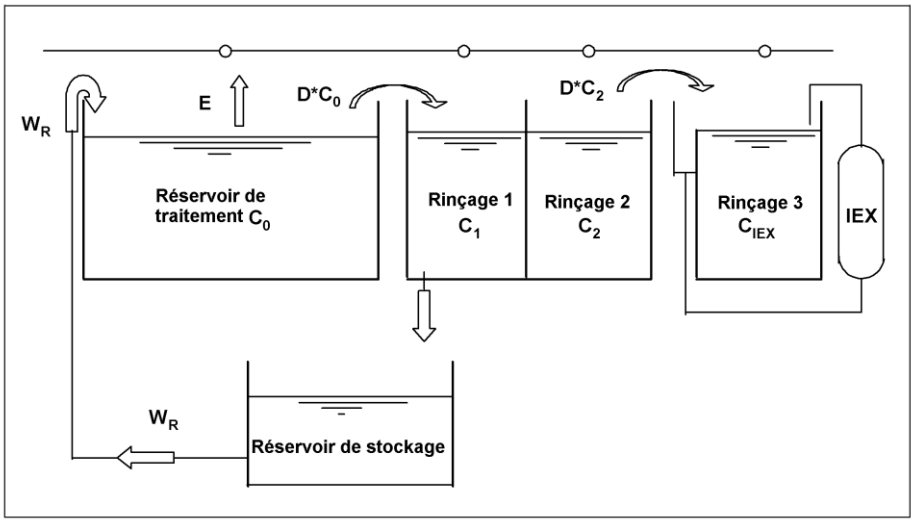


Figure 4.12 : Double rinçage statique suivi d'un rinçage par écoulement unique avec recyclage de l'eau, purifié de manière continue dans des échangeurs d'ions (IEX) [104, UBA, 2003]

Description

Le rinçage 1 est rejeté dans un réservoir de stockage après une période de temps dépendante du mode de fonctionnement de la chaîne. Dans cet exemple, le rejet s'effectuerait après 3 étapes de traitement ou 240 tonneaux rincés (figure 4.12).

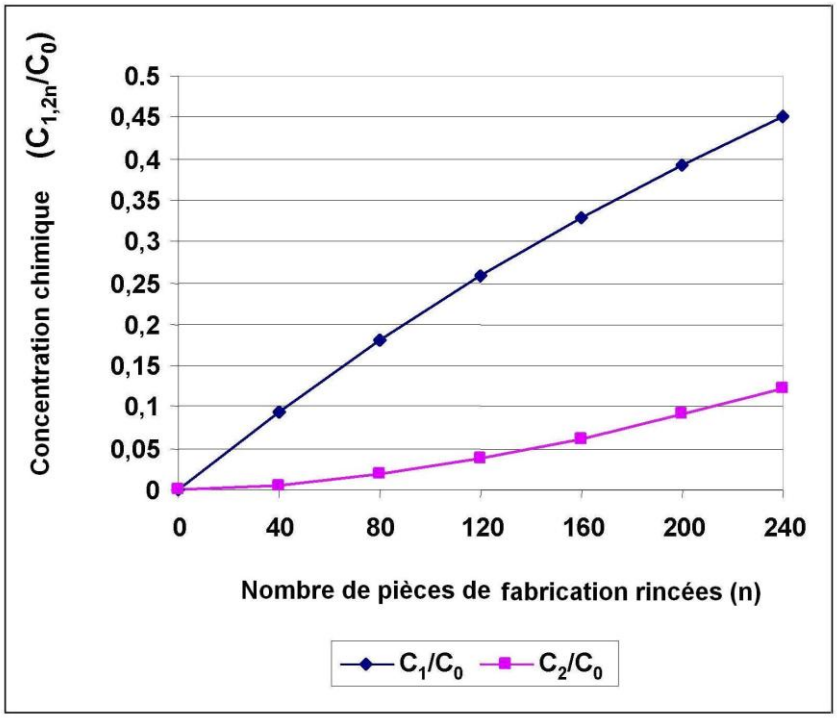


Figure 4.13 : Accroissement de la concentration chimique C_1 et C_2 en fonction du nombre de tonneaux rincés

Cette technique permet d'obtenir des concentrations de $C_2 \leq$ à 0,2 C_0, équivalant à une valeur moyenne d'approximativement 0,095 C_0, commençant à 0 et s'achevant à 0,2 C_0. La zone située au-dessous de la courbe C_2/C_0 est équivalente à la quantité de produits chimiques chargés sur les échangeurs d'ions. Le débit théorique de l'eau recyclée doit être élevé car la concentration ionique ne doit pas dépasser 2 mVal par litre.

Le rinçage final dans l'eau recyclée offre un taux de rinçage suffisamment élevé (ou critère) à un faible niveau de consommation d'eau (approximativement 5 % du débit).

Documentation de référence
[3, Cet, 2002]

4.7.10.4 Rinçage multiple en cascade avec une ligne de traitement limitée en espace

Description
Dans le cas d'installations existantes, l'utilisation d'un grand nombre de cuves n'est souvent pas possible à l'intérieur de l'installation pour des raisons d'espace. Dans de tels cas, l'utilisation de ce que l'on appelle des cascades externes (où les cascades sont disposées en dehors de la chaîne de traitement) peut être envisageable. Sur la chaîne de traitement, il n'existe qu'une cuve de rinçage par étape de traitement. Chaque cuve de rinçage est raccordée à plusieurs cuves externes qui fonctionnent en tant qu'étapes de rinçage selon le principe du rinçage en cascade. Les pièces de fabrication ou les substrats sont amenés dans la cuve de rinçage et rincés successivement dans l'eau des cuves d'étapes de rinçage individuelles, ce qui rend ces dernières progressivement plus propres. Le rinçage peut être effectué par pulvérisation ou en remplissant la cuve pour y immerger les pièces de fabrication ou les substrats. La figure 4.14 représente un système de rinçage par pulvérisation dont la solution contenue dans le réservoir de stockage du premier rinçage est concentrée. Le concentré est renvoyé vers la solution de traitement et l'eau nettoyée est renvoyée vers la cuve de stockage de rinçage final. Les techniques de concentration sont décrites dans la section 4.7.11.

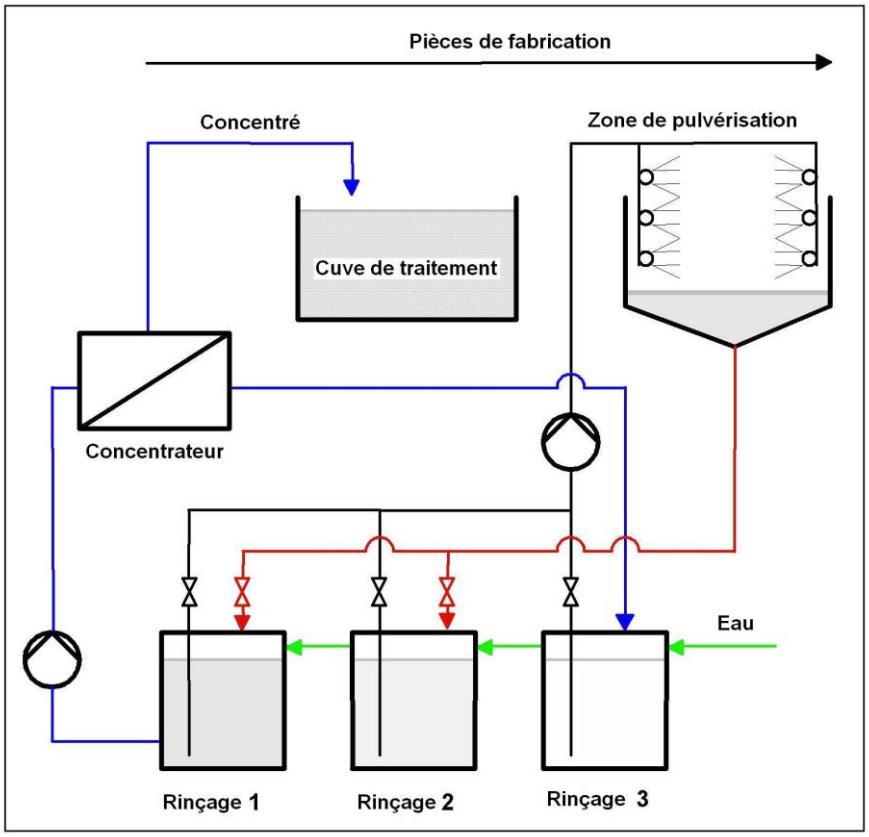


Figure 4.14 : Système en cascade externe : compartiment de pulvérisation unique avec cascade externe et recyclage du concentré

Données opérationnelles
Cette technique présente des problèmes de qualité si l'eau de rinçage contient des particules solides, en particulier avec de l'eau alcaline

Documentation de référence
[104, UBA, 2003], [113, Autriche, 2003].

4.7.11 Accroissement du taux de récupération de pertes par entraînement et fonctionnement en cycle fermé

Lorsque la quantité d'eau nécessaire pour un rinçage adéquat (afin de répondre aux contrôles de procédés et de qualité du produit) dépasse les pertes par évaporation, et que des taux >90 % sont attendus, la quantité d'eau contenue dans le système de récupération des pertes par entraînement doit être accrue. Ceci est réalisé par la combinaison de plusieurs techniques.

Dans certains cas, les pertes par entraînement peuvent être récupérées jusqu'à ce que le cycle puisse fonctionner de manière fermée pour les produits chimiques de traitement grâce à la mise en œuvre d'une combinaison appropriée de techniques. Un fonctionnement en circuit fermé se conçoit par rapport à une composition chimique d'un traitement à l'intérieur d'une chaîne de traitement, et non par rapport à la totalité des chaînes ou des installations.

Un fonctionnement en circuit fermé ne signifie pas zéro rejet : il peut se produire de faibles rejets provenant des procédés de traitement appliqués à la solution de traitement et des circuits d'eau de traitement (comme par exemple les circuits de régénération d'échange d'ions).

Il est parfois impossible de maintenir le circuit fermé au cours des périodes de maintenance. Des déchets et des gaz/émanations peuvent également être produits. D'autres parties de la chaîne de traitement peuvent également générer des rejets, comme ceux après une étape de dégraissage ou de gravure chimique.

Un accroissement optimal d'une récupération des pertes par entraînement est envisageable avec d'autres traitements et activités, comme le recyclage et la réutilisation de l'eau. Pour une approche globale mise en place pour l'installation, voir les données de fonctionnement ci-dessous.

L'accroissement de la récupération des pertes par entraînement et le fonctionnement en circuit fermé nécessitent la mise en place de techniques destinées à :

- réduire la perte par entraînement, voir section 4.6 ;
- réduire l'eau de rinçage (tel que le rinçage en cascade et/ou par pulvérisation) avec récupération des pertes par entraînement, voir section 4.7 ;
- concentrer le renvoi des pertes par entraînement ou les solutions les recevant, à l'aide, par exemple de l'échange d'ions, de techniques utilisant des membranes, ou de l'évaporation, voir section 4.10. L'eau éliminée au cours d'un processus de concentration (par exemple par évaporation) peut souvent être recyclée en eau de rinçage.

Les exemples de techniques mises en place dans ce but sont par exemple :

- l'ajout d'une cuve d'éco-rinçage ;
- l'évaporation utilisant un surplus d'énergie interne ;
- l'évaporation utilisant une énergie supplémentaire (et dans certains cas, une pression basse) ;
- l'électrodialyse ;
- l'osmose inverse.

Les principes d'élimination d'eau de rinçage et de concentration chimique sont présentés sur la figure 4.15. Le concentré est utilisé pour régénérer la solution de traitement tandis que le condensat peut être réutilisé sous la forme d'eau de rinçage.

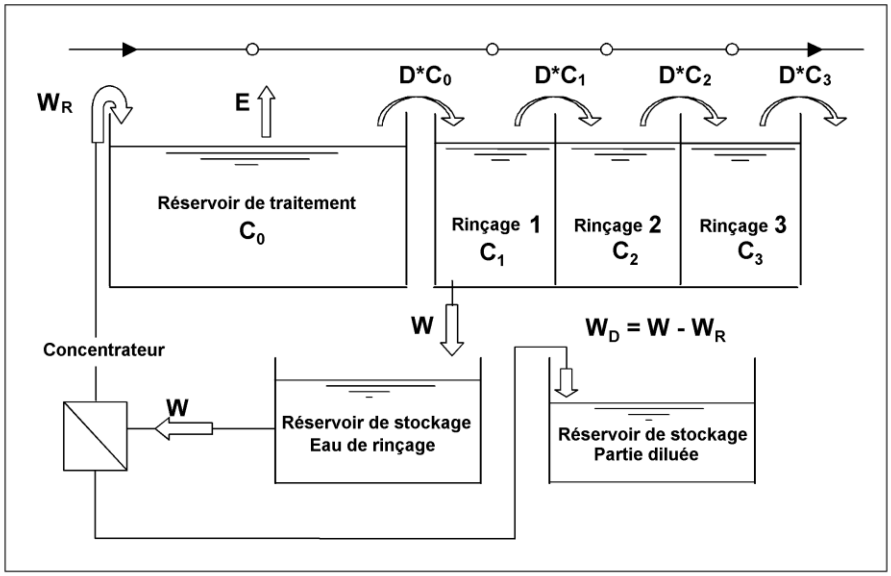


Figure 4.15 : Eau de rinçage et récupération chimique grâce à un procédé de concentration

Bénéfices environnementaux atteints
Voir les bénéfices environnementaux globaux obtenus, section 4.7.10.

Le fonctionnement en circuit fermé permet d'obtenir un taux d'utilisation élevé des matières premières et permet en particulier de :

- réduire l'utilisation (et donc le coût) des matières premières et de l'eau ;
- en tant que technique de traitement à source ponctuelle, obtenir des valeurs limites d'émission faible ;
- réduire le besoin de traitement des eaux résiduaires de fin de procédés (par exemple, éliminer le nickel en contact avec un effluent contenant du cyanure) ;
- réduire l'utilisation globale d'énergie lorsque cette technique est utilisée conjointement avec un système d'évaporation destiné à remplacer les systèmes de refroidissement ;
- réduire l'utilisation de produits chimiques de traitement des matériaux récupérés qui seraient autrement déversés dans les eaux résiduaires ;
- réduire la perte de matériaux persistants, comme par exemple le PFOS, lorsqu'ils sont utilisés.

Effets d'interaction
Voir la section 4.7.10, applicabilité globale.
La durée de vie des bains de traitement peut être affectée par le recyclage de produits contaminants, et peut nécessiter un entretien supplémentaire.
De l'énergie est utilisée pour les techniques de concentration, bien qu'en moins grande quantité pour les traitements qui gagnent de la chaleur venant de réactions électrochimiques, comme le Cr(VI) hexavalent. De l'énergie est également nécessaire pour les techniques de pompage et de filtration sous pression.
Les produits chimiques sont utilisés dans certaines techniques de concentration, tel que l'échange d'ions.

Données opérationnelles
Voir les techniques individuelles, section 4.7.10.1 à section 4.7.10.4.

Les règles de bonnes pratiques montrent que l'on peut accroître la récupération des pertes par entraînement à l'aide d'autres options sur l'ensemble d'une installation. Ces options peuvent combiner des effluents compatibles provenant de différents procédés afin de les soumettre à un traitement de purification/récupération.

Applicabilité
L'augmentation de la récupération des pertes d'entraînement est largement mis en pratique. Certaines techniques nécessitent une consommation d'énergie supplémentaire, ce qui signifie un accroissement des coûts, qui peuvent être compensés par des économies réalisées sur l'énergie nécessaire au refroidissement et la récupération des pertes par entraînement. La teneur en produits chimiques de l'eau de rinçage à traiter affecte également le choix de la technique.

Un fonctionnement en circuit fermé a été mis en œuvre de manière réussie pour certains substrats pour :

- des métaux précieux ;
- du cadmium ;
- un nickelage au tonneau ;
- du cuivre, du nickel et du chrome hexavalent destiné à un dépôt décoratif sur montage ;
- du chrome hexavalent décoratif ;

- du chrome dur hexavalent ;
- un attaque chimique au cuivre sur des cartes de circuits imprimés.

Le type de système installé dépend de l'infrastructure existante et de l'installation ainsi que du type de traitement.

Aspects économiques
Voir la section 4.7.10, applicabilité globale. Les aspects économiques dépendent du site. Les coûts d'exploitation et les coûts d'investissement engendrés par la mise en place des techniques peuvent être compensés par la récupération des produits chimiques de traitement, qui peut s'élever à une valeur >95 %. De même, ces techniques permettent de réduire les coûts d'exploitation et/ou l'investissement dans une station de traitement des eaux résiduaires. Des étapes supplémentaires entraînent une perte de la capacité de production de la chaîne de traitement (un accroissement du nombre de cycles).

Des outils logiciels peuvent contribuer à la planification des calculs, voir section 4.1.4 et l'annexe 8.11.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir les aspects économiques globaux, section 4.7.10
Coûts réduits

Exploitations de référence
Voir les techniques individuelles, section 4.7.10.1 à section s 4.7.10.4 et 4.7.11.5, et les installations de référence K et L, annexes 8.5.8 et 8.5.9.
Bodycote, Uxbridge, RU (West Middlesex Plating)
Merrydale, Wednserbury, RU

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003], [18, Tempany, 2002, 48, France, 2003, 49, France, 2003, 55, France, 2003, 113, Autriche, 2003, 162, USEPA, 2000]

4.7.11.1 Ajout d'une cuve d'éco-rinçage

Description
Le fonctionnement d'un réservoir d'éco-rinçage est décrit dans la section 4.7.4. Cette mesure seule peut permettre de récupérer 50 % de la perte par entraînement ; et peut contribuer à l'obtention de taux supérieur à 50 %. Le taux total peut être calculé lorsque 50 % des valeurs du tableau 4.8 sont prises en compte, par exemple, pour un triple rinçage statique dans un traitement de dépôt au tonneau :

$$Rc_R \text{ total} = 50\ \% + 0{,}5\ (40)\ \% = 70\ \%$$

ce qui équivaut à un augmentation de 75 % et à une réduction de la consommation d'eau de rinçage supérieure à 20 %

Bénéfices environnementaux atteints
Cette technique peut être envisagée lorsque d'autres alternatives ne peuvent être mises en place ou en tant qu'étape d'un procédé de traitement comportant plusieurs étapes de rinçage.

Effets multimilieux
Voir la section 4.7.4

Données opérationnelles
Voir la section 4.7.4. Cette technique nécessite un espace supplémentaire pour la chaîne de traitement ainsi que la programmation d'un poste de traitement en plus sur les chaînes de traitement automatiques.

Applicabilité
L'ajout d'une cuve d'éco-rinçage nécessite de disposer d'une surface supplémentaire pour la chaîne de traitement.
Cette technique peut également être utilisée pour minimiser l'utilisation de produits chimiques dans des bains de dépôt métallique, lorsque la concentration en métaux et autres ions doit être accrue à l'aide de sels pour qu'un certain niveau y soit maintenu. Dans certains traitements, un pré-trempage peut provoquer des problèmes, voir section 4.7.4.

Aspects économiques
Voir la section concernant les aspects économiques globaux 4.7.1

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir la section 4.7.1 concernant les aspects économiques globaux

Documentation de référence
[3, CETS, 2002] [113, Autriche, 2003]

4.7.11.2 Evaporation à l'aide d'un excédant d'énergie thermique interne.

Description
L'évaporation est un processus atmosphérique et est obtenue ici grâce à l'utilisation de l'excédent d'énergie thermique dans le procédé de traitement et générée par le rendement électrique médiocre de la solution. La quantité d'énergie nécessaire à l'évaporation correspond grossièrement à l'énergie libérée dans la cuve de traitement sous la forme d'énergie thermique, ainsi, le système est autosuffisant en terme énergétique. Le taux d'évaporation peut être accru par l'utilisation de l'agitation par air, ou l'utilisation d'un évaporateur (voir section 4.4.4.2). Dans ce cas, la solution de traitement est pompée au travers de l'évaporateur où elle entre en contact avec un flux d'air soufflé au travers de l'évaporateur vers l'atmosphère. La chambre de l'évaporateur est généralement emplie d'un matériau de remplissage pour accroître la surface d'évaporation. Les évaporateurs chauffés sont décrits ci-dessous dans la section 4.7.11.3.

L'évaporation provenant du procédé de traitement peut être causée par :

- une température de traitement élevée, par exemple, >80 °C pour le nickelage autocatalytique et >55 °C pour le nickelage électrolytique et supérieur à 90 °C pour une phosphatation (voir la figure 4.16)
- le refroidissement de la solution de traitement par évaporation pour maintenir une température de traitement constante, comme par exemple dans le zingage cyanuré au tonneau à une température <25 °C, le chromage brillant à 40 C et le chromage dur à 60°C.

L'évaporation de 1 litre d'eau nécessite approximativement 1,4 kWh.

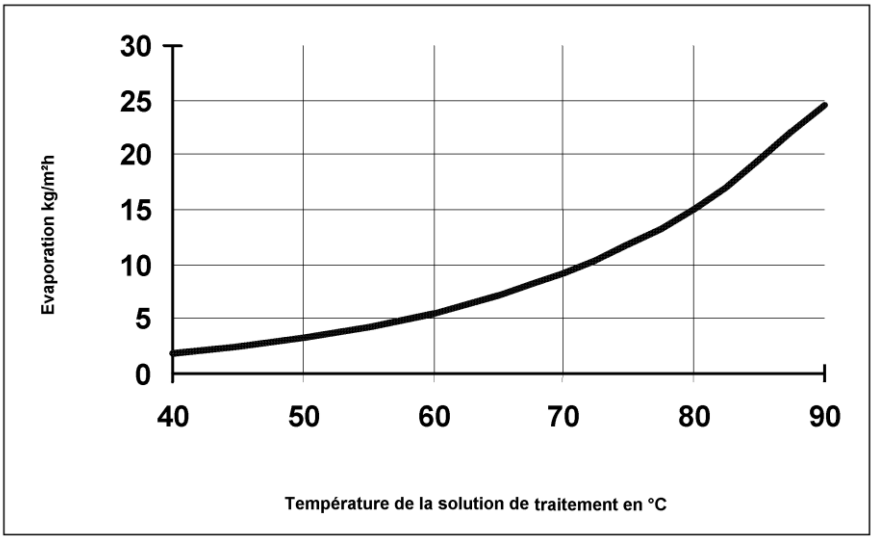


Figure 4.16 : Evaporation spécifique en eau provenant des solutions de traitement, avec extraction des émanations au niveau du réservoir de traitement

Les pertes d'évaporation suivant les paramètres de fonctionnement de l'exemple précédent peuvent être calculés comme suit :

Dépôt sur support

- superficie de la solution de dépôt 6 m^2
- évaporation de l'eau à 60 ° 5,5 litres/m^2h
- évaporation de l'eau 33 litres/h

Dépôt au tonneau

- énergie de dépôt/tonneau 2,5 kWh
- énergie de dépôt total 25 kWh
- évaporation en eau équivalente 35 litres/h

Un exemple de calcul est donné dans l'annexe 8.11 pour le zingage au tonneau et des exemples sont présentés dans l'annexe 8.5.

Des quantités équivalentes d'eau de rinçage avec une solution de traitement diluée peuvent être réinjectées dans la cuve de traitement. Le taux de récupération est directement lié à la concentration en produits chimiques dans l'eau de rinçage, et cette dernière dépend elle-même de la technique de rinçage choisie. Le choix d'une technique appropriée est esquissé ci-dessous.

Une technique de récupération des pertes par entraînement est décrite dans la section 4.7.4, pour les cas où l'évaporation n'est pas particulièrement importante.

Bénéfices environnementaux atteints
Meilleure récupération de la perte par entraînement.
Cette technique peut faire partie d'un système en circuit fermé pour différentes étapes de traitement spécifiques.

Effets d'interaction
Réduction du besoin en ~~de~~ systèmes de refroidissement.

Formation éventuelle d'émanations dangereuses à des niveaux de température de fonctionnement plus élevés pour certains traitements. L'extraction des vapeurs de la chaîne de traitement fait partie de l'évaporation. L'air évacué peut nécessiter d'être épuré. Les condensats d'épuration peuvent être traitées dans une station de traitement des eaux résiduaires classiques. Les produits de décomposition sont concentrés, un entretien supplémentaire des solutions est donc nécessaire.

Données opérationnelles
L'évaporation est utilisée de manière optimale avec des solutions de traitement exploitées à température élevée, en particulier les électrolytes de chrome. Conjointement avec la technologie de rinçage à étape multiple (en pratique, jusqu'à cinq étapes de rinçage), la procédure peut fonctionner quasiment sans production d'eaux résiduaires. Une évaporation suffisante se produit à température ambiante. Dans le cas du chromage hexavalent, l'acide chromique perdu par entraînement du bain de traitement dans les rinçages est récupéré de manière quasi complète dans la solution. Des pertes minimales d'acide chromique sont à envisager au travers de l'air évacué et suite à la régénération des électrolytes.

L'évaporation peut être accrue en utilisant un dispositif d'agitation par air et/ou un évaporateur afin d'accroître la surface (voir les sections 2.7.4, 2.7.5 et 4.7.11.3).

Applicabilité
Toutes les solutions de traitement, en particulier celles présentant un rendement électrique médiocre et dans lesquelles la solution de traitement chauffe et est souvent refroidie par évaporation (voir section 4.4.4.2). Des électrolytes de chrome hexavalents sont particulièrement adaptés à cette technique.

Cette technique peut également être utilisée avec des solutions chimiques à chaleur de réaction élevée.

Les situations météorologiques régionales peuvent également affecter l'applicabilité de la technique.

Aspects économiques
Cette technique nécessite peu ou pas d'investissement dans l'installation.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir les aspects économiques globaux, section 4.7.10

Exploitations de référence
Voir les installations de référence de l'annexe 8.5

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002, 104, UBA, 2003] [124, Allemagne, 2003] [113, Autriche, 2003]

4.7.11.3 Evaporation utilisant l'énergie supplémentaire provenant d'un évaporateur

Description
Dans des installations de traitement électrochimiques, les évaporateurs atmosphériques sont utilisés pour concentrer de l'eau de rinçage, qui est réinjectée dans la cuve de traitement. Les évaporateurs utilisés dans l'industrie fonctionnent généralement à des

températures comprises entre 20 et 200 °C et à des pressions comprises entre 0,1 et 1 bar. Généralement, les évaporateurs utilisés dans les ateliers de dépôt électrolytiques sont équipés d'un système de récupération d'énergie (évaporateurs sous vide dotés d'une pompe à chaleur ou de compression de vapeur) et nécessitent approximativement 150 à 200 kWh par mètre cube d'eau évaporée.

Les principes de l'évaporation naturelle (voir section 4.7.11.2) et des évaporateurs sont approximativement les mêmes, l'évaporateur peut cependant être mis en pratique de manière plus universelle car ses performances sont ajustables indépendamment des conditions de traitement, (voir les sections 2.7.4 et 2.7.5).

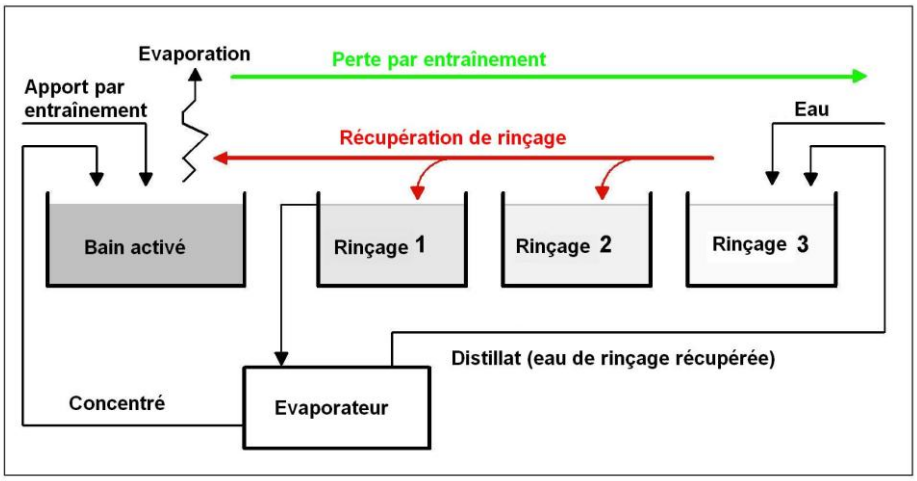


Figure 4.17 : Schéma de principe de l'évaporateur

Bénéfices environnementaux atteints
Voir les bénéfices environnementaux globaux obtenus, section 4.7.10.

Effets multimilieux
Une énergie supplémentaire de l'ordre de 150 à 200 kWh/m^3 d'eau peut être utilisée dans les évaporateurs, soit sous la forme d'entrée de chaleur et/ou d'une réduction de pression

Afin d'empêcher des gouttelettes d'eau contaminée d'être projetées dans l'atmosphère, la cuve d'évaporation peut être équipée d'un dévésiculeur en sortie. Les performances du système d'évaporation dépendent de la température et de l'humidité de l'air, il est de plus probable que des différences régionales significatives soient constatées.

Données opérationnelles
Avec l'évaporation d'électrolytes dilués à un niveau de température d'ébullition normale de l'eau, des additifs organiques des électrolytes peuvent être détruits. Les systèmes d'évaporateur sous vide se sont donc développés et fonctionnent à des pressions bien inférieures et à basses températures. Du fait de demandes importantes sur les matériaux composant de tels systèmes, ces derniers sont plus onéreux que des systèmes moins complexes.

Applicabilité
S'applique à toutes les solutions de traitement thermostables.

Bien qu'il ne dépende d'un excédent d'énergie provenant du bain de traitement (voir section 4.7.11.2), le traitement fonctionnera de manière plus efficace avec des solutions

chaudes, ou avec celles disposant d'un rendement électrique médiocre dans lesquelles la solution de traitement chauffe et est souvent refroidie par évaporation (voir section 4.4.4.2).

Les conditions météorologiques régionales peuvent également affecter l'applicabilité de la technique.

Pour garantir un investissement approprié, tous les produits chimiques de traitement contenus dans la solution de traitement doivent être testés afin de s'assurer de leur compatibilité avec le système d'évaporation avant l'introduction de cette technique.

En plus de l'évaporation des électrolytes au chrome, les évaporateurs sont également utilisés pour la concentration des eaux de rinçage provenant des traitements de cadmiage, nickelage, zingage cyanuré ou d'acides électrolytiques. Avec les solutions au zinc, les électrolytes ont tendance à former de la mousse qui nécessite un traitement supplémentaire.

Les évaporateurs sont utilisés de manière croissante pour la réinjection d'électrolytes provenant des eaux de rinçage. L'utilisation de matériaux de traitement en cycle totalement fermé à l'aide d'un évaporateur permettant la réinjection complète de l'eau de rinçage pour certaines étapes de traitement est envisageable.

Aspects économiques
Voir les aspects économiques globaux, section 4.7.10.

L'installation de l'évaporateur (avec ou sans dispositif à vide), généralement avec un réservoir de stockage, génère des coûts d'investissement. Des coûts énergétiques supplémentaires sont générés, bien qu'ils puissent être limités pour les traitements à solution chaude. Les économies d'échelle proviennent des matériaux récupérés, de l'utilisation réduite de matériaux de traitement de l'effluent et dans certains cas, d'une réduction de l'investissement en capitaux dans une station de traitement des eaux résiduaires.

Les aspects économiques de la récupération de matériaux et de la réduction de l'utilisation de l'eau, par rapport au coût lié à l'augmentation du nombre de cuves de rinçage dans une étape de rinçage, l'amélioration de l'installation, etc., peuvent être calculés à l'aide des données fournies dans cette section (avec les données spécifiques à l'installation). Ils peuvent également être calculés à l'aide de logiciels destinés à l'optimisation de l'installation, voir section 4.1.4 et l'annexe 8.11 et les exemples concernant le rinçage après nettoyage, après décapage, après nettoyage électrolytique, après revêtement métallique et conjointement avec une évaporation forcée, ainsi qu'après un traitement de passivation.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir les aspects économiques et globaux, section 4.7.10

Exploitations de référence
Frost Electroplating Ltd, Birmingham, RU; Merrydale, Wednesbury, UK, Sikel S.A. Genk, Belgique, Disflex France (Breuil le sec), TMN (Notre Dame de Gravenchon), France, ACRODUR (Carrière sur Seine), France (voir section 4.7.11.6)

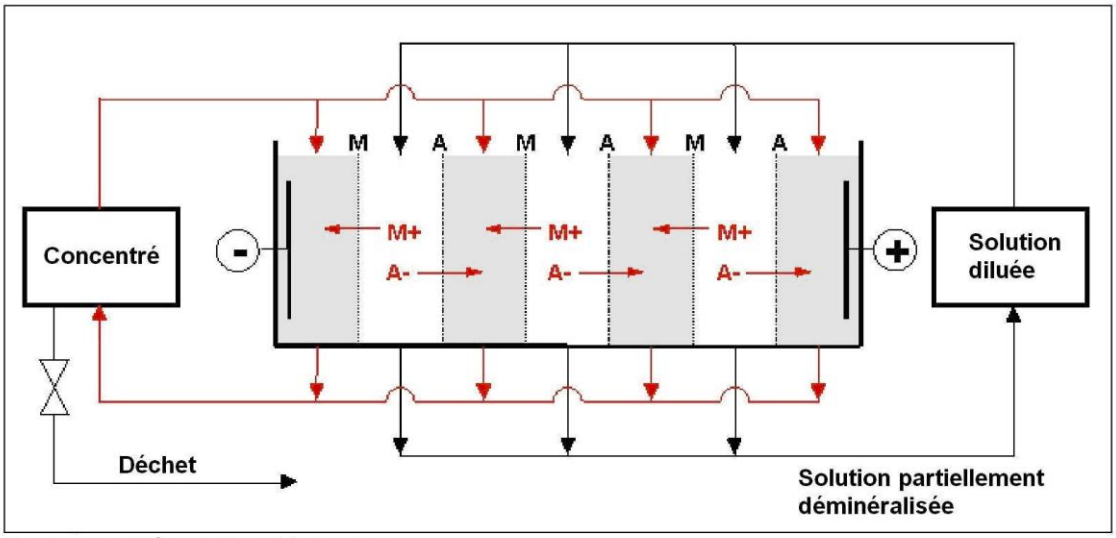
Documentation de référence

[18, Tempany, 2002, 104, UBA, 2003], [119, Eurofer, 2003], [124, Allemagne, 2003], [124, Allemagne, 2003], [119, Eurofer, 2003, Tchèque, 2003 #116]

4.7.11.4 Electrodialyse

Description

L'électrodialyse est un processus à membrane, dans lequel un champ électrique entraîne le transfert de matériau. Des anions et des cations sont éliminés des solutions à l'aide d'un champ électrique appliqué sur des cellules dotées de membranes alternativement perméables aux anions et aux cations. Cette technique est utilisée à la fois pour la concentration de solutions diluées et pour la déminéralisation de l'eau.



Remarque : M^+ = cation. A^- = anion

Figure 4.18 : Principe fonctionnel de l'électrodialyse
[104, UBA, 2003]

Bénéfices environnementaux atteints

Réduction de la consommation d'eau
Accroissement de la récupération des pertes par entraînement

Effets d'interaction

Nécessité d'intrants énergétiques

Données opérationnelles

Afin d'allonger la durée de vie des membranes :

- les membranes doivent être protégées contre la pollution mécanique à l'aide d'une étape de pré-filtration ;
- le blocage des membranes par des matériaux organiques (tel que les huiles) doit être évité ;
- le blocage de la surface de la membrane peut être évité par un rinçage régulier et une inversion de polarité (changements des pôles).

Applicabilité

La technique est utilisée en traitement de surface pour récupérer les sels de nickel de l'eau de rinçage.

Aspects économiques
Les critères d'application économique de l'électrodialyse prennent en compte la durée de vie des membranes, le rendement de l'installation pour la séparation des composants et le rendement par kWh.

Documentation de référence
[104, UBA, 2003], [113, Autriche, 2003, 162, USEPA, 2000]

4.7.11.5 Osmose inverse – Dépôt électrolytique en cycle fermé

Description
L'osmose inverse (OI) utilise un gradient de pression hydrostatique sur une membrane semi-perméable pour séparer l'eau d'une solution de sels. La pression appliquée dépasse la pression osmotique de la solution fournie, entraînant un écoulement de l'eau de la solution concentrée vers la solution plus diluée : l'inverse de la diffusion osmotique naturelle. Les solides dissous sont rejetés par la surface de membrane. De nombreux ions multi-chargés peuvent être rejetés dans des proportions dépassant 99 %. Les ions mono-chargés présentent généralement des taux de rejet de l'ordre de 90 à 96 %.

Figure 4.19 : Installation d'osmose inverse
Menoni S.A. et Agence de l'eau Seine-Normandie

Bénéfices environnementaux atteints
Techniques utilisées pour concentrer les eaux de rinçage et récupérer les matériaux, permet de traiter les eaux résiduaires et l'eau entrante ou recyclée.

Effets d'interaction
De l'énergie est nécessaire pour le maintien de la pression.

Données opérationnelles
L'osmose inverse est utilisée dans l'industrie de finitions de surfaces afin de purifier l'eau de rinçage et de récupérer les produits chimiques contenus dans les eaux de rinçage. Cette technique a également été utilisée pour purifier l'eau brute afin de générer une eau déionisée de haute qualité dans les solutions de rinçage et de revêtement

métallique. La figure 4.19 présente un schéma de principe de l'osmose inverse pour des applications destinées à l'eau de rinçage. Les applications d'osmose inverse impliquant la séparation des pertes par entraînement de produits chimiques de revêtement métallique de l'eau de rinçage ont principalement été utilisées dans des opérations de nickelage (sulfamate, fluoroborure, nickel Watts et brillant). D'autres applications fréquentes impliquent le cuivre (acide et cyanuré) et le zinc acide. Récemment, une OI a été mise en œuvre de manière satisfaisante pour de l'eau de rinçage de chromage. Lorsqu'elle est configurée de manière classique, l'unité d'OI est exploitée en cycle fermé avec le premier rinçage consécutif au revêtement métallique. Le concentrat recyclé est renvoyé dans le bain de dépôt et le perméat (eau) recyclé est réutilisé dans l'étape de rinçage finale. L'osmose inverse est fréquemment utilisée dans les applications de traitement des eaux (avec ou sans échange ionique) nécessitant la production d'une eau de haute qualité issue de sources à teneur élevée en matières solides dissoutes. Un recyclage des eaux résiduaires à grande échelle est une évolution importante de l'application de l'OI dans l'industrie des finitions de surface.

La performance membranaire de toutes les membranes à base de polymère décroît dans le temps et l'écoulement (flux) d'infiltration et les performances de rejet des membranes s'en trouvent réduites. Les membranes d'OI sont susceptibles d'être encrassées par des matières organiques, la dureté de l'eau, et les solides en suspension dans le flux d'eau ou par des matériaux qui se précipitent au cours du traitement. L'installation de pré-filtre peut réduire la quantité de solides dans le flux fourni. Le changement de paramètres fonctionnels, tel que le pH, gêne la précipitation. Des produits chimiques oxydants comme le peroxyde, le chlore et l'acide chromique peuvent également endommager les membranes de polymère. Les solutions acides et alcalines présentant des concentrations supérieures à 0,025 mole peuvent également détériorer les membranes. Dans la plupart des applications, la solution d'alimentation présentera une pression osmotique significative qui devra être surmontée par la pression hydrostatique. Cette exigence de pression limite l'application pratique de cette technologie aux solutions présentant des concentrations de matières totales dissoutes inférieures à approximativement 5000 ppm (à l'exception des applications utilisant des tubes à disque). Des niveaux ioniques spécifiques du concentré doivent être maintenus en deçà des points de solubilité du produit pour éviter la précipitation et l'encrassement. Les espèces ioniques diffèrent en fonction du pourcentage de rejet. Certains ions, tel que les borates, manifestent des taux de rejet relativement faibles pour des membranes conventionnelles.

Applicabilité
Voir les données de fonctionnement ci-dessus

Aspects économiques
Voir les exemples d'installation ci-dessous. La période d'amortissement peut être réduite (voir les exemples d'installation, BGT Eindhoven)

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Récupération des matériaux, recyclage de l'eau, investissement et coûts d'exploitation réduits dans une station de traitement des eaux résiduaires classique.

Exploitations de référence
BGT Eindhoven, Pays-Bas
Disflex France, Breuil le Sec,
France

Les données suivantes concernent : Disflex France.
Le nickel est déposé sur un support souple avant de subir un chromage décoratif.

L'eau provenant du premier rinçage en cascade est récupérée. Cette eau est riche en nickel provenant de la perte par entraînement, et elle est acheminée au travers de charbon actif et est envoyée vers un réservoir tampon. La solution est pompée à une pression de 20 bars au travers des membranes de l'unité d'osmose inverse. La solution de nickel récupérée est renvoyée vers le bain de traitement et l'eau est réinjectée dans la première étape des rinçages en cascade.

Les conditions de traitement sont :

- une température de bain de nickel à 60 °C ;
- un volume de bain de nickel de 6 000 l ;
- une concentration du bain de nickel de 80 g/l ;
- cinq cuves de rinçage en cascade, de volume de 400 litres ;
- volume du réservoir tampon(après passage sur charbon actif et avant l'osmose inverse) : 300 litres.

Afin d'évaluer le rendement du système, les chiffres de concentration en nickel des différentes étapes de rinçage en cascade doivent correspondre à :

- bain de nickel = 80 g/l
- rinçage 1 Ni = 6,3 g/l
- rinçage 2 Ni = 1,6 g/l
- rinçage 3 Ni = 0,54 g/l
- rinçage 4 Ni = 0,250 g/l (250 mg/l)
- rinçage 5 Ni = 0,065 g/l (65 mg/l).

L'unité n'est pas de grande taille et comprend deux blocs de membrane d'une longueur d'un mètre chacun.

Bénéfices
La récupération de la solution de nickel, à la fois du métal et d'autres additifs.
Coûts de traitement des eaux résiduaires réduits
Consommation d'eau réduite.

Aspects économiques
Dans cet exemple :

- consommation électrique de la pompe : 2,5 kWh
- coût d'entretien des membranes (changement et nettoyage) : 2 000 euros en 3 ans
- surveillance du système (en termes de durée et de main d'œuvre), contrôle des niveaux et nettoyage des filtres :
- 1 heure chaque jour
- coût de l'unité d'osmose inverse : 30 000 euros.

Autres forces motrices de mise en œuvre
Aucune perte de nickel dans les déchets solides ou l'eau. La totalité de la quantité de nickel achetée est déposée, le rendement est donc de 100 %.

Les produits sont de meilleure qualité car le rinçage est plus efficace.

Documentation de référence
[55, France, 2003, 162, USEPA, 2000, 166, RIZA, 2004]

4.7.11.6 Chromage électrolytique – dépôt électrolytique en cycle fermé

Description
Le dépôt de Cr(VI) hexavalent peut être réalisé en cycle fermé pour le chrome. A cette fin, une combinaison de rinçage en cascade et d'un évaporateur est utilisée pour garantir que l'eau de rinçage conserve son équilibre avec l'évaporation.

La technique d'échange d'ions est utilisée pour éliminer les impuretés accumulées.

Bénéfices environnementaux atteints
Aucun rejet de Cr(VI) ou d'autres matériaux du traitement vers les eaux résiduaires. Ceci permet de minimiser les coûts d'investissement liés au procédé et l'utilisation des produits chimiques et de l'énergie nécessaires.

L'acide chromique et d'autres composants (tel que des agents antimousse, par exemple, du PFOS) sont recyclés au cours du traitement.

Effets d'interaction
Les bains de dépôt de Cr(VI) hexavalents sont pollués par des cations inorganiques provenant des métaux traités et de la réduction de l'acide chromique. Ces impuretés doivent être maintenues à un niveau de concentration bas afin de ne pas gêner l'opération de chromage.

De l'énergie est utilisée pour contribuer à l'évaporation.

Données opérationnelles
Le bain de dépôt est suivi d'un rinçage en cascade inversé. L'eau de rinçage est traitée sur des résines cationiques (pour y retenir le Cr(III) et d'autres cations) et est ensuite concentrée sur un évaporateur afin d'obtenir un concentré riche en acide chromique. Cet acide est renvoyé vers le bain d'exploitation. Le distillat est recyclé dans l'étape de rinçage.

L'évaporateur réduit les rinçages jusqu'à ce qu'une concentration de 250 à 280 g/l soit obtenue, ou une concentration intermédiaire (120 g/l), qui peut être renvoyée vers la solution de dépôt, où l'évaporation naturelle du bain contribue à la concentration.

Il existe un optimum de rendement qui est un compromis entre la consommation nécessaire d'électricité destinée à l'évaporation et la consommation d'eau utilisée pour la ré-alimentation du rinçage.

La taille de l'équipement dépend de la quantité de pertes par entraînement polluantes. Les flux d'évaporation se situent en règle générale entre 60 et 200 l/h.

Les échangeurs d'ions recueillent les cations métalliques dans les étapes de rinçage avant évaporation. La régénération des échangeurs d'ions est effectuée dans un centre de traitement des déchets dangereux.

Le problème de la corrosion peut éventuellement se présenter, en fonction de la qualité de l'alliage de l'évaporateur.

Applicabilité

Toutes les installations de dépôt de Cr(VI)

Aspects économiques
Les coûts d'investissement dépendront de l'installation existante et des éléments moteurs, comme par exemple la nécessité de réduire les des rejets de Cr(VI), l'augmentation de la capacité de la station de traitement des eaux résiduaires, etc. Les coûts d'entretien et énergétiques sont plus élevés.

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Exploitations de référence
Disflex France (Breuil le sec), TMN (Notre Dame de Gravenchon), ACRODUR (Carrière sur Seine)

Documentation de référence
[48, France, 2003]

4.7.12 Combinaison de techniques et d'approches au niveau de l'installation dans sa globalité

Description générale
Certaines techniques peuvent être utilisées plus largement au sein de l'installation en combinaison avec d'autres techniques afin d'atteindre les objectifs environnementaux généraux de l'installation (voir section 4.1.1 (a) et (b)).

Les sections précédentes (4.4.5.3, 4.5, 4.6 et 4.7) décrivent des techniques ponctuelles basées sur une chaîne de traitement ou un traitement afin de :

- réduire la consommation d'eau en récupérant et en réutilisant l'eau ;
- réduire la consommation de matériaux grâce à la récupération et à la réutilisation de ces derniers.

Ces techniques et d'autres peuvent utilisées afin d'atteindre les objectifs ci-dessus pour l'ensemble de l'installation et de minimiser la production d'eaux résiduaires et son traitement. Cependant, une vision d'ensemble est nécessaire, qui prenne en compte, par exemple :

- les détails des objectifs ;
- l'équipement existant (y compris l'infrastructure comme par exemple une station de traitement des eaux résiduaires existantes), les changements existants ou planifiés des traitements ;
- l'état/la possibilité d'adapter l'équipement aux tâches en cours ou planifiées ;
- les pressions incitant au changement, telles que le respect de normes de qualité environnementales ;
- les coûts, y compris le point de la courbe de dépréciation de l'équipement existant.

L'utilisation d'options ponctuelles et de systèmes centralisés ou combinés pour la purification/récupération des différents types de matériaux fait l'objet de compromis. Par exemple, des systèmes de recyclage uniques à emplacement fixe (par exemple, une unité d'osmose inverse/d'échange ionique destinée au recyclage des eaux de rinçage provenant de plusieurs chaînes de traitement). Une autre stratégie combinée serait d'utiliser un système mobile afin de réaliser une purification/une récupération ponctuelle de plusieurs lieux d'émission. Par exemple, un système unique et mobile de dialyse par

diffusion pourrait être utilisé pour purifier/recycler plusieurs bains d'acide différents. Les stratégies combinées peuvent être plus rentables, grâce aux économies d'échelle réalisées, à moins qu'il y ait une augmentation substantielle des coûts liés aux interactions avec d'autres équipements comme par exemple : une station de traitement des eaux résiduaires classiques est basé sur la combinaison de tous les flux de l'installation (voir les sections 2.13.1 et 4.1.6). Les systèmes de source ponctuelle, peuvent, partiellement ou totalement, offrir plus de flexibilité, de redondance, de fiabilité et peuvent être plus rentables. Dans certains cas, des techniques peuvent être combinées afin d'obtenir un rejet zéro, ou proche de zéro (voir section 4.16.12).

Exemples de techniques combinées

Il existe plusieurs types de techniques qui peuvent être utilisés afin de permettre la réutilisation de l'eau dans des procédés de traitements et/ou destinés à ce que le nettoyage final des eaux résiduaires réponde aux exigences d'émission réduite, voir les annexes 8.5 et 8.11.

Description

Le nettoyage final des eaux résiduaires par l'utilisation d'une résine d'échange cationique chélatante est plus efficace lorsqu'il est effectué après une élimination effective des métaux. Cette dernière peut être réalisée grâce à des techniques destinées à empêcher le passage des matières premières ou à les retenir (par exemple, voir les sections 4.6 et 4.7), des électrolytes (voir section 4.11.9) et/ou par précipitation (voir section 4.16.7). Le rendement de la résine d'échange cationique chélatante dépend également du pH de l'effluent. Le pH optimum est différent pour chaque métal. [121, France, 2003].

L'élimination du métal (par exemple, par électrolyse) peut être réalisée de la manière la plus simple au niveau des étapes de rinçage (voir la figure 4.20 section 4.7), lorsque le métal est le plus concentré et avant que la solution ne soit mélangée à d'autres contaminants. Des cellules électrolytiques à rendement élevé accroissent la durée de vie de la résine d'échange d'ions.

La combinaison de l'électrolyse et les technologies de lits fluidisés peut être utilisée, que les procédés soient utilisés seuls ou combinés à des technologies d'échange d'ions et des membranes semi-perméables destinées à récupérer les métaux des solutions aqueuses polluées, voir section 4.12.1 (certaines de ces techniques sont des techniques privées brevetées).

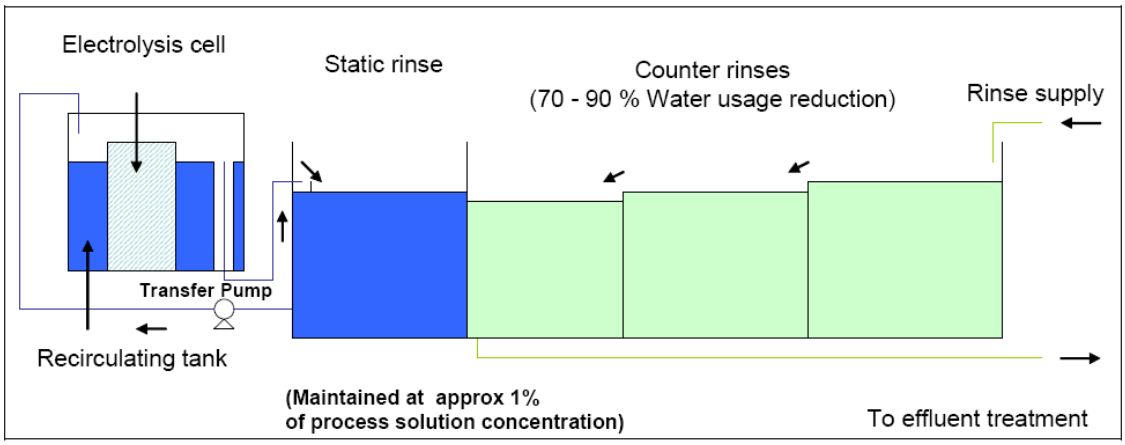


Figure 4.20 : Elimination du métal perdu au cours d'une étape de rinçage avant une température d'échange ionique
Cellule Chemelec, BEWT Environmental Services Ltd.

Bénéfices environnementaux atteints
Obtention de niveaux faibles de rejet métallique.
Potentiel de réutilisation des eaux de rinçage.

Les systèmes d'échange d'ions nécessitent beaucoup d'espace, non seulement pour la disposition des colonnes de résine mais également pour l'installation de régénération. Ils exigent également un degré de compétence suffisant pour contrôler la régénération et la qualité de l'eau produite. Dans les petites installations, des systèmes commerciaux sont mis en place dans lequel les colonnes de résine sont échangées par un fournisseur qui régénère les résines dans d'une installation centralisée.

Effets d'interaction
Consommation énergétique, en particulier pour des concentrations faibles, à moins qu'une cellule à rendement élevé soit utilisée.

Données opérationnelles
Voir la section

Applicabilité
Possibilité d'application large avec les métaux précieux et les métaux non précieux.

Aspects économiques
De nombreux paramètres peuvent avoir un effet significatif sur les coûts d'investissement mais les paramètres principaux sont le flux continu au travers de l'échange d'ions et le niveau de contamination métallique. L'introduction d'un système de récupération des métaux dans la chaîne de traitement peut éliminer 95 % du métal transféré vers l'échangeur d'ions, entraînant un accroissement de 2000 % du temps avant que la résine ait besoin d'être "régénérée" (ou, alternativement, la quantité de résine et donc la taille et le coût de l'équipement peuvent être significativement réduits) :

- capacité nominale :
  - <1 m^3/h à 100 ppm 25 000 £ (36 360 euros) (juin 2003)
  - <3 m^3/h à 100 ppm 47 000 £ (68 356 euros)

Traitement de l'effluent : les unités autonomes, qui nécessitent des travaux de génie civil minimales pour leur installation (c'est-à-dire, des installations de conduites et un emplacement à niveau), sont de conception modulaire et peuvent répondre à une gamme de flux continu d'effluent de 0,5 à 9,0 mètres cube/heure de solution de rinçage. Les coûts d'investissement varient en fonction du nombre d'étapes de traitement avant la cuve de décantation finale et le niveau de surveillance de traitement qui doit être incorporé ainsi que le procédé d'évacuation en dehors du site. Les coûts de fonctionnement dépendent quasi totalement du coût des produits chimiques (acide, alcali, floculant, etc.) nécessaires au prétraitement.

- Capacité nominale :
  - <0,5 m^3/h 11 000 £ (16 240 euros)
  - <3 m^3/h 23 000 £ (33 957 euros)
  - <9 m^3/h 28 000 £ (56 103 euros)

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Politique et législation de protection de l'eau

Exploitations de référence
Pour la récupération du cadmium et la réutilisation de l'eau :

- South West Metal Finishing Ltd, Exeter, RU
- Moores (Wallisdown) Ltd., Bournemouth, RU

Pour le traitement de l'effluent :

- C-TEC Ltd., Leighton Buzzard, RU
- Ekkato Ltd. (Aluminium Thrakis), 19 300 Athènes, Grèce

L'échange par déioniseur est utilisé par plus de 1500 installations en Allemagne.

Documentation de référence
[104, UBA, 2003, 110, BEWT, 2003], [12, PARCOM, 1992]

4.7.13 Rejet zéro

Dans certains cas, des techniques peuvent être combinées afin d'obtenir un rejet zéro d'eau, voir section 4.16.12.

4.8 Autres techniques d'optimisation de l'utilisation de matières premières

4.8.1 Contrôle de la concentration des produits chimiques de traitement

Description
Des solutions de traitement deviennent progressivement inefficaces lorsque la concentration d'exploitation de certains produits chimiques de traitement chute au-dessous des spécifications. L'ajout des produits chimiques de traitement accroît la durée de vie d'une solution, voir section 4.1.2. Les contrôles CSP sont souvent utilisés et/ou d'autres systèmes de gestion de production. Il reste cependant un problème majeur qui consiste à la tendance de certains opérateurs de production à ajouter plus de matériaux que nécessaire.

Lorsque cela est possible, un dosage automatisé est la meilleure option en terme de précision et de fiabilité, permettant des ajouts réguliers et évitant des fluctuations de concentration. Ce dosage peut être actionné sur la base d'une durée, d'une température, d'un débit ou d'un autre paramètre de contrôle, tel que le pH ou le rH (humidité relative ou degré de saturation), etc.
Les traitements existants peuvent être optimisés par les fournisseurs et/ou les compétences internes à l'entreprise afin de réduire la concentration en produits chimiques, en particulier les produits présentant des significatifs sur l'environnement et la santé.

Deux cas doivent être distingués :

- les métaux : l'équilibre des ions métalliques dans le dépôt électrolytique est théoriquement constant entre la quantité dissoute provenant de l'anode et la quantité déposée au niveau de la cathode, mais cet équilibre ne se vérifie pas en pratique, voir section 4.8.2. Dans le dépôt autocatalytique d'un métal ou lors de l'utilisation d'anodes inertes, les ions métalliques doivent être remplacés dans la solution selon leur taux de dépôt et leur perte par entraînement ;

- Produits chimiques de traitement : la concentration d'autres produits chimiques restant dans la solution de traitement, tel que les acides, les alcalis, les sels, les agents brillants/azurants ou les substances tampon, est réduite automatiquement par perte par entraînement d'électrolytes ou par dégradation dans le traitement.

Bénéfices environnementaux atteints
L'extension de la durée de vie de solutions

Réduction d'une sur-utilisation de produits chimiques causée par des ajouts non contrôlés

Effets d'interaction
Aucun

Données opérationnelles
La mesure des composants principaux d'une solution de traitement à intervalles réguliers est nécessaire pour surveiller les taux de consommation, de décomposition et les ajouts réalisés.

La consommation des constituants chimiques individuels composant les solutions de traitement n'est pas uniforme. Des constituants chimiques choisis, soumis à une consommation plus élevée, peuvent être ajoutés séparément. Le dosage choisi des composants peut se révéler problématique lorsque la composition chimique de ces constituants chimiques individuels ne sont pas connus de l'opérateur et qu'ils ne sont pas toujours disponibles sur le marché. Les fournisseurs de produits chimiques peuvent fournir une aide précieuse en conseillant les entreprises sur les paramètres de contrôle et en fournissant des concentrés prêts à être ajoutés. L'ajout de produits chimiques peut être basé sur des études empiriques (expérience pratique) mais l'automatisation de ces ajouts ne s'effectue qu'avec grande difficulté.

Applicabilité
Applicable à toutes les solutions de traitement. L'ajout de produits chimiques de traitement « prêts à l'emploi » est une technologie de traitement générale mise en pratique dans toutes les installations.

Aspects économiques
Extension de la durée de vie des solutions de traitement
Amélioration de la qualité et de la cohérence du traitement

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir les aspects économiques ci-dessus. Cette technique est fréquemment exigée par les clients.

Exploitations de référence
Tous les sites visités ; par exemple, SGI, Plaisir, France; Sikel S.A. Genk, Belgique; Corus, Llanelli, RU

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002, 104, UBA, 2003]

4.8.2 Différents rendements d'électrodes

Description

Le principe de base du dépôt électrolytique de métaux consiste à ce que la concentration des ions métalliques dans la solution reste constante car l'anode de métal se dissout à la même vitesse que le métal est déposé. Cependant, dans les faits, les rendements des électrodes sont fréquemment différents au niveau de l'anode et de la cathode. Un rendement anodique supérieur entraîne un accroissement de la concentration en ions métalliques. Ce phénomène se retrouve dans certains électrolytes, tel que les solutions de nickel et de zinc.

Il existe des moyens pour régler de ce problème, utilisables seuls ou de manière combinée. Les problèmes engendrés, examinés dans la section applicabilité ci-dessous, sont les suivants :

- lorsque la composition électrochimique de la solution le permet, utiliser des anodes insolubles avec dissolution externe du métal et résistance contrôlée de la solution (voir l'introduction au chapitre 2, Cellules et réactions électrolytiques) ;
- remplacer certaines des anodes solubles par des anodes à membrane avec un circuit de courant supplémentaire ;
- utiliser des anodes insolubles spéciales qui permettent d'équilibrer la concentration de la solution ;
- traiter des pièces de fabrication ou des substrats nécessitant des revêtements d'épaisseur supérieure ;
- "revêtement métallique médiocre" sur les feuilles d'acier ;
- retrait des anodes.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation de l'utilisation d'énergie et des déchets de métal de traitement dans les pertes et apports par entraînement.
Réduction du dépôt sur l'épaisseur spécifique requise.
Réduction des effets environnementaux provenant du retraitement de pièces de fabrication entraîné par des problèmes de revêtement métallique en excès.

Effets d'interaction
Un équipement supplémentaire est nécessaire lorsque des cuves de dissolution externes sont utilisées, ou des circuits de membrane et/ou des circuits supplémentaires contrôlés séparément.

Données opérationnelles
Toutes les techniques peuvent améliorer le contrôle du traitement, voir section applicabilité. L'utilisation de cuves d'ajout externe ou les ajouts de traitement nécessitent un contrôle et un entretien de la qualité de traitement accrus.

Applicabilité
De nombreux traitements électrolytiques, y compris le zingage, peuvent fonctionner à l'aide d'électrodes insolubles et utiliser des cuves d'ajout externes, ou des ajouts de solution séparés. Un système d'anodes inertes avec ajout externe nécessite un investissement supplémentaire mais permet de régler le problème de manière progressive dans le temps.

La fabrication de pièces de fabrication ou de substrats nécessitant des revêtements d'épaisseur plus élevés et le revêtement métallique sur tôle d'acier ne peuvent fonctionner qu'à l'aide d'anodes solubles. Le "rendement habituel" peut alors devenir trop élevé. L'équilibre adéquat des spécifications pour des pièces de fabrication (c'est-à-

dire des besoins de combiner des couches de revêtement plus fines et plus épaisses) peut ne pas correspondre avec le besoin d'élimination de l'excès de métal dissout, en particulier pour les ateliers de travail à façon.

Retrait des anodes : la densité de courant anodique doit être envisagée. Cette dernière peut entraîner la passivation des anodes et/ou accroître la décomposition électrolytique des constituants de solution de traitement. Une densité de courant réduite diminue le débit de production et nécessite plus de temps pour la réduction de la concentration métallique de la solution de traitement.

Le revêtement métallique ne permet pas de récupérer le métal de l'anode. Cependant, un revêtement métallique électrolytique sélectif à l'aide de densités de courant faibles peut être utilisé pour éliminer les métaux contaminants indésirables, par exemple des bains de nickel dotés d'anodes solubles de Ni.

En pratique, les traitements de nickelage ne permettent pas l'utilisation d'électrodes insolubles (voir section 2.5.2).

Les anodes à membrane peuvent se briser, et il peut ne pas être possible d'utiliser cette technique lors du revêtement métallique en sous-traitance, lorsque les formes et les tailles des parties à plaquer varient continuellement (et peuvent entrer en contact avec les membranes et briser ces dernières). Les anodes à membrane sont également limitées par la densité de courant.

Aspects économiques
L'investissement dans un système d'anodes inertes avec ajout externe ou l'utilisation d'anodes à membrane avec un circuit séparé est généralement autofinancé grâce à des économies en matériaux et une qualité de traitement améliorée. D'autres options sont moins onéreuses à court terme, mais ne permettent pas d'obtenir d'économies et manque de cohérence à long terme. Toutefois, si cette technique est régulièrement utilisée, elle présente fréquemment plus de problèmes de qualité qu'elle ne permet d'en résoudre (le coût s'en trouvant augmenté).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Aspects économiques du traitement
Uniformité du traitement dans le temps et réduction du retraitement

Exploitations de référence
Metal Colours, Slough, RU.; SIKEL S.A. Genk, Belgique

Documentation de référence
Tempany, 2002](entretien avec les membres de la TW) [60, Hemsley, 2003, 73, BSTSA,]. [119, Eurofer, 2003] [73, BSTSA,], [113, Autriche, 2003, 165, Tempany, 2004]

4.8.3 Commutation de la polarisation des électrodes dans les traitements électrolytiques

Description
La polarisation des électrodes dans les traitements de dégraissage ~~électrolytique~~ et de décapage électrolytiques est commutée à intervalles réguliers.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de la consommation de matières premières entraînée par un rendement supérieur de dépôt.

Effets multimilieux
Aucun

Applicabilité
Nouvelles installations et installations existantes de revêtements en bande utilisant des électrodes bipolaires.
Pour les installations de traitement sur support et au tonneau, les solutions sont contaminées par les métaux de substrat et exigeraient l'utilisation de deux cuves.
Lorsque le substrat s'y prête, de l'hydrogène peut être généré.

Aspects économiques
En ce qui concerne le revêtement en bande, l'investissement initial est de 0,015 à 0,8 euro /t à une somme supérieure à 0,8 euro /t installée, pour des coûts de 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Rendement du traitement et qualité du produit

Exploitations de référence
De nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en bande (en continu)

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.9 Substitution – choix des matières premières et des traitements

Description générale
Le traitement de surface entraîne l'utilisation d'une large gamme de produits chimiques dans une grande variété de traitement. Section 1.4.4. L'annexe IV de la directive exige que l'utilisation de substances moins dangereuses soit envisagée [1, CE, 1996] et il s'agit également d'une recommandation PARCOM. Cependant, d'autres avantages environnementaux peuvent être obtenus, soit conjointement avec l'utilisation de substances moins dangereuses soit dans le but d'obtenir d'autres avantages intéressant les industriels, comme par exemple :

- une utilisation réduite de matériaux, à la fois pour le procédé, et pour le traitement des eaux résiduaires et des émissions atmosphériques ;
- une économie d'énergie ;
- une économie en eau.

D'autres raisons fonctionnelles et économiques appellent à la substitution, par exemple :

- une qualité et une fiabilité améliorée du traitement ;
- des économies de coût grâce à une diminution du traitement des eaux résiduaires ;
- des économies de coût grâce à la réduction de l'extraction et du traitement de l'air
- la santé et la sécurité sur le lieu de travail.

La substitution peut être obtenue grâce à :

- la substitution directe d'une substance par une substance moins dangereuse. Par exemple, le remplacement de l'EDTA ou du NTA par des dérivés d'acide gluconique. Les opportunités sont cependant limitées pour cette technique en traitement de surface ;
- la substitution par différentes compositions chimiques ou procédés de traitement. Cette technique est utilisée lorsqu'il n'existe pas de remplacement direct, par exemple, le remplacement du cyanure de zinc par des solutions alcalines sans cyanure ou des solutions de zinc acides. Différentes compositions chimiques de traitement de revêtement engendrent des traitements dotés de propriétés différentes, même pour des matériaux identiques ;
- la substitution par différents traitements de surface, tel que la substitution du nickelage autocatalytique ou du dépôt en phase vapeur de chrome par un chromage dur. Si la substitution concerne le traitement principal, les propriétés finales peuvent être différentes.

Certaines questions clés sont examinées à la lumière des substances, par exemple, le chrome hexavalent, et les options de remplacement impliquent la substitution des produits chimiques et des traitements. D'autres questions sont examinées à la lumière des types de traitement, comme par exemple le dégraissage.

Bénéfices environnementaux globaux obtenus
Réduction de l'utilisation des substances dangereuses et des quantités affectant ultérieurement l'environnement.
Autres améliorations des performances environnementales, tel qu'économie d'énergie, production moindre de déchets, diminution des émissions de bruit ou de poussières, etc.

Effets d'interaction
Ces effets dépendent de la technique alternative individuelle. Certaines peuvent avoir des effets tels qu'une utilisation d'énergie accrue (technique de dépôt en phase vapeur), une production accrue de déchets (zinc acide) ou une consommation d'eau ou de matière première accrue.

En cas d'échec à satisfaire des exigences spécifiques (voir section Applicabilité globale ci-dessous) entraînera l'augmentation des rejets et du retraitement, les impacts environnementaux consécutifs (voir section 4.1.2).

Données opérationnelles globales
Voir les exemples individuels des sections 4.9.1 à 4.9.16

Applicabilité globale
Dans tous les cas, il est essentiel d'examiner à l'avance, avec le client, les changements engendrés par une telle substitution. Les règles de bonnes pratiques veulent qu'aucun changement ne soit effectué sans avoir entière connaissance des caractéristiques de performance finale exigées. Le fait de ne pas parvenir à satisfaire ces caractéristiques, en particulier sans en avoir averti le client, peut entraîner l'augmentation des rejets et la perte de confiance du client. Afin de garantir que les traitements fonctionnent selon les normes exigées, il est souhaitable que l'exploitant et le client échangent des informations et contrôlent la qualité du produit et les éléments de performances de l'installation afin que ces derniers répondent aux spécifications exigées (voir section 4.1.2).

Aspects économiques

Aspects à étudier au cas par cas. Il se peut que des économies d'énergie amènent une certaine motivation économique, etc.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
La santé et la sécurité des employés est un élément moteur clef de la substitution de produits existants par des substances moins dangereuses, par exemple, substitution du chrome hexavalent.

D'autres législations environnementales, tel que la législation sur l'eau, fruit des recommandations OPSAR et PARCOM les directives concernant les émissions de solvant, Seveso II et la directive-cadre sur l'eau.
Les substituts peuvent se révéler plus rentables.

Exploitations de référence
SGI, Plaisir, France ; Sikel S.A., Genk, Belgique

Documentation de référence
[11, Tempany, 2002, 18, Tempany, 2002](Entretiens avec des membres de la TWG lors de rencontres sur site)[60, Hemsley, 2003] [12, PARCOM, 1992] [124, Allemagne, 2003]

4.9.1 Substitution de l'EDTA et d'autres agents complexants forts (agents chélatants)

Description
Les problèmes liés aux agents chélatants forts, en particulier à l'EDTA, sont décrits dans la section 1.4.4.5. Ils sont largement utilisés dans les solutions de traitement telles que les solutions de dégraissage et les agents de gravure nécessaires à la fabrication de cartes de circuits imprimé. Ils peuvent être remplacés par des agents plus faibles et biodégradables, tels que les produits à base d'acide gluconique. Il existe des produits alternatifs utilisés dans les étapes de décapage et de nettoyage en Allemagne. L'EDTA est également utilisé dans une certaine mesure dans le cuivrage autocatalytique de la fabrication des **d'interaction** . Cependant, il existe de nombreuses produits alternatifs destinés à remplacer l'EDTA, y compris ce que l'on appelle les procédés de dépôt direct (par exemple, un complexe de Cu-tartrate dans une solution de cuivre), voir section 2.11.2.4.

Bénéfices environnementaux atteints
La réduction de la solubilisation des métaux dans les systèmes de traitement des eaux résiduaires et dans l'environnement.

Effets d'interaction
La substitution ou la réduction de la quantité d'EDTA rejeté permet de réduire la quantité d'énergie et de produits chimiques nécessaires à sa destruction.

Données opérationnelles
L'EDTA peut également être détruit ou éliminé, voir section 4.16.8

Applicabilité
Fabrication de cartes de circuits imprimés : les spécificités liées à la technologie la plus récente peuvent nécessiter la réutilisation d'EDTA.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 12, PARCOM, 1992, 22, Fraunhofer, 2002] [124, Allemagne, 2003] [120, Finlande, 2003]

4.9.2 Substitution, et réduction des agents de surface toxiques (NPE et PFOS)

Description
Il existe deux familles de matériaux posant problème car toxiques et bioaccumulatifs :

- le NPE et le nonylphénol sont des produits chimiques OSPAR soumis à une action prioritaire et sont interdits pour le travail des métaux, interdiction prenant effet élément 17 janvier 2005, à l'exception des utilisations dans "*des systèmes contrôlés lorsque le liquide de la phase est recyclé ou incinéré" ;*
- le PFOS (sulfonate de perfluorooctane) est largement utilisé en tant qu'agent antimousse et agent de surface, en particulier dans la prévention de la formation de brume dans des étapes de chromage électrolytique hexavalent et de bains alcalins non cyanurés. Cependant, il fait aujourd'hui l'objet d'une étude (voir l'annexe 8.2) et le groupe de travail de l'OCDE concernant les produits chimiques existants a déjà admis qu'il est persistant, bioaccumulatif et toxique.

Aucun substitut du NPE n'a encore été signalé.

Les substituts sont disponibles et sont utilisés pour les étapes d'anodisation.

Il n'existe actuellement aucun substitut au PFOS dans les opérations de dépôt de Cr(VI) et de décapage étant donné sa résistance élevée à l'oxydation. Le PFOS est également utilisé dans des traitements au zinc alcalin sans acide pour réduire la pulvérisation, ainsi que pour les opérations de dépôt de zinc, certaines opérations d'anodisation et les traitements à l'or à l'acide fort.

Bénéfices environnementaux atteints
La substitution de produits par des substances moins dangereuses, ou des traitements alternatifs permettra de réduire les effets sur l'environnement et la santé.

Effets d'interaction
Le PFOS a des fonctions importantes dans le maintien des règles de santé et de sécurité car il contrôle la pulvérisation des solutions dangereuses. Une extraction accrue de Cr(VI) et d'autres polluants entraînés par l'arrêt de l'utilisation de cette substance peut nécessiter une épuration et un traitement supplémentaire.

Données opérationnelles
Dans des situations où le PFOS était utilisé, tel que le dépôt de Cr(VI), d'autres mesures peuvent être prises pour empêcher les émanations de Cr(VI) et atteindre des niveaux de CMA sur le lieu de travail, tel que l'utilisation d'un isolant flottant (voir section 4.4.3), de couvercles déposés sur les cuves et/ou d'un système de ventilation re-conçu et/ou adapté (voir section 4.18.2), la substitution par un procédé de traitement de surface moins dangereux (voir les parties appropriées de cette section), etc.

Si du PFOS doit être utilisé, la meilleure façon d'exploiter cette substance est de l'utiliser en circuit fermé. Le dépôt de Cr(VI) peut être effectué sur ce principe.

D'autres traitements peuvent être mis en œuvre associés à des techniques de rinçage et de réduction des pertes par entraînement pour maintenir le PFOS dans les cuves de traitement, voir les sections 4.6 et 4.7.

Applicabilité
Le dépôt de Cr(VI) peut être effectué dans un système en cycle fermé. D'autres traitements peuvent utiliser des techniques de rinçage et de récupération des pertes par entraînement pour minimiser la libération de PFOS. Son utilisation peut également être réduite en contrôlant l'ajout de PFOS (ou de solutions contenant du PFOS) grâce à l'utilisation de mesures de tension de surface.

Initialement, aucun rapport ne signalait l'utilisation de PFOS en France, mais de nouveaux rapports suggèrent que cette substance est effectivement utilisée.

Aspects économiques
Coût d'un système d'extraction d'air supplémentaire ou d'un équipement de contrôle. Les mesures de contrôle, telles que les mesures de tension de surface, sont minimes. Les mesures des pertes par entraînement retiennent également d'autres matériaux.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation sur la santé du travail. Concernant le NPE, il fait désormais l'objet d'une interdiction.

Exploitations de référence

Documentation de référence
[73, BSTSA,] [30, EC, 2003] [109, DEFRA, 2004, 165, Tempany, 2004]

4.9.3 Substitution du cyanure – Vue d'ensemble

Description globale
Le cyanure a été largement utilisé dans de nombreux traitements électrolytiques tels que le zingage, le cuivrage, de cadmiage, l'argenture et la dorure. Il est également massivement utilisé dans d'autres procédés de traitement de surface, tel que les traitements de dégraissage et le décapage du nickel.

Les traitements utilisant des substances alternatives au cyanure sont examinés dans les sections 4.9.4 et 4.9.5.

Bénéfices environnementaux atteints globaux obtenus
Réduction de l'utilisation et des émissions de cyanure.
Réduction d'AOX : de l'AOX peut être généré par ~~de~~ l'oxydation chimique du cyanure dans le traitement des eaux résiduaires avec de l'hypochlorite de sodium et du chlore.
Les bains électrolytiques cyanurés présentent un rendement en courant faible en comparaison du zinc acide (70 à 85 % d'efficacité), voir section 2.5.4.

Les bains de dépôt destinés au revêtement métallique sans cyanure de cuivre sur du fer et de l'acier incluent un agent complexant de phosphonate qui peut être éliminé uniquement par précipitation avec de la chaux, ce qui entraîne une production supplémentaire de déchets en comparaison du dépôt cyanuré.

Le cuivrage sans cyanure implique également une consommation de courant double de celle du cuivrage cyanuré provoqué par les deux états d'oxydation des traitements sans cyanure.

Effets d'interaction
Voir les applications spécifiques concernant les données de chaque application

Données opérationnelles globales
Les traitements sans cyanure sont d'une gestion et d'un traitement simple.

Voir les applications spécifiques concernant les données de chaque application

Applicabilité
Il n'existe aucun substitut chimique au cyanure.

Il n'existe aucun substitut (produit chimique ou traitement) qui puisse être utilisé à la place du cyanure dans le traitement des substrats tels que les pièces de zinc moulées, les pièces de magnésium moulées et autres. Les produits de zinc moulés sont largement utilisés pour les accessoires de salles de bain, les meubles, les produits automobiles et de télécommunications. Aucun traitement de substitution fonctionnant de manière stable n'est connu pour les chaînes de production en série de volumes élevés.

D'autres facteurs affectant la substitution du cyanure sont :

- une capacité de dégraissage plus faible de l'électrolyte de dégraissage sans cyanure (les solutions de cyanure ont de bonnes propriétés de nettoyage inhérentes et tolèrent des étapes de pré-nettoyage)
- un niveau d'entretien et de compétence accrue est nécessaire pour mettre en œuvre des traitements alternatifs (contrôle du bain, analyse du bain, etc.)
- modification des caractéristiques du revêtement.

Aspects économiques
L'exploitation de systèmes non cyanurés peut accroître les coûts. Cependant, ces augmentations peuvent être compensées par un traitement réduit des effluents pollués.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Diminution des risques pour la ~~de~~ santé et la ~~de~~ sécurité au travail.
Image publique (négative) de l'utilisation du cyanure
Une installation plus conforme aux normes de quantité environnementales.
Une diminution du risque d'accidents environnementaux.

Exploitations de référence
Metal Colours Ltd, Slough, RU; SIKEL S.A. Genk, Belgique

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 18, Tempany, 2002, 124, Allemagne, 2003] [113, Autriche, 2003]

4.9.4 Zingage électrolytique
Le zingage électrolytique a été l'une des sources majeures d'utilisation du cyanure dans le secteur.

4.9.4.1 Zinc alcalin cyanuré

Description
Voir la section 2.5.4.

Bénéfices environnementaux atteints
Le cyanure peut être aisément oxydé dans des installations de traitement des eaux résiduaires.

Effets d'interaction

Traitement des eaux résiduaires nécessaire.
Technique qui peut nécessiter la mise en place d'un système d'extraction des vapeurs.
Rendement de traitement médiocre de 50 % de l'intrant énergétique, diminuant avec la densité de courant.

Données opérationnelles
Technique qui ne nécessite pas un degré élevé de dégraissage étant donné sa capacité autonettoyante.
Fonctionnement et entretien simples.
Technique qui présente une consommation moindre de brillant/azurant. Technique qui nécessite plus d'espace.
Technique particulièrement appropriée au dépôt au tonneau. Technique qui permet d'obtenir une épaisseur de couche garantie lors de traitement sur support et au tonneau et présentant un bon pouvoir de pénétration dans les trous et les espaces non visibles.

Applicabilité
Dépôt ductile doté d'un bon pouvoir de pénétration

Documentation de référence
[114, Belgique, 2003, 124, Allemagne, 2003]

4.9.4.2 Zingage alcalin sans cyanure

Description
Voir la section 2.5.4

Bénéfices environnementaux atteints
Aucune utilisation de cyanure
Réduction des exigences en traitement des eaux résiduaires

Effets d'interaction
Avec une tension plus élevée provoquée par l'utilisation d'anodes insolubles et un rendement en courant médiocre de 50 à 70 %, décroissant avec l'accroissement de la densité de courant, le traitement est au moins deux fois plus gourmand en énergie que d'autres procédés de traitement du Zn. Avec des électrolytes de potassium, le rendement en courant peut être accru jusqu'à 70 %. Un chiffre de 70 à 85 % est envisageable à 2 A/m^2 pour des traitements correctement gérés. Voir la section 2.5.4.

Avec un rendement en courant médiocre, une capacité de traitement supérieure (pouvant aller jusqu'à deux fois la capacité normale) est nécessaire en comparaison des systèmes utilisant du zinc acide).

Le zingage alcalin nécessite une extraction d'air plus importante que les autres traitements du Zn. Le traitement peut être optimisé par l'utilisation d'agents mouillants, qui forment une mousse couvrant le bain. Une option supplémentaire est de couvrir la cuve lorsque le zinc est chimiquement dissout de manière externe à la solution, bien que l'agent antimousse puisse contenir du PFOS (voir section 4.9.2 et l'annexe 8.2).

Données opérationnelles
Technique qui nécessite d'être précédée de systèmes de dégraissage haute qualité.
Technique qui nécessite des compétences particulières concernant le contrôle du traitement et sa gestion.

La répartition de l'épaisseur de revêtement est meilleure que pour les traitements cyanurés.

Applicabilité
Cette technique amène une meilleure répartition des métaux en comparaison des traitements cyanurés.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir la section 4.9.3, les Eléments moteur globaux de mise en œuvre

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 18, Tempany, 2002, 124, Allemagne, 2003] [113, Autriche, 2003] [129, Espagne, 2003, CETS, 2003 #115]

4.9.4.3 Zingage acide

Description
Voir la section 2.5.4

Bénéfices environnementaux atteints
Rendement en courant élevé, approchant les 95 %
Aucune utilisation de cyanure
Réduction des besoins en ~~de~~ traitement des eaux résiduaires
Aucune exigence particulière concernant l'extraction des vapeurs

Effets d'interaction
Accroissement de la production de boues, provenant de la dissolution de certains substrats d'acier et de l'utilisation d'anodes solubles.
Technique pouvant nécessiter la mise en place d'un système d'extraction des fumées pour les brumes acides, mais pas nécessairement pour les solutions à base de chlorure. Cependant, l'extraction est souhaitable.

Données opérationnelles
Technique qui nécessite d'être précédée des systèmes de dégraissage de qualité élevée.
Technique qui nécessite des compétences particulières de contrôle et de gestion de traitement.
Les anodes solubles et insolubles peuvent être utilisées pour remplacer l'utilisation d'anodes solubles uniquement, ce qui permet d'obtenir un meilleur contrôle de qualité, voir section 4.8.2.

Applicabilité
La répartition du métal est d'un niveau médiocre à acceptable, s'accroissant avec l'utilisation d'électrolytes chauds.

Aspects économiques
Economies importantes en termes de consommation énergétique

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir la section 4.9.3, les Eléments moteur globaux de mise en œuvre

Exploitations de référence
Metal Colours Ltd, Slough, RU; Sikel S.A. Genk, Belgique

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002] [119, Eurofer, 2003]

4.9.4.4 Alliages de zinc

Les alliages de zinc sont largement et couramment utilisés. Aucune donnée n'a pu être obtenue concernant leur utilisation en tant que substituts aux traitements par le zinc.

4.9.5 Autres solutions à base de cyanure

Ces derniers sont étudiés de manière plus détaillée dans les sections les concernant du chapitre 2.

Description du Chapitre 2	Traitement ou produit chimique	Référence du Chapitre 4
2.3 Préparation de la pièce de fabrication ou du substrat		
	Dégraissage au cyanure	Considéré comme obsolète [112, Assogalvanica, 2003] 2003]
2.5	**Activités principales –**	
2.5.1	**Cuivrage et dépôt d'alliage**	Le cyanure de cuivre est nécessaire pour l'amorçage du dépôt sur les pièces moulées en acier et en zinc, et certains dépôts au tonneau. Le cuivrage acide est la solution de choix en Allemagne. Le cuivrage pyrophosphate est limité en terme d'applications. Aucune alternative aux solutions de cyanure pour le laiton et le bronze n'a été signalée.
	Cyanure de cuivre	
	Cuivre acide	
	Cuivrage pyrophosphate	
	Laiton	
	Bronze	
2.5.4	**Zingage et dépôt d'alliage**	Voir la section 4.9.4.
	Zingage alcalin cyanuré	
	Zingage alcalin sans cyanure	
	Zingage acide	
	Alliages de zinc	
2.5.5	**Cadmiage** Les électrolytes peuvent être à base de cyanure, de fluoroborate, de sulfate ou de chlorure. Pour la plupart des applications, des alternatives acceptables ont été développées. Le zingage acide diminue le risque de fragilisation à l'hydrogène et l'étain peut remplacer le cadmium et donner à des dispositifs d'attache, un coefficient de frottement faible et constant. Le zingage mécanique et les revêtements de flocons de zinc/aluminium peuvent également être des alternatives viables afin de protéger les aciers à haute résistance. [115, CETS, 2003]	
2.5.7	**Dépôt de métaux précieux**	
	Argent	
	Or	

Tableau 4.9 : Solution de traitement utilisant du cyanure

4.9.6 Substitution et minimisation du chrome hexavalent (CrVI)

Introduction
Des produits chimiques au chrome hexavalent, tel que l'acide chromique, sont fréquemment utilisés en finition de surface. Les applications principales sont :

- le chromage décoratif;
- le chrome dur ;
- l'anodisation à l'acide chromique ;
- les revêtements de conversion au chromate.

Voir l'annexe 8.1 pour les détails concernant le chrome et ses composés dans la législation et les accords appropriés. Le chrome hexavalent a été classé en tant que substance cancérogène par inhalation, et son utilisation dans les traitements est réglementée. Selon l'EPA américaine, il s'agit d'une substance dont l'utilisation et les rejets sont à minimiser en priorité [148, HTMLA, 2003] [108, NEWMOA, 2003]. L'utilisation de produits au chrome hexavalent doit également faire l'objet de limitation [144, CE, 1976]. Le trioxyde de chrome est étudié par l'UE et est susceptible de passer de produit toxique à celui de produit très toxique. Ce classement pourrait déclencher la mise en place de diminution des seuils de la directive Seveso II dans les installations où plus de cinq tonnes de cette substance sont utilisées [142, CE, 1996].

Les problèmes de santé et ceux liés à l'environnement associés à l'utilisation de chrome hexavalent sont décrits dans la section 1.4.4.1. De plus, seuls les films au chromate contenant du chrome hexavalent peuvent libérer du Cr(VI) au cours de la manipulation et de l'utilisation du produit fini. Le chrome métallique sur des pièces de fabrication finies à partir d'un traitement quelconque (hexavalent ou trivalent) ne présente aucun problème de contact [124, Allemagne, 2003].

Toute partie zinguée subit généralement un post-traitement à l'aide d'un procédé de conversion approprié au chromate, c'est également le cas pour de nombreux substrats (tel que les pièces moulées sous pression). La couleur des finitions des traitements de conversion du chrome hexavalent existant et le niveau de leur protection à la corrosion sont directement liés à leur épaisseur et à leur teneur en chrome hexavalent.

Ces inquiétudes concernant la santé et la sécurité ont amené des directives européennes limitant la quantité de chrome hexavalent utilisé dans les produits destinés aux industries automobile, électrique et électronique [96, CE, 2003, 98, CE, 2003, 99, CE, 2000]. Il s'agit là d'incitations au développement des technologies innovantes exemptes de chrome hexavalent. Divers projets de R&D européen arrivent à terme en ce qui concerne la gestion du Cr(VI) [28, DG-RTD, 2002].

4.9.7 Minimisation des rejets de chrome hexavalent provenant des surfaces traitées

Description

Des revêtements de couches supérieures destinés à des systèmes de passivation au chrome sont décrits dans la section 2.5.17. Qu'ils soient appliqués par un revêtement de poudre ou par une quelconque autre forme de revêtement supérieur, on s'aperçoit grâce au tableau 4.10 qu'une application d'une couche de revêtement supérieure appropriée sur le revêtement de conversion au chromate est suffisante pour réduire considérablement les rejets de chrome VI.

Le rejet de chrome VI est également fonction de la qualité et de la quantité du rinçage suivant le post-traitement : les étapes de rinçage doivent être conçues afin d'éviter que des résidus quelconques de la solution de conversion au chromate ne soient adsorbés sur la surface des parties traitées. Cependant, la protection de la corrosion des couleurs plus intenses (jaune à noir) peut être considérablement réduite par un lessivage excessif provenant du rinçage.

Le tableau 4.10 présente les rejets de Cr(VI) provenant de différentes étapes de passivation colorées, sur la base de plusieurs dosages industriels statistiques.

Revêtement par dépôt électrolytique	Type de traitement de couleur de finition du revêtement de conversion au chromate	Rejet de Cr(VI)
Zinc et alliages de zinc [124, Allemagne, 2003]	Bleu clair Cr(VI)	0.05 à 0.1 µg/cm^2
	Bleu clair Cr(III)	0.0 µg/cm^2
	Jaune-tropique Cr(VI)	0.3 à 0.6 µg/cm^2
	Vert Cr(VI)	0.7 à 0.9 µg/cm^2
	Noir Cr(VI)	0.7 à 1.0 µg/cm^2
	Jaune-tropique Cr(VI) Suivi d'une couche de revêtement supérieur	0.1 à 0.2 µg/cm^2
	Noir Cr(VI) Suivi d'une couche de revêtement supérieur	0.02 à 0.1 µg/cm^2

Tableau 4.10 : Rejet de chrome (VI) provenant d'un substrat traité

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des rejets de chrome hexavalent au cours d'une manipulation et d'une utilisation ultérieure.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Accroissement des inquiétudes liées à la santé et à la sécurité concernant l'utilisation du Cr(VI) et diverses directives limitant son utilisation.

Exploitations de référence

Documentation de référence
[124, Allemagne, 2003] [96, CE, 2003, 98, CE, 2003, 99, CE, 2000] [3, CETS, 2002] [118, ESTAL, 2003].

4.9.8 Techniques de chromage électrolytique

Plusieurs techniques sont disponibles commercialement. Le chrome hexavalent est le métal le plus largement utilisé, mais les inquiétudes concernant sa toxicité et son utilisation vont grandissantes. L'alternative la plus largement utilisée est le chrome trivalent. Le groupe de travail technique a procédé à l'échange et à la validation de nombreuses informations concernant cette question. Les commentaires *[146, ZVO, 2003, CETS, 2004 #147]*.et l'étude de cette technique se trouvent dans l'annexe 8.10.

4.9.8.1 Chromage hexavalent

Description
Voir la section 2.5.3

Bénéfices environnementaux atteints
Les eaux résiduaires peuvent être traitées dans une station de traitement des eaux résiduaires classique.
Etant donné le faible rendement en courant et le besoin de refroidir la solution, ce traitement peut être exploité sous la forme d'un système en boucle fermé, utilisant un rinçage en cascade à étapes multiples et un traitement par évaporation.

Effets d'interaction
Substance très dangereuse pour la santé sur le lieu de travail et dans l'environnement (voir section 4.9.6).
Son traitement nécessite l'ajout de produits chimiques dangereux.
Des solutions hautement concentrées présentent des niveaux de viscosité et de pertes par entraînement élevés.
Un système d'extraction d'air nécessite un système supplémentaire d'épuration pour éliminer la partie volatile du Cr(VI).
Ce traitement entraîne une production importante de déchets provenant des anodes de plomb.
Les composés de Cr(VI) sont des agents oxydants forts et il est préférable de les stocker séparément. Des électrolytes de Cr(VI) secs provoquent des incendies.

Données opérationnelles
Un rendement électrique médiocre entraîné par la formation d'hydrogène au niveau de la cathode (jusqu'à 85 à 90 % de la consommation énergétique) et une solution nécessitant un refroidissement.
La formation d'hydrogène engendre une brume de Cr(VI) qui, lors de la manipulation des composants et l'agitation de la solution, crée des problèmes considérables de santé sur le lieu de travail.
Des additifs de suppression des brumes peuvent être utilisés, mais ces derniers sont à base de PFOS, substance qui présente des risques environnementaux et sanitaires (voir section 4.9.2).
Une répartition médiocre du métal et une certaine sensibilité aux fluctuations de courant provoquent des taux de rejet relativement élevés.
Une auto-passivation des zones non déposées contribue à la résistance contre la corrosion.

Applicabilité
Technique largement appliquée dans près de 3 000 installations de par le monde.
Le chromage dur et fonctionnel à objectif technique spécifique peut uniquement être appliqué à l'aide de cette technique (voir section 6.2 pour une technique alternative en développement).

Aspects économiques
Les solutions sont peu onéreuses.
Les coûts énergétiques sont élevés principalement du fait de la consommation électrique. Technique qui présente des taux de rejet et des coûts d'installation d'une station de traitement des eaux résiduaires plus élevés.
Une augmentation des coûts d'assurance destiné à couvrir la santé et la sécurité du personnel a été signalé.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Technique utilisée uniquement à grande échelle pour le chrome dur, et certaines finitions décoratives hautement spécifiques. Auto passivation dans des zones non déposées.

Exploitations de référence
Technique largement appliquée dans près de 3 000 installations dans le monde.
Fonctionnement en cycle fermé (avec nickelage et cuivrage précédent en circuit fermé) chez Merrydale Industries, Ltd, Wednesbury, RU.

Documentation de référence
[108, NEWMOA, 2003, 147, CETS, 2004] [125, Irlande, 2003, 147, CETS, 2004]

4.9.8.2 « Chrome froid » – traitement hexavalent

Description
Une nouvelle technique utilisant du "chrome froid" a été mise en œuvre en 2000 dans une installation italienne. La température du bain de traitement du Cr(VI) est maintenue à environ 18 à 19°C grâce à un système de réfrigération (au lieu des 25 à 30°C habituels). A cette température, la concentration du Cr(VI) dans la solution de traitement peut être réduite d'environ 50 %. La qualité du revêtement métallique est la même.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation des rejets de chrome hexavalent
Minimisation de l'évaporation de la solution de traitement
Réduction de la quantité d'énergie utilisée dans le traitement
Réduction de l'exposition des ouvriers
Réduction de la consommation d'eau
Traitement des eaux résiduaires et production de boues moindres

Effets d'interaction
Quantité d'énergie supplémentaire requise pour le système de réfrigération. Aucune comparaison claire n'a pu être établie avec les économies d'énergie générées par le traitement.

Données opérationnelles
Les solutions moins concentrées nécessitent une durée plus longue de traitement.
Une meilleure qualité grâce à un meilleur pouvoir de pénétration.
Pas d'apparition de rebord blanc.

Applicabilité
La technique ne peut être appliquée que dans une nouvelle installation.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir l'introduction à la section 4.9

Exploitations de référence
Industria Galvanica Dalla Torre Ermanno e Figli SpA, Fontane di Villorba, Italie

Documentation de référence
[112, Assogalvanica, 2003]

4.9.8.3 Traitement de chromage électrolytique trivalent à base de chlorure

Description
Voir la section 2.5.3

Bénéfices environnementaux atteints
Les bains de dépôt fonctionnent avec une concentration de 20 g/l, à la place des 200 à 450 g/l nécessaires au chrome hexavalent. Une solution à viscosité réduite amène des

pertes par entraînement de chrome moindre, et une réduction des rejets de chrome : aucun rejet de Cr(VI). Les solutions peuvent être à base de chlorure ou de sulfate.

Dans trois cas étudiés, les données suivantes ont été obtenues :

- des composés en quantité réduite ou aucun composé de chrome hexavalent n'ont été stockés, utilisés ou manipulés ;
- conjointement avec l'élimination électrolytique du chrome (sous la forme d'hydroxyde), les boues de traitement des eaux résiduaires ont été réduites de 20 tonnes par an à 2 tonnes par an dans un cas, et la production de boue a été réduite d'un facteur trente dans un autre cas ;
- réduction de la consommation d'énergie de 30 % ;
- aucun agent chimique nécessaire pour réduire les métaux ;
- aucun agent de surface nécessaire afin d'empêcher la formation de brumes ;
- les bains de dépôt peuvent être recyclés en utilisant des pots poreux, une électrolyse à membrane ou un échangeur d'ions;
- réduction des besoins en traitement de la pollution atmosphérique.

Réduction des problèmes environnementaux et sanitaires liée au Cr(III), phénomène reflété par les valeurs de la TA-Luft de 1 mg/m^3 pour le Cr(III) à 0,05 mg/m^3 pour le Cr(VI).

Effets d'interaction

Des problèmes ont été signalés dans des installations de traitement des eaux résiduaires. Ces problèmes ont été provoqués par des agents complexants utilisés dans les solutions de Cr(III). Cependant, ces derniers n'ont pas été confirmés lors des visites sur site ou dans les études de cas.

Données opérationnelles

La couleur de dépôt de Cr(VI) est décrite comme étant bleu brillant, le dépôt de chlorure de chrome (dérivé trivalent) varie de gris brillant à jaune brillant ou noir brillant. Ces problèmes historiques liés aux différences de couleur des dépôts de chrome hexavalent et les variations générées en cours de traitement en comparaison du chrome hexavalent, sont aujourd'hui largement surmontés grâce à de nouvelles solutions. Ces problèmes de couleur, et la durée de vie et la fiabilité médiocre de la solution, sont depuis longtemps réglés : il est essentiel d'utiliser une filtration au charbon et un échange ionique, ou des procédés de traitement avec des solutions chimiques reconnues, et de minimiser la perte par entraînement des traitements précédents.

Les solutions au chrome trivalent contenant du chlorure peuvent, en théorie, produire du chlore au niveau de l'anode et donc de l'AOX dans les solutions, substance qui pourrait être perdue par entraînement. En pratique, ce phénomène est contrôlé depuis 20 ans par l'ajout de produits chimiques spécifiques connus.

Il est nécessaire de former le personnel et d'accroître le contrôle du traitement, qui est identique au contrôle requis pour le nickelage brillant, qui est utilisé pour les couches précédentes.

Les épaisseurs peuvent être mesurées grâce au même équipement (par exemple, Couloscope, diffraction aux rayons X).

Un rendement en courant plus élevé implique un chargement plus élevé des montages. Un accroissement de 15 % de la production a été signalé.

Une densité en courant plus faible exige des montages et câblages moins coûteux, plus légers.

Un taux de rejet réduit de 5 à 10 % à 0,5 % a été relevé, chiffre attribué au meilleur pouvoir de pénétration du Cr(III). Une capacité en courant supérieure et une sensibilité moindre aux fluctuations d'alimentation en courant permettent de réduire les dépôts rugueux (c'est-à-dire, les brûlures provoquées dans des zones à densité de courant élevé) et de réduire "le blanchiment" généré par l'interruption du dépôt.

Applicabilité
Cette technique ne peut remplacer le chromage dur.

Elle ne peut remplacer certaines applications de résistance à la corrosion, comme par exemple lorsque l'essai CASS excède 16 h. Le chrome trivalent ne permet pas de passiver des surfaces non déposées. Une plus faible résistance à la corrosion a été signalée, ce qui est probablement due à des zones d'épaisseur de nickel faible ou ne présentant pas d'épaisseur de nickel. Lorsque des composants creux ou présentant des retraits (tel que le tube) sont chromés, un soin particulier est nécessaire pour empêcher la corrosion post-revêtement métallique, ce qui implique un rinçage rapide et complet du bain d'acide, éventuellement suivi d'une passivation dans une solution organique spécifique (validation par les exploitants du secteur au niveau international) ou une passivation légère au Cr(VI) (ce qui atténue certains des avantages d'un système exempt de Cr(VI)).

La couleur est une teinte légèrement jaune lorsque la pièce est directement comparée à des parties déposées au chrome hexavalent. Ceci semble poser problème à des clients spécifiques.

La couleur et la résistance à la corrosion ont permis à cette technique d'être utilisée sur la majeure partie des produits vendus au détail, tel que des ustensiles de cuisine, sur des instruments soumis à des températures élevées et des agents nettoyants abrasifs comportant des composants caustiques et acides.

Cette technique a été mise en œuvre de manière fructueuse sans perte de confiance des consommateurs (voir section 4.1.2).

Aspects économiques
Les seuls coûts comportent l'élimination de l'ancienne solution de chrome hexavalent, le remplacement du revêtement en plomb des cuves par du PVDF et le remplacement des anodes plomb/antimoine par des anodes de carbone. Un système d'échange ionique est nécessaire afin de contrôler la contamination par les métaux, et la résine nécessite d'être changée approximativement touts les trois ans. Les produits chimiques de base sont plus onéreux.

Ces dernier sont cependant plus que compensés grâce à :

- une économie de 30 % d'énergie ;
- une réduction des déchets solides produits et éliminés ;
- une réduction des coûts de traitement des effluents (aucune réduction de Cr(VI) n'est nécessaire);
- la réduction de la surveillance de la qualité de l'air ;
- la réduction des contrôles médicaux du personnel ;
- un taux de rejet réduit ;
- une réduction significative du risque de maladie professionnelle.

Une étude de cas fait état d'une amélioration du bénéfice brut de 182 USD par étape de production (670 m^2) sur une chaîne de revêtement métallique sur support (coûts de 1995).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Réduction du risque de maladie professionnelle. Réduction des exigences liées à la santé et à la sécurité, ainsi que des dépenses concernant la suppressions des aérosols, l'extraction d'air, la surveillance du chrome hexavalent émis dans l'atmosphère du lieu de travail, ainsi que le contrôle médical du personnel. Technique globalement rentable.

Exploitations de référence
Townrow (Hi-Tech Plating) Ltd, Sheffield, RU (étude de cas) Foss Plating, Santa Fe Springs, Californie

Documentation de référence
[43, SEA, 2001] [108, NEWMOA, 2003, 115, CETS, 2003, 148, HTMLA, 2003]

4.9.8.4 Traitement de dépôt électrolytique au sulfate de chrome trivalent

Description
Cette technique concerne le traitement de chromage-nickelage décoratif. Le traitement est effectué à l'aide d'un électrolytique de sulfate contenant une concentration de Cr(métal) comprise entre 6 et 8 g/l.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de la concentration de Cr, en comparaison des traitements au chlorure de chrome trivalent (jusqu'à 20 g/l) et au chrome hexavalent (jusqu'à 450 g/l).

Cette technique n'utilise aucun agent complexant (au contraire du traitement au chlorure), agents qui peuvent poser problème lorsqu'ils atteignent la station de traitement des eaux résiduaires.

En plus des bénéfices environnementaux obtenus grâce aux solutions au chlorure de chrome, ce traitement présente l'avantage d'être plus sûr car il n'engendre pas la production de chlore au niveau de l'anode.

La solution est moins agressive et dure plus longtemps. Le problème de la dissolution du fer dans les parties internes, creuses des pièces de fabrication est considérablement réduit.

Les pertes par entraînement sont réduites grâce à une faible viscosité de la solution.

Effets d'interaction
Aucune donnée disponible

Données opérationnelles
Des anodes insolubles spéciales sont utilisées. Elles durent bien plus longtemps que les anodes de graphite utilisées pour la solution au chlorure de chrome trivalent (le chlore corrode les anodes de graphite).

Le bain fonctionne à une température de 55°C. L'évaporation réduit le niveau de la solution dans la cuve et l'ajout d'une solution récupérée est donc impossible. Lorsque les pièces de fabrication sont retirées lentement du bain elles sont relativement sèches et les pertes par entraînement en sont réduites.

La différence de couleur avec un revêtement de chrome hexavalent est en outre limitée lorsqu'on la compare à celle obtenue par des revêtements déposés à partir de solutions de chlorure.

Cette solution présente un excellent pouvoir de pénétration : la résistance globale à la corrosion s'en trouve accrue et en particulier pour les endroits d'une pièce de fabrication qui ne bénéficient généralement pas d'un revêtement, même lors d'un revêtement au Cr(VI), endroits qui subiront en premier les attaques de la rouille. De plus, aucune tache de "brûlure" n'apparaît lorsque l'intensité de courant est élevée.

Applicabilité
La technique peut s'appliquer aux installations neuves et existantes.

Aspects économiques
Aucune donnée disponible
Les composants de la solution sont très coûteux en comparaison des composants utilisés avec une solution de Cr(VI). Ces coûts sont compensés uniquement en partie par les coûts réduits du traitement des eaux résiduaires et la quantité plus faible de boue produite. Cependant, d'autres coûts sont également réduits (voir les études de cas concernant le chlorure de Cr(III)).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir la section 4.9.8.3, comme pour le traitement au chlorure de chrome (III)

Exploitations de référence
Industria Galvanica Dalla Torre Ermanno e Figli SpA, Fontane di Villorba, Italie.
Environ 12 chaînes supplémentaires en Italie

Documentation de référence
[161, Assogalvanica, 2004]

4.9.9 Traitements sans chrome – autres traitements de revêtement

Les divers choix sont présentés dans le tableau 4.11 ci-dessous.

D'autres substituts du chromage dur, tel qu'un composé de carbure de nickel-tungstène-silicium sont toujours en phase de développement. Pour ce qui est des applications spécifiques, un nickelage autocatalytique pourrait être une alternative [3, CETS, 2002]. Le nickel-tungstène est utilisé uniquement dans les applications de dépôt électrolytique au tampon [113, Autriche, 2003].

Le chromage dur peut être remplacé, dans certaines applications, par un alliage de WC-Ni(Co)Cr/Cr_2O_3, ou par une pulvérisation d'oxygaz à grande vitesse ou une pulvérisation de plasma [121, France, 2003].

Substance éventuelle de remplacement sans chrome		Commentaires
Nickelage électrolytique	Nickel-tungstène-bore	Utilisation d'un équipement de dépôt classique et dépôt fonctionnant de la même manière qu'un bain de nickelage classique ; solution qui peut se révéler plus coûteuse que le Cr(VI)
	Nickel-tungstène-silicium-carbure	Solution qui peut permettre d'obtenir des vitesses de dépôt supérieures et des rendements en courant de cathode supérieurs ; peut permettre d'obtenir un meilleur pouvoir de pénétration et une meilleure résistance à l'usure ; solution qui peut se révéler plus coûteuse que le Cr(VI)
	Etain-,nickel	Bonne résistance à la corrosion face aux acides forts, se brise au-delà de 320°C, moins résistant à l'usure que le Cr(VI)
	Nickel-fer-cobalt	Le distributeur affirme que la résistance à l'usure du produit est deux fois supérieure et que la résistance à la corrosion est 2,6 fois supérieure à celle du chrome hexavalent ; une couleur identique peut être obtenue
	Nickel-tungstène-cobalt	Ne contient pas de chlorure ou d'agents chélatants forts ; solution qui peut être utilisée pour le dépôt sur montage et au tonneau ; bonne résistance à la corrosion, à part en milieu marin ; le dépôt peut éventuellement ternir ; solution qui contient de l'ammoniac
Dépôt électrolytique sans nickel	Etain-cobalt	Trois choix commerciaux disponibles, présentant des attributs différents : • dépôt sur nickel ; à but décoratif uniquement • dépôt sur nickel et alliage de nickel décoratif ; peut être utilisé dans un traitement de dépôt sur montage ; moyennement alcalin • couleur de bonne qualité, bleuissement léger ; pas d'ammoniac utilisé ; aucun fluorure ; aucun chlorure
	Cobalt-phosphore	Un dépôt nanocristallin engendre une dureté extrême ; modification des formes d'ondes du courant de dépôt (dépôt par médiation électrique) utilisée pour produire un dépôt monocristallin
Dépôt autocatalytique	Nickelage autocatalytique : -nickel-tungstène -nickel-bore -nickel-composite de diamant -nickel-phosphore -nickel-polytétrafluoroéthylène	Dureté et résistance à l'abrasion susceptible d'être inférieure au Cr(VI) ; aucune accumulation au niveau des coins
Autres procédés	Pulvérisations thermiques HVOF (oxygaz à haute vitesse)	Dureté et résistance à l'usure identique au Cr(VI) ; limité à des applications en visibilité.
	Dépôt physique en phase vapeur (PVD) –nitrure de titane	Dureté supérieure au Cr(VI) avec un revêtement plus mince ; résistance à la corrosion moindre
	PVD par faisceau ionique	En visibilité ; les revêtements ont une épaisseur plus mince mais présentent les mêmes propriétés que d'autres revêtements plus épais
	Pulvérisation de plasma -carbure de titane	Substrats d'aluminium, d'acier, d'acier au carbone, de titane
	Dépôt chimique en phase vapeur	Dépôt sous vide ; non limité à un traitement à vue ; résistant aux acides, vitesse de dépôt élevée
	Implantation ionique	Des ions sont implantés – aucune épaisseur ; procédé non limité au traitement à vue

Substance éventuelle de remplacement sans chrome		Commentaires
	Revêtement par poudre	Métallisation sous vide (PVD) – procédé qui satisfait aux exigences des essais OEM de l'industrie de fabrication des roues, y compris les normes ASTM B117, GM4472P, GM9508P, GM9682P, and GM6
	Revêtement métallique au laser	Procédé n'exigeant pas un traitement à vue ; revêtement de carbure de nickel

Tableau 4.11 : Résumé des substituts sans chrome destinés au bain de chromage dur et décoratif
North East Waste Management OfficersAssociation, US [108, NEWMOA, 2003], dépôt électrolytique d'alliage de cobalt-étain

Description
Des techniques sans chrome utilisant un alliage de section /Co (Co de 5 à 10 %) a été testé et exploité sur des chaînes de production pendant plusieurs années dans des installations italiennes et au Pays-Bas. Cette technique présente une capacité de pénétration élevée (ce qui permet de procéder au dépôt sur des formes plus complexes qu'avec du chrome hexavalent) et offre une finition de qualité supérieure. La couleur de finition peut être légèrement plus sombre que celle obtenue avec du Cr(VI).

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation de l'utilisation de chrome hexavalent
Traitement aisé et efficace de l'eau de rinçage

Effets d'interaction
Certains bains d'étain-cobalt contiennent des amines chélatants qui posent problème pour le traitement des eaux résiduaires. Cependant, ce problème ne concerne pas toutes les solutions.

Données opérationnelles
Le bain est plutôt instable, un contrôle strict de conditions de fonctionnement est nécessaire, en particulier en ce qui concerne la surveillance du pH.
Une étape de passivation au Cr(VI) léger peut être nécessaire. Les tonneaux doivent être en acrylique.

Applicabilité
Cette technique est appliquée par General Motors depuis les années 1990 pour certaines parties intérieures d'automobiles.

Aspects économiques
Aucune donnée disponible

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir l'introduction de la section 4.9

Exploitations de référence
Cromotrevigiana Srl, Ponzano Veneto, Italie. Industria Galvanica Dalla Torre Ermanno e Figli SpA, Fontane di Villorba, Italie. Brandsma Metaalveredeling S.A.R.L., Hilversum Pays-Bas.

Documentation de référence
[112, Assogalvanica, 2003] [165, Tempany, 2004] (Communications personnelles, Hank de Man, Brandsma Metaalveredeling SARL.)

4.9.10 Couches de conversion de chrome

Ces traitements sont largement utilisés et sont décrits dans la section 2.5.17. Les directives VHU et QLSD [98, CE, 2003, 99, CE, 2000] et donc, de nombreux travaux sont entrepris dans le monde entier pour développer des alternatives au Cr(VI). Des améliorations et de nouvelles possibilités sont régulièrement signalées. Certains rapports estiment que l'utilisation de substrats alternatifs se développera à l'avenir, ou l'utilisation de systèmes de revêtement alternatifs, ainsi, le zingage pourra être remplacé par le dépôt d'alliages de zinc [149, PPT, 2004, 150, Rowan, 2003].

La phosphochromatation est réalisée aussi bien avec du chrome hexavalent (Cr(VI)) qu'avec du chrome trivalent (Cr(III)) et est utilisée dans le traitement de l'aluminium avant peinture [90, EIPPCB,] [118, ESTAL, 2003].

4.9.10.1 Chrome hexavalent

Description
Cette technique est largement utilisée, souvent conjointement avec le zingage ; substance examinée dans la section 2.5.17.

Le chrome hexavalent est utilisé dans la passivation du cuivre, du laiton et du bronze, de préférence au décapage brillant, car cette technique génère moins d'émanations. Elle est également utilisée pour le magnésium et ses alliages.

Elle est largement utilisée avant un revêtement par poudre, bien que des solutions à faible teneur en Cr(VI) soient disponibles, les alternatives sont par ailleurs décrites dans les sections 4.9.10.2 et 4.9.10.3.

Bénéfices environnementaux atteints
Les solutions en faible teneur en Cr(VI) réduisent les impacts négatifs.
Des solutions de Cr(VI) sont exploitées à des concentrations moindres et des températures inférieures que certaines des alternatives. Le Cr(VI) peut être aisément réduit et précipité dans une station de traitement des eaux résiduaires classique.

Données opérationnelles
Facilité d'utilisation

Applicabilité

Aspects économiques
Très peu onéreux

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Le coût, la facilité d'utilisation et la résistance à la corrosion

4.9.10.2 Traitement de conversion au chrome trivalent

Description
La passivation au chrome trivalent est décrite dans la section 2.5.17. Le mécanisme de protection des couches de conversion au chrome trivalent n'est pas encore totalement compris. Leur comportement semble indiquer que la protection est principalement générée par la barrière physique du revêtement lui-même. Le revêtement est en effet insensible à un quelconque choc thermique ultérieur. Comme le montre le tableau 4.10, aucun rejet de chrome trivalent des pièces de fabrication n'est relevé lorsque cette substance est utilisée ;

Dans certains cas, l'action du Cr(III) est catalysée ou aidée par d'autres métaux, tels que le cobalt.

Certaines couches de conversion à base de Cr(III) présentent des performances supérieures et correspondent à des couches de conversion au Cr(VI) lorsqu'elles sont mises en œuvre avec un dépôt d'alliage et/ou des revêtements supplémentaires, voir les

sections 2.5.11, 2.5.17 et, en ce qui concerne les techniques émergente s, voir section 6.3.

Bénéfices environnementaux atteints
Le chrome hexavalent n'est ni utilisé ni rejeté

Effets d'interaction
La technique peut impliquer l'utilisation et le rejet d'autres métaux tels que le cobalt.
Cette technique fonctionne avec une concentration de Cr(VI) dix fois supérieure aux couches de conversion, ce qui nécessite une attention particulière concernant la minimisation des pertes par entraînement et un traitement des eaux résiduaires éventuellement plus important.
Les solutions doivent être chauffées, ce qui entraîne une consommation accrue d'énergie.

Applicabilité
La protection contre la corrosion pouvant être obtenue grâce à ces traitements est actuellement limitée au niveau de protection fournie par les finitions équivalentes bleu clair et jaune irisé obtenues avec du chrome hexavalent. Bien que le chrome trivalent dépasse désormais les performances du chrome hexavalent pour l'obtention de ces couleurs, les finitions noires, kaki et brunes ne peuvent être remplacées. Leur résistance à la corrosion a été développée afin de correspondre ou de dépasser les performances du Cr(VI) grâce à l'utilisation de revêtements supplémentaires, voir section 2.5.11 et la section 2.5.17.

Aspects économiques
Economies réalisées grâce à la réduction des coûts de traitement des effluents, de gestion de la santé et de la sécurité, y compris l'épuration de l'air évacué.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Les directives VHU et LSD.
Cette technique permet également de réduire les contraintes en matière de santé et de sécurité, ainsi que les dépenses occasionnées par la suppression des aérosols, l'évacuation de l'air et la surveillance du chrome hexavalent dans l'atmosphère du lieu de travail.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002] (Communication personnelle, Berthold Sessler, CETS) [98, CE, 2003, 99, CE, 2000].

4.9.10.3 Traitement de conversion sans chrome

Description
Les traitements sans chrome se basent sur des traitements utilisant une solution composite de fluorure de zirconium-flurorue organique, des traitements composés de fluorure de titane, ou des traitements à base de dérivés de silicium organique (silanes). Ces traitements peuvent nécessiter une couche de polymère supplémentaire, comme par exemple un vernis électrophorétique, afin d'obtenir la résistance à la corrosion requise, voir section 2.5.11.

Il existe des procédés de teinture noire, qui doivent être complétés par un colmatage ou des couches de finition pour l'apparence et la protection anticorrosion.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation de rejet de chrome hexavalent

Effets d'interaction
Les alternatives basées sur les MSDSq peuvent se révéler aussi toxiques que les solutions à base de Cr(VI).

Applicabilité
Les solutions sans chrome utilisées sur le marché ne sont pas encore pleinement capables de fournir une protection contre la corrosion du zinc équivalente aux couches de conversion au chromate. Ces nouveaux traitements présentent encore certaines limites en ce qui concerne notamment le niveau de la protection anticorrosion et la capacité de liaison requise avec une quelconque couche consécutive de polymère appliquée dans un but décoratif et/ou fonctionnel. Il existe des solutions sans chrome, comparables aux solutions de couches de conversion au chrome, pour l'aluminium.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir la section 4.9.6

Documentation de référence
[3, CETS, 2002] [76, BSTSA, , 104, UBA, 2003] (Communication personnelle, Johannes Lusser, ESTAL) [152, ESTAL, 2004] Spécifications techniques concernant le traitement de surface de l'aluminium : QUALICOAT.

4.9.11 Anodisation à l'acide chromique

Description
Voir la section 2.5.13

Applicabilité
Technique principalement utilisée avant un revêtement par poudre mais également dans l'aérospatial, l'électronique et d'autres applications spécialisées, car ses résidus n'engendrent pas de corrosion des substrats d'aluminium ou d'alliage.

Documentation de référence
[90, EIPPCB,]

4.9.12 Phosphochromatation (phosphatation au chrome)

Description
Les colmatants et les finitions de phosphochromatation peuvent contenir du chrome hexavalent. Les traitements de phosphochromatation pour l'aluminium produisent des couches contenant du chrome trivalent et des phosphates. Un bon nombre de ces traitements peuvent être remplacés par des systèmes sans Cr(VI). Ces systèmes sont par exemple à base de silanes, de zirconium et de titane.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation de l'utilisation de Cr(VI) et donc des rejets de cette substance dans l'atmosphère et dans l'eau.

Effets d'interaction
Certains de ces produits alternatifs peuvent se révéler aussi toxiques que le Cr(VI) (selon les fiches toxicologiques MFDS).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
La santé du travail, les directives VHU et LSD

Documentation de référence
[71, BSTSA, , ESTAL, 2004 #152] [98, CE, 2003, 99, CE, 2000]

4.9.13 Substitution du polissage et du ponçage mécanique

Description
Le cuivrage acide présente une excellente capacité de nivelage. Il est parfois utilisé pour remplacer les traitements de polissage et de ponçage.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction ou élimination du bruit et de la poussière des traitements mécaniques.

Effets d'interaction
Accroissement des besoins en traitement des eaux résiduaires.

Données opérationnelles
Les spécifications concernant la rugosité de base et l'épaisseur de couche nécessaire ne nous ont pas été fournies.

Applicabilité
Approprié au traitement des pièces de fabrication avant nickelage et cuivrage décoratif.

Aspects économiques
L'investissement dans des systèmes de polissage et de ponçage est remplacé par un investissement dans un système de traitement de cuivrage acide.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Simplification des exigences liées à la santé et à la sécurité

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 113, Autriche, 2003]

4.9.14 Substitution et choix du dégraissage

4.9.14.1 Pré-nettoyage mécanique - centrifugation

Description
L'huile et la graisse en excès peuvent être éliminées mécaniquement, côtés par centrifugation ou par lames d'air (voir section 2.3.5 pour les systèmes alternatifs) avant d'autres formes de dégraissage, comme le dégraissage chimique ou par solvants.

Bénéfices environnementaux atteints
Permet d'allonger la vie des solutions de dégraissage. Economies réalisées sur les produits chimiques et autres intrants destinés au dégraissage. Réduction de la production de déchets.

Effets d'interaction
Consommation énergétique pour la centrifugation et pour d'autres techniques mécaniques.

Données opérationnelles
La majorité des dépôts d'huile sur des composants de petite taille peut être éliminée par la force centrifuge, à condition que les composants puissent supporter la charge mécanique sans subir de distorsion, par exemple, les vis, les boulons, les écrous et les clous. Dans la plupart de cas, l'huile éliminée peut être recyclée après filtration. Le fait de chauffer les composants permet d'améliorer le nettoyage en diminuant la viscosité de l'huile.

Des pièces de fabrication peuvent être détruites ou des surfaces destinées à recevoir une finition décorative peuvent être endommagées.

Applicabilité
La majorité des composants huilés de petite taille, est généralement traitée au tonneau. De l'énergie est utilisée pour chauffer les composants avant la centrifugation.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Réduction du traitement de dégraissage consécutive, réduction de la consommation de produits chimiques de dégraissage et d'énergie, et amélioration de la qualité.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002]

4.9.14.2 Dégraissage au solvant

Description
Voir la section 2.3.3

Bénéfices environnementaux atteints
Faible consommation thermique

Effets d'interaction
Certains CHC étant classés comme matériaux potentiellement cancérigènes, leur potentiel de pollution de l'eau, leur émissions problématiques dans l'atmosphère et leur utilisation, de manière générale, est strictement réglementée (voir les Eléments moteur de mise en œuvre ci-dessous). Les solvants alternatifs sont inflammables.

Il est possible que l'utilisation et le contrôle de cette technique soient décrits dans le BREF concernant le traitement de surface à l'aide de solvants.

Données opérationnelles
Bon rendement de nettoyage, séchage rapide

Applicabilité
Applicable de manière quasi universelle, voir section 2.3.3

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Technique utilisée pour les travaux de haute précision, par exemple, dans certaines applications aérospatiales ou militaires. Cette technique est utilisée lorsque les traitements à base d'eau peuvent endommager la surface traitée.

Exploitations de référence
Technique largement utilisée

Documentation de référence
[90, EIPPCB,] [12, PARCOM, 1992, 93, CE, 2000, 96, CE, 2003, 97, CE, 1999] [165, Tempany, 2004]

4.9.14.3 Dégraissage chimique aqueux (trempage)

Description
Cette section traite du dégraissage aqueux sans cyanure, voir section 2.3. Les agents nettoyants peuvent présenter des pH, des types d'agents de surface et des concentrations différents, selon la charge en huile/de graisse d'origine, le substrat traité et les conditions de traitements ultérieurs.

Bénéfices environnementaux atteints
Les acides et les alcalis utilisés sont simples et d'un traitement facile dans des installations classiques de traitement des eaux résiduaires, à moins que des agents chélatants forts ne soient présents dans l'effluent (voir l'EDTA, section 4.9.1 et le traitement des eaux résiduaires, section 4.16.8).

Effets d'interaction
Les cuves de traitement fonctionnent à des températures de 40 à 90 °C et peuvent nécessiter un système d'extraction des fumées afin d'éliminer la vapeur d'eau et les émanations alcalines ou acides.

Des métaux peuvent être décapés de la surface du substrat, (y compris des éléments-traces comme le plomb) dans certains aciers. Ils peuvent séparés après ajustement du pH.

Les solutions acides ou alcalines utilisées sont souvent traitées séparément car elles engendrent un changement important de pH pour lequel les installations de traitement des eaux résiduaires en flux continu peuvent ne pas être adaptées.

Les agents de surface utilisés ne sont généralement pas éliminés dans une installation de traitement classique des eaux résiduaires. Des solutions de nettoyage peuvent nécessiter une séparation des autres effluents de traitement pour éviter d'entraver le fonctionnement de la station de traitement des eaux résiduaires en générant un excès d'agents de surface.

L'entretien des bains peut allonger la durée de vie de ces derniers, voir section 4.11.13.

Données opérationnelles
Une durée d'utilisation relativement courte de la solution de traitement, en fonction de la production et de la quantité d'huile et de graisse éliminée.

Applicabilité

Dans la plupart des cas, les systèmes de dégraissage à base d'eau ont fait leurs preuves en tant que solution de substitution aux procédés à base de solvant.

Les traitements de nettoyage du zinc et de l'aluminium doivent s'effectuer à un pH neutre ou quasi neutre.

Les solutions de dégraissage émulsifiantes ont une efficacité de dégraissage supérieure, mais elles sont plus difficiles à régénérer que les systèmes de dégraissage par émulsion instable (émulsion faible). Leur applicabilité doit être déterminée au cas par cas.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
La santé et la sécurité, le remplacement des solvants sur le lieu de travail.

Exploitations de référence
Techniques utilisées dans le monde entier

Documentation de référence
[IHOBE, 1997 #6; UBA, 2003 #104, CETS, 2002 #3[124, Allemagne, 2003]

4.9.14.4 Nettoyage par émulsion faible

Description
Il s'agit d'une variante du dégraissage chimique aqueux, celle-ci utilisant une solution d'un entretien plus simple. Les agents de surface utilisés dans les solutions de dégraissage par émulsion faible sont développés chimiquement de sorte qu'ils ne forment pas d'émulsion stable avec les huiles et les graisses éliminées. Les cuves de dégraissage sont vidangées vers un bac de stockage (généralement attribué à un groupe de cuves de dégraissage) destiné à l'élimination des huiles et des sédiments flottants. La solution de nettoyage par émulsion faible se sépare d'elle-même, des systèmes mécaniques simples (écrémeurs) peuvent donc être utilisés pour l'élimination de l'huile. Grâce à l'élimination en continu des contaminants par le biais du bac de stockage et la réinjection des solutions de dégraissage nettoyées dans le bain, une durée de vie élevée de la solution peut être obtenue.

Les systèmes de dégraissage par émulsion faible offrent ainsi un compromis entre les deux exigences inhérentes aux systèmes de dégraissage :

- une capacité d'absorption de l'huile plus faible (bien que suffisamment élevée) que les bains de dégraissage à émulsion forte ;
- les solutions sont plus facilement régénérées et réutilisées.

Ces caractéristiques permettent de mettre en œuvre le type de systèmes appropriés.

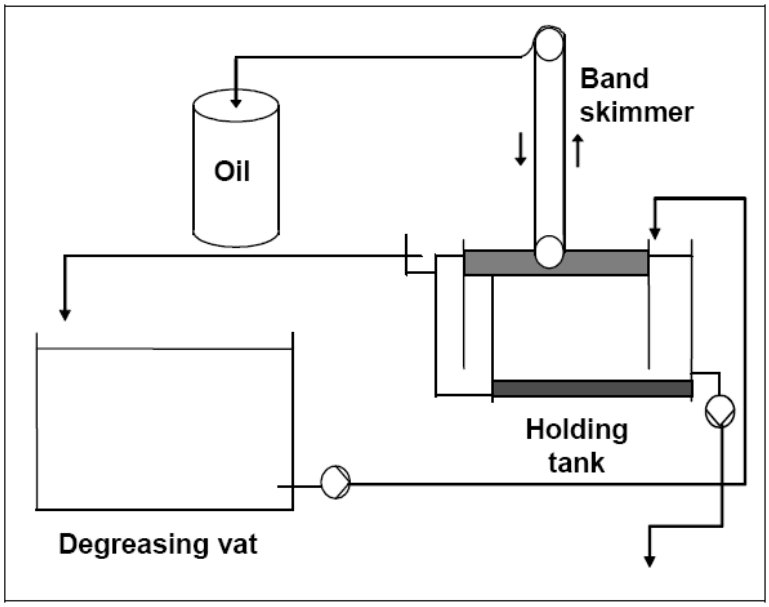


Figure 4.21 : Système de dégraissage par émulsion faible avec réservoir de stockage destiné au nettoyage
[104, UBA, 2003]

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation de la consommation de produits chimiques et d'énergie au cours du nettoyage.

Effets multimilieux
Léger accroissement de la consommation énergétique engendré par le pompage et la récupération de l'huile.

Données opérationnelles
L'avantage d'un système par émulsion faible est que la solution est rafraîchie de manière constante car l'huile en est éliminée.

Le dégraissage par émulsion faible peut provoquer la formation de pellicules de graisse/huile sur les panneaux des tonneaux – en particulier après immersion dans le premier bain. Cette pellicule peut être transportée au travers de toutes les cuves de l'installation. Ces pellicules de graisse/huile provenant des dispositifs de nettoyage à émulsions faibles peuvent bloquer les résines des échangeurs ioniques et les membranes des traitements à membranes si ces types de procédés sont utilisés pour la remise en circulation des rinçages dans l'installation. Les émulsions stables n'engendrent pas ce genre de conséquence.

Applicabilité
Cette technique a été appliquée dans de nombreux cas, le passage aux systèmes de dégraissage par émulsion faible ayant permis d'obtenir des résultats de nettoyage satisfaisants.
Les pièces de travail dont la surface souffre d'une pollution à forte adhérence ou couvertes d'huiles ou de graisses très visqueuses ne peuvent être nettoyées à l'aide de systèmes par émulsion faible.
Les systèmes par émulsion forte présentent de meilleures capacités de dégraissage, mais sont plus difficile à régénérer. Il est souhaitable de déterminer l'applicabilité de ces systèmes au cas par cas.

Aspects économiques
Le coût de l'investissement dans ce type d'installation peut se révéler élevé, en particulier si elle est associée au choix d'entretien développé dans les sections 4.11.13. Un investissement sur une installation plus complexe sera probablement rentable uniquement si la chaîne de traitement et les quantités d'huile et de graisse traitées sont conséquentes.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Amélioration du contrôle de traitement en aval

Documentation de référence
[104, UBA, 2003], [118, ESTAL, 2003], [113, Autriche, 2003]

4.9.14.5 Dégraissage biologique

Bien que cette technique soit souvent considérée comme une technique de substitution, il s'agit d'une technique d'entretien des bains de dégraissage alcalins faibles qui permet de rallonger leur durée de vie réduite grâce à une régénération continue en dérivation. Cette technique est décrite dans sa totalité dans la section 4.11.13.4.

4.9.14.6 Glace carbonique

Description
Voir la section 2.3.5.3

Bénéfices environnementaux atteints
Elimination de l'huile, de la graisse et des particules, de la peinture, etc. sans recours aux solvants.
Déchets secs ne contenant que des composants éliminés.

Effets d'interaction
Génération de bruit et consommation d'énergie pour former et propulser les granulés de glace carbonique.

Données opérationnelles
Voir la section 2.3

Applicabilité
Ce procédé est principalement utilisé pour le nettoyage des pièces de pressage et d'autres parties spécifiques. Dans certains cas, il est utilisé pour le décapage de revêtements (organique et métallique).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Elimination de la peinture sans solvant et sans émission de solvant.

Documentation de référence
[116, République tchèque, 2003]; CETS, 2003 #115]

4.9.14.7 Nettoyage aux ultrasons

Description

Le nettoyage aux ultrasons utilise les ondes acoustiques haute fréquence pour améliorer l'efficacité de nettoyage des agents de nettoyage aqueux, semi aqueux et des solvants. En générant des zones de haute et de basse pression dans le liquide, les ondes acoustiques créent des bulles de vide microscopiques qui implosent lorsque l'onde acoustique se déplace et que la zone passe d'une pression négative à une pression positive : c'est ce que l'on appelle la cavitation. Si ce phénomène se produit au niveau de la surface à nettoyer, les cycles de pression entraînent des impacts locaux, résultant en une action mécanique à la surface. En théorie, des pressions localisées >1 000 bars sont générées, ces pressions permettent de déloger la graisse et les poussières.

Des agents décapants rendent ce traitement viable dans les solutions aqueuses.

Bénéfices environnementaux atteints
Un nettoyage plus efficace nécessitant moins de produits chimiques dangereux, lorsqu'une solution aqueuse est utilisée.

Effets d'interaction
Les eaux résiduaires peuvent comporter des phosphates, des agents de surface, de la pâte à polir et des métaux qui y sont contenus (cuivre et zinc).
Génère du bruit à fréquence élevée qui peut dépasser 85 dB.
Il est fait état d'une consommation énergétique de 10 W par litre.
Les systèmes à base de solvant contiennent des solvants organiques volatils.

Données opérationnelles
Avantages du traitement : la surface qui doit être nettoyée n'est pas attaquée ; bonne efficacité de dégraissage et durée de traitement réduite. Approprié à un nettoyage de précision.

Des agents nettoyants chimiquement efficaces et une température plus élevée permet d'accélérer le traitement. Les agents nettoyants peuvent être :

- alcalins (pH 8 – 14) bien qu'un pH >10 puisse attaquer certains substrats tels que l'aluminium, le zinc
- neutres (pH 7 – 9,5), utilisés pour éliminer les poussières
- acides (pH 2 – 6). Ces agents nettoyants éliminent les huiles et la graisse, bien qu'ils ne soient pas aussi efficaces que les agents alcalins. Ils sont utilisés pour le nettoyage de surfaces oxydées.

Les solvants organiques présentent de bonnes propriétés d'élimination des pâtes et ont l'avantage de sécher rapidement. Ils sont coûteux et plus toxiques que les solutions aqueuses.

Le déséquilibre éventuel des transducteurs peut provoquer des zones de choc d'ondes et des zones mortes, entraînant un nettoyage irrégulier.

Certaines pièces peuvent tomber des supports à cause des vibrations engendrées.

Applicabilité
Technique largement applicable, qui n'attaque pas les surfaces à nettoyer (telles que le cuivre, le zinc).

Aspects économiques
Le coût d'installation de ce système sur une chaîne automatisée de dépôt électrolytique est d'approximativement 80 000 euros (2004).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Une possibilité d'application étendue et un nettoyage de haute qualité.

Exploitations de référence
On dénombre au moins deux installations au Portugal.

Installation A : 250 litres, cette utilisation utilise un bain de dégraissage aqueux sans silicates et avec un pH neutre ; élimination de la pâte de polissage :

- température de fonctionnement : 60°C
- durée du bain : 1 semaine
- puissance des ultrasons : 1200 W.

Installation B :

- température de fonctionnement du bain : 55 à 60°C (chauffé grâce à un dispositif électrique)
- durée d'utilisation de la solution du bain : 90 jours
- consommation : 50 kg de produits chimiques/mois
- inconvénients du traitement : coût de l'équipement.

Documentation de référence
(Correspondance personnelle, S Gome, Instituto d'eau Ambiente, Portugal) [159, TWG, 2004]
Voir annexe 8.8.

4.9.14.8 Nettoyage électrolytique avec contrôle du pH

Description
L'électrolyse d'une solution de dégraissage est utilisée pour éliminer la graisse et les poussières avant une opération de revêtement (voir les sections 2.3.8 et 2.9.3.1). La solution de dégraissage est surveillée en continu à l'aide de mesure de pH pour en définir l'efficacité et pour contrôler l'ajout d'une solution neuve.

Bénéfices environnementaux atteints
Permet de minimiser l'utilisation d'une solution de dégraissage et la quantité de la solution résiduaire nécessitant un traitement. Réduit le volume des eaux résiduaires et des boues provenant de la station de traitement des eaux résiduaires.

Effets d'interaction
Production d'un mélange explosif de gaz (O_2 et H_2).

Données opérationnelles
Le traitement permet de réduire la contamination des solutions de dépôt et contribue à diminuer les rejets de produits finis.

Applicabilité
Installations neuves et existantes, avant les sections de traitement de revêtement.

Aspects économiques
Les coûts approximatifs pour les installations de traitement en bande à grande échelle représentent un investissement initial >0,8 euro /t avec des coûts de fonctionnement de 0,015 à 0,8 euro /t installés.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité et efficacité du traitement

Exploitations de référence
De nombreuses installations de revêtement en bande

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.9.14.9 Systèmes de dégraissage à haute performance

Description
Pour un nettoyage de qualité, des systèmes aqueux sont utilisés et peuvent être complétés par la mise en place d'une action électrolytique. Un nettoyage de qualité est crucial pour les solutions de traitement modernes tel que le zingage acide, etc.

En cas de pièces fortement huilées, un dégraissage à étapes multiple peut être avantageux. Dans la première étape, un pré-dégraissage à l'eau chaude ou une solution de nettoyage par émulsion instable est utilisée (voir section 4.9.14.4). Dans la deuxième étape, une solution de nettoyage par émulsion plus forte est utilisée. De même, la combinaison de deux bains dégraissant en séquence, le second bain, plus propre étant utilisé pour régénérer ou remplacer le premier bain, plus sale, permet d'allonger considérablement la durée de vie des solutions de dégraissage.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée d'utilisation des solutions de dégraissage. Réduction des opérations de retraitement.

Effets d'interaction
Consommation énergétique des systèmes fonctionnant à des températures élevées

Aspects économiques
Déterminés au cas par cas

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Meilleure qualité des pièces de fabrication ou du substrat pour un traitement ultérieur.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003]

4.9.15 Autre technique de dégraissage

Description
De nombreuses techniques alternatives sont citées dans la section 2.3, telles que :

- des lames d'air et des rouleaux : pour la tôle, les composants pressés à plat et les câbles, la majeure partie de l'huile peut être éliminée en faisant passer ces composants au travers d'un dispositif de séparation qui peut être mécanique (cylindre pour essoreuse) ou une lame d'air ;
- dégraissage au cyanure : considéré comme obsolète ;
- eau chaude : de l'eau chaude (80 à 90°C) sans produit chimique peut éliminer la majeure partie de l'huile et de la graisse. Ce procédé est principalement utilisé dans le secteur

automobile lors du nettoyage des tôles d'acier pressées. L'utilisation d'un jet d'eau haute pression améliore le nettoyage ;
- Essuyage à la main : des composants de taille importante et/ou d'une valeur élevée peuvent nettoyés manuellement à l'aide de chiffons de tissu ou de papier.

Certaines de ces techniques viennent d'être développées (par exemple, les lames d'air, la glace carbonique) et ne sont pas largement utilisées. L'essuyage à la main est utilisé pour des applications spécifiques, par exemple, pour le nettoyage des composants de valeur élevée.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie des solutions de dégraissage.

Effets d'interaction
L'essuyage à la main peut produire une grande quantité de déchets, tels que des chiffons de papier et des solvants. De plus, l'utilisation de solvants est mal encadrée.

Applicabilité
L'application de cette technique dépend de la taille et du type de composants : voir la description ci-dessus.

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 112, Assogalvanica, 2003] [90, EIPPCB, , 129, Espagne, 2003]

4.9.16 Substitution par des traitements alternatifs

Description
L'industrie de transformation se dirige vers l'application de normes de performance, telles que la résistance à la corrosion obtenue. Ce phénomène est catalysé dans les installations où les revêtements traditionnels (par exemple, le zinc et la passivation au chrome hexavalent) sont remis en cause par les récentes directives exigeant la limitation de la quantité de chrome hexavalent dans les produits hors d'usage. Cette évolution remet en cause les spécifications de traitement classique.

Afin de parvenir aux normes modernes élevées de prévention de la corrosion, des systèmes multicouches sont utilisés de manière croissante. Ce système permet à l'exploitant de proposer des systèmes alternatifs aux clients qui obtiennent les mêmes critères de performance, et l'éventualité de s'éloigner de traitements plus polluants. Par exemple :
- le nickelage auto-catalytique pour certaines applications de chromage dur
- des alliages de zinc à la place de la passivation du zinc et du chrome, conjointement avec l'utilisation de vernis organiques appliqués par trempe ou peinture par électrophorèse
- peinture par électrophorèse conjointement avec une étape de phosphatation (voir les BREFS concernant les solvants [92, EIPPCB,]).

Remarque : le cadmiage, par exemple, a déjà été largement substitué par des réglementations commerciales et d'utilisation qui ont exigé que de nombreuses

spécifications soient modifiées afin de mettre en œuvre des traitements de surface alternatifs.

Traitements alternatifs n'entrant pas dans la portée de ce document
Les métaux peuvent être appliqués à l'aide de procédés physiques, tels que le dépôt en phase vapeur. Ces procédés n'entrent pas dans le champ de ce document. Cependant, un exploitant peut souhaiter envisager l'application de ces derniers en tant qu'option technologiquement propre, telle qu'établie dans la directive PRIP, annexe IV. Bien que de telles techniques soient "technologiquement propres", elles peuvent engendrer certains effets d'interaction liés aux milieux, tels qu'une utilisation accrue d'énergie.

Ces techniques comprennent par exemple :

- le dépôt en phase vapeur d'aluminium sur des matières plastiques destinées à des réflecteurs lumineux pour voiture
- le dépôt en phase vapeur de chrome en tant que finition décorative, telle que sur les accessoires de salle de bain.

Le chromage dur peut être remplacé dans certaines applications par un alliage WC-Ni(Co)Cr/Cr_2O_3, ou par une pulvérisation d'oxygaz à haute vitesse ou la pulvérisation de plasma.

Le département de la défense américain finance une étude sur les systèmes alternatifs aux couches de conversion au chrome, et l'EPA américaine a également mené des recherches pour le remplacement des couches de conversion au chromate sur l'aluminium et le zinc.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des émissions nocives.

Effets d'interaction
Ces effets doivent faire l'objet d'une étude pour chaque application.

Données opérationnelles
A déterminer pour chaque application

Applicabilité
A déterminer pour chaque application
L'application de cette technique peut être limitée par des spécifications distantes.

Aspects économiques
A déterminer pour chaque application.
Globalement, une réglementation imposée par les secteurs contenant massivement ce type de produit, entraînera un remplacement des normes classiques de la surface de traitement.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Les réglementations concernant les produits, la santé et la sécurité, comme par exemple les directives automobile et électronique.

Documentation de référence
[68, USEPA, 2003, 106, NCMS, 2003] [94, CE, 1999, 96, CE, 2003, 98, CE, 2003, 99, CE, 2000] [30, CE, 2003] [121, France, 2003] [106, NCMS, 2003] [66, PPRC, 2003, 68, USEPA, 2003]

4.10 Techniques courantes de traitement des eaux et des solutions aqueuses : eau d'alimentation, rinçage, traitement des eaux résiduaires, solutions de traitement, et récupération de matériaux

De nombreuses techniques peuvent être utilisées pour les eaux et les solutions aqueuses afin de :

- éliminer les matériaux indésirables pour :
  - nettoyer l'eau entrante destinée au rinçage,
  - recycler les eaux de rinçage,
  - éliminer les produits de décomposition ou les impuretés métalliques dans les solutions de traitement,
  - traiter les eaux résiduaires avant de les évacuer ;
- éliminer l'eau afin de concentrer les matériaux, pour par exemple récupérer les pertes par entraînement, recycler les matériaux provenant des eaux résiduaires.

Le tableau 4.12 énumère les sections relatives à ~~de~~ l'application de techniques de traitement.

section	Sujet ou techniques
4.4.5.1	Alimentation en eau, traitement et recyclage/réutilisation
4.7	Techniques de rinçage et récupération des pertes par entraînement
4.7.8	Régénération et réutilisation/recyclage des eaux de rinçage
4.7.11	Accroître le taux de pertes par entraînement et fonctionner en circuit fermé
4.7.12	Techniques combinées et approches concernant la totalité de l'installation
4.11	Entretien de la solution de traitement
4.11.13	Entretien de la solution de dégraissage
4.11.14	Décapage
4.12	Récupération des métaux de traitement
4.16	Techniques de réduction des émissions d'eaux résiduaires
4.16.12	Techniques permettant d'obtenir un rejet zéro

Tableau 4.12 : Sections traitant de l'application de techniques de traitement

Une liste des techniques fréquemment utilisées, seules ou combinées à d'autres techniques, destinées à atteindre divers objectifs est présentée dans le tableau 4.13.

Le tableau 4.14 dans la section 4.11 énumère les solutions de traitement fréquemment utilisées, leurs polluants gênant et leurs techniques de traitement.

Technique	Applicabilité : références aux section s avec exemples d'utilisations (les descriptions des traitements principaux sont marquées d'un *)	Limites	Effets d'interaction
Filtration	Largement utilisé pour : • les alimentations en eau propres (4.4.5.1) ; • l'entretien des solutions de traitement **(4.11.1*) ;** • le traitement des eaux résiduaires (4.16.10).	Limité à l'élimination à part des solides lorsque le procédé est utilisé conjointement avec une technique d'absorption.	Génération de déchets solides, milieux filtrants usés, etc. Energie utilisée pour le pompage.
Techniques d'absorption	Charbon actif pour éliminer les produits organiques de décomposition des solutions **(4.11.6*).** Du feutre granulé de polypropylène, ou autres milieux lipophiles sont utilisés pour absorber les huiles dans des supports de filtre ou sous la forme de cordes, de tissus, etc. **(4.11.13.2 *).** La filtration par polymère est utilisée pour récupérer de manière sélective des métaux cibles.	Le charbon actif peut également éliminer sans distinction des additifs organiques actifs.	Génération de déchets solides, de milieux d'absorption, etc. Energie utilisée pour le pompage.
Cristallisation	Certains bains de gravure ou de décapage présentant des concentrations relativement élevées, dans lequel l'élimination contrôlée des métaux et le recyclage peut présenter des avantages, par exemple, le cuivre des solutions d'acide sulfurique-peroxyde. Elimination des carbonates destinés à entretenir des solutions de dépôt alcalines et cyanurées **(4.11.4*).** Egalement pour le décapage acide, et les agents d'attaque chimique de l'aluminium **(4.11.5*)**	Voir Applicabilité.	Energie utilisée pour le refroidissement et le pompage.
Evaporation atmosphérique : Naturelle et assistée (évaporateurs, etc.)	Utilisé pour concentrer les solutions de traitement ou les rinçages. (4.7.2, **4.7.11.2 *, 4.7.11.3 *)** Dans certains cas, le distillat peut être réutilisé dans ~~une table~~ le procédé de rinçage. Le distillat peut piéger une partie de la solution de pulvérisation provenant du procédé (comme par exemple dans le dépôt de Cr(VI)).	Dans certaines applications, il existe un risque de sur-concentration et d'encrassement de l'évaporateur provoqué par un relargage. Les agents de surface peuvent provoquer des problèmes de formation de mousse. Certains constituants des bains peuvent être dégradés par la chaleur ou oxydés. L'évacuation de l'air peut provoquer l'accumulation de carbonates. Les résultats du recyclage varient en fonction des conditions de traitement et de flux invariables.	Lorsque les flux d'alimentation et/ou les flux d'air doivent être chauffés, les évaporateurs atmosphériques entraînent une consommation d'énergie élevée. L'air évacué peut contenir des substances dangereuses. Si le distillat piège une partie de la solution de pulvérisation et que cette dernière n'est pas renvoyée vers la solution, un traitement peut être nécessaire.
Evaporation sous vide	Utilisé pour concentrer les solutions de traitement ou les eaux de rinçage **(4.16.12.1.1** *) dans lesquelles : • la pollution atmosphérique est un problème potentiel ; • des températures d'évaporation relativement basses sont nécessaires pour éviter l'apparition de problèmes avec des solutions thermosensibles et/ou sensibles à l'oxydation ; • les solutions cyanurées alcalines ~~qui~~ provoquent l'accumulation de carbonates de manière aisée ; • les coûts énergétiques engendrés par l'évaporation atmosphérique sont élevés. Production d'un condensat de haute qualité qui peut être réutilisé et un concentré qui peut être réutilisé, recyclé ou géré en tant que déchet	Coût élevé d'investissement. Potentiel d'application spécifique pour les limites d'encrassement et de séparation.	En cas d'encrassement, les flux résiduaires doivent être nettoyés périodiquement. Certains déchets concentrés peuvent être difficiles à éliminer ceux si ils ne sont pas recyclés ou réutilisés.

Technique	Applicabilité : références aux section s avec exemples d'utilisations (les descriptions des traitements principaux sont marquées d'un *)	Limites	Effets d'interaction
Electrolyse-recyclage des métaux	Largement utilisé pour la récupération des métaux précieux, du cuivre, du zinc, de l'étain/plomb. Plus le métal est noble, plus la récupération est simple **(4.12.1*).** Effectué de manière optimale à partir de solutions concentrées, telles que les rinçages statiques, et en combinaison avec d'autres techniques, par exemple, les régénérations par échange ionique et les concentrations par osmose inverse (4.7.12). Certains choix permettent d'améliorer le rendement et de surmonter la polarisation de l'électrode et une vitesse réduite de diffusion ionique.	Le chrome est le seul métal qui n'est pas récupéré habituellement (mais, voir section **4.12.1*).** En pratique, les concentrations minimales varient, mais le dépôt avec des concentrations faibles est difficile (voir Applicabilité). La récupération des métaux peut être difficile pour les solutions qui contiennent des métaux chélatés ou complexés, des agents réducteurs ou des stabilisants	Utilisation élevée de courant si la concentration est très faible.
Electrolyse-élimination du dépôt	Elimination des impuretés métalliques (densités de courant faible, DCF) qui s'accumulent dans le temps, par exemple : • les solutions d'amorçage de nickel, et le dépôt de nickel, de cuivre, de cadmium, et de chrome trivalent **(4.11.8*) ;** • élimination des métaux en excès (4.11.9*) ; • purification des acides (par exemple, l'acide sulfurique du décapage de câble cuivré).	/ /	/ /
Electrolyse-oxydation	Oxydation des solutions cyanurées (4.16.4). Densité de courant élevé (DCE) afin de d'oxyder le Cr (III) en Cr (VI) Et les sous-produits organiques **(4.11.10*).**	/	/
Echange ionique-résine	Description générale de l'annexe **8.7*** 1. Utilisé pour éliminer les ions afin de d'accroître la qualité de l'eau : • amélioration de la qualité de l'eau entrante dans des applications d'adoucissement de l'eau par désionisation (4.4.5.1) ; • récupération de l'eau de rinçage (4.7.8.1) ; • applications de traitement des eaux résiduaires (4.16.10) 2. Concentration des ions sur la résine, et récupération de la solution de métaux concentrés (4.12.2)	L'échange ionique peut être inutilisable avec des concentrations totales en solides dissous supérieures à 500 ppm, car une régénération fréquente est alors nécessaire. Des résines différentes ont des gammes de pH efficaces différentes. Les oxydants, les solvants, les matières organiques, l'huile et la graisse et les acides forts ou les alcalis (avec les résines inappropriées) peuvent dégrader les résines. Les solides en suspension peuvent colmater les colonnes de résine.	Les produits chimiques utilisés pour la régénération. Impacts des solutions résiduaires provenant de la régénération. Consommation d'énergie destinée au pompage.
Electrodésionisation	Technique efficace pour des applications de purification/récupération d'une eau d'une pureté relativement élevée, comme pour le perméat d'osmose inverse issu du traitement par polissage (pas d'exemple).		Aucun produit chimique utilisé dans la régénération des résines.
Sorption d'acides (résine) ou retardement	Régénération des acides, en particulier des acides de décapage et de gravure (**4.11.3*),** comprenant l'anodisation **(4.11.3.1*)**	Ne peut être appliqué pour certains acides hautement concentrés. A ne pas utiliser sur des acides à complexes anioniques sorbés sur la résine, ce qui réduit le niveau de récupération de l'acide. Limites de température spécifique à l'application à ne pas dépasser	Uniquement une partie de l'acide libre ou inutilisé est récupérée. 33 à 70 % de l'acide peut terminer son parcours dans l'effluent résiduaire et nécessiter un traitement de dépollution.
Echange ionique-liquide/liquide	Utilisé actuellement dans une seule application : la fabrication de cartes de circuits imprimés , le recyclage des agents d'attaque alcalins (ammoniac) avec récupération du cuivre **(4.15.7 *)**	Coût d'investissement élevé	Consommation énergétique.

Technique	Applicabilité : références aux section s avec exemples d'utilisations (les descriptions des traitements principaux sont marquées d'un *)	Limites	Effets d'interaction
Filtration par membrane **microfiltration** **(MF)** **ultrafiltration** **(UF)** **nanofiltration** **(NF)**	Purification de l'eau entrante (MF et UF, 4.4.5.1) Elimination des huiles et des graisses des bains de dégraissage (MF et UF, 4.11.13.6*) et dans le revêtement en bande (4.14.7) Traitement des eaux résiduaires : accroissement de la quantité des solides éliminés, donc : niveaux de métaux moindres obtenus, par exemple, remplace les applications de clarification et de polissage, (4.16.10), techniques de rejet zéro (4.16.12), etc. Pour les cartes de circuits imprimés, filtration de la réserve décapée dans les effluents (4.15.5).	Agents nettoyants éliminés avec les huiles/graisses. Les agents nettoyants à concentration élevée en silicate sont moins susceptibles de répondre de manière appropriée au traitement. Les solutions de nettoyage de l'aluminium ne sont pas recyclés à cause d'accumulation d'aluminium dissous.	L'huile/graisse ou solides résiduaires à éliminer : Consommation énergétique liée au pompage. Colmatage des membranes, en fonction des solutions traitées.
Osmose inverse **(OI)**	Purification de l'eau entrante pour générer une eau déionisée de haute qualité (4.4.5.1) ; Séparation et récupération des eaux de rinçage et des produits chimiques pour : De manière générale (4.7.8.2*), Le nickelage électrolytique (4.7.11, 4.7.11.5) Le cuivre (acide et cyanuré) Le zinc acide Le chromate Le recyclage des eaux résiduaires à grande échelle. En combinaison avec d'autres techniques : 4.7.12, 4.16.12.2)	Les performances des membranes se détériorent dans le temps. Les membranes sont sujettes à encrassement par des matières organiques, la dureté de l'eau, des matières en suspension (peut nécessiter une étape de pré-filtration, avant le contrôle du pH et le contrôle de la concentration ionique). Certains ions tels que les borates présentent des niveaux médiocres de rejet. Les agents oxydants peuvent endommager les membranes, ainsi que les solutions acides ou alcalines >0.25 mole. La pression osmotique limite l'OI à une quantité totale de matières dissoutes <5000 ppm.	Energie nécessaire au pompage pour surmonter la pression osmotique de la solution.
Dialyse par diffusion	Entretien ou recyclage des acides usés ou contaminés lorsque les concentrations d'acide sont >3 % M/M, par exemple : Pour les solutions décapantes ou de décapage de HCl, H_2SO_4 HNO_3 (4.11.14.2*) Solutions d'anodisation Solutions de décapage de l'acier inoxydable de HNO_3/HF Solutions d'attaque chimique de l'aluminium de HCl/H_2SO_4 Les solutions d'acide méthane sulfonique (AMS)	Les acides qui ne sont pas très dissociés (par exemple H_3PO_4) ne traverseront pas la membrane. Des anions métalliques complexés (par exemple, le fluorotitane) migrent aisément et ne sont pas séparés correctement. un refroidissement peut être nécessaire si la température de la solution entrante est >50C, si celle-ci est froide, il est nécessaire de la chauffer.	L'acide recyclé n'est pas d'une qualité optimale et de l'acide propre est souvent nécessaire. L'effluent résiduaire d'acide épuisé contient de 5 à 20 acides et de 60 à 95 % de métaux provenant d'une solution entrante, et nécessite d'être traité. Une alimentation en eau déionisée est nécessaire.

Technique	Applicabilité : références aux section s avec exemples d'utilisations (les descriptions des traitements principaux sont marquées d'un *)	Limites	Effets d'interaction
Electrolyse à membrane	Allonge la durée de vie des bains pour les solutions d'acide chromique et d'autres agents d'attaque chimique à base d'acide (y compris pour les matières plastiques), les solutions décapantes et de décapage. Elimine les contaminants Oxyde le Cr (III) en Cr (VI) (4.11.11 *) Des systèmes à cellules multiples peuvent être utilisés pour les acides hautement corrosifs. Allongement de la durée de vie des solutions de nickel autocatalytiques(3.2.3.4)	La fabrication peut nécessiter des matériaux spéciaux. Les complexes métalliques anioniques nécessitent un pré-traitement. Les températures de fonctionnement sont limitées à une plage de 15 à 60 °C. L'huile la graisse et les solvants peuvent endommager les membranes. Les solides en suspension et les précipités peuvent boucher les membranes.	Des vapeurs toxiques peuvent être générées.
Electrodialyse	Entretient les électrolytes de nickel en éliminant les produits organiques de décomposition (préserve la ductilité du dépôt de nickel) (4.11.2) ; Entretient et allonge la durée de vie des solutions de nickelage autocatalytique (4.11.2) ; Allonge la durée de vie des acides décapants et des solutions d'attaque chimique (comme pour l'étain, l'étain/plomb (4.11.14.2*)) Récupération des métaux provenant des eaux de rinçage, par exemple, le nickel (4.7.11.4*).	Afin d'empêcher le blocage de la membrane, les acides décapants doivent subir une pré-filtration.	Consommation énergétique.

Tableau 4.13 : Techniques de traitement des systèmes aqueux fréquemment utilisées

4.11 Entretien de la solution de traitement

Un contrôle approprié des paramètres de fonctionnement du bain entraînera une meilleure qualité de la pièce de fabrication/substrat ainsi qu'un allongement de la durée d'utilisation du bain. Ce contrôle exige la détermination de paramètres de fonctionnement essentiels et leur entretien dans des limites établies acceptables [67, IAMS, 2003].

Les contaminants affectant la qualité du traitement s'accumulent dans les solutions de traitement sous la forme de produits de conversion ou de décomposition au cours du procédé de traitement ou par entraînement amené avec les pièces de fabrication/substrat des solutions précédentes. Un entretien intermittent ou continu et une régénération du bain sont donc nécessaires, en particulier lorsque la fonction de renouvellement des pertes par entraînement est supprimée par la récupération des pertes par entraînement.

Un soin particulier doit être apporté lors de l'entretien de la solution par intermittence ou sur une base ponctuelle, afin d'empêcher que la solution ne déborde lors du pompage des solutions concentrées d'une cuve à une autre, en s'assurant que tous les cuves sont disposées de manière appropriée et régulière à l'intérieur de zones confinées, que les débordements et les égouttures provenant du pompage sont recueillis et que l'ensemble des tuyaux est correctement fixé, voir section 4.2.1.

En principe, les solutions de traitement chimiques et électrochimiques sont différentes.

Les procédures électrochimiques, dotées d'anodes de dissolution, sont basées sur la migration d'ions métalliques vers la cathode dans le champ électrique appliqué et sont réduites sur le métal. Dans le dépôt électrolytique, la pièce de fabrication ou le substrat est raccordée en tant que cathode, tandis que l'anode consiste de manière générale en un élément constitué du métal à déposer. A l'intérieur du champ électrique, théoriquement, une quantité équivalente de métal dissous de l'anode est déposée cathodiquement, de sorte que la composition de la solution de traitement reste globalement constante. Cela signifie que la durée de vie de la solution de traitement du traitement électrochimique est, en théorie, infinie. Cependant, en pratique, les solutions de traitement souffrent des pertes de qualité entraînées par l'entrée d'impuretés et la formation de substances interférentes, dont les causes sont multiples :

- introduction de substances interférentes provenant de solutions de traitement précédentes entraînées par un rinçage insuffisant ;
- dissolution du métal de base (en particulier dans les solutions de traitement constituées d'acides) ;
- changement chimique des solutions de traitement (réduction du Cr (VI) en Cr (III) dans le chromage, formation de carbonate par réaction du CO_2 provenant de l'atmosphère dont les solutions de traitement alcalines cyanurées) ;
- dissolution du métal de l'anode supérieure à la séparation au niveau de la cathode ;
- décomposition de composés organiques dans les solutions de traitement.

Dans d'autres traitements, des produits chimiques sont également consommés, comme par exemple lors de la réduction d'ions métalliques en métal par des agents de réduction chimique au niveau de sites activés sur le matériau de base dans le dépôt autocatalytique. D'autres réactions chimiques peuvent avoir lieu (comme une conversion de couche). Les ions métalliques, les agents réducteurs et d'autres produits chimiques doivent être ajoutés sous forme de sels et ceci de manière constante, la durée d'utilisation de ces solutions est donc en principe limitée.

En raison de ces processus de dégradation, la qualité d'une solution de traitement peut se détériorer jusqu'à ce qu'elle doive être rejetée, à moins qu'il ne soit possible de conserver la qualité des solutions de traitement à un niveau constant, grâce à l'application d'une technique de régénération, telle que celles décrites dans cette section .

Les procédures décrites dans cette section ne sont pas limitées exclusivement à l'utilisation d'électrolytes. Les traitements apportés par des solutions de décapage et d'attaque chimique, les solutions de dégraissage, etc. viennent s'y ajouter. Les remarques sont limitées à la description technique des procédures individuelles destinées à éviter et à diminuer les nuisances environnementales.

Le tableau 4.14 suivant présente les agents polluants affectant le plus significativement la qualité des solutions dans de nombreux traitements.

Certains sont examinés dans d'autres parties et les références des sections concernées sont indiquées :

Solution de traitement	Polluants affectant la qualité de la solution	Remarques	Technique d'entretien	Référence à la description de la technique
Agent de nettoyage au trempé	Boue d'huile, graisse liquide, éclats métalliques, poussières etc.	Eliminé du travail	Décrite en détail dans la section 4.11.13	4.11.13
Décapage des métaux	Métal dissous	Uniquement pour de grands volumes	Retardement	4.11.3
Décapage des matières plastiques	Résine dissoute Agent oxydant réduit	Situation d'équilibre	Réoxydation au travers d'une membrane de céramique	4.11.10
Déglaçage de couches multiples	Résine dissoute, Cr(VI) and O^{4--}		Réoxydation électrolytique	4.11.10
Agent nettoyant électrolytique	Métal dissous, huile, graisse	Utilisation de compartiment de débordement	Ecrémeur	4.11.13.8
Cuivre cyanuré	Cuivre redondant	Peut être utilisé dans un réservoir supplémentaire pour l'oxydation du cyanure, pour le traitement des eaux résiduaires et/ou le recyclage du Cu ; Dans le bain de dépôt, le traitement amènera l'oxydation du cyanure en ammoniaque et en carbonate, qui sont des produits de décomposition indésirables.	anodes insolubles avec alimentation en CC individuelle	4.4.1.2
	Produits de décomposition d'additifs organiques, carbonates		Traitement au charbon actif ; Dilution de la solution	4.11.6
Cuivre acide	Cuivre redondant		Dilution de la solution	
	Produits de décomposition d'additifs organiques		Traitement au charbon actif	4.11.6
Cuivrage autocatalytique	Produits en décomposition		Alimentation et vidange	
Nickel mat, du type Watt	Nickel redondant		Anode à membrane avec alimentation en CC individuelle	4.4.1.2 4.8.2
	Sous-produits métalliques		Cathode de dépôt sélectif pour des densités de courant faible	4.11.9
			Electrodialyse peut être utilisée pour éliminer les produits de décomposition	4.11.2
Nickel brillant, du type Watt	Nickel redondant		Dilution de la solution	4.4.1.2 4.8.2
	Produits de décomposition d'additifs organiques		Traitement au charbon actif ; Electrodialyse ; Traitement de résine par adsorbeur	4.11.6 4.11.2 4.11.7
	Sous-produits métalliques tels que Zn, Cu, Fe		Cathode de dépôt sélectif pour des densités de courant faible	4.11.9
			L'électrodialyse peut être utilisé pour éliminer les produits de décomposition	4.11.2
Nickel au sulfamate	Produits de décomposition d'agents de surface		Traitement au charbon actif ; Electrodialyse utilisable pour éliminer les produits de décomposition.	4.11.6 4.11.2
Nickelage autocatalytique pour les matières plastique	Orthophosphite, sulfate, sodium, palladium		Remplacer une fois la limite d'utilisation atteinte ; L'électrodialyse peut être utilisée pour éliminer les produits de décomposition	4.11.2
Nickelage autocatalytique pour les métaux	Orthophosphite, sulfate, sodium		A remplacer une fois la limite d'utilisation atteinte Une électrodialyse peut être utilisée pour éliminer les produits de décomposition	4.11.2
Chrome brillant et chromage dur	Cr(III), sous-produits métalliques, dissous des articles déposés		Eau de rinçage statique remise en circulation au travers d'un échangeur cationique avant d'équilibrer les pertes dues à l'évaporation de la solution de traitement	4.11.7 4.7
Zinc alcalin	Carbonates		Cristallisation des carbonates grâce à un traitement à basse température, intermittent et/ou continu	4.11.4
Zinc cyanuré	Zinc redondant		Anodes insolubles	4.4.1.2 4.8.2
	Produits de décomposition carbonates		Cristallisation du carbonate à l'aide d'un traitement à basse température, intermittent et/ou continu	4.11.4
Zinc acide	Zinc redondant		Anodes à membrane avec alimentation en CC individuelle	4.4.1.2 4.8.2
	Produits de décomposition d'additifs organiques		Traitement au charbon actif ; Traitement H_2O_2, utilisation d'une quantité importante d'air.	4.11.6
	Sous produits métalliques	Oxydation du Fe II en Fe III insoluble	pH élevé Traitement H_2O_2 et filtration	
Zinc-nickel (alcalin)	Carbonates		Cristallisation du carbonate à basse température	4.11.4
Zinc-fer	Carbonate		Cristallisation du carbonate à basse température	4.11.4
Passivation	Produits de conversion du zinc et des alliages de zinc passivés, sulfate, sous-produits métalliques		Alimentation et vidange	
Décapage d'aluminium Recyclage des agents d'attaque chimique	Aluminium dissous, $Al(OH)_3$		Elimination de l'$Al(OH)_3$ NaOH	

Solution de traitement caustiques	Polluants affectant la qualité de la solution	Remarques	Technique d'entretien	Référence à la description de la technique
Anodisation de l'aluminium (sulfurique)	Aluminium dissous	Il est généralement plus économique de remplacer la solution et d'utiliser une solution ancienne pour neutraliser les eaux résiduaires [113, Autriche, 2003]	Retardement (voir les commentaires)	
Anodisation de l'aluminium (acide chromique)	Aluminium dissous, Cr^{3+}	Non adapté à la filtration	Alimentation et vidange Rapport anode-cathode correct	
Coloration électrolytique	Sn^{4+}, enrichissement de l'aluminium		Alimentation et vidange	
coloration inorganique	Apport par entraînement de sulfate et de phosphate Hydroxyde de fer	Techniques affectant les couleurs	Alimentation et vidange en fonction de la couleur ; Filtration	4.11.1
	Oxalate de ferri-ammonium libre		Réaction avec de l'H_2O_2	
Coloration organique	Nombreux polluants		Régénération difficile	
Argent	Produits de décomposition, carbonate de potassium	A base de potassium	Alimentation et vidange	
Rinçages statiques	Hydroxydes métalliques, fonction du pH, Des agents de surface et des algues		Filtration	4.11.1
Bains de phosphatation	Métaux, pH		Ajustement de la concentration en métaux et du pH ; Filtration	4.11.1

Tableau 4.14 : Exemples de techniques appliquées à l'entretien des solutions de traitement

4.11.1 Filtration des solutions de traitement

Description
Les particules en suspension dans les électrolytes peuvent avoir des effets négatifs sur la qualité de la couche (en particulier lors de l'inclusion des particules dans la couche). La filtration des solutions de traitement permet d'éliminer ces particules (par exemple, poussières ou éclats), qui ont été amenées par les pièces de fabrication/substrats, la boue anodique, les poussières contenues dans l'atmosphère ou les composés insolubles développés au cours du traitement (tels que les hydroxydes métalliques). Afin de maintenir une élimination continue des solides, le filtre fonctionne en dérivation de la cuve de de traitement, voir la figure 4.22.

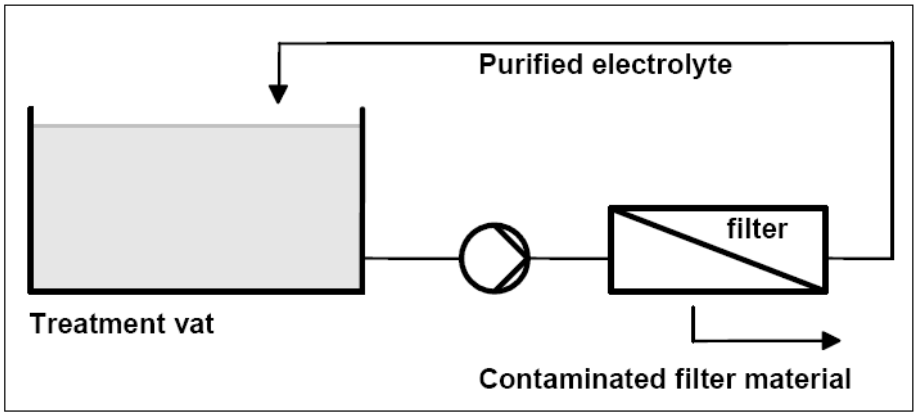


Figure 4.22 : Filtration des solutions de traitement

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie de la solution de traitement.

Effets d'interaction
Consommation d'énergie destinée au pompage.

Pour le milieu de filtration, on préférera des matériaux renouvelables, car l'utilisation de filtres jetables entraîne l'accroissement de la production des déchets.

Les filtres qui ne peuvent plus être utilisés malgré un lavage au jet sont généralement contaminés par les restes de solutions dangereuses et doivent être éliminés en tant que déchets dangereux.

Applicabilité
Cette technique peut profiter à de nombreuses solutions. La filtration des solutions de traitement dans le traitement de surface fait partie des pratiques normales destinées à allonger la durée d'utilisation du traitement.

Aspects économiques
Les investissements nécessaires à la filtration sont négligeables, les coûts s'élevant à quelques centaines, voir milliers d'euros. Ils sont généralement économiquement viables ; une filtration insuffisante entraîne en effet des problèmes de qualité de surface

et le rejet prématuré de la solution de traitement, génèrent des coûts à ajouter aux coûts de retraitement des pièces de fabrication rejetées.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Réduction de la fréquence de remplacement des solutions.
Voir aspects économiques ci-dessus.

Exploitations de référence
Techniques largement utilisées dans de nombreuses installations.

Documents de référence
[104, UBA, 2003]

4.11.2 Electrodialyse

Description
Voir également la section 4.11.14.2 relative au décapage. L'entretien par électrodialyse permet, par exemple, d'éliminer les produits de décomposition organiques des électrolytes de nickel et de préserver la ductilité des dépôts de nickel. Cette technique est également utilisée pour allonger la durée d'utilisation des solutions de nickelage autocatalytique.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie et de la qualité des bains.

Effets d'interaction
Voir la section 4.11.14.2

Données opérationnelles
Voir la section 4.11.14.2

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Exploitations de référence
Installation de taille modeste : Siemens AG, à Speyer (Allemagne) ;
Installation de taille importante : Otto Kynast à Quakenbrük (Allemagne).

Documents de référence
[3, CETS, 2002]

4.11.3 Retardement (sorption sur résine acide)

Description
Le retardement (ou sorption sur résine acide) est une technique de séparation d'échange ionique utilisée avant tout pour la régénération des acides (par exemple, les acides de décapage et les agents de gravure chimiques utilisés par exemple dans l'anodisation).

Une solution à concentration élevée contenant un métal (ou un sel acide) est pompée et envoyée au travers d'une résine d'échange ionique, où la majeure partie des anions acides pénètrent dans la résine d'un échangeur anionique tandis que les cations métalliques sont exclus par répulsion électrostatique, et continuent leur trajet. Dans la deuxième étape, de l'eau est pompée et passe au travers de la résine en sens inverse ;

l'acide est de nouveau libre. L'acide récupéré peut être réutilisé. Un taux d'épuisement compris entre 40 et 60 % peut être obtenu, en fonction du type d'acide et de métal (voir la figure 4.23).

Première étape - flux ascendant
Epuisement de la solution d'anodisation

Deuxième étape – flux descendant
Elution et régénération de l'acide par l'eau

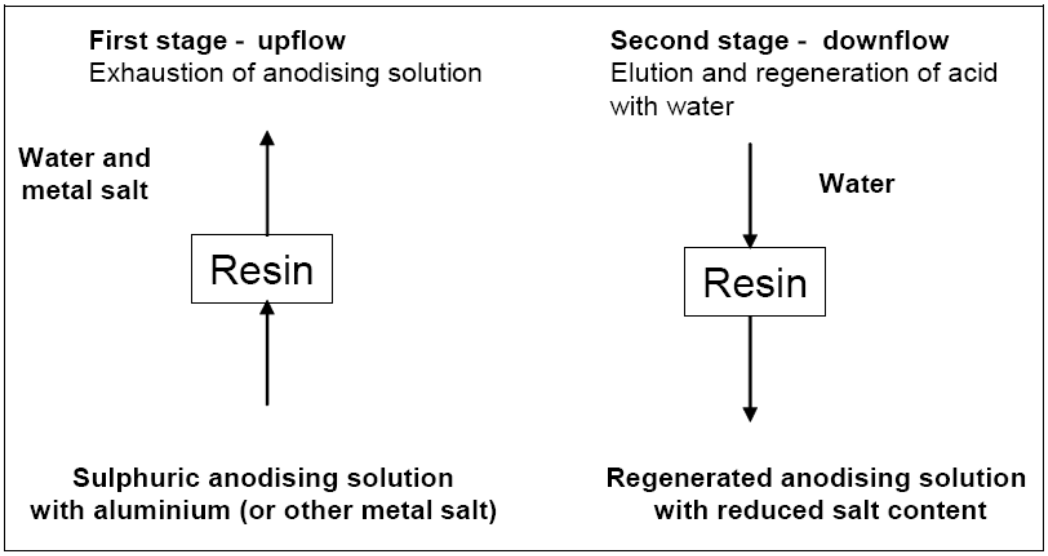


Figure 4.23 : Traitement de retardement

Bénéfices environnementaux atteints
Récupération des acides usés.

Effets d'interaction
Le traitement de sorption d'acide permet de ne récupérer qu'une partie de l'acide libre ou inutilisé. Ce traitement ne permet pas de récupérer un quelconque acide combiné (sel). Par conséquent, une proportion approximative de 35 à 70 % de la totalité d'acide utilisé est incorporée dans une solution résiduaire provenant du traitement et nécessitera d'être traitée. En fonction du métal contenu dans la solution, le procédé permettra une variété de traitements allant de la neutralisation classique (ajustement du pH agent caustique) jusqu'à l'élimination des métaux (par exemple, par précipitation).

Données opérationnelles
Technique qui n'est pas applicable à certains acides hautement concentrés.
Technique à ne pas utiliser sur des acides à complexes anioniques qui sont sorbés sur la résine, réduisant ainsi le niveau de récupération de l'acide.
Les limites de température spécifiques à l'application ne doivent pas être dépassées (par exemple, approximativement 32°C pour l'acide nitrique et jusqu'à 70°C pour l'acide sulfurique ou hydrochlorique).

Applicabilité
Technique qui peut être utilisée pour :

- les bains d'anodisation d'acide sulfurique pour l'aluminium ;

- les bains d'azurage, d'attaque chimique ou de décapage à l'acide sulfurique ou nitrique pour le cuivre ou le laiton ;
- les bains de décapage à l'acide nitrique/fluorhydrique utilisés pour les traitements de l'acier inoxydable ;
- les bains d'acide sulfurique et/ou phosphorique utilisés pour le polissage électrolytique de l'aluminium ou de l'acier inoxydable ;
- solutions régénérées d'acide d'échange cationique-ionique ;
- les bains de décapage à l'acide sulfurique ou chlorhydrique destinés à l'acier et l'acier galvanisé.

Aspects économiques
Voir la section 4.11.3.1.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Récupération de l'acide usé, afin, en particulier, de fournir une qualité d'acide constante pour garantir la stabilité du traitement (voir section 4.11.3.1)

Exploitations de référence
Voir la section 4.11.3.1.

Documents de référence
[3, CETS, 2002, 53, France, 2003, 86, EIPPCB, 162, USEPA, 2000]

4.11.3.1 Régénération par retardement d'une solution d'anodisation d'acide sulfurique

Description
Les niveaux d'aluminium dissous dans une opération d'anodisation à l'acide sulfurique doivent être maintenus relativement bas. Lorsque le niveau d'aluminium dans l'acide atteint ~~de~~ 15 à 20 g/l, le bain d'anodisation est décanté ou rejeté. Une purification en continu permet d'éliminer les déchets et d'améliorer l'uniformité du film anodisé.

L'exploitation d'un bain d'anodisation présente un certain nombre de problèmes potentiels. Dans un bain d'anodisation, l'équilibre est fragile entre la résistance électrique (provoquée par la couche d'oxyde créée), la conductivité de la solution d'anodisation, la tension appliquée et la situation contrôlée de courant constant. La résistance électrique s'accroît selon l'épaisseur de la couche d'oxyde et décroît lorsque la concentration d'aluminium s'élève dans la solution d'anodisation. Pour compenser cet accroissement de la résistance, la tension redressée doit être augmentée afin que le courant reste stable. D'autres variables, telles que la température du bain, le degré d'agitation de la solution, et la concentration en acide sulfurique provoquent une diminution de la qualité du produit. Le maintien d'une concentration en aluminium faible et stable permet d'éliminer ou de réduire une variable affectant l'équilibre entre la résistance, la tension et le courant.

Un bain d'anodisation contenant 200 g/l de H_2SO_4 et 5 à 10 g/l d'Al est filtré au travers d'un lit de résine échangeuse d'ions (de préférence de manière ascendante) jusqu'à ce que l'acide sulfurique apparaisse dans l'effluent du lit et que la totalité de la résine soit saturée d'acide sulfurique.

Lorsque la résine est rincée à l'eau déminéralisée, le sulfate d'aluminium qui n'est pas absorbé par les pores de la résine apparaît en premier dans l'éluat, suivi par l'acide sulfurique, qui doit être remplacé par de l'eau déminéralisée à l'intérieur de la résine.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée d'utilisation de la solution de traitement.
La totalité de la solution de décapage est recyclée.

Effets d'interaction
Le retardement génère un volume élevé d'eau résiduaire.
En alternative, les acides résiduaires peuvent être utilisés dans le traitement des eaux résiduaires, en remplacement des acides « propres » dans ce cas. Tout ceci dépend de la génération d'acide résiduaire et des exigences concernant les eaux résiduaires.

Données opérationnelles
Pour parvenir à des performances optimales, il est crucial que la concentration en acide du bain de traitement dépasse les 10 %.

Applicabilité
L'efficacité du retardement diminue de la manière suivante :
$HCl > HNO_3 > HClO_4 > H_2SO_4 > (HF)_n > H_3PO_4$ > acide tartrique.

Le contrôle de la concentration en aluminium et la récupération de l'acide sulfurique pour la mise en place d'un traitement continu dans le secteur de la finition de l'aluminium sont mis en œuvre depuis de nombreuses années.

Aspects économiques
Le coût unitaire d'un système de régénération d'anodisation par acide sulfurique se situe entre 30 000 et 60 000 euros.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Le résultat final est de garantir un fonctionnement du bain stable et prévisible générant des économies d'échelle et une qualité de produits accrue.

Exploitations de référence
LRB Roulie, Nanterre, France

Documents de référence
[53, France, 2003] [121, France, 2003] [3, CETS, 2002, 118, ESTAL, 2003]

4.11.4 Cristallisation de carbonates et des sulfates métalliques

Description
La cristallisation à froid est une technologie grâce par laquelle les sels interférant peuvent être séparés d'une solution de traitement, de manière sélective. Ces sels sont formés par la dissolution des métaux et des oxydes métalliques (décapage) ou par des réactions non souhaitées (oxydation du cyanure en carbonate). En refroidissant une solution à une température < 5°C, la solubilité de la plupart des sels est réduite. Le refroidissement d'une solution provoque la cristallisation de certains sels uniquement dans le mélange de sels choisis, les autres sels restant dans la solution (voir la figure 4.24).

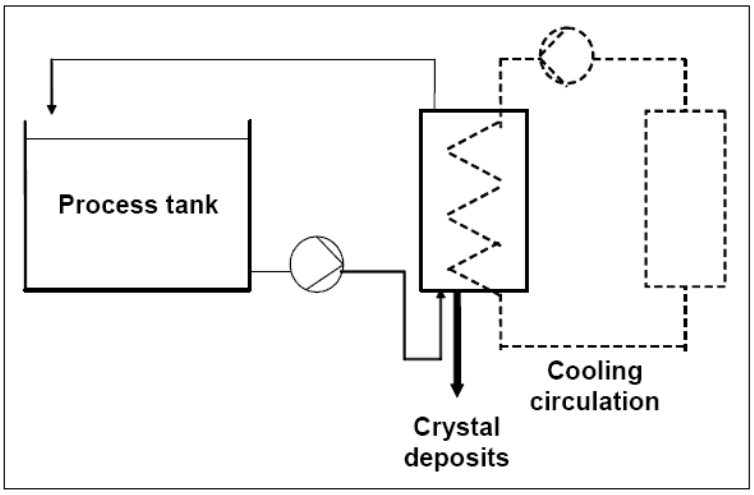


Figure 4.24 : Principe de fonctionnement de la cristallisation à froid

Des systèmes simples peuvent être utilisés, dans lesquels la solution est pompée vers un réservoir qui peut être refroidi naturellement au cours d'une période de fermeture annuelle en hiver. Cette technique permet également d'effectuer d'autres opérations d'entretien comme la vérification de l'intégrité des revêtements internes des cuves, la récupération des supports cassés et des pièces de fabrication tombées dans la solution.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie de la solution de traitement.

Effets d'interaction
De l'énergie supplémentaire sera nécessaire pour le refroidissement, lorsque cette technique est employée. Technique qui peut être nécessaire dans les pays à climat plus chaud.

Pour l'anodisation, les besoins en énergie supplémentaire destinées au refroidissement dépassent les bénéfices obtenus par la cristallisation.

Dans les solutions cyanurées, le carbonate précipité contiendra du cyanure.

Les déchets produits devront être gérés en tant que déchets dangereux, à moins que la teneur en métal ne soit suffisamment élevée pour que les métaux soient récupérés.

Les systèmes de pompage simples accroissent le risque de débordement.

Données opérationnelles
L'allongement de la durée d'utilisation qui peut être espérée pour la solution grâce au procédé de cristallisation à froid dépend :

- du type de sels devant être séparés par congélation de l'électrolyte ;
- du processus de formation des sels ;
- de -durée nécessaire au traitement.

Dans bon nombre de cas, cette opération est effectuée en hiver, en particulier au cours des périodes annuelles de fermeture, par exemple à Noël, lorsque la solution peut être refroidie de manière naturelle.

Applicabilité
Etant donnée la diversité de chaque application, un examen individuel de chaque cas est recommandé.

Aspects économiques
En ce qui concerne le dépôt électrolytique, l'investissement s'élève de 15 000 à 20 000 euros pour un système de refroidissement.

Des systèmes plus simples utilisant les températures d'hiver afin de refroidir la solution nécessitent uniquement un réservoir et une pompe.

Exploitations de référence
En Allemagne, environ 10 % des installations disposent d'une installation technique.

Documents de référence
[104, UBA, 2003] [[118, ESTAL, 2003, 124, Allemagne, 2003]

4.11.5 Récupération des agents d'attaque chimique caustiques d'anodisation

Description
Une solution chaude d'hydroxyde de sodium permet de créer une finition de surface décorative mate, en éliminant une mince couche d'aluminium. Ce traitement d'attaque chimique est engendré par une réaction entre l'aluminium et la soude caustique qui produit de l'aluminate de sodium et de l'hydrogène gazeux :

Réaction d'attaque chimique : $2Al + 2NaOH \rightarrow 2NaAlO_2 + 3H_2$ (gaz)

Le traitement d'attaque chimique est en règle générale l'origine de 80 à 90 % de l'aluminium contenu dans le système de traitement des eaux résiduaires.

Des stabilisants chimiques (agents complexants) sont ajoutés pour empêcher la précipitation de l'aluminium dans la cuve d'attaque chimique. L'eau est utilisée pour le rinçage de la solution d'attaque chimique restant sur les pièces traitées. L'eau de rinçage transporte de l'aluminium dissous et des éléments caustiques vers le système de traitement des eaux résiduaires de l'installation.

Si aucun stabilisant n'est utilisé, la concentration en aluminate de sodium devient trop élevée et s'hydrolysera en trihydrate d'alumine (Al_2O_3 $(H_2O)_3$), libérant de la soude caustique libre.

Réaction d'hydrolyse : $2NaAlO_2 + 4H_2O \rightarrow 2NaOH + Al_2O_3(H_2O)_3$

Cette réaction, connue sous le nom de procédé Bayer, est utilisée dans l'industrie primaire de l'aluminium pour fabriquer de l'alumine. Si elle n'est pas correctement contrôlée, elle entraîne une accumulation d'une couche d'hydroxyde d'aluminium aussi dure que de la roche dans la cuve de gravure chimique.

Un système de régénération fait circuler de manière continue la solution d'attaque chimique entre la cuve d'attaque chimique et une cuve de cristallisation séparé, dans lequel la solution d'attaque chimique est cristallisée en cristaux d'alumine. Il est ensuite possible de régénérer la solution d'attaque chimique sans accumulation de calamine. Les cristaux d'alumine hydratés formés dans le dispositif de cristallisation décantent dans

une section de décantage. La solution d'attaque chimique régénérée, avec ses niveaux d'aluminium réduits et de soude caustique libre accrus, retourne directement vers le bain d'attaque depuis le haut du dispositif de cristallisation. Les cristaux d'alumine sont retirés périodiquement du fond du dispositif de cristallisation et déshydratés dans un filtre à vide.

Bénéfices environnementaux atteints
Cette technique de régénération peut réduire les déchets solides d'une installation de plus de 80 % tout en diminuant les coûts en produits chimiques caustiques (et de neutralisation) de plus de 70 %.

Les cristaux d'alumine éliminés peuvent être utilisés pour divers substituts de l'alumine (cependant, cette substitution dépend de la qualité des cristaux, voir les effets d'interaction-ci-dessous).

Effets d'interaction
Dans certaines installations, afin d'obtenir une qualité spécifique pour des produits particuliers, des additifs peuvent être ajoutés aux bains d'attaque chimique, ce qui génère des impuretés dans l'alumine récupérée. L'alumine est alors impure et n'est pas directement utilisable.

Données opérationnelles
L'utilisation de certains additifs peut entraver la précipitation de l'alumine.
Le traitement est difficile à contrôler.

Applicabilité
Lorsque l'utilisation d'additifs destinés à obtenir une surface spécifique n'interfère pas avec le traitement ou n'empêche pas la réutilisation de l'alumine.

Aspects économiques
Bien que ces systèmes soient relativement coûteux à installer, les plus grandes installations peuvent espérer amortir leur coût d'investissement en deux ou trois ans.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Réduction des déchets et des coûts.

Documents de référence
[62, France, 2003, 152, ESTAL, 2004, 165, Tempany, 2004]

4.11.6 Traitement au charbon actif

Description
La filtration au charbon actif est une technique d'absorption (ou d'adsorption, dans le cas du charbon actif) utilisée au cours d'une étape de filtration. Les produits de décomposition organiques contenus dans les solutions électrolytiques tendent à entraver le dépôt électrolytique du métal ou les propriétés du dépôt métallique lui-même. La majeure partie de ces produits peut être extraite des électrolytes grâce à un traitement au charbon actif. La quantité de charbon actif nécessaire dépend de la quantité de produit à éliminer : jusqu'à 10 g/l peuvent être nécessaires.

Le charbon actif est mélangé dans l'électrolyte et éliminé par filtration après un temps de réaction approprié. La combinaison d'un dispositif de filtration normale et de cartouches de

charbon actif en dérivation est utilisée pour éliminer de manière continue à la fois les contaminants solides et les produits de décomposition organiques solubles des électrolytes.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie de la solution de traitement.
En théorie, le charbon actif contaminé peut être régénéré, mais en général, ce processus n'est pas économique ou présente des effets d'interaction-limitants.

Effets d'interaction
Energie supplémentaire nécessaire au pompage. Les filtres de charbon usés peuvent nécessiter une élimination en tant que déchets dangereux.

Données opérationnelles
Le traitement est non spécifique et élimine également des substances de traitement actives. Des ajouts de compensation doivent être réalisés pour maintenir la qualité de la solution de traitement.

Applicabilité
Le traitement est largement utilisé, et fréquemment pour les électrolytes de nickelage brillants.

Documents de référence
[3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003]

4.11.7 Purification par échange ionique de la contamination métallique

Description
L'échange ionique est décrit de manière générale dans l'annexe 8.7. Cette technique peut être utilisée pour éliminer de manière sélective des ions métalliques indésirables (cations) de solutions aqueuses et des résines d'échange cationique dotées de propriétés spéciales, telles qu'une résistance à des oxydants forts. La figure 4.25 présente un exemple de régénération de l'acide chromique.

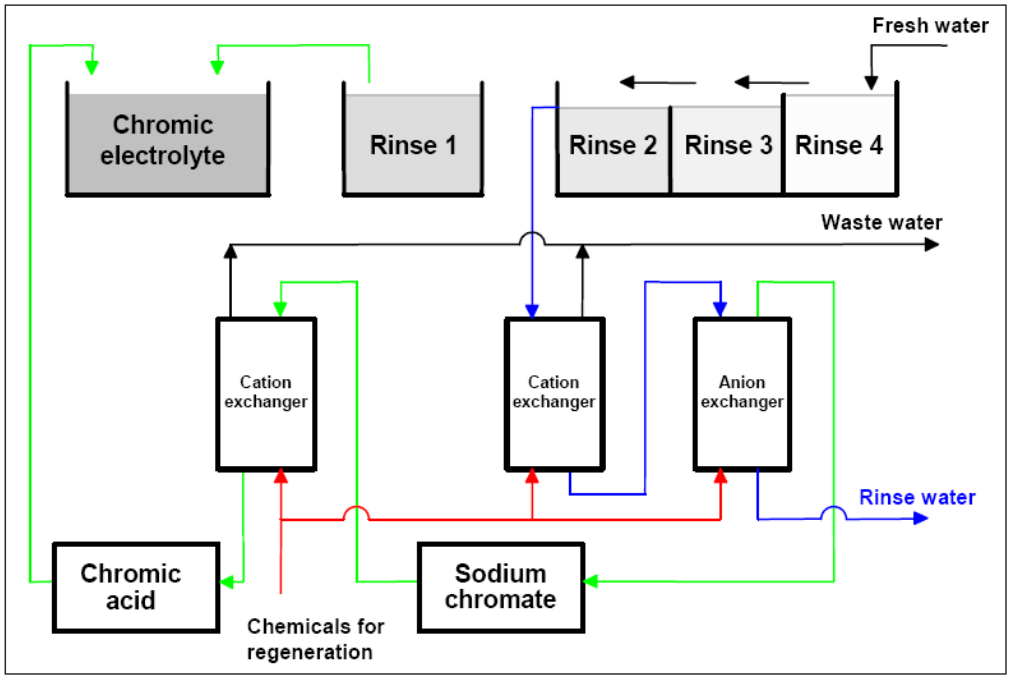


Figure 4.25 : Régénération d'un électrolyte d'acide chromique par échange ionique

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée d'utilisation de la solution de traitement.

Effets d'interaction
Les éluats provenant de la régénération des colonnes d'échange ionique doivent être traités dans des installations de traitement des eaux résiduaires.

Applicabilité
Cette technique est appliquée en dérivation pour la régénération de solutions de traitement, telles que les électrolytes de décapage à l'acide phosphorique et de chromage. Cette technique est cruciale lors de l'utilisation d'électrolytes au Cr(III) (voir section 2.5.3), bien qu'un contrôle puisse être plus difficile que pour les autres ions. Le choix de la résine appropriée est crucial.

Une pollution métallique dans les bains de traitement peut être éliminée par l'utilisation d'échangeurs cationiques acides, par exemple, un électrolyte au chrome : élimination du Fe(III), Cr(III), Ni(II), Cu(II), Zn(II).

Exemple : passivation à l'acide chromique après zingage. Après quelques semaines d'utilisation, le bain contient du Zn (II) qui doit être éliminé pour allonger la durée de vie de la solution. Lorsque le bain contient plus de 15 mg/l de zinc il doit être changé. Le Zn (II) peut être éliminé en utilisant un échangeur cationique.

Aspects économiques
La technologie est onéreuse et peut ne pas être amortie dans le cas de petites installations.
La régénération de Na_2CrO_4 par passivation peut ne pas être économique.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
La technique est facilement intégrée au traitement de production.

Exploitations de référence
Dans une installation espagnole, une résine d'échange cationique est utilisée pour traiter une solution au chrome hexavalent. La solution de chrome récupéré est ensuite concentrée dans un évaporateur et renvoyée vers le bain.

Documents de référence
[3, CETS, 2002] [120, Finlande, 2003] [114, Belgique, 2003] [113, Autriche, 2003] [114, Belgique, 2003] [129, Espagne, 2003]

4.11.8 Electrolyse – purification des solutions de traitement

Description
Certains contaminants métalliques peuvent être éliminés de manière sélective des électrolytes à densité de courant faible allant de 0,05 à 0,3 A/dm^2. L'efficacité de ce nettoyage sélectif peut en outre être amélioré par l'accroissement de la production électrolytique.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée d'utilisation de la solution de traitement.

Effets d'interaction

Données opérationnelles
Cette technique permet d'éliminer non seulement les métaux indésirables mais également les additifs organiques inutilisés. La purification électrolytique peut donc être réduite au minimum ; des ajouts compensatoires de matériaux de traitement organiques peuvent être nécessaires.

Documents de référence
[3, CETS, 2002]

4.11.9 Electrolyse – élimination d'un métal en excès des solutions de traitement

Description
Des solutions de traitement métalliques dans lequel le rendement anodique est supérieur au niveau nécessaire en solution (comme c'est le cas pour le zinc et le nickel) souffrent d'un accroissement de la concentration métallique entraînant un excédant de dépôt. La concentration peut être diminuée par électrolyse – généralement appelée revêtement métallique, voir section 4.8.2. Un système classique d'entretien de la solution de nickel est présenté à la figure 4.26. Ce système comporte du charbon actif destiné à éliminer des contaminants organiques, ainsi qu'une électrolyse.

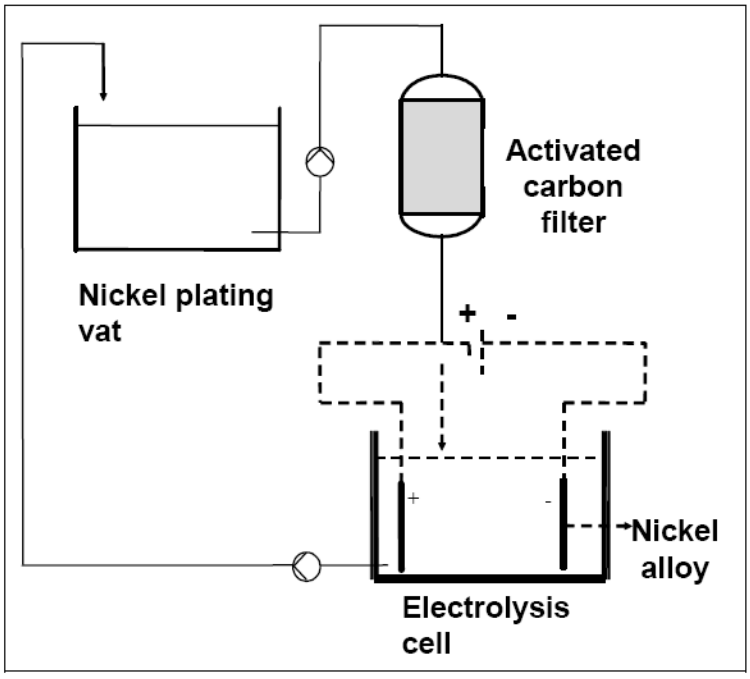


Figure 4.26 : Elimination électrolytique d'un surplus de métaux contaminants

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction du retraitement des pièces de fabrication.
Minimisation des pertes par entraînement de métaux dissous dans les rinçages.

Effets d'interaction
Un métal indésirable contenu dans la solution accroît les quantités de pertes par entraînement.

Données opérationnelles
Un rendement anodique élevé peut être mieux contrôlé grâce à l'utilisation d'anodes insolubles et une dissolution métallique externe (voir section 4.8.2).

Applicabilité
Zingage et nickelage électrolytique avec anodes solubles.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Contrôle du traitement et minimisation du retraitement des pièces de fabrication.

Documents de référence
[104, UBA, 2003]

4.11.10 Electrolyse – réoxydation des produits de décomposition

Description
Le décapage à l'acide sulfurique/chromique d'articles de plastique en ABS oxyde et dissout le composant de butadiène du substrat, générant simultanément du chrome trivalent. Le produit de décomposition organique et le chrome trivalent entraveront tous deux le traitement si le niveau de concentration tolérable est dépassé.

Il est possible d'oxyder le chrome trivalent sans utiliser de membrane mais grâce à des conditions de densité cathodique et anodique adéquates.

Une électrolyse par membrane de céramique est le moyen le plus fiable de régénérer en continu les solutions de traitement (voir section 4.11.9).

Bénéfices environnementaux atteints
Extension de la durée d'utilisation de la solution de traitement.

Applicabilité
Décapage à l'acide sulfurique/chromique d'articles de plastique ABS.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité du produit et du traitement.

Documents de référence
[3, CETS, 2002] [29, Espagne, 2003]

4.11.11 Electrolyse à membrane pour l'entretien d'une solution au chrome

Description
Une électrolyse à membrane utilise une ou plusieurs membranes à ions sélectifs afin de séparer les solutions composant un électrolyte au sein d'une cellule d'électrolyse. Les membranes sont perméables aux ions et sélectives. Les membranes à cations permettent le passage des cations tels que le Cu et l'Al, mais rejettent les anions. Les membranes à anions permettent le passage des anions, tels que les sulfates et les chlorures, mais rejettent les cations.

Une électrolyse à membrane permet de régénérer des solutions de traitement grâce à deux mécanismes principaux :

(1) le transfert sélectif d'ions de la solution de traitement par delà la membrane, dont la solution est électrolytique et
(2) la régénération des états d'oxydation/des formes ioniques de constituants majeurs de la solution de traitement grâce aux réactions électrochimiques des électrodes.

Afin de d'éliminer des contaminants cationiques des solutions de traitement de finition de surface, un assemblage classique utilise une membrane cationique spécifique couplée à un compartiment bicellulaire appliquant une tension électrique sur la membrane. Une cellule contient une anode avec la solution d'anolyte ou analyte ; l'autre cellule contient une cathode avec la solution de catholyte ou catholyte.

La solution d'anolyte est généralement la solution de traitement usé et nécessitant d'être régénérée. Les cations contaminants sont éliminés de la solution d'anolyte et transférés dans la solution de catholyte. Les réactions anodiques et cathodiques se produisent sur la base de l'électronégativité relative et la concentration en ions spécifiques dans chaque solution, lorsque l'eau se décompose.

Une technique mettant en œuvre une cellule électrolytique avec une technologie à lit fluidisé, utilisée conjointement avec des membranes semi-perméables, permet d'allonger la durée d'utilisation d'une solution hexavalente de 300 à 400 %.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de l'utilisation de produits chimiques.
Allongement de la durée de vie de la solution.

Effets d'interaction
Faible consommation énergétique.
En fonction de la solution, des vapeurs toxiques peuvent être générées (voir les données de fonctionnement ci-dessous).

Données opérationnelles
La durée de vie d'une membrane dépend des conditions d'utilisation, elle peut cependant être supérieure à un an.

Limites de l'électrolyse par membrane :

- des matériaux de construction spéciaux et des configurations de cellules spécifiques peuvent être nécessaires au traitement ;
- utilisation de fluides hautement corrosifs ;
- la récupération et le traitement des émanations peuvent être nécessaires si des gaz dangereux sont générés au cours des réactions électrolytiques;
- des complexes anioniques de métaux exigent un prétraitement, avant élimination, sur une membrane d'échange cationique ;
- les températures de fonctionnement sont généralement limitées et s'échelonnent de 15°C à 60°C ;
- l'huile, la graisse et les solvants peuvent affecter les membranes de manière négative ;
- les solides en suspension et les précipités peuvent colmater les membranes.

Les systèmes d'électrolyse par membrane peuvent être composés de systèmes à cellules multiples qui améliorent leur capacité. Des cellules à trois compartiments sont utilisées pour des applications spéciales dans lesquelles les électrodes doivent être isolées du flux d'alimentation. Une grande variété d'électrodes sélectives et personnalisées sont disponibles pour l'élimination de métaux spéciaux et nobles.

Applicabilité
L'électrolyse par membrane est utilisée avec des solutions à base d'acide chromique, comprenant des solutions de chromage, d'anodisation à l'acide chromique et de chromatation, ainsi que des agents d'attaque chimique. Le chrome trivalent peut être avantageusement désoxydé en chrome hexavalent au niveau des anodes. Les métaux contaminés sont transportés dans le catholyte. L'électrolyse à membrane a également été appliquée à divers agents d'attaque chimique à base d'acide et à des solutions de lavage et de décapage afin d'éliminer les métaux contaminants. Des systèmes à cellules multiples dotés de solutions d'anolyte et de catholyte spécifiques ont été utilisés avec des acides hautement corrosifs, comme l'acide nitrique et l'acide fluorhydrique, pour isoler les électrodes. L'électrolyse par membrane peut être utilisée sur une base ponctuelle ou continue ; cette technique prend souvent la forme d'une unité mobile pour des applications ponctuelles de taille réduite.

Aspects économiques
En général, les coûts d'installation s'élèvent à environ 15 000 euros l'unité, auxquels viennent s'ajouter des coûts de fonctionnement annuels de 300 euros.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economies d'échelle et sur les matériaux.
Fiabilité du traitement et qualité.

Exploitations de référence
BAe Systems plc, Balderstone, Lancashire, RU.

Documents de référence
[110, BEWT, 2003]

4.11.12 Nettoyage et régénération des solutions de phosphate

Description
Voir les sections 2.5.16 et 2.9.8.9.
La solution de phosphate usée est filtrée ; les concentrations en ions métalliques et le pH sont ajustés.
La solution de phosphate régénérée est réutilisée.

Bénéfices environnementaux atteints
Le bénéfice environnemental est élevé. La consommation de produits chimiques est réduite, les rejets de boue et d'eau sont réduits également.

Effets d'interaction
Aucun.

Applicabilité
Installations neuves ou existantes, à condition que de l'espace soit disponible.

Aspects économiques
Les coûts d'investissement s'élèvent à 0,015 – 0,8 euro /t installée et les coûts de fonctionnement s'élèvent à 0,01 – 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Principalement, l'efficacité du traitement.

Exploitations de référence
Technique utilisée dans plusieurs chaînes de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.11.13 Entretien des solutions de dégraissage

Le tableau 4.15 résume les techniques décrites dans cette section qui peuvent être utilisées pour entretenir et allonger la durée d'utilisation des solutions de dégraissage.

Technique	Utilisations et commentaires	Référence
Procédés simples : Filtration à l'aide de filtres de cellulose	Coût réduit pour des volumes faibles, possibilité d'application étendue	4.11.13.2
Séparation mécanique Séparation par gravité Désémulsification par ajout de produits chimiques	Coût plus élevé, possibilité d'application toujours étendue.	
Séparateur statique	Réduction allant jusqu'à 50 % de la DCO contenue dans l'effluent Allongement de la durée de vie de 50 - 70 % Utilisation et surveillance simple Coût élevé : applicable uniquement pour des volumes importants d'huile	4.11.13.3
Dégraissage/régénération biologique	Il est utilisé pour des émulsions instables et/ou à alcalis faibles. Efficace et peu onéreux. Cette technique est susceptible de ne pas fonctionner pour toutes les huiles/graisses.	4.11.13.4
Bains de dégraissage par centrifugation	Elimination de 98 % de l'huile ; Durée de vie réduite ; Utilisation en espace confiné ; Coût élevé : applicable uniquement à des volumes élevés d'huile.	4.11.13.5
Filtration par membrane	Réduction de la charge en DCO dans l'effluent de 30 à 70 % Accroissement de la durée d'utilisation du bain allant jusqu'à 10 fois Coût élevé : applicable uniquement à des volumes importants d'huile	4.11.13.6
Procédé par étapes multiples	Le coût varie en fonction des options combinées	4.11.13.7
Dégraissage électrolytique	Comme n'importe quelle techniques citées ci-dessus	4.11.13.8
Rinçage en cascade ou réutilisation	Réutilisation ou utilisation en cascade de l'agent nettoyant électrolytique jusqu'à la cuve de trempage propre.	4.11.13.1

Tableau 4.15 : Techniques d'entretien des solutions de dégraissage

4.11.13.1 Utilisation (multiple) en cascade des solutions de dégraissage

Description
Pour allonger la durée de vie des solutions de dégraissage, il est possible de réutiliser la solution, ou de réutiliser cette dernière en cascade. La solution en provenance de la section de dégraissage électrolytique est réutilisée dès qu'un certain niveau d'huile est atteint, soit dans la section de pulvérisation des chaînes de traitement en bande, soit dans

la première section de dégraissage des autres chaînes. La solution de dégraissage usée de la section par pulvérisation peut être régénérée.

Bénéfices environnementaux atteints
Une réduction significative des consommations d'électrolytes et d'eau dans les traitements et donc une réduction de la quantité des volumes d'eaux résiduaires produits.

Applicabilité
Installation neuve et existante, à condition que l'espace requis soit disponible.
Technique non applicable lorsque des solutions spécifiques sont utilisées pour le dégraissage électrochimique (par exemple, solution hautement alcaline avec une conductivité élevée) et le prénettoyage (par exemple, huile présentant une bonne solubilité).

Aspects économiques
Pour les systèmes en bande, les coûts d'investissement s'élèvent à 0,015 – 0,8 euro /t installés et les coûts de fonctionnement sont de 0,01 – 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Principalement, l'efficacité du traitement.

Exploitations de référence
Technique utilisée sur plusieurs chaînes d'électrolyse ~~dotées pour l'électrolytique~~ en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.11.13.2 Procédés simples

Descriptions des procédés simples habituels
Filtration simple à l'aide de filtres de cellulose, voir section 2.7.1.

Séparation mécanique par des écrémeurs.

Des dispositifs de séparation d'huile par gravité fonctionnant en dérivation séparent l'huile/la graisse en permettant l'agglomération de petites gouttelettes d'huile en éléments de taille plus importante qui flottent à la surface de la solution et sont ensuite éliminés. Ce traitement peut être amélioré par flottation par air dissous.

Séparation de l'huile émulsifiée par rupture de l'émulsion. La façon la plus simple consiste à ajouter des produits chimiques qui séparent le système d'agent mouillant et libèrent l'huile, en détruisant au même moment l'effet de dégraissage.

Bénéfices environnementaux atteints
Tous les procédés permettent d'éliminer l'huile et d'allonger la durée de vie des solutions de dégraissage.

Effets d'interaction
Consommation accrue d'énergie pour les écrémeurs et pour le système de flottation par air dissous.
Des produits chimiques sont utilisés pour la désémulsification.

Les filtres de cellulose doivent être remplacés périodiquement et jetés, ce qui accroît la quantité de déchets produits.

Données opérationnelles
La séparation par gravité est le système nécessitant le moins d'entretien.

Applicabilité
Toutes les solutions de dégraissage, en fonction de la durée de vie de la solution, et des coûts d'investissement.

Aspects économiques
La séparation mécanique par écrémeur est le procédé le plus simple et le moins onéreux d'éliminer l'huile flottant à la surface de l'agent nettoyant.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Un nettoyage amélioré entraîne des performances accrues et une meilleure fiabilité des traitements de surface ultérieurs, ce qui permet de réduire les rejets et le retraitement des pièces de fabrication.

Documents de référence
[129, Espagne, 2003]

4.11.13.3 Séparateur statique pour bains de dégraissage

Description
L'utilisation d'un séparateur statique (lorsque le bain de dégraissage usé est pompé ponctuellement ou de manière continue) est une technique simple destinée à accroître la durée d'utilisation du bain, bien que les bains puissent nécessiter l'ajustement d'ingrédients actifs afin de conserver leur efficacité. La séparation physique par la différence de tension entre deux phases permet la séparation du mélange eau-huile. Cette séparation est réalisée par décantation naturelle de l'huile séparée dans un réservoir séparé en dehors de la chaîne de traitement, ou grâce à un système mécanique utilisant un racleur ou un tambour oléophile ou des écrémeurs sur courroie à la surface.

Bénéfices environnementaux atteints
Chute considérable de la DCO dans les effluents, jusqu'à 50 % dans certains cas.

Réduction significative du rejet des solutions usées : dans la plupart des cas, la réduction représente 50 à 70 %.

Réduction des achats de détergents de 50 %.

Effets d'interaction
Ce traitement est moins sélectif et également moins onéreux que les techniques utilisant des membranes. Les huiles récupérées sont généralement polluées et donc détruites.

L'élimination concernant uniquement la couche flottante, la fraction des émulsions éliminées est minime.

Données opérationnelles
Cette technique est très simple (pas de membrane utilisée). Sa surveillance est également très simple.

La pollution du bain de dégraissage est maintenue à un niveau bas de manière constante, ce qui réduit le niveau des pertes par entraînement et minimise l'utilisation et la pollution de l' eau de rinçage.

Cette technique permet d'éliminer les huiles flottantes qui présentent la source de pollution principale d'un bain.

Cette technique permet de diminuer les problèmes liés au traitement des eaux résiduaires en réduisant les flocs et les boues provenant des hydrocarbures, et le rejet ponctuel de solution à pH élevé.

Des dispersions très fines (émulsions, microémulsions, DCO) et des huiles solubles sont séparées avec difficulté. La concentration des espèces polluées s'accroîtra dans le bain et il sera nécessaire d'éliminer la solution ou de procéder à des ajouts d'agents de surface actifs.

Applicabilité
Cette technique est utilisée de manière optimale avec des solutions de dégraissage par émulsion faible, voir section 4.9.14.4.

Aspects économiques
Il s'agit d'une technologie peu onéreuse, en fonction de la taille et de la sophistication de la technique appliquée. Dans sa version de base, elle inclura un réservoir séparé, doté d'une pompe et d'un réseau de tuyaux. Un système plus complexe peut engendrer des coûts allant jusqu'à 50 000 euros.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Une production élevée grâce au procédé de dégraissage.
Une demande forte pour des produits de haute qualité et présentant un dégraissage approprié.
Coût élevé de rejet et de retraitement des pièces.

Exploitations de référence
En France : Berezecki (Beauvais), Kerbério (Gretz Armainvilliers), Berthollet (Montreuil)

Documents de référence
[57, France, 2003]

4.11.13.4 Régénération par dégraissage biologique

Description
Bien que le système soit souvent appelé système de dégraissage, il s'agit d'un système d'entretien pour les bains de dégraissage par alcali faible. La régénération constante en dérivation du bain par dégradation biologique de l'huile permet de surmonter la limite du bain alcalin faible (l'épuisement accéléré de sa capacité de dissolution par rapport aux systèmes d'émulsion stable/ alcalins forts). Une configuration classique est présentée à la figure 4.27, bien que des systèmes simples avec ajout manuel d'additifs fonctionnent également correctement.

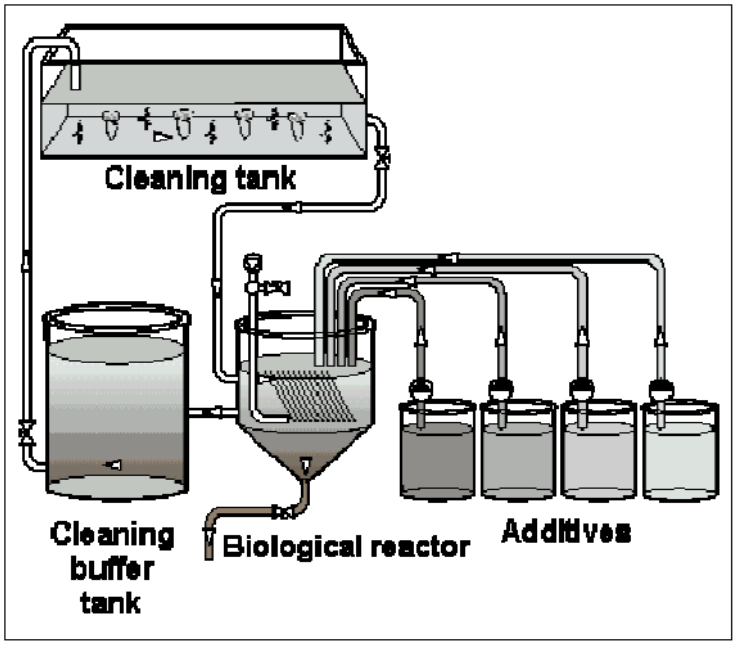


Figure 4.27 : Procédé de dégraissage aqueux biologique

Les pièces de fabrication/substrats sont placées dans la solution de traitement composée d'agents nettoyants émulsifiants moyennement alcalins. Dans ce cas, la température de fonctionnement est relativement basse (approximativement 45°C). Les ingrédients incluent un agent de surface destiné à décoller et à émulsifier la saleté et l'huile des surfaces, et des microorganismes qui se développent naturellement afin de transformer les huiles en oxydes de carbone, en eau, et en nutriments pour les microorganismes. De l'air est injecté sous forme de bulles dans la solution à un débit faible, pour garantir que le système reste aérobie. La solution est mise en circulation de manière continue au travers d'un réservoir latéral contenant les microorganismes, dans lequel les ajouts de nutriments et d'autres produits chimiques de traitement sont réalisés, et dans lequel la solution se régénère continuellement d'elle-même, avec, de temps à autre, l'élimination de faibles quantités de boues provenant de ce réservoir.

Ce type de traitement de dégraissage biologique existe sous diverses formes. Dans certaines applications, le bain de dégraissage lui-même est utilisé en tant que bioréacteur et les pièces de fabrication à dégraisser sont immergées dans la biomasse contenant la solution. Ce système peut fonctionner sous la forme d'un traitement en deux étapes dont le dégraissage aqueux alcalin normal sert d'étape de pré-dégraissage suivie d'une étape combinée de rinçage/dégraissage biologique dans laquelle le bain lui-même est également le bioréacteur.

Bénéfices environnementaux atteints

Système fonctionnant à un niveau de pH plus neutre, et une température de fonctionnement inférieur d'environ 45°C.
Utilisation réduite de produits chimiques de traitement car la solution nécessite rarement d'être remplacée.
Réduction de l'utilisation de produits chimiques dangereux sur le lieu de travail.
Réduction de l'utilisation de produits chimiques de neutralisation lors de l'évacuation d'une solution de traitement usée et diminution de l'impact des agents de surface sur le traitement de l'effluent.
Diminution des pertes par évaporation entraînant une réduction du besoin d'extraction de la vapeur d'eau.

Effets d’interaction

Développement éventuel de la bactérie de la légionellose entraînant la nécessité de contrôles réguliers.

Données opérationnelles
Réduction du nombre d'arrêts des chaînes de production destinées au remplacement des solutions de traitement usées.

Une qualité de dégraissage constante est garantie, par rapport à la qualité variable du dégraissage chimique qui présente également une durée d'utilisation réduite.

D'après certains exploitants, le traitement peut ne pas se révéler approprié à toutes les huiles et graisses (problèmes éventuels avec les huiles contenant des composés de soufre).

Dans certaines applications, la biomasse de la solution de dégraissage peut être partiellement transportée dans les étapes de traitement suivantes, ce qui engendre des problèmes de qualité des traitements de surface ultérieurs. Les traitements qui combinent un bioréacteur avec un système de séparation par membrane sont actuellement encore à l'étude afin de remédier au problème d'efficacité limitée des séparateurs à lamelle [124, Allemagne, 2003].

Le système biologique peut être rompu par le simple apport dans la solution de faibles quantités de substances biotoxiques comme le cyanure, le cuivre, l'AOX, etc. Le système ne fonctionne pas pour certaines pâtes de polissage, qui peuvent également être biotoxiques.

Le choix approprié d'agents de surface est crucial. Ces derniers doivent être, au moins partiellement, résistants à la dégradation microbienne.

Le système exige une alimentation continue en huile, ou une alimentation supplémentaire si une période d'arrêt excède trois jours.

Le système ne permet pas d'obtenir une bonne qualité de nettoyage si un trempage à température élevée est nécessaire (c'est le cas, par exemple, des pièces polies).

Applicabilité
Voir les données de fonctionnement ci-dessus. Il est souhaitable d'effectuer des essais de toutes les applications possibles (types de pièces de fabrication, types d'huile/graisse, d'enduit etc.) avant de procéder à l'utilisation du système à grande échelle. Un nombre suffisant d'installations utilisent commercialement cette technique pour qu'elle soit envisagée.

Aspects économiques
Un opérateur annonce des économies en produits chimiques de 6 000 à 7 000 euros par an (2002) sur deux chaînes au tonneau de 50 kg.

Un autre opérateur signale des économies en produits chimiques de 3 400 euros par chaîne de dépôt électrolytique, la première année où des économies ont été réalisées, et des économies de 3 800 euros par an et par ligne par la suite (1999).

Une entreprise de dépôt électrolytique de taille moyenne, travaillant en sous-traitance, a annoncé une réduction de 15 à 25 % de coûts de traitement spécifiques pour l'étape de décapage/rinçage/dégraissage lorsqu'elle a remplacé le système de traitement aqueux alcalin à chaud classique par un traitement de dégraissage biologique.

Aucun de ces chiffres n'inclut les économies en eau, en énergie, en coût du travail lié à une réduction de la durée d'ajout de solution, les économies réalisées grâce à un rendement accru (durée d'arrêt-machine) et à des performances de traitement améliorées (moins de rejets).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Réduction des temps d'arrêt-machine destinée au changement des solutions de dégraissage.
Réduction des quantités de produits chimiques dangereux utilisés sur le lieu de travail (remplacement d'agents fortement caustiques et de solutions de surface actives).
Réduction des boues provenant du traitement des eaux résiduaires grâce à un nettoyage efficace à 80 %.
Réduction des coûts.

Exploitations de référence
Dundee Electroplating Ltd, Dundee, RU ; Exhall Plating Ltd, Coventry, RU ; Merrydale Industries Ltd, Wednesbury, RU ; Metal Colours Ltd, Slough, RU , Sessler Galvanotechnics, GmbH, Allemagne, voir l'annexe 8.5.

Documents de référence
[18, Tempany, 2002, 31, Biowise, 2001] [124, Allemagne, 2003] [115, CETS, 2003] [113, Autriche, 2003] Rapport du Ministère Fédéral allemand de l'Education et de la recherche 01RW0189.

4.11.13.5 Centrifugation des bains de dégraissage

Description
La centrifugation permet de nettoyer les bains de dégraissage en séparant les huiles. La solution de dégraissage polluée est pompée vers un séparateur par centrifugation. L'huile est éliminée et recueillie afin d'être recyclée séparément des solides et de la boue produite. La solution de dégraissage propre est ensuite renvoyée vers le bain de dégraissage.

Bénéfices environnementaux atteints
Ce traitement permet de réduire le rejet de bains usés contaminés en huile et en matières solides.
La pollution du bain de dégraissage est maintenue à un niveau constant, relativement bas, ce qui réduit le niveau des pertes par entraînement et minimise l'utilisation et la pollution d'une eau de rinçage.

L'huile est récupérée et concentrée au niveau de la sortie du séparateur pour être éventuellement recyclée.
Les boues sont recueillies séparément.

La réduction des fréquences de purge (entre 30 et 80 %) selon la taille, la production et de nombreux autres paramètres relatifs à l'installation, grâce à une diminution du chauffage et du nombre d'arrêt-machine nécessaire.

Aucune perte d'agent de surface actif n'a été constatée.

Effets d'interaction
Energie électrique destinée au pompage et au fonctionnement du dispositif de centrifugation.

Données opérationnelles
La purification du bain est d'un niveau supérieur à 98 %. Selon un fournisseur, la concentration résiduelle en huile est inférieure à 2,5 g/l.

Les pertes par entraînement s'en trouvent réduites ; les rinçages consécutifs sont moins pollués, la qualité de traitement s'accroît donc.

Entretien et opérations de dépannage limités (pour les machines automatisées, une intervention pour 2000 heures de production).

La centrifugation permet d'éliminer une grande quantité d'huile dans un espace restreint.

Les machines utilisées peuvent être mobiles et ~~peuvent~~ être utilisées pour traiter des bains d'origines différentes.

Ce système est très utile lorsque la vitesse de sédimentation des particules est très faible.

Les machines manuelles sont sensibles à l'encrassement par les boues et doivent être réservées à une utilisation pour des bains présentant une teneur en boue relativement faible. L'entretien des machines manuelles, insuffisamment protégées des boues, peut se révéler pénible.

Parfois, des agents de surface actifs doivent être ajoutés afin de maintenir l'efficacité du bain, car l'huile en microémulsion n'est pas séparée de la phase aqueuse.

Applicabilité
La composition chimique des agents de surface active doit être adaptée. Les dispositifs de centrifugation ne peuvent traiter des bains très acides (pH <2).

Aspects économiques
Ce type de technologie est très onéreux avec des coûts d'installation d'au moins 50 000 euros qui peuvent atteindre plus de 150 000 euros lorsque l'installation incorpore le stockage et la récupération des bains.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Production élevée grâce au traitement de dégraissage.
Demande forte d'un dégraissage approprié et de haute qualité.
Coût élevé du rejet et du retraitement des pièces de fabrication.

Exploitations de référence
En France : Renault (Flingues, Cléon) Chan-t'eou et Maury (Lucé), Freudienne (Langres), Noiraud (Laon), Ronéo (Noyon)

Documents de référence
[46, France, 2003]

4.11.13.6 Filtration par membrane de dégraissants émulsifiants (micro ou ultrafiltration)

Description

Cette technique peut être utilisée lorsque, pour des raisons techniques, l'utilisation de systèmes fortement dégraissants et émulsifiants est nécessaire, et que la régénération de la solution de nettoyage par d'autres procédés est coûteuse ou peut se révéler impossible.

La technologie de filtration par membrane, en particulier la micro ou l'ultrafiltration, est un procédé de séparation physique basé sur l'utilisation de membranes destinées à la séparation de particules d'une dimension comprise entre 0,005 et 0,1 micromètre (la séparation de particules plus petites est réalisée par nanofiltration ou osmose inverse). Dans ce système, une faible différence de pression engendre le déplacement du liquide d'un côté de la membrane vers l'autre côté.

La filtration est tangentielle, de sorte que le fluide circule en parallèle à la membrane, plutôt que perpendiculairement ou frontalement comme dans un système de filtration classique (chargeant donc des particules sur le filtre). La filtration tangentielle permet l'accumulation de particules responsables de l'encrassement sans pour autant encrasser la surface de filtration. Le liquide traversant la membrane est le filtrat ou le perméat, une solution propre contenant une solution détergeante purifiée qui est renvoyée vers le bain de dégraissage. La solution ~~est~~ capable de traverser la membrane est le rétentat, solution contenant l'huile et le matériau en suspension. Un système classique est représenté dans la figure 4.28.

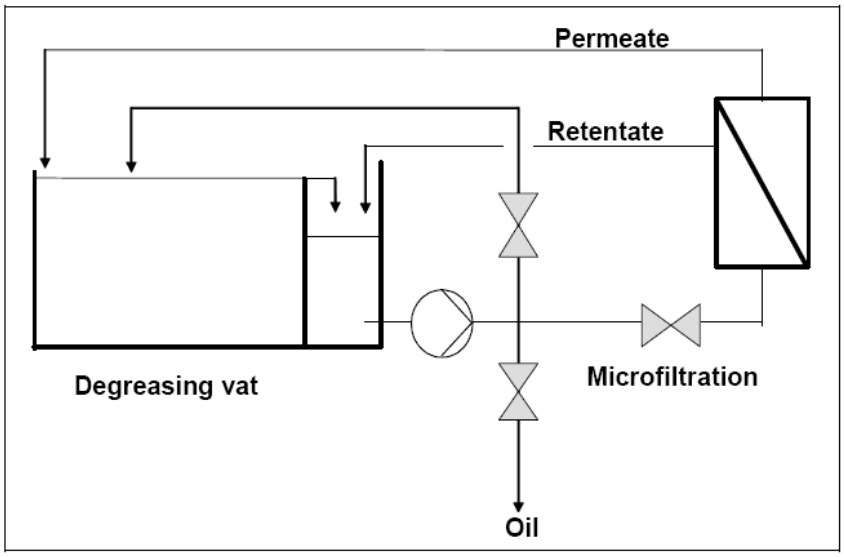


Figure 4.28 : Microfiltration en dérivation destinée à allonger la durée de vie d'utilisation d'une solution de dégraissage.

Bénéfices environnementaux atteints

Réduction de l'utilisation et de la consommation de produits chimiques et d'énergie pour le dégraissage de pièces de fabrication ou de substrats fortement contaminés.
Accroissement de la durée de vie du bain de dégraissage (jusqu'à 10 fois). Réduction de la consommation de détergent de 50 %.

Réduction élevée de la pollution, réduction de la DCO de 30 à 70 %, selon les données de l'agence de l'eau. Les bains usés sont moins fréquemment rejetés (lorsque les niveaux d'huile atteignent, en général, 10 à 15 g/l).

Effets d'interaction
Consommation énergétique liée au pompage nécessaire à la microfiltration, bien que lorsqu'une filtration tangentielle est pratiquée, les coûts sont inférieurs à un système de filtration perpendiculaire.

Données opérationnelles
Il peut se produire des pertes de composants d'agents de surface dues au passage de ces derniers au travers des membranes, et pour que l'utilisation de la microfiltration soit optimale, la composition des produits chimiques dans le nettoyage doit être maintenue.

La concentration d'huile dans le bain diminue jusqu'à atteindre 2 ou 3 g/l et est maintenue à un niveau constant en fonction de la vitesse de filtration. Le bain est filtré en continu, et lorsque l'efficacité du bain de dégraissage est constante (entre 500 et 800 microns), le problème d'encrassement lié à l'utilisation de systèmes par pulvérisation diminue.

Le choix des membranes doit être déterminé grâce à des essais, étant donné le risque d'encrassement en cours d'utilisation.

Applicabilité
Seuls quelques exploitants ont réussi à obtenir une qualité de nettoyage constante à long terme. Pour cette raison, l'utilisation réussie du système de nettoyage par membrane pour les solutions de dégraissage nécessite une collaboration étroite des exploitants, des fabricants de l'équipement et des fournisseurs de produits chimiques.

La réussite de cette technique en terme de rentabilité est basée sur l'utilisation de la membrane la plus adaptée à une large variété de polluants obtenue dans le bain de dégraissage. La plupart des équipements sont installés dans des ateliers internes à l'installation, où la composition des huiles à éliminer est plus constante.

Aspects économiques
Coût énergétique : consommation électrique comprise entre 0,10 et 0,20 kWh par m^3 traité.
Aucune vidange des bains chauds usés : diminution de la perte en énergie de chauffage.
Peut nécessiter d'arrêter la production afin de changer les bains de dégraissage.

L'investissement est relativement élevé. Le coût de l'installation d'ultrafiltration dépend de la situation particulière de l'entreprise (cuves de volume important, qualité de dégraissage, quantité d'huile à éliminer, etc.). Ce coût est estimé entre 40 000 à 200 000 euros pour le coût total de l'unité d'ultrafiltration (membranes, stockage de l'ultrafiltrat et, dans certains cas, installation de raccords).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Installation dans lesquelles des composants fortement huilés/graisseux nécessitent un système de dégraissage par émulsification forte.
Production élevée grâce au traitement de dégraissage.
Forte demande d'un dégraissage approprié et de haute qualité.
Coût élevé du rejet et du retraitement des pièces de fabrication.

Exploitations de référence
En France : Renault (Sandoval, Clean), Renault Trucks (Plainville), Sausage Production Service (Pont Saint Maxine), STILL (Minatare), Sachs Aliquant (Mousy), Ago France (Beavers).

Documents de référence
[3, CETS, 2002, 104, UBA, 2003] [19, Eurofer, 2003] [59, France, 2003] [121, France, 2003].

4.11.13.7 Entretien en plusieurs étapes des solutions de dégraissage

Description
Les systèmes à étapes multiples utilisent un procédé simple d'élimination de la majeure partie de l'huile ou de la graisse suivi d'une étape de filtration par membrane. Par exemple, une étape de filtration par gravité suivie d'une étape d'ultrafiltration.

Bénéfices environnementaux atteints
Elimination de toute l'huile et allongement de la durée de vie des solutions de dégraissage.

Effets d'interaction
Consommation d'énergie nécessaire aux écrémeurs, aux systèmes de flottation par air dissous ou à tout autre traitement primaire, ainsi qu'au pompage destiné à l'étape de filtration suivante.
Produits chimiques utilisés pour la désémulsification.

Données opérationnelles
Amélioration de la fiabilité du traitement à la fois pour les traitements de nettoyage et les traitements ultérieurs.
La séparation par gravité est un système simple nécessitant peu d'entretien.

Applicabilité
Lorsque de grandes quantités d'huile et de graisses sont présentes sur les pièces de fabrication ou substrats entrants, lorsque la production de la chaîne de traitement est élevée, et/ou lorsque la qualité du dégraissage est de première importance pour les traitements suivants.

Aspects économiques
La taille des étapes consécutives (et éventuellement, leur aspect coûteux), telles que l'ultrafiltration ou la séparation mécanisme par écrémeurs peut être réduite grâce à un prétraitement réalisé à l'aide de techniques simples (voir section 4.11.13.2), comme par exemple la séparation par gravité (le procédé le plus simple et le moins coûteux).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Amélioration des résultats de nettoyage grâce à l'amélioration des performances et de la fiabilité des traitements de surface ultérieurs. Les rejets et retraitements de pièces de fabrication s'en trouvent à leur tour réduits.

Documents de référence
[104, UBA, 2003]

4.11.13.8 Entretien des traitements de dégraissage électrolytique

Les mêmes traitements que ceux utilisés pour les nettoyants alcalins peuvent être appliqués aux nettoyants électrolytiques, si l'on tient compte du fait que la quantité d'huile éliminée est faible en comparaison de la quantité d'huile éliminée dans le nettoyage au trempé.

4.11.14 Décapage

Les solutions de décapage perdent de leur qualité du fait de la dissolution des métaux [124, Allemagne, 2003] et de la constante entrée d'eau de rinçage provenant des étapes de traitement précédentes ; elles doivent donc renouvelées à intervalles relativement rapprochés. Actuellement, aucune technique permettant d'allonger la durée d'utilisation des solutions de décapage n'existe, bien que le décapage en deux étapes ou l'apport par entraînement au travers d'une solution de décapage usée puisse être envisagée (voir section 2.3.6).

Il est important d'éviter le surdécapage, qui est l'attaque par la solution de décapage du métal de base. En technologie de surface il s'agit d'un effet secondaire indésirable, car :

- il entraîne un accroissement de la consommation d'acide accompagné d'un accroissement de l'érosion métallique et par là même, un accroissement de la production de déchets (provenant du métal dissous précipité dans le traitement des eaux résiduaires et de l'accroissement de la quantité d'acide résiduaire généré) ;
- il provoque des pertes de qualité sensibles du matériau de base (fragilité due à l'hydrogène) ;
- il peut altérer la qualité de la surface de la pièce de fabrication et/ou modifier les mesures géométriques de la pièce de fabrication de manière négative.

Le surdécapage peut être évité par l'ajout de ce que l'on appelle des inhibiteurs de décapage, qui sont couramment utilisés [104, UBA, 2003].

4.11.14.1 Mesures destinées à la diminution de la consommation d'acide de décapage

Description
Un système d'acide chlorhydrique à trois étapes en cascade avec un débit de fonctionnement de 0,5 l/min est utilisé pour éliminer la couche d'oxyde durcissante des pièces de fabrication avant de subir le revêtement métallique. Il présente de bons résultats. Le système est identique à un système de rinçage à l'eau en cascade, mais l'eau est remplacée par l'acide chlorhydrique de décapage à 32 %.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie de la solution de traitement chimique. Un système à trois étapes en cascade a permis de réduire l'utilisation de produits chimiques de 50 % (la consommation en acide chlorhydrique à 32 % a chuté de deux tonnes à une tonne par jour, selon les chiffres obtenus pour l'installation de référence présentée ci-dessous).

Un flux continu moindre d'acide chlorhydrique est traité plus facilement dans une station de traitement des eaux résiduaires classique, ce qui permet d'éliminer les problèmes engendrés par les évacuations discontinues d'acide vers ces installations.

Données opérationnelles
Réduction sensible des pièces de fabrication rejetées, la force de l'acide dans le système en cascade reste en effet constante et efficace, au contraire de systèmes à « traitement par lots et élimination » dans lesquels la force de l'acide diminue progressivement jusqu'à ce qu'il soit remplacé.

Cette technique peut nécessiter des étapes de traitement supplémentaires sur la chaîne, ces derniers intervenant dans la partie la plus corrosive de la chaîne.

Applicabilité
Cette technique est applicable dans une situation vérifiant les critères suivants ou certains d'entre eux :

- consommation d'acide de décapage considérable ;
- décapage de pièces de fabrication à grande échelle ;
- problème lié à la qualité de décapage, comme par exemple la résistance des surfaces à traiter au décapage (par exemple, couche d'oxydation durcissante, ce qui exige une alimentation constante en acide propre) ;
- les rejets ponctuels d'acide provenant du décapage vers le traitement des eaux résiduaires affectent négativement celui-ci.

Aspects économiques
Les économies d'échelle en matériaux compensent le coût de surface supplémentaire nécessaire à l'installation pour le décapage à étapes multiples.
Réduction des rejets, voir les données de fonctionnement ci-dessus.

L'annexe 8.11 présente un exemple de formule destinée à calculer le coût de changement d'un système de décapage statique en trois étapes à un système de rinçage en cascade.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Accroissement de la stabilité du traitement pour le décapage à étapes multiples, diminution des rejets et économies d'échelle.

Exploitations de référence
Metal Colours Ltd, Slough, RU

Documents de référence
[18, Tempany, 2002, 104, UBA, 2003] [124, Allemagne, 2003]

4.11.14.2 Allongement de la durée d'utilisation des solutions de décapage grâce à une dialyse par diffusion

Description
Si la concentration en sels métalliques de la solution de décapage, formés par dissolution, s'élève de manière trop importante, l'effet de décapage disparaît, même avec l'addition supplémentaire d'acide. Dans ce cas, le bain de décapage est inutile et est généralement rejeté. Cependant, la solution de décapage peut encore être utilisée grâce à une séparation sélective des sels métalliques dissous.

La dialyse par diffusion permet de séparer l'acide de ces contaminants métalliques par le biais d'un gradient de concentration en acide entre les compartiments de solution (acide contaminé et eau déionisée) qui sont séparés par une membrane d'échange anionique,

voir la figure 4.29. L'acide est diffusé au travers de la membrane dans l'eau déionisée tandis que les métaux sont bloqués étant donné leur charge et le caractère sélectif de la membrane. Une différence majeure entre la dialyse par diffusion et d'autres technologies par membrane telles que l'électrodialyse ou l'osmose inverse est que la dialyse par diffusion ne passe par l'utilisation d'une tension électrique ou d'une pression sur la membrane. Au contraire, le passage de l'acide est provoqué par la différence en concentration d'acide des deux côtés de la membrane. Ainsi, les exigences énergétiques de cette technique restent faibles.

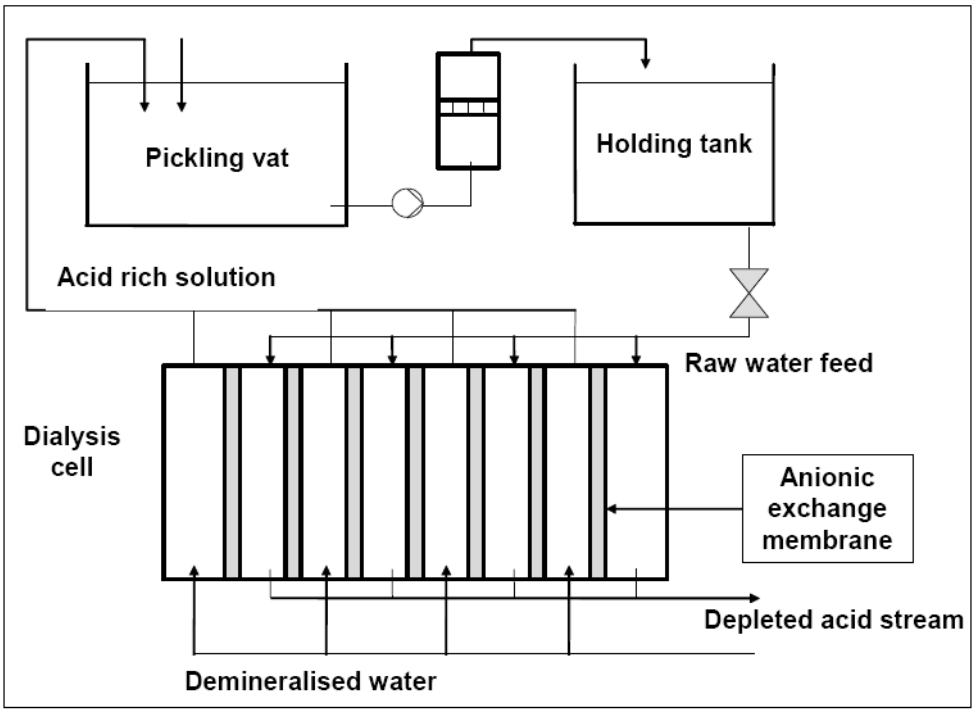


Figure 4.29 : Régénération des solutions de décapage par dialyse

Séparation des parties intégrantes	Paramètres	Alimentation		Emissions	
		Solution d'attaque chimique	Eau	Diffusat	Concentré
	Débit (l/h)	830	830	700	960
HCl, $AlCl_3$	(g/l)	100		85	25
	$AlCl_3$ (g/l)	30		0,7	26
H_2SO_4, $NiSO_4$	Débit (l/h)	20	20	14	26
	H_2SO_4 (g/l)	32		27	12
	Ni (g/l)	1,7		<0,04	1,6

Tableau 4.16 : Résultats du traitement de dialyse sur des solutions d'attaque chimique

Bénéfices environnementaux atteints

Allongement de la durée de vie de la solution de traitement chimique. Les niveaux de concentration obtenus sont présentés dans le tableau 4.16.
Consommation énergétique inférieure aux consommations énergétiques des techniques employant la pression.

Effets d'interaction

La concentration de l'acide récupéré sera généralement inférieure à celle de l'acide d'origine, et un acide d'appoint doit être ajouté afin de porter la concentration au niveau nécessaire au traitement. Lorsque l'acide d'origine présente une concentration importante

en sels, la concentration de l'acide récupérée peut être supérieure à la concentration de l'acide d'origine.

Le flux résiduaire épuisé en acide (après traitement des dialyses par diffusion) est approximativement égal en terme de flux volumique au flux d'acide résiduaire entrant. En fonction de l'élimination en acide spécifique à l'application et des taux de rejet de métaux, le flux résiduaire épuisé en acide (rétentat) contient habituellement de 5 à 20 % d'acide et de 60 à 95 % des métaux provenant du flux résiduaire d'acide entrant. Ce flux est envoyé arrive généralement dans une station de traitement des eaux résiduaires.

Données opérationnelles

Afin de d'empêcher le colmatage mécanique, les acides de décapage doivent être préfiltrés avant d'être utilisés dans le processus de dialyse.

Dans le traitement de dialyse par diffusion, l'accroissement de la surface de membrane par unité d'acidité accroît le taux de récupération de l'acide. Si le débit de l'eau déionisée s'accroît, la vitesse de recyclage de l'acide fait de même et la concentration de l'acide recyclé décroît.

Les systèmes de dialyse par diffusion peuvent utilisés pour des applications en flux continu ou intermittent. Des systèmes de taille réduite sont souvent utilisés sous forme d'unités mobiles.

Les limites liées à l'utilisation de la dialyse par diffusion afin de récupérer des acides de traitement de finition de surface sont :

- les acides qui ne sont pas fortement dissociés (par exemple, l'acide phosphorique) ne traverseront pas la membrane ;
- les anions de métaux complexés (par exemple, les anions de fluorotitane) traversent facilement la membrane d'échange anionique et ne sont pas efficacement séparés de l'acide.

Un refroidissement est généralement nécessaire si la température de l'acide résiduaire à recycler dépasse 50 °C.

Le chauffage de l'acide résiduaire à recycler peut être nécessaire si sa température est basse. Une chute de température de 2°C réduit le taux de recyclage de l'acide d'approximativement 1,5 %.

L'utilisation de solvants peut provoquer le gonflement de la membrane.

Des substances fortement oxydantes (par exemple, l'acide chromique) peuvent provoquer la détérioration de la membrane.

Applicabilité

La dialyse par diffusion est une technologie de purification/recyclage qui peut être utilisée pour entretenir ou recycler des acides contaminés ou usés, lorsque les concentrations en acide sont supérieures à 3 % en poids. La dialyse par diffusion est le plus fréquemment utilisée lorsque des concentrations en métaux contaminants sont inférieures à 1 gramme par litre. Les solutions de traitement de finition de surface pour lesquelles une dialyse par diffusion est envisageable incluent :

- les solutions abrasives et décapantes d'acide chlorhydrique (HCl) ;

- les solutions d'anodisation d'acide sulfurique (H_2SO_4) ;
- les solutions abrasives et décapantes d'acide sulfurique ;
- les solutions abrasives et décapantes d'acide nitrique (HNO_3) ;
- les solutions de décapage de l'acier inoxydable à l'acide fluorhydrique/à l'acide nitrique (HF/HNO_3) ;
- les solutions d'attaque chimique de l'aluminium à l'acide sulfurique/acide chlorhydrique (H_2SO_4/HCl) ;
- les solutions d'acide méthane sulfonique (AMS).

Aspects économiques
Une dialyse par diffusion peut être coûteuse en coûts d'investissement et de fonctionnement lorsqu'il s'agit d'applications simples, et être complexe à mettre en œuvre. L'utilisation la plus rentable de cette technique peut être, par exemple :

- lors d'une utilisation importante d'acides les plus concentrés et/ou les plus coûteux (par exemple, l'acide phosphorique) ;
- avec des techniques d'attaque chimique onéreuses telles que celles utilisant l'acide méthylsulfonique avec de l'étain et/ou de l'étain/plomb.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Constance et qualité du traitement.
Réduction des coûts engendrés par l'utilisation d'acide propre, par le traitement ou l'élimination d'acide résiduaire.

Documents de référence
[104, UBA, 2003], [154, NMFRC], [129, Espagne, 2003, 159, TWG, 2004, 162, USEPA, 2000]

4.11.14.3 Récupération du cuivre des bains de décapage

Description
Dans les bains de décapage du cuivre (métaux non ferreux), le cuivre peut être recyclé par simple électrolyse (voir section 4.12.1 pour une discussion) [113, Autriche, 2003]

4.12 Récupération des métaux de traitement

Cette section concerne les systèmes de recyclage intégrés aux installations et non aux traitements externes.

4.12.1 Récupération électrolytique

Description
Les métaux peuvent être récupérés par électrolyse. Le système est largement utilisé pour la récupération des métaux précieux, mais peut également être utilisé pour récupérer d'autres métaux tels que le nickel et le chrome provenant des pertes par entraînement. Des cellules d'électrolyse appropriées sont proposées sur le marché en différents formats et peuvent fonctionner pour des teneurs en métaux inférieures à 100 mg/l.

Ces systèmes peuvent être utilisés conjointement avec d'autres techniques afin d'obtenir des niveaux d'émission faible dans l'eau, ou le recyclage des eaux résiduaires, etc. (voir section 4.7.12).

Bénéfices environnementaux atteints
Récupération des métaux afin de les réutiliser.
Réduction des métaux dans les pertes par entraînement et donc diminution de leur concentration dans les effluents.
Au cours de la séparation électrolytique de solutions métalliques contenant du cyanure, la destruction par oxydation anodique du cyanure se déroule en parallèle au gain métallique.

Effets d'interaction
Consommation énergétique pour des rendements à courant faible.

Données opérationnelles
La récupération électrolytique de métaux précieux nécessite que le réacteur électrolytique puisse réduire la concentration métallique jusqu'à une concentration très faible (1 ppm ou moins). Le rendement actuel à ce niveau est très faible. Dans tous les cas, une simple cathode en plaque plate serait suffisante, mais lorsque des rendements à courant élevé sont nécessaires (aussi bien pour les métaux précieux que pour les métaux de transition) une cathode de conception sophistiquée est nécessaire (cellule à tube rotatif, cathode en fibre de graphite) ou un lit fluidisé destiné à contre balancer l'épuisement de la surface cathodique (voir la figure 4.30). Dans tous les cas (oxydation anodique également), l'anode doit être de type « insoluble ».

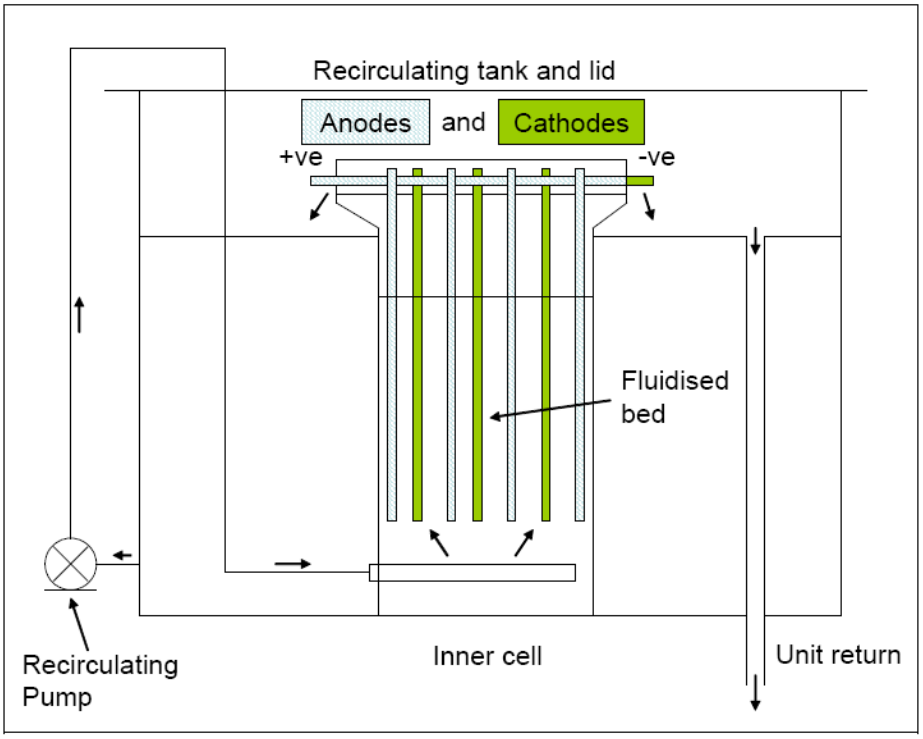


Figure 4.30 : Cellule optimisée utilisant la technologie du lit fluidisé
Cellule Chemelec, BEWT Environmental Services Ltd.

Les cathodes prennent généralement la forme de tôles, de feuilles ou de particules, composées généralement du même métal que le métal à récupérer, ces éléments peuvent cependant être en acier inoxydable ou en un autre métal, ce qui permet soit une séparation mécanique du dépôt de l'organe cathodique, soit son retrait par élimination anodique. Le fer, l'acier inoxydable, le carbone poreux, les particules de graphite, les billes métallisées de verre ou de plastique et des tissus métallisés sont autant d'exemples

de matériaux fréquemment utilisés. Le choix du matériau cathodique est largement déterminé par la nature du traitement, qui suit le dépôt métallique. Quoi qu'il en soit, la maximisation de la superficie de cathode et la maximisation du traitement par diffusion sont les deux moyens principaux permettant d'améliorer le rendement du réacteur électrolytique.

Le matériau anodique peut être : du graphite, du plomb, des alliages de plomb avec de l'antimoine, de l'argent ou de l'étain, de l'acier inoxydable, de la fonte, du ferrosilicium et les métaux entrant dans la composition de pièces de tuyauterie (titane, tantale, tungstène, niobium) enduits de métaux nobles (platine, iridium) ou d'oxydes de métaux nobles (oxydes d'iridium, de ruthénium).

Le choix du matériau anodique est généralement le fruit d'un compromis basé sur :

- le comportement en cas de surtension pour la réaction particulière sur un matériau donné ;
- de la corrosion anodique, les propriétés mécaniques et la forme sous laquelle le matériau est disponible ;
- le prix.

Les conditions de fonctionnement varient en fonction du métal à récupérer ; pour l'or, les conditions recommandées sont : un pH minimum de 10, une tension de cellule de 8 V, une densité de courant de 20 A/dm^2, une température >60°C, et un intervalle anode-cathode de 8 à 16 cm.

Les avantages supplémentaires de la récupération électrolytique en comparaison du procédé d'échange ionique sont :

- aucun accroissement de la concentration en sel dissous ;
- la présence d'autres métaux en concentration similaire n'affecte pas la vitesse d'élimination des espèces souhaitées ;
- l'oxydation possible des espèces indésirables telles que le cyanure

Des métaux nobles, étant donné leur caractère électropositif, seront plus faciles à déposer électrolytiquement que les métaux non nobles.

Pour la récupération de métaux électrolytiques, les flux suivants sont particulièrement appropriés :

- les concentrés de rinçage (pertes par entraînement) provenant du métal de dépôt électrolytique ;
- les concentrés de rinçage (pertes par entraînement) et les solutions de traitement provenant du dépôt chimique de métaux à l'exception des solutions contenant du phosphate ;
- les solutions régénérées d'acide sulfurique d'échangeurs cationiques provenant du traitement des eaux de rinçage : ces dernières contiennent des métaux non ferreux.

La pureté des métaux générés peut permettre une utilisation directe au sein de l'installation sous forme de matériaux anodiques. Autrement, il peut y avoir recyclage via le marché de la récupération des métaux.

Applicabilité

L'or et l'argent sont récupérés par procédé électrolytique depuis plus de 50 ans.
La récupération électrolytique a des applications qui vont au-delà de la récupération des métaux précieux : ce procédé peut être utilisé pour les métaux de transition (voir les installations de référence de l'annexe 8.5 et les installations exemplaires ci-dessous).
Les cellules à lit fluidisé permettent d'accroître le rendement du procédé.

Aspects économiques
Rentable pour les métaux précieux.
Peut se révéler rentable pour les métaux de transition, par exemple, lorsque les coûts de traitement des eaux résiduaires sont diminués (coûts d'investissement et de fonctionnement).

L'électrolyse interne à l'installation engendre des coûts d'investissement et en personnel (à la fois en temps et en compétence) ainsi que des dépenses sensibles en énergie étant donné le faible rendement en électricité (kg/amp heure). Cet inconvénient peut être compensé pour les solutions cyanurées dans lesquelles le cyanure est détruit en parallèle.

Concernant la cellule à lit fluidisé : bien que la technique puisse être utilisée pour la plupart des métaux, les préoccupations économiques limitent l'application de cette dernière aux métaux de valeur ou aux métaux facilement réutilisables. Les unités de traitement permettent de récupérer électrolytiquement de 1 kg/semaine à 150 kg/semaine de métal pur d'une solution. Les solutions peuvent être très diluées et contiennent généralement de 100 à 500 parties par million (0,1 à 0,5 mg /l). Les coûts habituellement constatés sont présentés dans le tableau 4.17.

Capacité nominale	Coût du capital £	Coût habituel de fonctionnement/an £
<1,5 kg/semaine	6 500	<10
<5 kg/semaine	14 000	115
<30 kg/semaine	24 000	300
<150 kg/semaine	68 000	800

Tableau 4.17 : Coûts d'investissement et de fonctionnement habituels pour une cellule électrolytique à lit fluidisé

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir les aspects économiques ci-dessus.
Législation sur la protection et la pollution des eaux et la PARCOM.

Exploitations de référence
Concernant le nickel et le chrome : Townrow (Hi-Tech Plating) Ltd, Sheffield, RU.

Pour la récupération de l'or, de l'argent, du rhodium, du nickel, du cuivre ; la destruction du cyanure ; et la réutilisation de l'eau : Marigot Jewellery (Thaïlande), Samutprakarn 10280, Thaïlande.

Pour la récupération du cuivre (fabricant de circuit imprimé) : P.W. Circuits Ltd. South Wigton, RU.

Récupération d'argent à partir de solutions photographiques résiduaires : Shannon Environmental Services, Shannon, République d'Irlande.

Documents de référence
[3, CETS, 2002, 18, Tempany, 2002] [110, BEWT, 2003] [12, PARCOM, 1992]

4.12.2 Echange d'ions – récupération des métaux précieux provenant des rinçages

Description
Les métaux précieux contenus dans les solutions concentrées sont généralement récupérés électrolytiquement (voir section 4.12.1). Cependant, des solutions plus diluées contenant parfois une quantité n'excédant pas quelques mg/l, sont traitées par adsorption du contenu métallique sur des résines échangeuses d'ions.

L'échange ionique ne sert qu'à concentrer le métal dans la résine, une étape de récupération finale étant réalisée par incinération de la résine ou par libération du métal sous forme dissoute, mais à des niveaux de concentrations supérieurs. La récupération finale du métal par incinération est réalisée dans une atmosphère riche en oxygène à une température de 500 à 600°C; les métaux sont contenus dans les cendres résiduelles. Ce type de récupération permet d'atteindre des rendements de 95 %.

Bénéfices environnementaux atteints
Récupération des métaux précieux.

Effets d'interaction
Emissions provenant de l'incinération des résines.
Accroissement des concentrations en sels au cours de la régénération des résines.

Données opérationnelles
Pour l'or et les métaux précieux, le principe du procédé est basé sur le traitement de l'eau de rinçage grâce à un type fortement basique de résines échangeuses d'ions anioniques, sous la forme OH^- ou Cl^-. Ce procédé ne fonctionne pas bien pour les rinçages cyanurés alcalins ou à base de chlorure. Théoriquement, les résines échangeuses d'ions ont une capacité utile de 1000 g d'or par litre de résine.

Habituellement, l'équipement est composé de deux colonnes de résine échangeuses d'ions disposées en séries, la première unité supportant la charge principale, tandis que la colonne en aval traite la solution en excès. Chaque colonne de résine doit contenir environ quatre litres ou plus de résine échangeuses d'ions afin d'être efficace.

Lorsque de très gros volumes d'eau de rinçage sont utilisés, le traitement du rinçage statique que les pièces de fabrication traversent après la cuve de dépôt du métal précieux est envisageable. Le traitement est effectué au travers d'une colonne de résine en boucle fermée. Ce système permet d'obtenir une concentration si faible en or dans la cuve de rinçage statique que les pertes supplémentaires par entraînement dans les rinçages en cascade suivants peuvent être négligées.

La récupération de l'argent nécessite l'utilisation de résines échangeuses d'ions anionique faible basiques, étape suivie d'une régénération et d'une récupération électrolytique ultérieure du produit régénéré. Généralement, la capacité de la résine est de l'ordre de 50 à 75 g d'Ag/litre (argent par litre) de résine. Une possibilité supplémentaire est l'utilisation d'unités d'échange ionique intégrées à un circuit de rinçage recyclé à régénération périodique. Le métal précieux est ensuite récupéré par électrolyse à partir du concentré. Ce traitement est utilisé pour l'argent et présente de bons résultats.

Le palladium utilisé dans l'industrie des cartes de circuits imprimés est récupéré des solutions acides contenant du chlorure (d'un pH d'environ 2), lorsque ce métal est présent sous forme de chlorocomplexe, en utilisant des résines échangeuses d'ions fortement basiques. Le même procédé permet de séparer facilement le palladium du cuivre. La capacité habituelle de la résine (le même type de résine que celle utilisée pour l'or) varie de 30 à 50 g de Pd par litre de résine.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Récupération des coûts.

Documents de référence
[3, CETS, 2002]

4.12.3 Chromatation

Description
Après un certain temps, le chrome hexavalent présent dans les solutions de chromatation est épuisé. Les solutions dissolvent et accumulent également du zinc et d'autres métaux et perdent finalement leur qualité fonctionnelle, la solution devant être rejetée et renouvelée.

De nombreuses tentatives ont été menées afin de régénérer les solutions de chromatation, principalement par le biais d'échangeurs ioniques ou par le biais d'une technologie utilisant des membranes.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie du bain et récupération du métal.

Effets d'interaction
Energie et produits chimiques utilisés dans ces techniques de régénération.

Aspects économiques
La régénération est généralement rentable uniquement pour des solutions relativement concentrées et coûteuses, par exemple, pour les solutions de chromatation noire contenant de l'argent.

Les coûts des nouvelles solutions de traitement de chromatation jaune ne sont que de 3 à 4 euros /litre (2002). L'amortissement du capital, les dépenses pour l'énergie et pour l'entretien rendent difficile les mesures de récupération.

Documents de référence
[104, UBA, 2003]

4.12.4 Précipitation

Voir les sections 4.16 et 4.17.

4.13 Activités de post-traitement – techniques pertinentes pour la détermination d'une MTD

4.13.1 Séchage

Il existe différentes possibilités, comme le séchage à l'eau chaude, le séchage à l'air chaud, le séchage à lames d'air. (Aucune donnée supplémentaire disponible).

4.13.2 Dégazage

Description
Le dégazage est un traitement thermique effectué après certains traitements afin d'éviter le dégazage indésirable provoqué par l'hydrogène piégé dans la structure cristalline des substrats métalliques. Ce dégazage se produit lors du décapage, du nettoyage cathodique, ou du dépôt électrolytique de métaux lorsque le rendement en courant est inférieur à 100 %, ou par dépôt chimique (phosphatation). La température et la durée du traitement de fragilisation dépendent du substrat.

Bénéfices environnementaux atteints

Effets d'interaction
Consommation élevée en énergie au cours du chauffage.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Finition spécifique du substrat ou de la pièce de fabrication.

Documents de référence
[159, TWG, 2004]

4.14 Bande continue – bande d'acier à grande échelle

Un grand nombre des meilleures techniques disponibles éventuelles utilisées sont décrites dans d'autres sections de ce document et les références de ces sections sont indiquées. Les techniques décrites en détail ici concernent en particulier le revêtement en bande et/ou ajoutent des informations spécifiques [19, Eurofer, 2003]. Les coûts sont donnés par tonne traitée.

4.14.1 Utilisation d'un contrôle de traitement numérique

Description
Les systèmes de contrôle des traitements numériques recueillent des données et agissent sur les traitements en temps réel. Voir la section 4.1.5.

Bénéfices environnementaux atteints
Amélioration du rendement de l'installation et de la qualité du produit avec diminution des émissions.

Effets d'interaction
Aucun

Applicabilité
Installations neuves et existantes

Aspects économiques
L'investissement initial est élevé : > 0,8 euro /t installée, avec des coûts de fonctionnement et d'entretien > 0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Exigences d'efficacité et de qualité du traitement.

Exploitations de référence
De nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.2 Bacs étanches aux huiles

Description
Une fuite des systèmes hydrauliques vers les sols, les eaux de surface et souterraines peut être évitée grâce à l'utilisation de bacs étanches aux huiles.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation d'un rejet éventuel d'huile vers les eaux et les sols.

Applicabilité
Installations neuves et existantes.

Effets d'interaction
Aucun.

Données opérationnelles
Amélioration des conditions de sécurité et de santé des opérateurs, grâce à la réduction d'un risque de chute par glissade sur des sols huileux.

Aspects économiques
L'investissement initial est faible, 0,001 à 0,15 euro /tonne installée, avec des coûts de fonctionnement faibles de 0,001 à 0,15 euro /tonne installée.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement.
Santé et sécurité.

Exploitations de référence
De nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en continu dans l'UE15.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.3 Rendement énergétique

4.14.3.1 Moteurs à bon rendement énergétique

Description
Voir la section 4.4 sur l'application des moteurs à bon rendement d'énergie lorsque des moteurs sont utilisés dans le traitement.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de la consommation d'énergie sur l'ensemble de la chaîne.

Effets d'interaction
Aucun.

Applicabilité
Technique qui peut être utilisée dans des installations neuves ou lors du remplacement de certaines parties de l'installation.

Aspects économiques
L'investissement initial est moyen : 0,015 à 0,8 euro /t installée.
Coûts de fonctionnement faibles : 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement.

Exploitations de référence
Nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.3.2 Elévation de la conductivité de l'électrolyte

Voir la section 4.4.1.4.

4.14.4 Rendement en eau

4.14.4.1 Recyclage des eaux de trempage

Description
Afin de produire une finition brillante sur le produit suite à un dépôt d'étain par fusion par écoulement, la bande est refroidie grâce à une trempe dans l'eau. Cette eau est recyclée et réutilisée jusqu'à ce qu'elle soit éliminée, lorsque l'accumulation d'étain est trop élevée. Voir la densité 4.4.5.

Applicabilité
Technique applicable aux installations neuves et existantes.

Aspects économiques
L'investissement initial est de 0,015 à 0,8 euro /installée, avec des coûts de fonctionnement de 0,015 à 0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité du traitement et exigences des clients.

Exploitations de référence
De nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.4.2 Utilisation de systèmes de rinçage en cascade

Voir les sections 2.9.10.4 et 4.7.10. L'eau de pulvérisation utilisée à l'origine est recyclée et renvoyée vers les étapes initiales.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction significative de la consommation d'eau pour le traitement, et réduction proportionnelle du traitement et des volumes d'eaux résiduaires.

Applicabilité
S'applique aux installations neuves et existantes, pour le rinçage.

Aspects économiques
L'investissement initial est de 0,015 à 0,8 euro /t installée avec un coût de fonctionnement et d'entretien >0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.5 Rouleaux essoreurs

Description
Voir la section 4.6 sur la réduction des pertes par entraînement. Les solutions restantes ou les eaux de rinçage déposées sur la bande d'acier sont éliminées de la bande grâce à des rouleaux essoreurs avant de quitter chaque section de production. Ce traitement permet de garantir que la perte par entraînement d'une solution dans la section suivante est réduite tout comme est réduite la perte de produits chimiques et la contamination des eaux résiduaires.

Effets d'interaction
On constate une réduction significative de la consommation de matières premières. La quantité d'eau de rinçage nécessaire est donc réduite tout comme les volumes d'eaux résiduaires. Il en résulte une réduction des produits de traitement et des boues produites au niveau de la station de traitement des eaux résiduaires.

Effets d'interaction
Aucun effet négatif.

Données opérationnelles
Voir les émissions provenant du traitement, des boues résiduaires, de l'utilisation de l'eau et de l'utilisation des matières premières, dans la section 3.4.1.

Applicabilité
S'applique aux installations neuves et existantes après la section de revêtement métallique et les sections de passivation.

Aspects économiques
L'investissement initial est modéré, environ 0,015 à 0,8 euro /t installée et les coûts de fonctionnement sont faibles, environ 0,01 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement, coût et qualité compris.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.6 Nettoyage en bande électrolytique

Voir la section 4.9.14.8.

4.14.7 Utilisation de systèmes d'ultrafiltration afin de régénérer une solution de dégraissage

Voir la section 4.11.13.6.

4.14.8 Utilisation (multiple) en cascade de solutions de dégraissage

Voir la section 4.11.13.1

4.14.9 Contrôle du bain d'acide dans la section de décapage

Voir les sections 4.8 et 4.11.4.

4.14.10 Contrôle et gestion de la consommation d'électrolyte

Description
Voir les sections 4.7.2 et 4.7.5.
Pour l'étamage : après la phase de revêtement métallique, la bande passe au travers d'une section de rinçage des pertes par entraînement. Pour minimiser la perte d'électrolyte, l'électrolyte est rincé par pulvérisation grâce à une solution de dilution d'acide phénylsulfonique (PSA) et d'étain. Le liquide est ensuite renvoyé vers une cuve de recyclage d'électrolyte. Un système d'évaporateur est ensuite utilisé pour condenser la solution d'électrolyte diluée par évaporation, et le condensat est ensuite renvoyé vers la solution de traitement pour être réutilisée.

Pour le zingage acide : un évaporateur en circuit fermé, avec un épurateur (pour les cellules de revêtement métallique), tout comme pour les cuves d'électrolyte de zinc et les cellules de rinçage de revêtement métallique, concentre les ions (Zn^{++}, SO_4^{--}) dans le résidu et de l'eau distillée est récupérée de la vapeur. Les ions concentrés sont réutilisés et injectés dans l'électrolyte tandis que l'eau distillée est réutilisée et injectée dans les différents traitements.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de la consommation de matière première lorsque l'électrolyte est réutilisé.
Réduction des volumes d'eaux résiduaires et des boues provenant de la station de traitement des eaux résiduaires.

Effets d'interaction
Aucun.

Données opérationnelles
Voir les émissions provenant du traitement, les boues résiduaires, l'utilisation de l'eau et l'utilisation des matières premières, sections 3.4.1 et 3.4.2.

Applicabilité
S'applique aux installations neuves et existantes.

Aspects économiques
Pour l'étain : investissement initial de 0,015 à 0,8 euro /t installée, avec des coûts d'entretien et de fonctionnement de 0,015 à 0,8 euro /t.

Pour le zinc : investissement initial > 0,8 euro /t installée, avec des coûts d'entretien et de fonctionnement s'échelonnant de 0,015 euro à > 0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité de traitement et qualité du produit.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.11 Commutation de la polarisation des électrodes dans les traitements électrolytiques

Voir la section 4.8.3.

4.14.12 Optimisation de l'intervalle anode – cathode

Description
Un mécanisme d'ajustement de l'intervalle peut être mis en place en fonction de la bande traitée (largeur-épaisseur-planéité).

Bénéfices environnementaux atteints
Optimisation de la consommation énergétique, réduction des contacts entre l'anode et la surface de la bande, accroissement de la qualité et rejets de bandes de coupe.

Effets d'interaction
Aucun

Applicabilité
Chaînes neuves.

Aspects économiques
L'investissement initial est de 0,01 à 0,15 euro /t installée avec des coûts de fonctionnement et d'entretien de 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement, consommation d'énergie réduite.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence

[19, Eurofer, 2003]

4.14.13 Polissage du rouleau conducteur

Description
Des lames abrasives oscillantes polissent en continu la surface des rouleaux conducteurs évitant ainsi l'accumulation de zinc et/ou de nickel.

Bénéfices environnementaux atteints
Allongement de la durée de vie des rouleaux conducteurs, durée de traitement plus longue, minimisation des défauts de surface de la bande.

Effets d'interaction
Aucun.

Données opérationnelles

Applicabilité
S'applique aux chaînes neuves et existantes.

Aspects économiques
L'investissement initial est de 0,015 à 0,8 euro /t installée, avec des coûts de fonctionnement et d'entretien de 0,01 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Productivité, durée de vie des rouleaux conducteurs, rendement et qualité de la bande déposée.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.14 Utilisation de polisseuses de rebords

Description
Elimination des dendrites de zinc formées au niveau des rebords de la bande dans les cellules de zingage électrolytique dotées d'intervalle anode-cathode réduit.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation des défauts de surface de la bande (bosses).

Effets d'interaction
Pertes de matériaux.

Données opérationnelles

Applicabilité
S'applique aux chaînes et existantes dans les 15 pays de l'UE.

Aspects économiques

L'investissement initial est de 0,01 à 0,15 euro /t installée, avec des coûts de fonctionnement et d'entretien de 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Rendement des bandes déposées et qualité répondant aux exigences des clients.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.15 Utilisation de masques de rebord

Description
Des masques de rebord se déplacent entre l'anode et la bande afin d'éviter la formation de denterites de zinc et des débordements de zinc (lors du revêtement métallique d'un seul côté) au niveau des rebords de la bande.

Bénéfices environnementaux atteints
Les bénéfices environnementaux sont réduits.
Cette technique permet d'éviter les rognures latérales (perte de matériau), minimisation des défauts de surface de la bande.

Effets d'interaction
Aucun.

Applicabilité
S'applique aux chaînes neuves et aux chaînes existantes si l'intervalle anode-cathode est suffisamment large.

Aspects économiques
L'investissement initial est modéré, avec des coûts d'entretien et de fonctionnement modérés.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité et rendement de la bande déposée.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique utilisent cette technique au sein des 15 pays membres de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.16 Minimisation de l'utilisation d'huile à l'aide de graisseurs électrostatiques couverts

Description
Une huile légère (huile anticorrosion ou emboutissage profond) est chauffée et déposée électrostatiquement sur la surface. Le poids de la couche d'huile se situe dans une gamme étroite. La machine est couverte et les éclaboussures d'huile sont récupérées et

réutilisées. L'application électrostatique est un procédé plus efficace et plus rentable d'enduction, permettant de minimiser la quantité d'huile utilisée dans le système.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de la consommation de matière première, minimisation de la production de déchets et d'émission de vapeur d'huile.

Applicabilité
S'applique aux installations neuves et existantes si l'espace nécessaire est disponible.

Aspects économiques
L'investissement initial est supérieur à 0,8 euro /t installée, avec des coûts de fonctionnement de 0,015 euro à 0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Principalement, les exigences des clients, ensuite, l'efficacité du traitement.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.17 Entretien des solutions de traitement.

Voir la section 4.11 dans laquelle des exemples spécifiques d'applications de revêtement en bande sont décrits.

4.14.17.1 Nettoyage et recyclage des bains de dégraissage

Description
Voir la section 4.11.13.
La solution de dégraissage usé est nettoyée ; les résidus d'huile provenant des dispositifs de régénération sont récupérés pour pouvoir servir dans un système de récupération de chaleur ; le bain de dégraissage traité est recyclé au sein de la section de dégraissage.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction significative de la consommation de produits chimiques alcalins, réduction de la consommation d'eau et des volumes de boues produites dans la station de traitement des eaux résiduaires.

Effets d'interaction
Accroît la consommation énergétique de la section .

Applicabilités
S'applique aux installations neuves et existantes, si l'espace nécessaire est disponible.

Aspects économiques
Les coûts d'investissement sont de 0,015 à 0,8 euro /t installée et les coûts de fonctionnement sont de 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Principalement, l'efficacité du traitement.

Exploitations de référence
Techniques utilisées dans plusieurs chaînes de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.17.2 Filtration en continu et réutilisation du bain de zingage

Description
La filtration mécanique en dérivation pour la régénération des bains et le recyclage interne est utilisée pour le nettoyage des bains de zingage.

Bénéfices environnementaux atteints
Les bénéfices environnementaux sont modérés.
Réduction des intrants de matériaux (Zn, H_2SO_4), de la consommation d'eau, des rejets d'eaux résiduaires et de boues.

Effets d'interaction
Faible quantité d'énergie utilisée pour le dispositif de pompage du système de filtration.

Applicabilité
S'applique aux chaînes neuves et existantes si l'espace nécessaire y est disponible.

Aspects économiques
L'investissement initial est modéré, avec des coûts d'entretien et de fonctionnement modérés.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement et, avant tout, exigences de la clientèle.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu au sein des 15 pays membres de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.17.3 Elimination en continu du fer et réutilisation du bain de zingage

Description
L'électrolyte est recyclé au travers d'un réservoir externe à la chaîne de traitement où il est traité grâce à un ajout d'H_2O_2 afin d'oxyder le Fe(II) en Fe(III). Le $Fe(OH)_3$ est récupéré soit par précipitation soit à l'aide d'un échangeur d'ions.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des intrants de matériaux (Zn, H_2SO_4), des consommations d'eau, des rejets d'eaux résiduaires et de boues, réduction des défauts de bande.

Effets d'interaction

Aucun.

Applicabilité
S'applique aux chaînes neuves et existantes si l'espace nécessaire y est disponible.

Aspects économiques
L'investissement initial est de 0,015 à 0,8 euro /t installée, avec de coûts d'entretien et de fonctionnement de 0,015 à 0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement, exigences des clients principalement.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.17.4 Nettoyage et régénération du bain de phosphatation

Voir la section 4.11.12

4.14.17.5 Nettoyage et régénération du bain de chromatation

Description
Voir les techniques présentées dans la section 4.11. Le bain de chromatation usé est filtré ; les concentrations en ions métalliques et le pH sont ajustés. La solution de chromatation régénérée est réutilisée.

Bénéfices environnementaux atteints
Le bénéfice environnemental est important : réduction de la consommation en produits chimiques, réduction des rejets d'eau et de boue.

Effets d'interaction
Ces derniers dépendent des techniques de régénération utilisées.

Données opérationnelles
/

Applicabilité
Cette technique s'applique aux installations neuves et existantes, si l'espace nécessaire y est disponible.

Aspects économiques
Les coûts d'investissement s'élèvent de 0,015 à 0,8 euro /t installée et les coûts de fonctionnement sont de 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Principalement, l'efficacité du traitement.

Exploitations de référence
De nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en continu.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.18 Contrôle des émissions atmosphériques

4.14.18.1 Récupération et épuration

Description
Voir la section 2.13.3. En ce qui concerne le traitement en bande, afin de maintenir les normes sanitaires professionnelles sur le lieu de travail, l'air peut être évacué dans les sections de nettoyage, décapage, revêtement métallique et traitement chimique. Un système d'épuration doté d'épurateurs par voie humide et des dévésiculeurs est utilisé pour éliminer les polluants.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des émissions atmosphériques.

Effets d'interaction
Accroissement de la consommation d'énergie, accroissement de la quantité d'eaux résiduaires nécessitant d'être traitées.

Données opérationnelles disponibles/lorsque le système peut être appliqué
Voir les émissions provenant du traitement, les boues résiduaires et l'utilisation de l'eau dans la section 3.4.1.

Applicabilité
S'applique aux installations neuves et existantes.

Aspects économiques
L'investissement initial est > 0,8 euro /t installée, avec des coûts de fonctionnement et d'entretien > 0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation environnementale et législation pour la santé et la sécurité sur le lieu de travail.
Système qui permet d'éviter la détérioration des installations et des équipements immobiliers provoqués par la corrosion.

Exploitations de référence
De nombreuses installations de dépôt électrolytique en continu dans l'UE15.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.18.2 Bains de traitement couverts

Description
Voir la section 4.18.2. Les règles de bonnes pratiques exigent que toutes les cuves soient couvertes, à l'exception de celles disposant de systèmes d'aspiration des fumées. Tous les bains de traitement et de rinçage chimique (dégraissage, décapage, revêtement métallique, chromatation) sont couverts et fonctionnent sous pression négative afin d'éviter les émanations de fumées et d'air contaminé.

Bénéfices environnementaux atteints
Les bénéfices environnementaux sont importants. Réduction des émissions fugaces dans l'atmosphère.

Effets d'interaction
Aucun.

Applicabilité
S'applique aux installations neuves et existantes.

Données opérationnelles
La mise en œuvre de certaines applications peut se heurter à des difficultés pratiques, difficultés qui concernent par exemple l'espace, l'accès pour l'entretien, etc.

Aspects économiques
L'investissement initial est de 0,015 à 0,8 euro /t installée avec des coûts d'entretien s'élevant de 0,001 à 0,15 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Conditions environnementales sur le lieu de travail, législation de la santé et de la sécurité.

Exploitations de référence
De nombreuses chaînes de dépôt électrolytique en continu dans les 15 pays membres de l'UE.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.14.19 Procédés de traitement des eaux résiduaires.

Voir la section 4.16 pour une description et une étude des techniques disponibles. En ce qui concerne le revêtement en bande, les coûts d'investissement sont > 0,8 euro /t installée, avec des coûts de fonctionnement > 0,8 euro /t.

4.14.20 Récupération des métaux résiduaires contenus dans les cuves

Description
L'étain contenu dans les cuves de recyclage peut être récupéré grâce à un traitement des eaux résiduaires par précipitation à l'aide de chaux et d'un retraitement grâce à un dispositif de recyclage des métaux.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des déchets en décharge et récupération de matières premières.

Effets d'interaction
De la chaux est utilisée dans le traitement.

Applicabilité
Technique s'appliquant aux installations neuves et existantes.

Aspects économiques
L'investissement initial est de 0,015 à 0,8 euro /t installée avec des coûts d'entretien compris entre 0,015 et 0,8 euro /t.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Efficacité du traitement et réduction des coûts d'élimination des déchets.

Documents de référence
[19, Eurofer, 2003]

4.15 Traitement des cartes de circuits imprimés

De nombreuses techniques utilisées dans la fabrication des cartes de circuits imprimés sont décrites dans d'autres sections de ce document et les références de ces dernières sont indiquées. Les documents de référence cités peuvent également servir de source d'information.

4.15.1 Fabrication des couches internes

Description
La section 2.11.2.6 décrit les oxydations noire et brune, et les traitements les plus récents. L'oxyde noir est produit en utilisant des produits chimiques tels que l'hypochlorite de sodium à haute température (approximativement 80°C). Cette technique tend à être remplacée par l'oxydation brune, qui utilise moins de produits chimiques dangereux tels que l'acide sulfurique, l'eau oxygénée et des additifs organiques biodégradables à des températures d'approximativement 30°C. Le cuivre élémentaire est oxydé en cuivre (I) et protégé grâce aux additifs. Cependant, d'autres types de traitement apparaissent (que l'on appelle parfois traitements d'oxydation alternatifs). Ces traitements évoluent rapidement, sous l'influence d'exigences techniques constamment plus élevées.

Bénéfices environnementaux atteints
Utilisation moindre de produits chimiques dangereux.
Températures inférieurs.
Production moindre d'eaux résiduaires (voir les Données fonctionnelles ci-dessous).

Effets d'interaction
Lorsqu'une nouvelle solution est composée (ce qui est nécessaire tous les 24 mois), la solution usée est traitée par un procédé discontinu de précipitation alcaline.

L'air acide évacué est neutralisé grâce à un épurateur d'air.

Données opérationnelles
La concentration des composants individuels est maintenue à niveau constant grâce un réapprovisionnement en produits chimiques en fonction du volume de production. Un ~~De~~ réapprovisionnement compense la perte de liquide par évaporation. Ainsi, la génération d'effluents est quasi nulle.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité du produit. Santé et sécurité sur le lieu de travail.

Exploitations de référence

Les principaux producteurs de cartes de circuits imprimés allemands utilisent la technique d'oxydation brune.
Les techniques alternatives sont utilisées en Finlande.

Documents de référence
[122, UBA, 2003], [159, TWG, 2004]

4.15.2 Rinçage entre les étapes

Voir les sections 4.6 et 4.7. La production de cartes de circuits imprimés se déroule généralement sur des modules en ligne horizontale, mais les mêmes techniques utilisées pour les autres traitements sont applicables. De plus, des rouleaux essoreurs peuvent être utilisés pour la production de cartes de circuits imprimés, ce qui contribue grandement à limiter les apports et les pertes par entraînement.

4.15.3 Dépôt autocatalytique (sans courant)

Voir les autres techniques d'entretien d'une solution dans les sections 4.7, 4.9.1, 4.11. En ce qui concerne le traitement de l'EDTA, voir section 4.16.8.

4.15.4 Dépôt électrolytique sur cartes de circuits imprimés

Description
Voir les problèmes d'ordre général s'appliquant aux dépôts électrolytiques dans les sections 4.5 à 4.11. Afin d'obtenir un dépôt métallique aussi régulier que possible sur les cartes de circuits imprimés, les installations verticales les plus modernes utilisent une technique d'injection directe d'air, combinée à l'oscillation et la vibrations des cartes. De plus, le panneau est fixé dans la partie inférieure du bain de sorte qu'un échange optimal des électrolytes à l'intérieur des trous soit possible sur la totalité du panneau (dont les dimensions sont généralement de 600 x 600 mm). Des dispositifs de transport automatiques sont utilisés pour alimenter les bains individuels (microgravure, dépassivation acide, dépôt électrolytique et rinçage).

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation des rejets.

Effets d'interaction
Voir la section 4.3.4 sur l'agitation.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité de la production.

Documents de référence
[122, UBA, 2003]

4.15.5 Développement d'une réserve sèche par l'utilisation de carbonate de sodium

Description
L'équipement destiné au développement d'une réserve sèche est constitué de l'unité de développement et d'une chambre plus petite en aval, contenant une solution propre de carbonate de sodium (voir section 2.11.2.8).

Afin de réduire les pertes par entraînement de solution d'agents révélateurs contaminés dans les zones suivantes de rinçage à l'eau douce, la surface du panneau est rincée avec une solution d'agents révélateurs propres.

Les collecteurs peuvent osciller pour communiquer l'effet mécanique des buses de pulvérisation et obtenir un meilleur échange de la solution. Les buses d'éjection doivent être installées selon un angle d'approximativement 30 à 40 ° transversalement à la direction du traitement. Dans le cas de rampes à buses multiples, ces dernières peuvent être installées les unes contre les autres. Cette étape permet une utilisation économique de l'eau et des produits chimiques.

Selon les règles de bonnes pratiques, la concentration de la solution d'agents révélateurs (0,8 – 1,0 % de Na_2CO_3) est contrôlée par conductivité, puis elle est vérifiée par une analyse en laboratoire et enfin, elle est réapprovisionnée lorsque cela serait nécessaire par l'ajout d'une solution propre. La solution usée est récupérée sous forme d'effluent dans une cuve tampon ; une solution propre est ajoutée à partir d'un mélangeur de carbonate de sodium (contenant 10 % de soude) et l'étape suivante de rinçage est effectuée conformément aux exigences.

Les règles de bonnes pratiques exigent un traitement séparé des effluents chargés avec une réserve. A cette fin, divers traitements peuvent être utilisés, tels que l'ultrafiltration.

Bénéfices environnementaux atteints
Minimisation de l'utilisation de produits chapitres et d'eau.
Minimisation des effets des rejets discontinus vers la station de traitement des eaux résiduaires.

Applicabilité
Technique s'appliquant à tout type d'agent révélateur de réserve sèche.

Aspects économiques
L'utilisation de l'ultrafiltration pour l'effluent peut dépendre de la quantité d'eau rejetée. L'ultrafiltration est moins coûteuse que la précipitation.

Exploitations de référence
Schweizer Electronic AG, Ruwel AG, Allemagne.

Documents de référence
[122, UBA, 2003]

4.15.6 Attaque chimique

Description
Voir la section 2.11.2.9. Les règles de bonnes pratiques exigent la surveillance de l'agent d'attaque acide ($HCl + H_2O_2$) sur la chaîne de traitement. La concentration en acide chlorhydrique est déterminée grâce à un titrateur et un réapprovisionnement est effectué si nécessaire. Le potentiel d'oxydo-réduction peut également être surveillé par le biais du réapprovisionnement en électrode d'oxydo-réduction et en eau oxygénée.

Une attaque chimique alcaline est menée sur une chaîne de production horizontale permettant une oscillation et équipée de buses spécifiques pour une élimination efficace

du cuivre. La solution est amorcée par incorporation d'un peu de cuivre corrodé. Cette solution fait l'objet d'un réapprovisionnement en continu. La solution de réapprovisionnement contient, en autres substances, des sels d'ammonium (chlorure, sulfate, carbonates). Grâce à l'utilisation d'ammoniac, la solution est ajustée à un niveau de pH de 8-9,5.

Après le traitement d'attaque chimique, les règles de bonnes pratiques exigent le recyclage de l'eau de rinçage de la première cascade dans la solution d'attaque chimique. Les paramètres d'attaque chimique sont maintenus à un niveau constant, autant que possible, par un contrôle et un réapprovisionnement continu de la solution en produits chimiques de régénération. Une partie de la solution est rejetée de manière continue dans l'installation d'attaque chimique. La solution résiduaire de chlorure de cuivre (II) résultant du traitement d'attaque chimique est recueillie dans un réservoir de stockage et est reconditionnée de manière externe par des entreprises spécialisées dans les sels de cuivre et l'acide chlorhydrique. Ces matériaux de base peuvent être réintégrés dans des traitements industriels.

Les vapeurs acides peuvent être éliminées par le biais d'un épurateur rempli d'une solution alcaline (NaOH) afin qu'elles y soient neutralisées.

Bénéfices environnementaux atteints
L'optimisation de l'utilisation en produits chimiques et la minimisation de l'utilisation d'eau.
Récupération du cuivre et des agents d'attaque chimique des solutions usées.

Effets d'interaction
Transport, stockage et manipulation des solutions résiduaires.
Les solutions alcalines des épurateurs d'air peuvent être traitées dans une installation classique de traitement des eaux résiduaires.

Applicabilité
Technique applicable à tous les systèmes de gravure.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Qualité du produit.
Normes qualitatives de l'air sur le lieu de travail.

Exploitations de référence
Tous les principaux fabricants de cartes de circuits imprimés.

Documents de référence
[122, UBA, 2003]

4.15.7 Recyclage des agents de gravure alcalins sur la ligne de traitement et récupération du cuivre (échange ionique liquide- liquide)

Description
La solution d'attaque chimique d'ammoniac alcalin peut être régénérée et le cuivre dissous peut être récupéré sur site grâce à un traitement disponible sur le marché. L'unité brevetée est installée en circuit fermé à l'intérieur d'un système d'attaque chimique alcalin représenté dans la figure 4.31 et assure les fonctions suivantes :

- régénération continuelle du bain d'attaque chimique alcalin ;

- récupération ininterrompue du cuivre en solution d'attaque chimique sous une forme à pureté élevée ;
- purification de l'eau de rinçage destinée à être réutilisée après attaque chimique.

Un agent d'attaque chimique usé contenant 150 g/l de cuivre est envoyé dans la première solution d'extraction de liquide organique non miscible (dans l'équipement de recyclage, voir la figure 4.31) et est renvoyé sous forme d'agent d'attaque chimique régénéré contenant 110 g/l de cuivre. Le solvant est alors chargé de 50 g/l de cuivre.

L'eau de rinçage usée contenant 5 g/l (5000 mg/l) de cuivre est mélangée à une seconde solution d'extraction de liquide organique non miscible (dans l'équipement de recyclage, sur la figure 4.31) ; une eau de rinçage régénérée contenant de 5 à 6 mg/l de cuivre en ressort. Le liquide organique non miscible provenant de cette seconde extraction est chargé d'une quantité supplémentaire de 5 g/l de cuivre.

Ce liquide organique non miscible passe au travers d'un troisième extracteur contenant un électrolyte à base d'eau, dans lequel la charge en cuivre est éliminée, et est renvoyée vers le premier extracteur. Après le troisième extracteur, l'électrolyte est chargé d'approximativement 55 g/l de cuivre.

Le cuivre est déposé de l'électrolyte sur la cathode dans la cellule d'électro-extraction (électrolytique).

Description d'une composition chimique

Pour l'attaque chimique du cuivre métallique des cartes de circuits imprimés :

$$Cu° + Cu(NH_3)_4Cl_2 \rightarrow 2\ Cu(NH_3)_2Cl \text{ (dissolution)}$$

$$2\ Cu(NH_3)_2Cl + 0.5O_2 + 2\ NH_3 + 2\ NH_4Cl \rightarrow 2\ Cu(NH_3)_4Cl_2 + H_2O \text{ (oxydation)}$$

En résumé :

$$Cu° + 2\ NH_3 + 2\ NH_4Cl + 0.5\ O_2 \rightarrow Cu(NH_3)_4Cl_2 + H_2O$$

Pour l'extraction du cuivre d'une solution d'attaque chimique usée et d'une eau de rinçage usée (où R représente la molécule dans la solution d'extraction de liquide organique non miscible) :

$$Cu(NH_3)_4Cl_2 + 2\ RH\ (org) \rightarrow CuR_2\ (org) + 2\ NH_3 + 2\ NH_4Cl$$

Afin d'extraire du cuivre du liquide organique vers électrolyte :

$$CuR_2\ (org) + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + 2\ RH\ (org)$$

Pour l'électro-extraction du métal de cuivre de l'électrolyte :

$$CuSO_4 + H_2O \rightarrow Cu° + H_2SO_4 + 0.5\ O_2$$

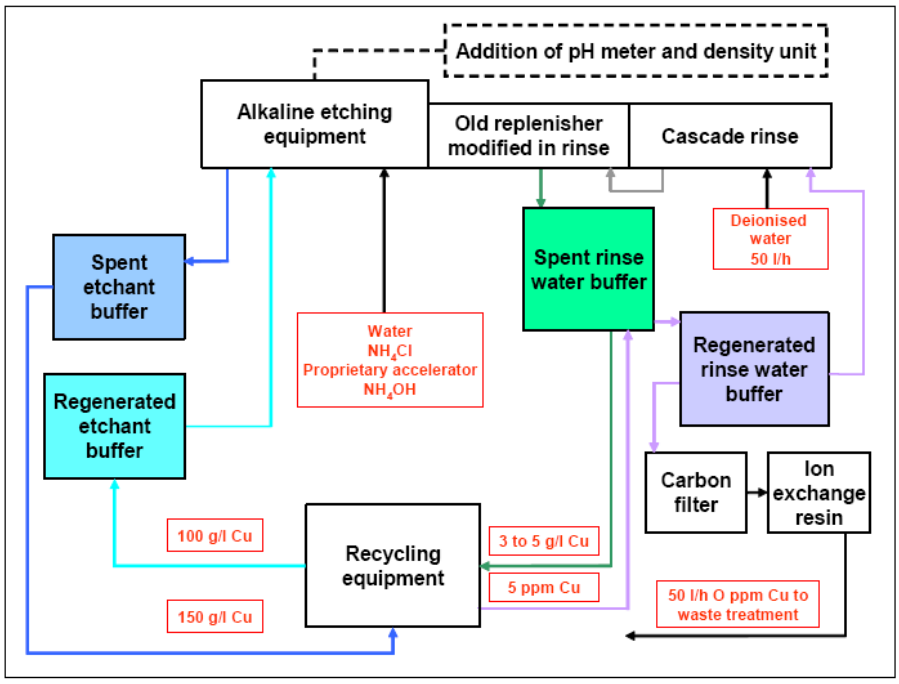


Figure 4.31 : Recyclage d'une solution d'attaque chimique alcaline dans la fabrication de cartes de circuits imprimés [49, France, 2003]

Bénéfices environnementaux atteints

Réduction de la quantité d'ammoniac et de cuivre dans l'effluent.
Récupération d'environ 600 kg de cuivre de haute qualité par mois (voir l'installation citée en exemple).
Diminution des nuisances sonores subies par les habitations proches et provenant des véhicules de livraison et d'enlèvement des déchets.

Effets d'interaction

Légère augmentation de la consommation énergétique pour l'unité.
Le cuivre récupéré est d'une pureté trop élevée pour être réutilisée dans l'installation et est vendu à un fournisseur.

Données opérationnelles

L'équipement doit être entretenu par un opérateur qualifié.

Applicabilité

Solutions d'attaque chimique de cuivre alcalin.
Procédé breveté.

Aspects économiques

Investissement de 100 000 à 150 000 euros (année 2003).
Délai d'amortissement: plus de trois ans, grâce à la revente du cuivre de haute qualité, à la réduction du traitement de l'effluent et du coût du réapprovisionnement en solution d'attaque chimique.

Eléments moteur pour la mise en œuvre

Amélioration de la qualité de production des cartes de circuits imprimés grâce à :

- la force constante de la solution d'attaque chimique qui permet une vitesse constante du traitement d'attaque chimique ;
- la réduction des problèmes de manipulation des produits chimiques dangereux lors de la livraison et de l'élimination de ces derniers ;
- la réduction de l'ajout de solutions de réapprovisionnement ;
- la diminution des livraisons par camion citerne engendrant une réduction des nuisances sonores.

Autres avantages :

- pas de stockage de la solution d'attaque usée ;
- pas de transport et de livraison de solutions d'attaque chimique, réduction des risques de manipulation, etc. ;
- réduction des nuisances sonores et amélioration de l'image publique de l'installation dans les zones résidentielles avoisinantes.

Exemples d'installations
SOFRA-PCB, Mennecy, France.

Documentation de référence
[49, France, 2003]

4.15.8 Décapage de la réserve

Description
La réserve sèche cuite est éliminée soit à l'aide d'une solution brevetée soit à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (approximativement 20 ml/l), voir section 2.11.2.8. Lorsque cette solution est pulvérisée sur la surface réservée ou réserve, cette dernière gonfle et se détache sous forme de flocons. Des particules grossières peuvent être séparées par centrifugation et éliminées en tant que déchets. L'effluent, qui est chargé en réserve, peut être évacué soit directement ou par le biais d'une cuve tampon d'un équipement d'ultrafiltration et nettoyé avec ajustement final du pH.

Bénéfices environnementaux atteints
Elimination des solides des eaux résiduaires.

Effets d'interaction
Génération de déchets de décapage.

Applicabilité
Applicable à toutes les techniques de décapage dans les installations de cartes de circuits imprimés, voir les Aspects économiques ci-dessous.

Aspects économiques
Coût de la centrifugation et de l'ultrafiltration.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Politique et législation concernant les eaux résiduaires.

Exemples d'installations
On trouve de nombreuses installations de cartes de circuits imprimés en Allemagne.

Documentation de référence

[122, UBA, 2003], [12, PARCOM, 1992]

4.15.9 Décapage d'une réserve de gravure (étain)

Description
Sur les chaînes de production horizontales, un milieu acide contenant de l'acide nitrique est appliqué par pulvérisation pour le décapage des réserves de gravure (voir section 2.11.2.10). Ce milieu contient des agents complexants organiques qui nécessitent des étapes supplémentaires de traitement pour l'élimination des effluents. Les eaux résiduaires et le concentré doivent être recueillis séparément et traités à l'aide d'un composé organo-sulfuré. Le précipité peut être recyclé sous forme de boues riche en étain. Les concentrés utilisés peuvent être éliminés.

Bénéfices environnementaux atteints
Le traitement séparé permet un traitement des eaux résiduaires avant évacuation. L'étain peut être récupéré des boues produites.

Effets d'interaction
Utilisation de produits chimiques de traitement supplémentaires.

Applicabilité
S'applique à tous les traitements de réserve de gravure.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Politique et législation concernant les eaux résiduaires.

Exemples d'installations
La plupart des installations de cartes de circuits imprimés en Allemagne.

Documentation de référence
[12, PARCOM, 1992, 122, UBA, 2003]

4.15.10 Elimination des solutions

Description
Certains bains de traitement contiennent généralement des agents complexants forts, par exemple :

- immersion ou revêtement métallique direct, (voir par exemple cuivre, nickel, métaux précieux) ;
- oxydation noire ou brune.

Des solutions doivent être identifiées (voir section 4.16.1) et nécessitent :

- une destruction des agents complexants (qui peut être effectuée sur site ou en dehors du site) avant traitement des métaux (voir section 4.16.8) ;

ou

- une élimination en dehors du site (avec ou sans récupération, voir section 4.17).

Bénéfices environnementaux atteints
Permet d'éviter la dégradation du procédé de traitement des eaux résiduaires

Effets d'interaction

Accroissement de la production de déchets

Applicabilité
S'applique à toutes les solutions de revêtement métallique direct

Exemples d'installations
Les principaux producteurs de cartes de circuits imprimés se trouvent pour la plupart en Allemagne et en Finlande.

Documentation de référence
[122, UBA, 2003] [159, TWG, 2004]

4.15.11 Emissions de solvants provenant de l'application d'un masque de soudure

Description
Les masques de soudures utilisés sont composés d'époxy et d'acrylate. Ils contiennent des photoinitiateurs et des substances de remplissage. De plus en plus, les systèmes de vernis alcalin aqueux sont utilisés. Avant exposition, ils sont solubles dans des solutions alcalines aqueuses ; et sont développés dans une solution de 1 à 3 % de carbonate de sodium. L'effluent peut être traité par ultrafiltration ou par un procédé de précipitation utilisant un milieu acide éliminé par la suite.

Cependant, même les masques de soudure alcalins aqueux contiennent jusqu'à 50 % de solvant (c'est-à-dire, de l'acétate de méthoxy-propyle). Par conséquent, des installations dont la consommation annuelle de solvants s'élève à 5-15 t/an (valeur seuil) sont soumises à la directive sur les émissions de solvants (SED). Afin de se maintenir au-dessous des valeurs limites d'émission, le fabricant de cartes de circuits imprimés doit convaincre son fournisseur d'accroître le pourcentage de contenus solides dans le système de vernis ou installer des systèmes de traitement appropriés sur les systèmes d'extraction d'air (par exemple, la condensation, l'incinération, filtres biologiques).

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des émissions de COV

Effets d'interaction
Accroissement de la consommation énergétique pour l'équipement supplémentaire

Applicabilité
Toutes les applications de masque de soudure, en particulier celles entrant dans les limites de la directive sur les émissions de solvants

Aspects économiques
Coût des systèmes de traitement atmosphériques supplémentaires

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Directive sur les émissions de solvants [97, CE, 1999].

Exemples d'installations

Documentation de référence
[122, UBA, 2003]

4.16 Techniques de réduction des émissions d'eaux résiduaires

La majeure partie des émissions environnementales provenant d'une installation dans une installation de traitement de surface des métaux et des matières plastiques touche l'eau, voir section 1.4.2. La minimisation (y compris la minimisation des écoulements accidentels), le recyclage et la réutilisation sont des points primordiaux de la gestion des eaux résiduaires [13, UNEP, et al., 2002] et sont traitées dans les sections 4.4.5, 4.6 et 4.7.

Le traitement des eaux résiduaires est abondamment décrit dans d'autres documents, de façon générale dans le BREF concernant les systèmes de traitement des eaux résiduaires/gaz résiduaires [87, EIPPCB,] et spécifiquement pour ces secteurs [6, IHOBE, 1997, 21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002]. Les sections suivantes sont donc une description rapide des techniques pertinentes.

Les eaux usées de procédés sont généralement traitées dans une station de traitement des eaux résiduaires à travers une séquence d'étapes de traitement, voir section 2.13.1, qui illustre également une installation de traitement classique des eaux résiduaires (figure 2.42).

4.16.1 Identification des flux problématiques

Description
Des changements de sources ou de types de produits chimiques de traitement peuvent générer des problèmes de traitement des eaux résiduaires, par exemple lors de l'introduction par inadvertance de produits chimiques interférents avec les traitements. En général, il s'agit soit d'agents de surface interférant avec les traitements de floculation et/ou de décantation, soit d'agents complexants empêchant la précipitation des métaux. Ces derniers peuvent être testés avant d'être introduits dans la production.

Bénéfices environnementaux atteints
Cohérence des traitements des eaux résiduaires au niveau requis

Effets d'interaction
Aucun

Données d'exploitation
Des changements de sources ou de types de produits chimiques de traitement peuvent être testés simplement, en mélangeant des échantillons des eaux résiduaires habituelles (prélevées avant décantation, mais après ajustement du pH et floculation) avec des dilutions prévues des nouveaux produits chimiques et en vérifiant les effets négatifs possibles, tels qu'une décantation médiocre des solides, des niveaux de métaux plus élevés qu'à l'accoutumée dans le liquide surnageant, etc. Si un problème quelconque est identifié, les mesures prises sont :

- la nouvelle solution n'est pas retenue ;

ou

- le changement compensatoire du système de traitement des eaux résiduaires.

Applicabilité

Tous changements de source ou de type de produits chimiques de traitement (généralement des mélanges et/ou des produits chimiques propriétaires). Les substances chimiques telles que les acides, etc. ne sont pas concernées.

Aspects économiques
Coût réduit : cette technique n'implique que le coût de l'analyse pertinente.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economies d'échelle grâce à la résolution des problèmes de traitement des eaux résiduaires et à la réduction des infractions des conditions établies par le permis d'exploitation

Exemples d'installations
Collini GmbH, Autriche

Documentation de référence
(Communication personnelle, Martin Peter, Collini GmbH) [159, TWG, 2004]

4.16.2 Elimination et/ou séparation des polluants individuels à la source

Description
Certains produits chimiques sont gérés de manière plus efficace lorsqu'ils sont traités séparément avant d'être mélangés aux autres effluents.

D'autres produits chimiques tels que les acides de décapage et les dégraissants chimiques, sont évacués par intermittence et en grande quantité qui peuvent dépasser la capacité d'une installation de traitement en flux continu, et peuvent engendrer un non-respect des conditions établies par les permis d'exploiter. Ces évacuations peuvent être gérés :

- en évitant les rejets volumineux (par exemple, voir section 4.11.14.1) concernant le décapage à contre courant) ;
- en limitant les rejets massifs et les engorgements de ~~à~~ la station de traitement interne des eaux résiduaires pendant une certaine période de temps, afin de rester dans les limites de la capacité de traitement de la station interne (remarque : cette technique d'évacuation par dilution vers les stations municipales d'épurations des eaux résiduaires ne fait pas partie des règles de bonnes pratiques) ;
- retenir les rejets massifs et utiliser des solutions alcalines pour neutraliser les solutions d'acides (tels que les dégraissants alcalins destinés à neutraliser les solutions de décapage acide) ;
- la gestion ponctuelle et l'évacuation de l'effluent, voir section 4.16.13 ;
- éliminer les solutions de traitement qui ne peuvent pas être traitées dans la station de traitement des eaux résiduaires par l'intermédiaire d'un tiers ou les traiter en tant que déchets (voir section 4.17.3.).

Dans certains cas, des produits chimiques peuvent être conservés séparément pour faciliter la récupération en sous-traitance, tout en réduisant les exigences de traitement des eaux résiduaires, par exemple : les acides de décapage (voir section 4.17.3).

Bénéfices environnementaux atteints
Pour certaines substances, le traitement et l'élimination du contaminant n'est possible qu'après un traitement séparé.

Eviter les évacuations massives dépassant la capacité de traitement de la station et le non respect les conditions établies par les permis d'exploiter.

Utilisation de solutions alcalines résiduaires (telles que les dégraissants) pour neutraliser les solutions acides résiduaires, ce qui permet d'économiser des produits chimiques.

Effets d'interaction
Ces effets dépendront de la situation.

Données d'exploitation
Les flux contenant des cyanures, des nitrites et du chromate doivent être prétraités séparément avant d'être mélangés avec d'autres sources d'eaux résiduaires, par exemple :

- les nitrites peuvent être oxydés ou réduits ; ces 2 types de réaction nécessitent une solution légèrement acide (pH 3 – 4, voir section 4.16.5)
- l'oxydation du cyanure doit être réalisée dans une solution alcaline (pH >10, voir section 4.16.4)
- la réduction des chromates s'effectue avec un pH inférieur à 2,5 (voir section 4.16.6).

Afin de limiter l'utilisation de produits chimiques supplémentaires, les eaux résiduaires acides peuvent être neutralisées à l'aide d'eaux résiduaires alcalines : elles doivent, cependant, être exemptes d'agents complexants.

D'autres substances doivent être gérées séparément afin de réduire la quantité de polluants libérés, et de réduire ou d'éliminer la nécessité d'un traitement supplémentaire. Ces substances incluent par exemple l'utilisation du rinçage à contre courant et l'évaporation afin de clore le cycle de transformation des matériaux provenant du chromage, du cuivrage et du nickelage, et l'utilisation de cellules électrolytiques pour le chromage et le nickelage.

Les traitements au cadmium (et au mercure) (voir section 2.5.5) sont soumis à une autre législation (voir les annexes 8.1 et 8.3.) En Allemagne, la législation exige que ces substances soient séparées et traitées selon les MTD avant d'être mélangées à d'autres effluents. Une approche similaire est entreprise au Royaume-Uni.

Applicabilité
Les règles de bonnes pratiques impliquent l'étude, pour chaque point d'évacuation des solutions de traitement usées, de la possibilité que le traitement (ou le recyclage ou réutilisation) soit effectué de manière plus appropriée en flux séparé, avant de mélanger les flux pour un traitement ultérieur.

Lors de l'utilisation de flux alcalins résiduaires pour neutraliser les acides résiduaires, les produits chimiques supplémentaires peuvent être nécessaires pour obtenir un niveau de pH approprié au rejet grâce à un système de floculation.

Aspects économiques
Dans certains cas spécifiques, des coûts d'investissement et de fonctionnement relatifs aux systèmes d'épuration peuvent être réduits de manière significative en traitant les flux d'eaux résiduaires séparément. Cependant, le coût d'un traitement de flux séparés est généralement plus élevé.

Eléments moteur pour la mise en œuvre

La composition chimique spécifique de traitement indiquera quels produits chimiques requièrent une séparation.
Les flux en traitement séparé peuvent être plus efficaces et rentables.

Exemples d'installations
Townrow (Hi-Tech) Plating Ltd, Sheffield, RU pour un rinçage à contre courant et un traitement électrolytique des flux de pertes par entraînement de chrome et de nickel.
Merrydale Industries Ltd, Wednesbury, RU pour un rinçage à contre courant et une évaporation en cycle fermé pour le cuivrage, le nickelage et le chromage.
Frost Electroplating Co. Ltd, Birmingham, RU, pour un traitement en circuit fermé du nickelage grâce à un rinçage à contre courant en quatre étapes avec évaporation.
Metal Colours Ltd, Slough, RU, pour un décapage à contre courant.
SGI, Plaisir, CIRE Bellegarde, and SOFRA-PCB, Champoreaux, France pour le traitement de flux séparés, avec regroupement des flux pour les traitements finaux et la décantation.

Documentation de référence
[18, Tempany, 2002, 156, France, 2003] [12, PARCOM, 1992, 13, UNEP, et al., 2002] [124, Allemagne, 2003].

4.16.3 Séparation des huiles et des graisses (hydrocarbures) des eaux résiduaires

En général, la séparation des huiles et des graisses est entreprise lors du traitement des solutions de dégraissage. Dans des cas spécifiques, un déshuilage de l'eau brute résiduaire avant traitement inorganique est nécessaire, et les procédures de cette application sont décrites dans la section 4.11.13.

4.16.4 Décyanuration

Description
Des cyanures peuvent être éliminés des eaux résiduaires grâce à différents processus :

- l'oxydation à l'aide d'agents oxydants différents :
  - l'hypochlorite de sodium,
  - l'eau oxygénée,
  - l'oxygène (O_2),
  - l'ozone (O_3),
  - l'oxydation anodique (électrolyse), voir section 4.12.1,
  - le monopersulfate de potassium ;
- un transfert dans des complexes métalliques insolubles (par exemple, des connexions de cyanure de fer) ;
- élimination à l'aide d'échangeurs ioniques ;
- destruction du cyanure grâce à des processus thermiques ;
- l'oxydation par rayonnement (agents oxydants et rayonnement UV) ;
- oxydation anodique.

En pratique, l'oxydation chimique du cyanure est la technique la plus fréquemment utilisée.

Bénéfices environnementaux atteints
Destruction du cyanure

Effets d'interaction
Utilisation de produits chimiques et d'énergie (pour les techniques thermiques, anodiques et par rayonnement) et production éventuelle d'AOX lors de l'utilisation d'hypochlorite.

Données d'exploitation
L'utilisation d'hypochlorite de sodium est associée à la formation de composés de chlore organique, mesurés en tant qu'AOX. Pour cette raison, le remplacement de l'hypochlorite de sodium en tant qu'agent oxydant dans l'oxydation du cyanure a fait l'objet de nombreuses discussions. Cependant, étant donné qu'aucune des alternatives mentionnées n'offre de solution universelle pour une destruction efficace du cyanure, l'utilisation d'hypochlorite de sodium reste la procédure la plus utilisée.

L'oxydation anodique est une technologie appropriée à la destruction des complexes de cyanure dans la solution de traitement contenant du cyanure et les eaux de rinçage provenant du zingage et du cuivrage. La teneur en cyanure résiduelle pouvant être obtenue grâce à l'activation anodique se situe en deçà de 0,1 g/l. Une valeur limite inférieure à 0,2 mg/l est obtenue grâce à un traitement chimique supplémentaire à base d'hypochlorite de sodium. En plus de la destruction du cyanure, les métaux dissous sont récupérés et peuvent être réutilisés.

Applicabilité
L'oxydation chimique est largement utilisée. L'eau oxygénée peut aisément remplacer l'hypochlorite, mais le coût en est plus élevé.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation et politiques de protection des eaux

Exemples d'installations

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002] [12, PARCOM, 1992] [126, Pays-Bas, 2003] [113, Autriche, 2003] [124, Allemagne, 2003] [104, UBA, 2003]

4.16.5 Traitement du nitrite

Description
Le nitrite peut être oxydé soit en nitrate soit réduit en azote. Les deux réactions se déroulent dans des conditions acides faibles avec un pH d'environ 4.

Bénéfices environnementaux atteints
Destruction du nitrite

Effets d'interaction
Formation éventuelle d'AOX si de l'hypochlorite est utilisé

Un pH bas avec des concentrations élevées en nitrite peut entraîner la formation de NO_X.

Tout excès de dithionite de sodium peut former un complexe avec les ions métalliques.

Données d'exploitation

Pour l'oxydation, de l'H_2O_2 est généralement utilisé. L'hypochlorite de sodium a été utilisé plus fréquemment en tant qu'agent oxydant du nitrite mais son utilisation diminue étant donné la formation éventuelle d'AOX associé.

L'agent réducteur est généralement de l'acide amidosulfurique. L'inconvénient de cette réaction concerne la concentration élevée en sulphate dans les eaux résiduaires. Il est également possible d'utiliser de l'urée ; cependant, cette substance présente l'inconvénient de nécessiter une température de réaction de 60°C. Il est possible de réduire cette substance grâce au sulfite d'hydrogène, mais ce dernier n'est pas utilisé fréquemment car il entraîne une concentration élevée de sulfate dans les eaux résiduaires.

Dans une solution acide, le nitrite peut aisément être réduit à l'aide d'acide sulfamique.

L'utilisation de dithionite de sodium et de Fe (II) éliminerait certains effets d'interaction liés aux milieux.

Un système d'extraction d'air peut être nécessaire dans la mesure où une diminution du pH avec des concentrations élevées en nitrite entraîne la formation de gaz nitreux. Etant donné que le gaz nitreux se dissout très difficilement dans l'eau, un épurateur d'air avec une solution alcaline peut être nécessaire, bien que ce dernier puisse ne pas éliminer la totalité des gaz nitreux produits dans des solutions en concentration élevée. Dans un traitement ponctuel, il peut être nécessaire d'ajouter une faible quantité d'agent oxydant avant de réduire le pH.

Applicabilité
Les techniques largement utilisées

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation concernant la protection et la pollution des eaux

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002], [104, UBA, 2003], [124, Allemagne, 2003, Autriche, 2003 #113]

4.16.6 Déchromatation

Description
Des composés de chrome hexavalent (chromate ou dichromate) sont difficilement précipités et sont généralement réduits en composés de chrome trivalent (ions chromiques (III)), qui sont ensuite précipités sous forme d'hydroxyde de chrome (III) lors de la neutralisation. La réduction est réalisée à des valeurs de pH inférieures à 2,5. L'agent réducteur le plus fréquemment utilisé est le sulfite d'hydroxyde de sodium (bisulfite).

Si la quantité de chrome (VI) contenue est très faible pour des valeurs de pH élevées, la réaction peut aussi être effectuée dans la région alcaline à l'aide de dithionite de sodium ou de fer II. Aucun ajout d'acide n'est nécessaire.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction et élimination du chrome (VI)

Effets d'interaction
Le sulfite d'hydrogène de sodium (bisulfite) est à utiliser avec précaution étant donné la formation de vapeur de SO_X.
L'aération du lieu de travail peut être nécessaire.

Lors de l'utilisation de fer (II), une quantité plus importante de boues et donc de déchets (sous la forme d'hydroxyde de fer (III)) sera produite au cours du traitement des eaux résiduaires.

Applicabilité
Technique largement utilisée

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation sur la protection des eaux contre la pollution

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002] [124, Allemagne, 2003]

4.16.7 Floculation et précipitation des métaux

L' ultime contrôle en matière de traitement des effluents résiduaires consiste en la précipitation séparée des métaux (en ajustant le pH à sa valeur optimale pour le métal) mais, dans de nombreux cas, cette dernière n'est pas possible ni économiquement réalisable. Si de nombreux traitements et bains de traitement sont utilisés et que la séparation de différents flux d'eaux résiduaires se révèle difficile, les métaux peuvent être précipités simultanément (co-précipitation) [120, Finlande, 2003]. Un mélange des effluents issus des différents traitements rend le maintien d'un équilibre optimal de pH difficilement réalisable pour la précipitation de tous les métaux dissous.

Il est important de remarquer que la teneur totale en ions dissous peut également affecter la solubilité des métaux, et ce phénomène peut être accru par des mesures d'économie en eau et l'évacuation des solutions de régénération d'échange ionique. Communication personnelle, Ministère de l'environnement, Slovénie).

Le nettoyage final de l'effluent par l'utilisation d'une résine d'échange cationique chélatante peut ensuite être plus efficace. L'efficacité de la résine d'échange cationique chélatante dépend également du pH de l'effluent. Le pH optimum est différent pour chaque métal.

4.16.7.1 Précipitation de l'hydroxyde

Description
Ce phénomène est décrit dans la section 2.13.1.7. L'élimination de métaux de transition est réalisée par le biais d'une neutralisation et d'une précipitation consécutive à des valeurs de pH de 9 à 11. Un mélange solide-eau résulte de la précipitation, mélange que l'on appelle généralement boue de dépôt électrolytique (en fonction des activités sources).

Bénéfices environnementaux atteints
Elimination des métaux de transition de l'effluent

Données d'exploitation

Le mélange des flux d'eaux résiduaires différents pour une précipitation conjointe a pour effet de précipiter les métaux à caractéristiques de précipitation médiocres grâce aux hydroxydes de métal dotés de bonnes caractéristiques de précipitation, il est donc possible d'obtenir un meilleur résultat avec une précipitation commune. Par exemple, la co-précipitation du nickel avec d'autres ions métalliques, et la co-précipitation du cadmium et du FeII à un pH 9. La valeur d'émission du cadmium peut être dans ce cas inférieure à 0,1 mg/l. Si il est précipité séparément, il n'est pas possible d'obtenir des niveaux aussi bas de cadmium.

D'un autre côté, certains métaux lourds, par exemple le cadmium, le plomb et le nickel ont besoin d'une valeur de pH élevée pour leur précipitation. Dans ces conditions, il est possible que d'autres hydroxydes métalliques, par exemple, le zinc, le chrome, l'étain et l'aluminium, seront dissous à nouveau, il peut donc être nécessaire de produire à une précipitation séparée à des valeurs de pH plus faibles avec d'autres agents de précipitation, tels que des hydroxydes de calcium ou de sodium.

La solubilité des métaux s'accroît avec l'augmentation des concentrations en sel neutres. Les métaux précipitent partiellement sous la forme de très fines particules (en particulier le plomb et l'étain), donc, l'ajout d'agent de floculation (chlorure de fer (III), chaux) et/ou des floculants (polyélectrolyte) sont nécessaires pour obtenir une meilleure séparation et une meilleure filtration. Cependant, ces ajouts entraînent un accroissement de la quantité de boue (déchet) produite sous forme de composés ferreux et de la chaux doit être ajoutée en quantité significative. Les polyélectrolytes ont une densité de charge bien plus élevée et leur dosage peut être bien inférieur.

Pour satisfaire les valeurs limites de rejet strictes, la filtration fine peut également être nécessaire. Parfois, un post-traitement est également nécessaire, par exemple lors de l'utilisation de sulfides et/ou d'échangeurs d'ions sélectifs.

Le cadmium peut être traité séparément (voir section 2.5.5).

Applicabilité
Technique largement utilisée. De l'espace est nécessaire à l'installation des bacs de décantation, installation qui peut être coûteuse.
Dans tous les cas, le choix entre une précipitation séparée ou une co-précipitation des ions métalliques doit être établie après qu'un certain nombre d'essais aient été réalisés.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation et politique de protection des eaux

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002] [12, PARCOM, 1992] [126, Pays-Bas, 2003] [121, France, 2003, 124, Allemagne, 2003].

4.16.7.2 Précipitation au sulfure

Description
Si la précipitation de l'hydroxyde suivie d'une étape de post-nettoyage dans des échangeurs d'ions sélectifs n'est pas suffisante pour satisfaire les valeurs limites de rejet, une précipitation à l'aide de sulfure de sodium ou d'un organo-sulfure peut permettre d'obtenir des niveaux inférieurs, voir le tableau 4.18. Etant donné que la solubilité des sulfures métalliques est généralement sensiblement inférieure à celle des hydroxydes

métalliques, des concentrations résiduelles plus faibles peuvent être obtenues par précipitation des sulfures.

	Produit de solubilité (g/l)	
Métal	**Hydroxyde**	**Sulfure**
Aluminium	2×10^{-32}	--
Plomb	1×10^{-7} to 10^{-13}	3×10^{-28}
Cadmium	$1{,}3 \times 10^{-14}$	$5{,}1 \times 10^{-29}$
Chrome (III)	3×10^{-28}	--
Fer (II)	2×10^{-15}	$3{,}7 \times 10^{-19}$
Fer (III)	$8{,}7 \times 10^{-38}$	--
Cuivre	2×10^{-19}	8×10^{-45}
Nickel	$5{,}8 \times 10^{-15}$	1×10^{-26}
Argent	$1{,}24 \times 10^{-8}$	$1{,}6 \times 10^{-49}$
Zinc	4×10^{-17}	$6{,}9 \times 10^{-26}$
Zinc(II)	6×10^{-25}	1×10^{-20}

Tableau 4.18 : Produits de solubilité des hydroxydes et des sulfures métalliques
UBA

Bénéfices environnementaux atteints
Faibles valeurs de rejet pour les métaux de transition

Effets d'interaction
Eviter les conditions acides afin d'empêcher l'émission de sulfure d'hydrogène. L'excès de sulfure doit être éliminé par l'utilisation de sels ferreux.
La manipulation des boues de sulfure peut être difficile, des précipités plus fins engendrant des propriétés de filtration et de décantation médiocres.

Données d'exploitation
L'ajout d'un floculant est nécessaire pour la précipitation des sulfures métalliques car les précipités formés, ainsi que le soufre colloïdal, sont extrêmement fins et ne sont ni filtrés ni décantés aisément.

Aspects économiques
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002]

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation et politique de protection des eaux ; valeurs de rejet faibles lorsque des normes de qualité environnementale l'exigent.

Documentation de référence
[82, Agences de l'Eau, 1996, 104, UBA, 2003], [113, Autriche, 2003], [12, PARCOM, 1992, Pays-Bas, 2003 #126].

4.16.7.3 Autres agents de floculation

Description
D'autres agents de floculation sont utilisés :

- des sels inorganiques, tels que des sels de Fe(III) et d'aluminium
- des polymères organiques à masse moléculaire élevée (10^6 à 10^7), une structure ionique (soit anionique soit cationique) et une densité de charge élevée. Concernant les industries de traitement de surface, les polymères anioniques sont le plus souvent utilisés.

Bénéfices environnementaux atteints
Accroissement de la floculation et amélioration de la précipitation.

Effets d'interaction
Des sels inorganiques peuvent accroître le volume de matériau à éliminer ou à traiter ultérieurement. L'ajout d'agents de floculation peut contribuer aux traitements par déshydratation ultérieurs, sans ajout supplémentaire nécessaire.

Données d'exploitation
Généralement mélangé dans un bac séparé et dosé dans le système de floculation avant précipitation.

Applicabilité
L'applicabilité de cette technique est déterminée facilement grâce à des essais sur site.

Aspects économiques
Permet d'accroître le rendement d'une station de traitement des eaux résiduaires existante. Coûts opérationnels et d'investissement faibles.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation et politique de protection des eaux ; faible valeur de rejet lorsque les normes de qualité de l'environnement l'exigent.

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002] [12, PARCOM, 1992, Pays-Bas, 2003 #126]

4.16.8 Agents complexants

Description
Des agents complexants utilisés dans certains traitements rendent la précipitation des métaux de transition plus difficile lorsqu'ils sont mélangés à d'autres flux d'eaux résiduaires avant traitement d'épuration.

Sous forme complexée, le cuivre peut être précipité par réduction à l'aide de dithionite de sodium, mais un excès de dithionite mobilise le cuivre de l'hydroxyde, empêchant la précipitation et le cuivre part alors dans l'effluent. En utilisant des agents réducteurs plus forts, comme de l'hypophosphite de sodium, d'autres métaux tels que le nickel et l'étain peuvent être réduits. Les métaux sont fréquemment précipités sous forme de sulfure à partir de complexes durs. Les complexes cationiques contenant de l'ammoniac ou des amines telles que du triéthanolamine et du Quadrol peuvent être éliminés à l'aide d'échangeurs cationiques faiblement acides (par exemple, des résines échangeuses d'ions sélective avec des groupes d'iminodiacétate). Cependant, un traitement à l'aide d'échangeur ionique n'est pas possible pour des solutions contenant du citrate, de l'EDTA et du NTA.

Les agents complexants les plus fréquemment utilisés sont les cyanures, les polyphosphates, les amines, l'acide citrique, l'acide tartrique, l'acide gluconique, l'ammoniac, le NTA, l'EDTA, et le Quadrol.

Par l'utilisation d'un autre processus, tout l'EDTA est détruit en présence d'un rayonnement UV et d'eau oxygénée. Le cuivre doit être éliminé en grande partie de la solution par séparation électrolytique avant d'utiliser cette technique. Après la destruction du complexe Cu/EDTA, le cuivre libre est précipité.

Bénéfices environnementaux atteints
Cette technique garantit que les métaux ne sont pas solubilisés et transportés dans les stations de traitement des eaux résiduaires municipales ou re-solubilisés dans le milieu aquatique, plus généralement.

Effets d'interaction
Consommation supplémentaire en produits chimiques et en énergie, en fonction de la technique utilisée

Données d'exploitation
Lors de l'utilisation d'agents complexants, en particulier d'agents forts, la séparation des métaux et des agents complexants est conseillée dans la mesure du possible avant d'autres traitements (tels que la floculation et la précipitation du métal),.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation et politique de protection des eaux ; valeurs de rejet faibles lorsque des normes de qualité de l'environnement l'exigent.

Documentation de référence
[12, PARCOM, 1992, Pays-Bas, 2003 #126, 104, UBA, 2003, 113, Autriche, 2003]

4.16.9 Précipitation des anions

4.16.9.1 Précipitation du fluorure

Description
Des ions de fluorure libres peuvent être précipités avec un sel de calcium, par exemple, lors de la neutralisation à la chaux.

Bénéfices environnementaux atteints
Satisfaire les normes de rejet de fluorure

Données d'exploitation
La précipitation du fluorure peut être effectuée quantitativement uniquement si au moins une unité de calcium est présente pour chaque unité de fluorure. Autrement, des ions du calcium supplémentaires doivent être ajoutés, comme par exemple du chlorure de calcium.

Applicabilité
Des fluorures complexes, tels que BF_4, AlF_4 or SiF_4, ne peuvent précipités parfaitement à l'aide de sels de calcium.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation sur la protection des eaux contre la pollution

Documentation de référence
[3, CETS, 2002] [113, Autriche, 2003]

4.16.9.2 Précipitation du phosphate

Description
Il peut être nécessaire de réduire le niveau de phosphate lorsque l'effluent est évacué vers les eaux de surface ou vers la station de traitement des eaux résiduaires locales qui ne procède pas au traitement des phosphates. Un rejet de 4 kg/jour de phosphore équivaut à celui de 1000 habitants (dans les 15 pays de l'UE).
Cependant, lorsque cela est nécessaire, ce traitement ne pose pas de problème réel, étant donné que des ions métalliques sont quasiment toujours présents en quantité suffisante dans les eaux résiduaires de traitement de surface afin de former des composés de phosphate insolubles. Si ce n'est pas le cas, des composés de fer ou d'aluminium peuvent être ajoutés. La précipitation peut également être obtenue avec de la chaux à des valeurs de pH supérieures à 10.

Bénéfices environnementaux atteints
Respect des valeurs limites de rejet de phosphate lorsque ces valeurs existent. Le phosphate est un facteur majeur contribuant à l'eutrophisation. Le rejet de quelques kilos de phosphore peut avoir un impact majeur sur une rivière en fonction des caractéristiques du milieu récepteur.

Effets d'interaction
L'ajout de produits chimiques peut être nécessaire.

Données d'exploitation
La précipitation des polyphosphates et des phosphonates est difficile. Il est souvent ardu de satisfaire les normes de qualité de l'environnement de phosphore total (en particulier lors d'un rejet direct vers les eaux de surface).

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Respect de la législation sur les eaux et des normes de qualité de l'environnement locales existantes.

Documentation de référence
[121, France, 2003] [3, CETS, 2002, 159, TWG, 2004]

4.16.9.3 Précipitation du sulfate

Description
Le traitement du sulfate est rarement nécessaire, bien que la régulation du sulfate puisse être localement importante pour la protection des systèmes d'égouts collecteurs.
Lorsqu'elles doivent être appliquées, les valeurs limites de rejet sont généralement élevées, environ 1000 mg/l, et le sulfate est aisément précipité sous forme de sulfate de calcium.

Bénéfices environnementaux atteints
Satisfaire les valeurs limites de rejet de sulfate lorsque les normes sont applicables, habituellement lors d'un rejet vers des canalisations d'égout.

Effets d'interaction
L'utilisation de produits chimiques supplémentaires.
La précipitation du sulfate crée plus de boue qu'il faut éliminer.

La précipitation du sulfate peut également engendrer des problèmes de recyclage des boues, comme par exemple l'utilisation de boue d'hydroxyde d'aluminium.

Données d'exploitation
Selon son produit de solubilité, le sulfate de calcium a une solubilité de 1404 mg/l sous forme de sulfate. Ce chiffre augmente rapidement avec un accroissement de la concentration en sel neutre, de sorte qu'en présence d'une unité/l de sel neutre (ceci correspond à une concentration d'approximativement 58,5 g/l de sel ordinaire) le sulfate ne se précipite qu'à des concentrations de 5000 mg/l, ce qui correspond à la solubilité du sulfate de calcium. Des sels neutres différents ont ainsi une influence différente sur la précipitation pouvant être obtenue.

Applicabilité
Il n'est généralement pas nécessaire d'éliminer le sulfate. La corrosion des égouts est provoquée dans des conditions anaérobies par certaines bactéries utilisant l'oxygène contenu dans le sulfate et formant de l'acide sulfurique. Dans certains cas, avec des effluents supérieurs à 1000 mg/l, il peut être judicieux de protéger ou de modifier les matériaux utilisés dans le réseau d'égout par des matériaux dotés d'une résistance supérieure à l'acide, ou de traiter les eaux usées afin de maintenir des conditions aérobies (comme par un dosage en eau oxygénée). Ce phénomène dépendra des matériaux utilisés dans la construction du réseau d'égout et de la dilution du flux avec les autres eaux résiduaires dans l'installation des eaux usées municipales.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Respect de la législation sur les eaux et des normes de qualité de l'environnement locales existantes ~~l'exige~~.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002] [113, Autriche, 2003] [118, ESTAL, 2003] [18, Tempany, 2002, Allemagne, 2003 #124, ESTAL, 2003 #118]

4.16.10 Traitement final avant rejet ~~évacuation~~

Description générale
Après précipitation des matériaux dissous indésirables (principalement les hydroxydes métalliques), ces matériaux et d'autres en suspension sont séparés du liquide grâce à l'une des techniques suivantes :

- la sédimentation (statique) ;
- la flottation ;
- la filtration.

En règle générale, la sédimentation est la plus utilisée, suivie par la flottation. Cependant, lorsque l'on envisage la modernisation ou la mise à niveau des installations de traitement des eaux résiduaires afin de satisfaire les niveaux de rejet inférieurs, et en particulier conjointement avec d'autres objectifs de recyclage des eaux et des boues, les techniques de filtration sont de plus en plus prises en considération.

Le choix des techniques dépendra donc des facteurs comprenant :

- la taille et le type des particules, y compris leurs propriétés de décantation ;
- la station de traitement des eaux résiduaires existantes ;

- les changements existants ou planifiés de la production et des solutions (voir section 4.7.12) ;
- le volume total des eaux résiduaires ;
- l'espace disponible.

4.16.10.1 Sédimentation

Description des trois techniques de sédimentation statique

(1) Bac de sédimentation

Egalement appelé bassin de décantation ou décanteur, à écoulement ascendant (pour des réservoirs circulaires) à alimentation centrale, à écoulement horizontal (pour les réservoirs rectangulaires) muni d'un couteau destiné à déplacer la boue vers le fond.

- avantages :
  - adapté à des débits élevés,
  - récupération aisée des boues,
  - bonne inertie au changement de la qualité de l'effluent ;
- inconvénients :
  - séparation difficile du flux hydraulique en flux laminaires,
  - une structure de taille importante (couvrant une grande surface) et un équipement d'élimination des boues qui peut être complexe et donc d'un coût élevé,
  - l'extraction des boues peut provoquer des turbulences.

(2) Bac à fond en entonnoir

Réservoir également connu sous l'appellation de décanteur cylindro-conique ou conique. effluent à décanter y est envoyé au travers d'un orifice central et vers le bas (mais à une distance suffisante de la boue pour ne pas affecter la boue accumulée). Parois abruptes (l'angle du cône doit être >60 °) aucun couteau n'est donc nécessaire, extraction séquentielle.

- Avantages
  - conception et équipement simple,
  - élimination des boues aisées, mais la boue peut s'accumuler sur les parois inclinées (problème qui peut être surmonté à l'aide d'un couteau central),
  - entretien réduit ;
- inconvénients
  - non approprié à des débits élevés,
  - risque de colmatages causés par la boue.

(3) Décanteurs lamellaires ou tubulaires

Bassin de sédimentation dans lequel des plaques sont utilisées pour agrandir la surface de sédimentation

- avantages
  - surface réduite, capacité élevée ;
- inconvénients
  - sensible à la qualité de floculation et aux variations de charge,
  - les boues produites ne sont pas très épaisses, ainsi un réservoir de stockage des boues d'un volume important est nécessaire,
  - nettoyage fréquent des plaques nécessaire.

Bénéfices environnementaux atteints
Technique permettant d'atteindre les valeurs limites re jet d'eaux résiduaires.
Récupération des boues contenant des métaux.
Faible consommation d'énergie, nécessaire uniquement pour le pompage à hauteur requise.

Effets d'interaction, données d'exploitation, applicabilité
Voir les descriptions ci-dessus

Aspects économiques
En fonction du site

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Nécessaire afin de compléter le traitement des installations de traitement des eaux résiduaires classiques

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002, 87, EIPPCB,]

4.16.10.2 Flottation

Description
Des particules solides (ou des particules liquides telles que l'huile ou la graisse) sont combinées à des bulles d'air produisant des grappes particule/air qui flottent jusqu'à la surface d'un réservoir et sont éliminées.

Bénéfices environnementaux atteints
Technique permettant d'atteindre les valeurs limites d'émission en eaux résiduaires.
Récupération des boues contenant des métaux.
Réduction éventuelle des consommations d'agents antimousse, des agents de surface et de charbon actif.

Effets d'interaction
Technique qui peut nécessiter plus d'agents coagulants que la sédimentation.
Consommation énergétique plus élevée que la sédimentation.

Données d'exploitation
Les trois méthodes utilisées sont :

- la flottation sous vide, dans laquelle l'air est dissous à pression atmosphérique suivie d'une chute de pression pour permettre la formation de bulles ;
- la flottation à air forcé (IAF : induced air flotation) dans laquelle des bulles fines sont formées et passent au travers de l'eau résiduaire par le biais d'un dispositif d'induction tel qu'un diaphragme à orifice ou un venturi ;
- une flottation par injection d'air dissous (DAF) dans laquelle l'air sous pression est dissous dans l'eau résiduaire ou une partie de l'eau résiduaire est libérée ultérieurement sous forme de petites bulles.

Les avantages et inconvénients que présente le système sont :

- avantages
  - rendement élevé,

- vitesse de flottation supérieure à celle obtenue par sédimentation statique, ce qui implique des installations plus petites que pour la sédimentation statique,
- Pré-épaississement des boues ;

- inconvénients
  - exigence d'une floculation de haute qualité pour garantir une bonne adhérence des bulles d'air sur les données en suspension,
  - surveillance nécessaire des réglages (pour la pressurisation).

Applicabilité
Voir la description ci-dessus
Installations nouvelles et existantes

Aspects économiques
En fonction du site
Une taille réduite permet d'augmenter l'espace dédié à la capacité de production.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Technique nécessaire afin de compléter une-station de traitement des eaux résiduaires

Exemples d'installations
Industria Galvanica Dalla Torre Ermanno e Figli SpA, Fontane di Villaorba, Italie.

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002, 87, EIPPCB,] (Communication personnelle, Lorenzo Dalla Torre)

4.16.10.3 Filtration

Description
Concernant les eaux résiduaires (et non la déshydratation des boues) la filtration est appliquée afin de :

- satisfaire des valeurs de rejet inférieures à ce qui peut être obtenu par sédimentation ou flottation ;
- lorsqu'une modernisation ou une mise à niveau du traitement des eaux résiduaires est envisagée, pour obtenir ces valeurs inférieures afin de modifier le fonctionnement de l'installation.

Conjointement avec d'autres objectifs de recyclage des boues et de l'eau.

Voir la section 4.10 pour une liste et un résumé des applications et des références aux descriptions de ces techniques.

Il existe deux catégories de techniques :

(1) Filtrations classiques :
Filtres à sable, ~~in~~flux montant ou descendant, par gravité ou pression
D'autres couches filtrantes, telles que la cellulose (voir section 4.11.1)

(2) Techniques de filtration par membrane (filtration membranaire)
Filtration tangentielle : microfiltration et ultrafiltration (voir section 4.11.13.6)

Membranes semi-perméables : nanofiltration et osmose inverse (voir section 4.7.8.2)

Aspects économiques
En fonction du site

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Valeurs d'émission en eaux résiduaires inférieures
Taille réduite de la technique
Permet la réutilisation et le recyclage de l'eau

Documentation de référence
[21, Agences de l'Eau de France, et al., 2002]

4.16.11 Techniques combinées

Les installations de traitement des eaux résiduaires classiques se fondent sur une combinaison de techniques, voir section 2.13.1 et d'autres section s de la partie 4.16 pour les descriptions d'une station de traitement des eaux résiduaires classique.

Des techniques récentes peuvent être combinées pour des applications ponctuelles et une combinaison de flux (voir section 4.712).

4.16.12 Techniques à rejet zéro

Diverses techniques peuvent être utilisées conjointement avec des techniques de minimisation de la consommation d'eau (voir les sections 4.6, 4.7 et l'annexe 8.5.9) afin de réduire à zéro les rejets de toute une chaîne de traitement ou d'une installation entière.
Remarque : si le processus est différent d'un fonctionnement en circuit fermé pour une composition chimique de traitement au sein d'une chaîne, voir section 4.7.11.

Exemples de techniques destinées à parvenir à rejet zéro :

- technique thermique ;
- technique par membrane ;
- technique d'échange d'ions.

Description
Les techniques sont décrites individuellement dans les sections 4.16.12.1 et 4.16.12.2.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de tous les polluants rejetés.
Récupération de l'eau épurée pour être ré-utilisée dans le procédé de traitement de surface.

Effets d'interaction
Energie nécessaire pour les techniques thermiques, les pompes de compression et/ou énergie électrique pour les techniques mettant en œuvre des membranes.

Les résines échangeuses d'ions engendrent la consommation d'autres ions (Na, Cl, acides, alcali, en fonction du type de résine) en proportion équivalente aux ions qu'elles absorbent.

Les techniques peuvent produire des déchets qui peuvent être plus toxiques et/ou difficiles à manipuler que les boues produites dans une station de traitement des eaux résiduaires classique.

Applicabilité
En règle générale, un fonctionnement en circuit fermé est facilement obtenu et plus efficace d'un point de vue environnemental pour des traitements spécifiques, tels que le nickelage ou le chromage.

Aspects économiques
Bien que les coûts dépendent du site, lorsque l'installation s'approche du rejet zéro, les coûts de réduction des rejets supplémentaires peuvent s'accroîtrent significativement par rapport aux bénéfices obtenus.

4.16.12.1 Procédures thermiques

De même que pour le traitement classique des eaux résiduaires par des procédures physicochimiques, il est possible d'éviter le rejet total d'eaux résiduaires grâce à l'utilisation de techniques d'évaporation. En lieu et place des hydroxydes métalliques, un mélange de sels solubles dans l'eau résulte alors de l'évaporation, ce qui implique pour l'éliminer, un stockage dans une décharge appropriée, avec éventuellement une solidification de ce dernier.
Actuellement, deux techniques de base sont disponibles concernant l'évaporation des effluents :

- les évaporateurs sous vide avec compression mécanique de vapeur

et

- des évaporateurs infrarouges à pression atmosphérique.

4.16.12.1.1 Evaporateurs à vide avec compression mécanique de vapeur

Description
Grâce à l'utilisation d'évaporateurs à vide avec compression mécanique de vapeur, il est possible de diminuer les besoins énergétiques jusqu'à atteindre un niveau économique satisfaisant.

Bénéfices environnementaux atteints
Le rejet zéro en eau peut être atteinte dans une installation ou pour certaines étapes d'épuration.

Effets d'interaction
Consommation énergétique augmentée par la phase d'évaporation et la phase de séchage du concentré. Les déchets produits peuvent être plus difficiles à gérer que les boues classiques.

Le cyanure peut s'évaporer en même temps que l'eau.

Données d'exploitation
L'évaporateur produit un concentré qui nécessite une procédure de séchage supplémentaire. Ainsi, les coûts d'investissement et de fonctionnement s'élèvent au point de rendre cette technologie économique uniquement dans des cas exceptionnels.

Le niveau de qualité d'eau produite est très élevé, avec une conductivité s'échelonnant de 90 mS à 200 µS.

Applicabilité
Ce procédé n'est techniquement réalisable que grâce à l'utilisation d'une grande quantité d'énergie et à un investissement financier élevé. Il se peut que le bénéfice environnemental soit très faible voir nul ou qu'il soit nécessaire d'épurer un rejet d'eaux résiduaires contenant des sels "neutres" (c'est-à-dire, des sels métalliques alcalins, Na, K, Ca) provenant des traitements d'épuration classiques apparaissent. Trois cas sont envisageables :

- **Faible quantité d'effluents :** la quantité d'effluents peut être réduite considérablement par les mesures sur site décrites dans les sections 4.6 et 4.7. La concentration en contenus solubles s'élève ensuite en conséquence. Il peut alors être difficile de traiter les effluents à l'aide des procédés classiques et de trouver les valeurs de concentration exactes de contrôle des effluents et des eaux usées. Dans un tel cas, l'évaporation peut être plus économique qu'un traitement classique, malgré la consommation énergétique induite.
- **Difficulté d'élimination d'ingrédients en fonctionnement normal :** des agents complexants tels que l'EDTA sont difficiles à détruire dans l'effluent. Cependant, leur utilisation est cruciale dans certains traitements ~~et~~ afin de répondre notamment à certaines normes techniques. Dans une installation utilisant ce genre de produits chimiques, l'évaporation totale du flux concerné peut être la seule solution
- **Réglementation :** une entreprise dont la production n'engendre pas de rejet d'eaux résiduaires peut se voir libérée, ou soumise dans une moindre mesure, à la surveillance des autorités environnementales et être exemptée du paiement de coûts connexes.

Aspects économiques
Voir les données de fonctionnement.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir Applicabilité.

Exemples d'installations
Voir l'annexe 8.5.8 et l'annexe 8.13.

Documentation de référence
[104, UBA, 2003] [124, Allemagne, 2003, 128, Portugal, 2003].

4.16.12.1.2 Evaporateurs à rayons infrarouges

Description
Le liquide devant être évaporé est placé dans un récipient conique. La surface du liquide est ensuite chauffée grâce à un rayonnement infrarouge produit par un émetteur infrarouge à gaz. Une évaporation contrôlée et dégazée est obtenue par absorption du rayonnement par la couche de liquide et extrêmement mince au niveau de la "partie peu profonde". Les solides cristallisés coulent dans l'eau résiduaire du fait de leur densité supérieure dans les couches froides de l'évaporation. Le mélange cristallin formé est évacué par le biais d'une vanne vers un sac filtrant. La liqueur mère filtrée est réinjectée dans le récipient de l'évaporateur. Le mélange de vapeur d'eau s'échappe de l'évaporateur grâce à un système d'évacuation.

Bénéfices environnementaux atteints
Évacuation zéro pour toute ou partie d'une installation.

Effets d'interaction
Consommation énergétique accrue par l'évaporation ; la consommation énergétique de 100 m^3 de gaz naturel par m^3 d'eau évaporée est une valeur élevée.

Les déchets produits peuvent être plus difficiles à gérer que les boues classiques.

De l'ammoniac peut se volatiliser dans l'air.

Données d'exploitation
Avantages de cette technique :

- technologie durable et résistante ;
- chauffage direct, sans contact ;
- émanations propres grâce à l'évaporation des aérosols ;
- performances régulières avec des solutions de sel, acides et alcalines ;
- possibilité d'évacuation des sels entièrement automatisée ;
- atmosphère de réduction ou d'oxydation dans la zone de l'évaporateur, au besoin ;
- aucun problème de pollution et/ou d'incrustation ;
- aucune nécessité d'ajout de produits chimiques, par exemple à des fins de nettoyage ;
- production très élevée de l'installation envisageable grâce à un fonctionnement sûr en continu ;
- réduction des émanations de Cr(VI) envisageable sans ajout de produits chimiques ;
- évaporation des solutions ammoniaquées n'engendre pas de problème pour l'effluent ;
- fonctionnement silencieux.

Applicabilité
Voir la section 4.16.12.1.1.

Aspects économiques
Les coûts d'investissement sont susceptibles d'être inférieurs ceux pour ~~à~~ une station de traitement des eaux résiduaires classique fonctionnant selon les standards des MTD. Des coûts de fonctionnement élevés, bien qu'un fonctionnement combiné de l'évaporateur à rayons infrarouges et d'un système à osmose inverse permette de réduire les coûts énergétiques.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir Applicabilité.

Documentation de référence
[124, Allemagne, 2003] [104, UBA, 2003, 113, Autriche, 2003] [124, Allemagne, 2003] [104, UBA, 2003, 113, Autriche, 2003]

4.16.12.2 Technologies utilisant des membranes avec traitements physicochimiques

Les processus thermiques semblent avantageux lorsque l'on considère la qualité du traitement (qui permet le recyclage). Cependant, les coûts d'investissement et de fonctionnement sont plus importants [55, France, 2003].

Le traitement des eaux résiduaires classique grâce à des processus physicochimiques peut être amélioré par l'utilisation d'une technologie membranaire. Actuellement, deux solutions techniques de base passant par l'utilisation de membranes sont disponibles :

- l'ultrafiltration, permettant d'obtenir des concentrations très faibles en métaux et en matières organiques (par exemple, concentration en Ni après traitement par ultrafiltration inférieure à 0,1 mg/l) en comparaison d'un traitement physicochimique classique, avec lequel il est très difficile d'atteindre 0,5 mg/l pour les eaux résiduaires provenant du nickelage. Cependant, un traitement chimique est nécessaire avant l'ultrafiltration, tel qu'une précipitation de l'hydroxyde ou du sulfure ;
- l'ultrafiltration combinée à l'osmose inverse permet une "rejet zéro d'eau".

4.16.12.2.1 Traitement utilisant l'ultrafiltration

Description
La principale différence entre le traitement physicochimique classique et le traitement par ultrafiltration consiste en l'utilisation de membranes à la place de la décantation. Certains métaux en solution peuvent nécessiter un traitement par des agents de réduction avant l'ultrafiltration.

Bénéfices environnementaux atteints
rejet zéro d'eau de toute ou partie de l'installation lorsque la concentration en produits dissous permet le recyclage.
Aucun solide en suspension.
La concentration en métaux est bien inférieure à celle obtenue grâce à des processus classiques.
Un accroissement de la capacité de traitement nécessite uniquement des unités de membrane supplémentaires.

Effets d'interaction
Problème de colmatage des membranes qui nécessite une gestion différente de l'installation
Déchets générés par le traitement par ultrafiltration

Données d'exploitation
Technique utilisant peu d'espace par rapport à d'autres techniques

Applicabilité
Cette technique peut également être envisagée pour :

- une exigence de traitement de qualité très élevée (exigences de recyclage et normes environnementales rigoureuses) ;
- des projets de taille moyenne à importante : cette technique offrira un excellent niveau de qualité (solides en suspension proches d'un niveau zéro, concentration très faible en métaux, réduction de la DCO etc.) ;
- une installation ancienne de traitement des eaux résiduaires modernisée (en

termes de qualité d'évacuation et/ou de capacité de traitement) mettant en place un système d'ultrafiltration pour remplacer un système de décantation, cette technique offrant un niveau de qualité élevée de traitement pour un investissement et une exigence d'espace minime.

Cette technique est moins susceptible de pouvoir être appliquée lorsque le volume à traiter est faible ou pour des eaux résiduaires extrêmement concentrées (taux élevé de matières totales dissoutes).

Aspects économiques
Economie importante concernant l'investissement et les ~~de~~ coûts de fonctionnement en comparaison des procédés thermiques.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir l'applicabilité ci-dessus.

Exemples d'installations
Environ 80 installations utilisent ce type de technique depuis six ans en Europe de l'ouest.

Documentation de référence
[156, France, 2003]

4.16.12.2.2 Traitement utilisant l'ultrafiltration combinée à l'osmose inverse.

Description
Le traitement est, dans une première étape, basé sur l'ultrafiltration (voir section 4.16.12.2.1), suivi d'une osmose inverse dans une seconde étape, voir la figure 4.32. Ce traitement permet de réduire les concentrations en sel et en matières organiques afin d'obtenir une eau de très haute qualité, permettant un recyclage de l'eau qui sera utilisé pour des traitements de surface très sensibles.

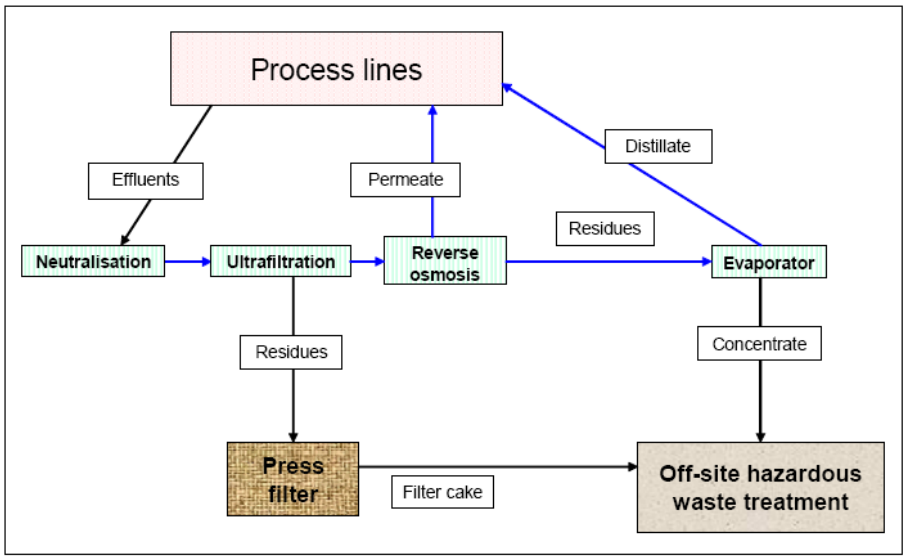


Figure 4.32 : Traitement utilisant l'ultrafiltration combinée à l'osmose inverse

Bénéfices environnementaux atteints

Évacuation zéro d'eau.
Cette solution technique permet d'obtenir deux niveaux différents de qualité de l'eau destinés au recyclage (qualité moyenne pour des fonctions secondaires et qualité élevée pour des fonctions sensibles telles que le rinçage final par pulvérisation). Cette utilisation de deux niveaux de qualité différente de l'eau recyclée permet de réduire les coûts de fonctionnement.

Effets d'interaction
Une solution plus complexe (différentes phases). Techniques non adaptées à des projets de taille extrêmement réduite ou à des concentrations élevées.
Technique permettant de produire des déchets concentrés.

Données d'exploitation
Avantages de cette technique :

- niveau très élevé de qualité ;
- coûts d'investissement et de fonctionnement faible ;
- possibilité d'ajuster facilement la qualité du de traitement (après ultrafiltration ou après osmose inverse) ;
- possibilité d'évolution de la capacité de traitement ;
- unité de taille très réduite (faible hauteur et/ou surface réduite de caractéristiques appréciables lorsque ces dernières sont des facteurs contraignants).

Aspects économiques
Réduction importante des coûts d'investissement et de fonctionnement en comparaison des procédés thermiques.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Voir Applicabilité.

Exemples d'installations
Quatre installations en France exploitent cette technique (la première, depuis 2001).

Documentation de référence
[55, France, 2003]

4.16.13 Surveillance, contrôle final et rejet des eaux résiduaires

Avant de procéder au rejet, l'effluent est vérifié pour garantir qu'il est conforme aux conditions locales autorisées correspondant à un programme de surveillance, voir l'annexe 8.4, et le BREF concernant les principes généraux de surveillance [91, EIPPCB].

Les rejets peuvent s'effectuer :

- en continu avec :
  - ° une surveillance directe en continu des paramètres principaux tels que le niveau de pH,
  - ° une vérification manuelle fréquente de paramètres clef, tels que le pH, la teneur en métaux, cyanure (en fonction des activités de l'installation),
  - ° une combinaison des deux ;
- ponctuellement, avec vérification au préalable de paramètres clef tels que le

niveau de pH, la teneur en métaux et en cyanure (en fonction des activités de l'installation). Cette vérification est une nécessité en Allemagne [124, Allemagne, 2003].

Les deux options peuvent faire partie d'un système de gestion (voir section 4.1.1) et lorsque l'effluent sort des valeurs limites, une action est lancée. L'alerte peut être donnée automatiquement grâce à des systèmes de surveillance en direct, ou manuellement grâce à une vérification manuelle.

Description
Il est souhaitable de concevoir le programme de surveillance de manière à ce qu'il garantisse que l'installation satisfasse les exigences imposées.

Bénéfices environnementaux atteints
Cette technique permet de satisfaire les exigences imposées.

Effets d'interaction
En ce qui concerne les rejets en continu, des systèmes de surveillance en direct dont les opérateurs ont été formés de manière médiocre, qui sont mal entretenus et/ou inspectés ou le manque d'inspection et de résultats analytiques suffisant peuvent entraîner des rejets d'effluents dépassant les seuils autorisés.

Concernant les rejets ponctuel~~le~~s, des opérateurs formés de manière inadaptée à la surveillance, ou une surveillance sans résultat analytique adéquat peut entraîner des rejets d'effluents excédant les seuils autorisés.

Données d'exploitation
Le personnel chargé de cette surveillance doit suivre une formation appropriée et disposer d'informations analytiques adéquates, qu'il s'agisse d'une surveillance en direct, de vérifications rapides ou de résultats de laboratoire.

Les employés chargés de la surveillance manuelle peuvent être éventuellement distraits dans l'accomplissement de leurs tâches d'essais et d'inspections.

Un équipement de surveillance en direct doit faire l'objet d'un entretien et d'un calibrage régulier menés par des employés qualifiés.

Applicabilité
Tous les sites rejetant des effluents dans les cours d'eau ou les réseaux de traitement des eaux résiduaires collectifs ou publics

Aspects économiques
Le rejet en continu avec inspection manuelle régulière peut paraître moins coûteuse, mais il faut tenir compte du risque et des coûts engendrés par la violation des conditions réglementaires de rejet autorisées.

L'équipement de surveillance en ligne doit être entretenu régulièrement pour les mêmes raisons, le coût des inspections manuelles peut être compensé sur une période relativement courte.

Les rejets ponctuel~~le~~s après essais sont onéreuses en termes d'investissements en réservoir en nombre suffisant pour supporter un cycle d'épuration, voir deux ou

plusieurs réservoirs fonctionnant en séquence. Une inspection et une analyse précédant le rejet sont là encore nécessaires.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
L'installation doit être conforme à la législation environnementale en vigueur.

Exemples d'installations
En Allemagne, toutes les installations de traitement de surface dont les effluents sont rejetés sur une base ponctuelle.
En ce qui concerne la France, voir la partie traitant de la surveillance dans l'annexe 8.4.

Documentation de référence
[124, Allemagne, 2003] [56, France, 2003, 91, EIPPCB, , 104, UBA, 2003]

4.17 Techniques de gestion des déchets

4.17.1 Production et gestion des déchets

L'Annexe IV (point 3) de la directive IPPC exige de l'exploitant le "*développement des techniques de récupération et de recyclage des substances émises et utilisées dans le procédé et des déchets, le cas échéant*".

Les procédés de rinçage des installations de traitement de surface produisent des eaux de rinçage contenant des concentrés. En plus des eaux de rinçage, les flux d'eaux résiduaires suivants peuvent également contenir des métaux :

- une solution de traitement usée provenant des traitements électrochimiques (électrolytes) ;
- des solutions de traitement usées provenant des traitements de dépôt chimique ;
- les solutions de traitement usées provenant des pré- et post-traitements (nettoyage, décapage, phosphatation et conversion chimique) ;
- les solutions provenant des traitements de séparation et de régénération, comme par exemple l'échange ionique, le retardement, la dialyse, l'électrolyse ;
- les solutions provenant d'activités connexes, telles que les épurateurs d'air pollué et les filtres, ainsi que les solutions provenant du nettoyage de l'installation.

En général, les solutions et les effluents sont évacués dans le réseau de traitement des effluents. Le traitement des flux contenant du métal dans le réseau permet avant tout de précipiter les ions métalliques dissous sous forme de composés insolubles. Une précipitation normale à l'aide d'une solution de soude caustique et/ou de chaux permet de précipiter les métaux sous forme d'hydroxyde et/ou d'hydrates d'oxyde. La précipitation peut également engendrer des carbonates et des sulfures. La boue produite, qui présente une teneur en eau dépassant habituellement les 95 %, est drainée au moyen de presse filtre jusqu'à obtenir une teneur en eau d'environ 60 % qui est éliminée sous cette forme à l'état de boue.

La quantité de boue dépend de divers facteurs de traitement :
- la contamination du matériau d'entrée ;
- la quantité d'oxydes métal liquide dissous ou érodé des surfaces de la pièce de fabrication/du substrat ;

- l'évacuation de la solution de traitement perdue par entraînement par les pièces de fabrication/substrat ;
- la durée d'utilisation des solutions de traitement.

Cela signifie que la production de boue sans mesures de recyclage internes est directement proportionnée aux pertes par entraînement et aux durées de vie des solutions de traitement. En règle générale, les pertes de métaux par entraînement rapportées aux matériaux métalliques entrant donnent un taux de 5 à 30 %.

La boue provenant du traitement de surface est généralement un mélange d'hydroxydes métalliques. Cette boue contient tous les métaux non ferreux utilisés en cours de traitement, les métaux de fer et d'aluminium du substrat ou de la pièce de fabrication, ainsi que du calcium, du potassium et du sodium provenant des produits chimiques de précipitation.

En fonction du traitement de revêtement métallique, les teneurs en métaux non ferreux (Cu, Ni) peuvent composer jusqu'à 30 % du total, par exemple, des boues à provenance unique (c'est-à-dire, des boues provenant d'un seul type de traitement). La majeur partie des boues du dépôt électrolytique est un mélange d'éléments et a des teneurs en métaux d'environ 10 %, comme le montre le tableau 4.19.

	Cu %	**Ni %**	**Zn %**	**Pb %**	**Cr %**	**Fe %**	**Ca %**	**Cl %**	**SO_4 %**	**Eau %**
Boue de Cu	5 à 10	1 à 5	1 à 5	0 à 1	0 à 2	5 à 15	2 à 10	0 à 3	0 à 20	50 à 70
Boue de Ni	0 à 2	10 à 15	1	0 à 1	0 à 2	0 à 5	0 à 5	0 à 3	0 à 5	50 à 70
Boue mélangée	0 à 2	0 à 2	2 à 3	0 à 1	0 à 2	5 à 15	5 à 15	0 à 3	5 à 20	50 à 70

Tableau 4.19 : Composition classique de la boue de dépôt électrolytique de sources différentes.
UBA

Certains déchets liquides, tels que les électrolytes hors d'usage ou les solutions de conversion de couche peuvent également être concentrés et traités dans la station de traitement des eaux résiduaires internes.

D'autres déchets peuvent être réutilisés ou recyclés de manière externe, voir section 4.17.3. Afin de faciliter ce processus, les règles de bonnes pratiques prévoient la séparation ou la concentration de certains flux résiduaires, afin d'accroître ou de maintenir leur utilité.

4.17.2 Minimisation et suppression des déchets

Description
Quatre facteurs principaux participent à la suppression et à la minimisation des déchets générés par les processus de traitement de surface, ces quatre facteurs sont décrits dans les sections appropriées :

- réduction de la quantité de matériaux dangereux dans les déchets, voir section 4.9 : Substitution ;

- l'allongement de la durée d'utilisation des solutions de traitement, voir section 4.11 : entretien de la solution de traitement ;
- diminution des pertes par entraînement des solutions de traitement, voir section 4.6 ;
- réinjection des solutions de traitement perdues par entraînement dans les cuves de traitement, voir section 4.7.
-

4.17.3 Réutilisation et recyclage (en externe) des déchets

Description
Les déchets qui ne peuvent être récupérés en interne peuvent être valorisés par des entreprises externes.

Afin d'y contribuer, les règles de bonnes pratiques impliquent de séparer ces flux de déchets pour maintenir une concentration en composants qui rendent la récupération envisageable ou afin d'éliminer une contamination, telle que la contamination de la boue d'hydroxydes d'aluminium par des métaux lourds.

Les exemples suivants concernent la valorisation externe :

- les entreprises hydro et pyrométallurgiques impliquées dans le raffinage des métaux non ferreux, une partie de la boue du dépôt électrolytique peut avoir une teneur en matériau à valeur élevée et un recyclage par une entreprise tierce peut être envisagé dans plusieurs cas. Le recyclage comporte le raffinage des métaux de cuivre, de nickel, de chrome et de zinc provenant de boues de dépôts électrolytiques appropriés sous forme de métaux ou de composés métalliques ;
- la fabrication de concentrés métalliques utilisables ;
- les acides phosphorique et chromique, les solutions d'attaque chimique usées, etc. ;
- l'hydroxyde d'aluminium provenant de l'anodisation peut être précipité et recyclé, par exemple, sous la forme d'un coagulant destiné au traitement des eaux usées. (Remarque : les eaux de rinçage provenant des traitements de coloration et de colmatage peuvent contenir des métaux lourds et il est conseillé de recueillir cette boue séparément des flux d'eaux résiduaires si une réutilisation est nécessaire) ;
- les entreprises productrices de produits chimiques inorganiques et l'industrie du verre et des céramiques qui utilisent des métaux ou des composés métalliques à dessein dans la fabrication de leurs produits.

Les techniques dans lesquelles les métaux sont fondus de manière non spécifique dans des matrices minérales (verre, céramiques, ciment) ne sont pas intégrées au recyclage mais peuvent éventuellement l'être. A noter que la législation européenne réduit désormais la quantité de chrome hexavalent entrant dans la concentration du ciment.

Dans les électrolytes usés d'une installation de traitement de surface, les solutions de revêtement et de conversion qui ne sont plus appropriées à une phase de régénération sont évacuées en tant que déchets liquides. Ces solutions peuvent être transférées, sous certaines conditions, vers les fournisseurs de produits chimiques afin d'être réutilisées dans la fabrication directe de nouveaux électrolytes.

Le but premier de ce type de procédé est la récupération, pour utilisation, du matériau brut, c'est-à-dire, la récupération des métaux de cuivre, de nickel et de zinc contenus dans les électrolytes non utilisables. Cette technique est également connue, dans son principe, pour les semi-concentrés, comme les contenus des rinçages statiques. Il peut être avantageux de concentrer ensuite ces solutions fortes par évaporation ou toute autre technique de concentration permettant de diminuer les coûts de transport et, dans le même temps, d'accroître la teneur en matériaux de valeur.

Bénéfices environnementaux atteints
Récupération des métaux persistants (c'est-à-dire non dégradables) à valeur marchande.
Réutilisation des matériaux plutôt que leur mise au rebus.
Remplacement des matières premières neuves par des matières premières recyclées.

Effets d'interaction
Emissions provenant de, et énergie utilisée dans les traitements de récupération.
Les produits chimiques utilisés pour obtenir un déchet approprié au retraitement.

Données d'exploitation
Il est souhaitable d'étudier le niveau d'équilibre entre la récupération et le recyclage. Par exemple, une réutilisation dans la solution de traitement d'un matériau recyclé peut permettre de récupérer une faible quantité de métal, mais réduit la teneur en métaux de la boue produite par l'installation en deçà du seuil de rentabilité environnemental et économique de la récupération par un prestataire. La boue qui est alors éliminée peut encore contenir plus de métal que ce qui aurait pu être récupéré.

Les opportunités de recyclage sont accrues si les flux du réseau d'effluent restent séparés en fonction de leurs teneurs en métaux. Les quantités obtenues par séparation dépendent des exigences des entreprises de recyclage.

Le cuivre, le nickel, le chrome et le zinc sont des métaux fréquemment recyclés. Certains métaux précieux en faible quantité ainsi que l'étain, le plomb et le cadmium le sont également. Le sodium et le calcium sont utilisés en tant que produits chimiques de précipitation. La réutilisation est techniquement réalisable si les boues sont produites selon des mesures appropriées de pré ou de post-traitement qui répondent aux exigences des installations de recyclage en terme de consistance et de composition matérielle. Ces exigences sont de :

- d'avoir des paramètres physiques tels que la consistance et la teneur en eau ;
- satisfaire ou dépasser la teneur minimum en métaux utilisable ;
- produire un mélange de métaux qui puissent être utilisés ;
- d'avoir une teneur minimum en substances gênant le traitement de recyclage.

Les exigences des installations de recyclage en termes de consistance et de composition matérielle de la boue de dépôt électrolytique diffèrent sensiblement entre elles, en fonction du traitement particulier de recyclage, une évaluation au cas par cas est donc nécessaire.

Applicabilité
L'applicabilité dépend de l'existence de possibilités de réutilisation adaptée et de la boue elle-même que se prête ou non au procédé de traitement.

Par exemple, les oxydes de chrome recyclés avec une forte teneur en chlorure peuvent ne pas être appropriés à la récupération du chrome entrant dans certains types de traitement.
Le transport (distance entre l'installation et l'entreprise de recyclage) peut également être un facteur déterminant.

Aspects économiques
En fonction du cas.
Coût de l'élimination de déchets et de traitement de surface, ces derniers étant généralement classés en tant que déchets dangereux.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Diminution des coûts d'élimination des déchets dangereux

Exemples d'installations
WRC Gmbh, Wurzen (Allemagne)

Documentation de référence
[104, UBA, 2003], [30, CE, 2003, 152, ESTAL, 2004, 155, EIPPCB,], [89, EIPPCB,]

4.17.4 Récupération électrolytique en interne

Voir la section 4.11.9.

4.18 Techniques de réduction des émissions atmosphériques

Le chapitre 2 identifie les traitements générant des émissions dangereuses, par exemple, le décapage, certains traitements de gravure, l'azurage, certaines cuves de revêtement métallique, etc. Les substances classiquement émises dans l'atmosphère sont décrites dans la section 3.3.3. Il est souvent nécessaire de limiter certaines émissions à l'intérieur des installations de traitement de surface pour la santé et la sécurité des employés : bien que le volume global des émissions lié à l'environnement ne change pas, les techniques de réduction des émissions, telles que l'épuration, peuvent avoir des effets d'interaction (par exemple, sur les eaux résiduaires et en termes de consommation énergétique). Les règles de bonnes pratiques environnementales destinées à empêcher ce type d'émission peuvent être ajoutées aux objectifs de protection de la santé sur le lieu de travail.

Une pratique largement répandue consiste à minimiser la quantité d'émanations humides et/ou corrosives. Ceci permet non seulement de protéger la santé des employés mais également de :

- protéger les pièces de fabrication ou substrats stockés ou dans une phase quelconque de traitement, voir section 4.3.1 ;
- protéger les infrastructures de l'installation ;
- protéger les systèmes de contrôle utilisés pour le contrôle du traitement ainsi que d'autres équipements sensibles (ordinateurs, etc.).

[80, INRS, , 104, UBA, 2003]

Une partie ou l'ensemble de ces mesures peuvent être utilisées conjointement.

Lorsque l'air évacué contient des matériaux toxiques pour l'environnement (présentés dans la description des traitements appropriés dans les chapitres 2 et 4), l'air peut être traité grâce à des procédés décrits dans la section 2.13.3.4.

4.18.1 Additifs

Description
Selon les données d'un fabricant, dans les solutions de décapage, la formation d'ions nitrite et d'ions Cr(VI) peut être évitée grâce à des additifs de décapage. Les émissions de HF et de NO_X peuvent également être réduites de sorte que l'installation d'un épurateur d'air évacué n'est pas nécessaire.

Il est également possible de réduire ou d'éviter les émissions aérosols de Cr(VI) provenant des cuves de chromage grâce à l'utilisation d'additifs fluorés, mais il est à noter que ces derniers sont composés de PFOS, voir section 1.4.4.4 et l'annexe 8.2. Les aérosols provenant des étapes d'attaque chimique alcaline ou d'anodisation peuvent être évités grâce à l'utilisation d'agents de surface. Pour les deux types de traitement, des agents de surface non fluorés sont utilisés et donnent de bons résultats.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction de la formation d'espèces toxiques, réduction connexe de leur concentration et de leur émission.
Technique qui permet d'éviter la formation de brumes ou aérosols néfastes (en particulier en ce qui concerne le chromage hexavalent).
Un système d'extraction d'air peut être superflu car une couche de mousse peut être formée, couche qui suffit à minimiser les évacuations de substances dangereuses dans l'atmosphère.

Effets d'interaction
Du PFOS (sulfonate de perfluorooctane) est utilisé dans la suppression des brumes de Cr(VI), ainsi que dans d'autres applications. Cette substance est toxique, bioaccumulative et persistante (voir l'annexe 8.2).

Données d'exploitation
Les additifs permettent d'améliorer la qualité du produit.

Applicabilité
Voir les applications individuelles

Aspects économiques
Permet, dans certains cas, d'obtenir des émissions d'un niveau suffisamment faible pour ne pas recourir à un système d'extraction d'air et/ou de réduire la taille, la complexité et le coût de l'équipement d'extraction.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Législation de la santé et de la sécurité sur le lieu de travail ainsi que des valeurs limites d'émission

Exemples d'installations

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 113, Autriche, 2003, 159, TWG, 2004]

4.18.2 Utilisation d'un système d'extraction d'air, de couvercle et de techniques de traitement

Description générale

Lorsque la durée d'immersion, pour un traitement sur support ou au tonneau, est relativement longue ou que les bains ne sont pas utilisés, le fait de couvrir les cuves permet de minimiser les émissions dans l'atmosphère du lieu de travail, et par la suite vers l'environnement. En confinant l'espace vide au-dessus d'une cuve grâce à l'utilisation de couvercles, le volume d'air à extraire et à traiter est réduit. Cette section décrit différents types de couvercles qui peuvent être utilisés et la figure 4.33 en présente un exemple.

Figure 4.33 : Chaîne de traitement sur support dont les cuves sont dotées de couvercles et d'un système d'extraction d'air
Graindorge S.A. et Agence de l'eau Seine-Normandie

Les techniques de confinement sont examinées dans plusieurs BREF (voir la documentation de référence). Le confinement des sources d'émissions potentielles permet de minimiser la quantité d'émission et le débit d'air, bien que le débit d'air puisse nécessiter un traitement.

Les systèmes d'extraction en rebord sont généralement utilisés pour répondre à des exigences de santé et de sécurité. Diverses configurations sont décrites dans la section 4.18.3.

La quantité d'air contaminé aspirée au moyen des systèmes d'évacuation en rebord, et la quantité de polluants qu'il contient dépendent des paramètres suivants :

- la taille de la cuve ;
- le fonctionnement en continu ou par intermittence du bain ;
- la température du bain ;
- les caractéristiques physico-chimiques des produits chimiques utilisés ;
- la classification et la concentration autorisée sur le lieu de travail ;
- l'utilisation parallèle d'additifs de décapage pour diminuer et/ou éviter les émissions de gaz HF et NO_x et les aérosols Cr(VI) ;
- les procédures de contrôle des émissions, etc. ;
- les types, la taille et la densité de particules ;

- l'espace entre les fentes du système d'évacuation et la surface de la cuve ;
- la résistance des courants électriques dans les traitements électrolytiques ;
- le type d'agitation de bain utilisé (tel que l'agitation par air, à flux pompé et recyclé ou par buse éjecteuse).

Les polluants générés ainsi que l'air contaminé extrait sont séparés lorsque cela se révèle nécessaire afin de ne pas dépasser les normes d'émission, ceci grâce aux dispositifs suivant d'épuration des émanations :

- épurateurs d'air contaminé dotés de matériaux de retardement et de dévésiculeurs ;
- des épurateurs d'air contaminé combinant les aspects suivants :
  - la séparation du cyanure et de l'acide dans un épurateur alcalin,
  - des oxydes d'azote et de l'acide fluorhydrique dans un épurateur acide,
  - l'extraction de l'air contenant du Cr(VI) à l'aide de dévésiculeurs ;
- des filtres antibrume utilisés pour les aérosols et les gouttelettes de, par exemple, Cr(VI) ;
- des dévésiculeurs pour les aérosols et les gouttelettes, de, par exemple, Cr(VI), opération qui peut être suivie d'une filtration ;
- des cyclones, des précipitateurs ou filtres électrostatiques (par exemple, pour les poussières provenant du polissage mécanique).

Ces techniques sont décrites dans le BREF concernant le traitement des eaux résiduaires et des gaz résiduaires dans le secteur de produits chimiques, dont la section concernant les systèmes d'extraction.

Des solvants organiques, tels que du COV provenant du dégraissage par solvant, sont générés. Ces substances sont examinées dans le BREF concernant les solvants utilisés en traitement de surface.

Le secteur produit généralement une faible quantité de NO_X. Ces produits sont principalement utilisés dans les étapes de décapage et d'azurage, les émissions sont faibles grâce à l'utilisation de systèmes d'épurateurs d'air classiques, n'impliquant pas l'utilisation d'une réduction catalytique (voir les Aspects économiques et l’annexe 8.12).

Dans le cas ou différents systèmes sont combinés, les écarts par rapport aux mesures de purification d'air contaminé présentées ci-dessus restent légers.

Bénéfices environnementaux globalement obtenus
Les additifs permettent de réduire la formation de gaz et d'aérosols de Cr(VI) et permettent d'allonger la durée de vie des acides de décapage.

Les couvercles permettent de réduire la quantité de gaz et d'aérosols évacuée dans l'atmosphère.

La section 3.3 démontre que l'utilisation de systèmes d'extraction simples à l'aide de dévésiculeurs et/ou un système d'épuration à contre courant permet d'obtenir en toute simplicité des valeurs cibles jugées normales.

Aucune donnée n'est disponible concernant l'efficacité de la technique sur les émissions des autres mesures de traitement (additifs et couvercles).

Effets généraux d'interaction liés aux milieux
L'extraction d'air peut avoir un effet important sur la consommation énergétique et ceci de trois façons :

- une consommation supplémentaire en électricité pour alimenter les ventilateurs et les pompes ;
- une perte indésirable de chaleur sur le lieu de travail, au cours des périodes de travail lorsque les températures externes descendent au-dessous d'environ 12 °C (pertes qui peuvent être plus importantes en Europe du nord et en Europe centrale) ;
- un refroidissement indésirable des solutions de traitement par accroissement de l'évaporation nécessitant une consommation énergétique supplémentaire pour le traitement.

Des additifs peuvent être nocifs pour la santé et l'environnement, voir section 1.4.4.4 et l'annexe 8.2.

Données d'exploitation globales
Les différentes possibilités envisageables pour réduire le volume d'air extrait et diminuer les pertes énergétiques sont examinées dans la section 4.18.3 ci-dessous.

Applicabilité globale
Une ou plusieurs de ces possibilités est/sont appropriée(s) à toutes les installations.

Aspects économiques généraux
L'installation d'un dispositif de réduction catalytique pour le NO_X n'est pas rentable pour la totalité de l'industrie, voir l'annexe 8.12.

Eléments moteur générale de mise en œuvre
La santé et la sécurité sur le lieu de travail

Documentation de référence
[66, PPRC, 2003, 80, INRS, 104, UBA, 2003] [87, EIPPCB, , EIPPCB, #155, EIPPCB, #86] [90, EIPPCB,].

4.18.3 Réduction du volume d'air extrait

Description générale
Les systèmes les plus fréquemment utilisés sont constitués de hottes d'extraction situées latéralement à la zone d'entrée pour permettre le revêtement métallique sur supports sur barres d'anodes et le revêtement métallique aux tonneaux au-dessus des cuves de traitement, voir la figure 4.34.

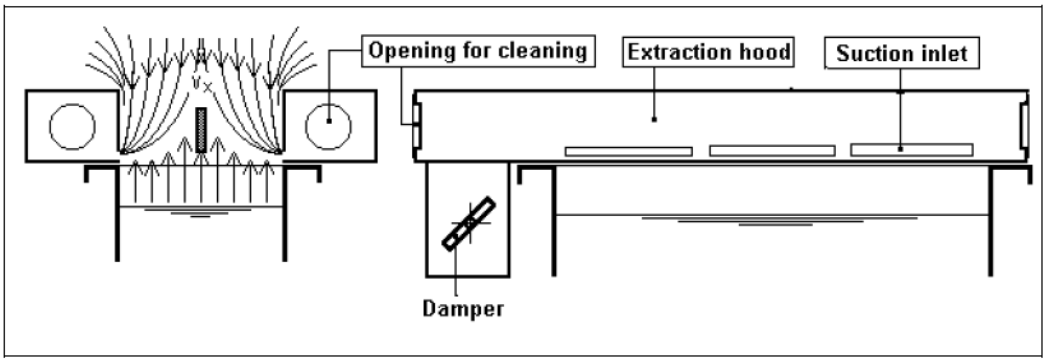


Figure 4.34 : Exemple des systèmes d'extraction des émanations au-dessus d'un réservoir de traitement

L'efficacité du système d'extraction d'air est déterminée par la vitesse minimale de l'air (vx) nécessaire à l'aspiration de la vapeur montante, des émanations des aérosols au niveau du point le plus distant de la hotte d'extraction.

Les valeurs de vx s'échelonnent de 0,2 m^3/s de vitesse d'aspiration pour une production modérée de vapeur d'eau à 0,5 m^3/s pour les aérosols provenant des solutions de chromage dur.

Le volume d'air devant être extrait dépend de la superficie libre de la solution de traitement.

Ce volume peut être calculé par les équations suivantes :

Extraction monolatérale (W <0,5 m) $V = 2\ vx\ L\ W\ (W/L)0,2$

Extraction bilatérale (W >0.5 m) $V = 2\ vx\ L\ W\ (W/2L)0,2$

V	=	volume d'air extrait, m^3
vx	=	vitesse minimale de l'air au niveau du point x, m^3/s
L	=	longueur de la surface d'extraction, en mètre
W	=	largeur de la surface d'extraction, en mètre.

L'extraction monolatérale est généralement utilisée pour des cuves d'une largeur W <0,5 m, voir la figure 4.35, et l'extraction bilatérale pour des cuves plus larges (W >0,5 m), voir la figure 4.36.

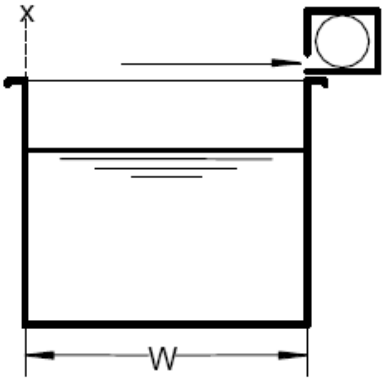


Figure 4.35 : extraction monolatérale (W <0,5 m)

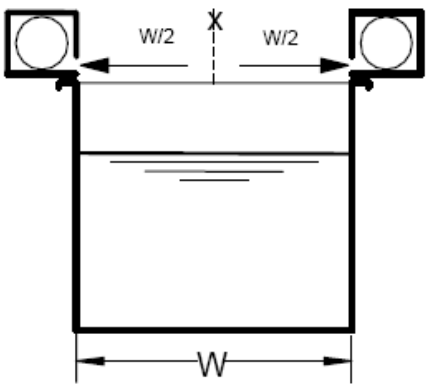


Figure 4.36 : extraction bilatérale (W >0,5)

Trois options de réduction du volume de l'air extrait sont envisageables :

(1) Réduction de la superficie libre au-dessus des cuves
La figure 4.37 et la figure 4.38 représentent respectivement des moyens différents permettant de minimiser le volume d'air extrait et donc la consommation énergétique.

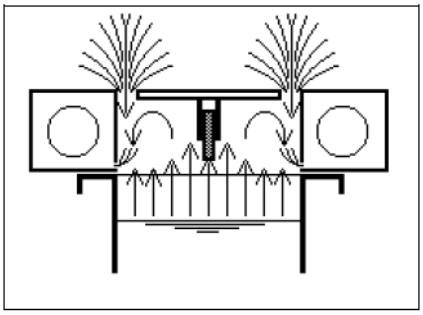


Figure 4.37 : Couvercle protégeant la superficie libre d'une cuve, fixé sur et déplacé avec la barre d'anode

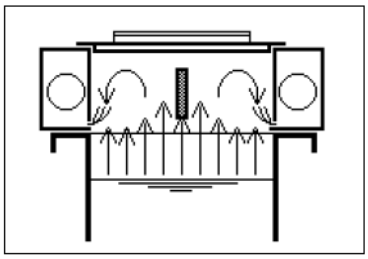


Figure 4.38 : Couvercle protégeant la superficie libre située au-dessus de la hotte d'extraction, mobile grâce au dispositif de transport

Figure 4.37 : Etant donné que les émanations dangereuses ou les aérosols sont générés principalement en cours de traitement, les couvercles fixés sur et déplacés grâce à la barre d'anodes sont un moyen approprié pour réduire le volume de l'air extrait environ 60 à 75 % du taux normal sans réduction de la superficie.

La figure 4.38 : Ces types de couvercles recouvrent tous les postes de traitement pour lesquels de la vapeur, des émanations ou des aérosols sont générés continuellement, à l'extraction des phases de chargement et déchargement des postes de traitement. La réduction des émanations peut s'élever à plus de 90 % en augmentant le taux d'extraction (technique allemande brevetée). L'avantage majeur de ces systèmes est que ces couvercles ne nécessitent pas de système d'entraînement au niveau du poste lui-même, étant donné qu'ils sont déplacés simultanément avec le bac récepteur du dispositif de transport.

Les couvercles à charnières disposés sur la cuve, entraînés de manière individuelle et s'ouvrant et se fermant automatiquement lorsque les supports et les tonneaux entrent et quittent la cuve de traitement représentent une alternative appropriée en terme de conception mais s'avèrent bien plus coûteux. Généralement, ce système est combiné à un dispositif conçu pour accroître automatiquement le volume d'air extrait quand les couvercles sont ouverts. Une réduction du taux d'extraction allant jusqu'à 90 % peut être obtenue.

(2) Système pousser-tirer
Ce procédé est conçu afin de créer un écoulement d'air au-dessus de la surface du bain de traitement. Il met en œuvre une hotte d'extraction faisant face à un conduit souffleur.

La surface de la solution de traitement doit être libre de tout obstacle ou toute structure pouvant gêner l'écoulement d'air. Cette application reste donc relativement limitée.

(3) Fermeture de la chaîne de traitement
Récemment, la séparation complète de l'installation de traitement a été réalisée dans certaines installations. La chaîne de revêtement métallique est installée à l'intérieur d'une enceinte, tandis que toutes les opérations de l'installation, les systèmes de gestion de l'installation, et le chargement/déchargement des postes sont effectués à l'extérieur ; voir section 4.2.3. Etant donné qu'une certaine quantité d'air doit être extrait afin d'empêcher la corrosion de l'équipement à l'intérieur de l'enceinte, ce système ne permet d'obtenir des économies d'énergie supérieures au chiffre présenté par les autres techniques.

Bénéfices environnementaux atteints
La réduction du volume d'air extrait réduit la consommation énergétique et tous processus de traitement requis, la quantité de produits chimiques utilisés, etc.

Applicabilité
Le rendement énergétique au sein de toutes les installations utilisant un système d'extraction d'air doit faire l'objet d'une surveillance particulière.
Le contrôle des traitements est réalisable pour tout type d'installation. D'autres options sont à étudier en fonction du site.
Lorsque la chaîne de traitement est fermée, l'entretien de l'installation et des solutions peut s'avérer plus difficile et chronophage. Il est probable que cette technique sera plus efficace si elle est appliquée sur une installation récente plutôt qu'adaptée sur une installation plus ancienne.

Aspects économiques
A établir au cas par cas, voir l'installation de référence ci-dessous dans laquelle les économies de coût de fonctionnement ont permis un recouvrement en deux ans, et un recouvrement en un an si l'on y ajoute les économies en capitaux.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
La santé et la sécurité sur le lieu de travail

Exemples d'installations
Voir l'annexe 8.9, Goodrich Aerospace Landing Gear Division, Tullahoma, Tennessee, USA.

Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 113, Autriche, 2003]

4.18.4 Traitement de l'air extrait

Les différentes possibilités de traitement sont décrites dans la section 2.13.3.

4.18.5 Technique de régulation de l'extraction d'air

Description
Un système d'extraction d'air peut être exploité au cours des périodes de fonctionnement pour les solutions posant problème, et lorsque la situation l'exige, comme par exemple

lorsque les solutions de traitement sont chauffées et utilisées. Signalons que le système d'extraction d'air ne fonctionne qu'en cas de nécessité, en particulier lorsque les températures extérieures sont basses et/ou que les systèmes de refroidissement ou de chauffage du lieu de travail fonctionnent. Des dispositifs de temporisation peuvent être ajoutés aux systèmes d'extraction.

Bénéfices environnementaux atteints
Economies d'énergie

Applicabilité
Le contrôle du traitement peut être réalisé pour tout type d'installation

Aspects économiques

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Economie d'échelle

Documentation de référence
[3, CETS, 2002]

4.18.6 Récupération énergétique du l'air extrait

Description
L'air extrait passe au travers d'un échangeur thermique. Les coûts d'investissement et de fonctionnement sont très élevés. Des économies provenant de la récupération énergétique ne représentent qu'une partie de ces coûts, une étude de faisabilité avant installation, comprenant l'étude des aspects économiques, est cruciale afin de garantir un investissement raisonné. Les BREF concernant les systèmes de gestion des eaux résiduaires et les gaz résiduaires et les solvants utilisés en traitement de surface permettent d'obtenir de plus amples d'informations.

Bénéfices environnementaux atteints
Récupération énergétique

Données d'exploitation
Le rendement énergétique demande une attention particulière dans toutes les installations utilisant un système d'extraction d'air.

Applicabilité
Cette mesure d'économie énergétique est limitée aux installations de grande taille et/ou dont les volumes d'air chaud extrait restent importants.
Documentation de référence
[3, CETS, 2002, 87, EIPPCB, , 90, EIPPCB,]

4.19 Gestion du bruit

Description
Les règles de bonnes pratiques impliquent la réduction des nuisances sonores provenant de l'installation afin de ne pas gêner le voisinage. Les nuisances sonores peuvent être diminuées ou éliminées à la source (en cours de traitement), par exemple en évacuant

l'hydrogène produit par électrolyse ce qui permet d'empêcher les explosions au-dessus des cuves dans certains traitements électrolytiques. Le transport routier peut également avoir un impact local, une réduction des livraisons peut être envisagée et/ou la gestion des horaires de livraison.

La réduction des nuisances sonores peut être obtenue grâce à la mise en place de mesures techniques de contrôle des nuisances sonores lorsque cela s'avère nécessaire, comme par exemple l'installation de dispositifs antibruit à proximité de ventilateurs de taille importante, l'utilisation d'enceintes acoustiques lorsque ces dispositifs peuvent être mis en place pour un équipement générant des niveaux de bruit tonal ou élevé, etc.

Un fonctionnement optimal de l'installation implique la fermeture des portes de service.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction du bruit

Effets d'interaction
L'utilisation de dispositifs antibruit (silencieux) peut entraîner un accroissement de la consommation énergétique du fait de l'augmentation des chutes de pression.
La fermeture des portes de service peut générer un accroissement à terme des besoins en ventilation et en refroidissement.

Données d'exploitation
Ces données sont spécifiques au site étudié

Applicabilité
Technique applicable aux installations neuves et existantes

Aspects économiques
En fonction des cas, mais généralement, les coûts engendrés par la mise en place de ces techniques ne sont pas amortis. Accroissement des coûts liés à la ventilation lorsque les portes de l'installation sont fermées.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Technique qui permet d'éviter les plaintes pour bruit et permet de se conformer à la législation de la santé sur le lieu de travail.

Exemples d'installations
SOFRA-PCB, Mennecy, France

Documentation de référence
[19, Eurofer, 2003], [115, CETS, 2003]

5 MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

Afin de bien comprendre ce chapitre et son contenu, nous renvoyons l'utilisateur/lecteur à la préface de ce document et en particulier à la cinquième section de la préface : compréhension et utilisation du de ce document. Les techniques et les niveaux de consommation et/ou émission associés, ou les différentes plages de niveaux, présentés dans ce chapitre ont été évalués au moyen d'un processus itératif comportant les étapes suivantes :

- identification des problèmes environnementaux principaux du secteur ; le traitement de surface des métaux et des matières plastiques. Ces derniers concernent :
  - o les systèmes de management et la construction du site,
  - o l'utilisation et les émissions d'eau et de matières premières,
  - o la substitution des matériaux dangereux,
  - o l'utilisation de l'énergie,
  - o la contamination du site lors de l'arrêt des activités ;
- l'étude des techniques les plus appropriées pour résoudre ces problèmes ;
- l'identification des meilleurs niveaux de performance du point de vue environnemental, sur la base des données disponibles au sein de l'Union Européenne et de par le monde ;
- l'étude des conditions dans lesquelles ces niveaux de performances ont été obtenus ; comme par exemple les coûts, les effets d'interaction liés aux milieux et les principaux éléments moteurs impliquées dans la mise en œuvre des techniques ;
- le choix des meilleures techniques disponibles (MTD) et des niveaux de consommation et/ou d'émission associés pour ce secteur au sens global, tous établis selon l'Article 2 (11) et l'annexe 4 de la directive.

L'avis d'experts rendu par le bureau européen IPPC et le Groupe de Travail Technique (GTT) correspondant a joué un rôle de premier ordre dans chacune de ces étapes et dans la manière dont les informations sont présentées dans ce document.

Sur la base de cette évaluation, des techniques et, autant que possible, des niveaux de consommation et d'émission associés à l'utilisation d'une MTD, sont présentés dans ce chapitre et sont considérés comme correspondant à l'ensemble du secteur et reflètent, dans bon nombre de cas, les performances actuelles de certaines installations du secteur. Lorsque les niveaux de consommation ou d'émission „associés aux meilleures techniques disponibles' sont présentés, cela signifie que ces niveaux représentent les performances environnementales que l'on est en droit d'atteindre si ces techniques décrite pour ce secteur d'activités sont, tout en gardant à l'esprit l'équilibre des coûts et les avantages inhérents à la définition d'une MTD. Néanmoins, il ne s'agit pas de valeurs limites de consommation ni d'émission et ces données ne doivent pas être considérées comme telles. Dans certains cas, il peut être techniquement possible d'obtenir de meilleurs niveaux de consommation ou d'émission mais étant donné les coûts impliqués ou les effets d'interaction, les techniques en question ne sont pas considérées comme des MTD appropriées au secteur dans sa globalité. Cependant, de tels niveaux peuvent se voir justifier dans des cas plus spécifiques, dans lesquels un élément moteur particulière entre en jeu.

Les niveaux de consommation et d'émission associés à l'utilisation d'une MTD doivent être considérés conjointement avec les conditions de référence spécifiées quelles qu'elles soient (par exemple, périodes moyennes).

Le concept de „niveaux associés à une MTD" décrit ci-dessus doit être distingué de l'expression „niveaux pouvant être obtenus" utilisés dans d'autres parties de ce document. Lorsqu'un niveau est décrit comme „pouvant être obtenu" grâce à l'utilisation d'une technique particulière ou d'une combinaison de techniques, il faut comprendre que le niveau est susceptible d'être atteint sur une période de temps conséquente au sein d'une installation entretenue et fonctionnant de manière appropriée ou d'un traitement utilisant ce type de techniques.

Lorsque cela est possible, les données sur les coûts ont été données conjointement à la description des techniques présentées dans le chapitre précédent. Ces données offrent une indication approximative sur l'amplitude des coûts engendrés. Cependant, le coût réel d'application d'une technique dépendra fortement de la situation spécifique concernant, par exemple, les taxes, les frais, et les caractéristiques techniques de l'installation concernée. Il n'est pas possible, dans ce document, d'évaluer totalement de tels facteurs qui restent spécifiques au site en question. En l'absence de données relatives aux coûts, des conclusions concernant la viabilité économique de certaines techniques ont pu être tirées de l'observation d'installations existantes.

Les MTD générales décrites dans ce chapitre sont destinées à servir de point de référence pour l'évaluation des performances actuelles d'une installation existante ou pour l'évaluation du projet de nouvelles installations. De cette manière, elles contribueront à la détermination des conditions appropriées „sur la base des MTD" à l'installation ou pour la mise en place de règles générales contraignantes comme prévu dans l'article 9 (8). Le document prévoit que de nouvelles installations puissent être conçues afin d'obtenir des niveaux équivalents voir supérieurs aux niveaux des MTD générales présentées ici. Le document envisage également que les installations existantes puissent mettre en œuvre les MTD générales et parvenir au niveau correspondant à ces techniques voir à de meilleurs niveaux, en fonction de leur applicabilité technique et économique dans chaque cas.

Bien que les documents de référence des MTD n'imposent pas légalement de normes contraignantes, ils sont destinés à fournir des informations afin d'orienter la profession, les États membres et le public sur les niveaux de consommation et d'émission pouvant être obtenus grâce à l'utilisation de techniques spécifiées. Les valeurs limites appropriées à chaque cas particulier devront être déterminées en prenant en compte les objectifs de la directive IPPC et les spécificités locales.

Les MTD dont le résumé est établi ci-dessous sont applicables aux installations nouvelles et existantes, sauf indication contraire. D'autres facteurs sont cependant à envisager afin de déterminer la possibilité de mise en œuvre d'une technique, telle que le coût relatif plus élevé pour les installations plus petites, les limites de certaines techniques, l'espace disponible et l'infrastructure d'un site (comme par exemple les installations de traitement des eaux résiduaires).

Clefs de lecture à l'intention des utilisateurs/lecteurs de ce document

Lors de la préparation de ce document, de nombreux problèmes d'importance sont apparus lorsque les principaux problèmes environnementaux ont été étudiés :

- bien que l'industrie soit complexe en termes de taille et de champ d'activités, toutes les entreprises sont confrontées aux mêmes problèmes environnementaux. Les techniques appliquées afin de régler ces problèmes couvrent ~~sont~~ également un grand champ d'activités ~~étendues~~ et sont souvent transposables. Cette section est donc séparée en deux catégories comprenant d'une part les MTD génériques et d'autre part les MTD spécifiques à certaines activités ;
- Dans certains cas exceptionnels, les MTD génériques ne s'appliquent pas à certaines activités spécifiques, ce qui est précisé le cas échéant ;
- il est vivement conseillé de lire le chapitre 4 conjointement à ce chapitre. Afin d'aider le lecteur, des références au chapitre 4 ont été intégrées dans ce chapitre 5.

Lors de l'interprétation des niveaux ou plages de consommation et d'émission associés aux MTD présentées dans ce chapitre, il est essentiel que le lecteur/utilisateur comprenne que :

- ces niveaux ou plages de consommation ou d'émission ne sont pas les mêmes que les valeurs limites d'émission (voir l'introduction à ce chapitre, ci-dessus) ;
- parmi les 25 pays de l'UE, des valeurs limites d'émission sont établies et appliquées de différentes manières ;
- concernant une installation particulière, la diminution d'un niveau d'émission à l'intérieur de la gamme de consommation ou d'émission peut ne pas représenter une MTD de manière globale (lorsque les coûts et les effets d'interaction liés aux milieux sont envisagés) et cet antagonisme peut exister entre des MTD, c'est-à-dire, la diminution d'un facteur peut provoquer l'augmentation d'un autre facteur. Pour ces raisons, il est possible que l'exploitation d'une installation ne permette pas d'obtenir les niveaux les plus bas pour les différents paramètres dans toutes les gammes.

5.1 MTD générique

5.1.1 Techniques de gestion

Gestion environnementale, systèmes de nettoyage et d'entretien
Il existe un certain nombre de techniques concernant l'amélioration continue des performances environnementales. Elles sont intimement liées aux règles de bon usage dans les domaines de la conception, de la construction, de l'exploitation et de l'entretien d'une installation afin d'en obtenir un rendement optimal. Ces techniques établissent la structure qui garantira l'identification, le choix et l'adhésion aux MTD envisageables qui, malgré leur caractère ordinaire, restent importantes dans l'amélioration des niveaux d'émissions environnementales. En effet, les techniques de nettoyage/entretien/gestion permettent souvent d'éviter la production d'émissions polluantes.

Un certain nombre de techniques de management sont déterminées comme étant des MTD. La portée (par exemple, le niveau de détail) et la nature du système (c'est-à-dire, si l'on considère par exemple, un SME, si il s'agit d'un système standardisé ou non) correspondront, en règle générale, à la nature, l'échelle et la complexité de l'installation, et à la portée des effets du système sur l'environnement.

5.1.1.1 Management environnemental

Une MTD consiste à mettre en œuvre et à adhérer à un système de management environnementale (SME) qui inclut, en fonction des circonstances individuelles, les caractéristiques suivantes : (voir section 4.1.1) :

- la définition d'une politique environnementale pour l'installation, établie par la direction à son plus haut niveau (l'implication des cadres dirigeants est considérée comme une condition préalable à une application réussie d'autres caractéristiques du SME) ;
- planifier et établir les procédures nécessaires ;
- la mise en œuvre des procédures, en faisant particulièrement attention à :
  - la structure et les responsabilités,
  - la formation, la sensibilisation et les compétences,
  - la communication,
  - l'implication des employés,
  - la documentation,
  - la maîtrise opérationnelle ou l'efficacité des contrôles des procédés,
  - les programmes de maintenance,
  - la préparation aux situations d'urgence et les réponses qui y sont apportées,
  - conserver la conformité à la législation environnementale ;
- la vérification des performances et la mise en place de mesures correctives, en faisant particulièrement attention à :
  - la surveillance et les mesures (voir également le document de référence concernant la surveillance des émissions),
  - la mise en place d'une action corrective et préventive,
  - la tenue des documents,
  - la mise en place d'audits internes indépendants (si possible) afin de déterminer si oui ou non le système de gestion environnementale est conforme aux dispositions planifiées et a été mis en œuvre et suivi de manière appropriée ;
- un examen de la situation réalisé par la direction (revue de direction).

Trois caractéristiques supplémentaires, qui peuvent compléter la progression définie ci-dessus, sont envisagées comme des mesures de soutien. Cependant, leur absence n'est pas, en règle générale, incohérente avec une MTD. Ces trois étapes supplémentaires sont :

- l'examen et la validation par un organisme de certification agréé ou un vérificateur externe du SME et de la procédure d'audit ;
- la préparation et la publication (et éventuellement la validation externe) d'une déclaration environnementale revue régulièrement décrivant tous les aspects environnementaux importants de l'installation, et permettant une comparaison année après année des objectifs et des cibles environnementaux ainsi que la comparaison des résultats avec des valeurs de référence du secteur, le cas échant ;
- la mise en place et l'adhésion à un système volontaire reconnu internationalement tel que l'EMAS et la NE ISO 14001:2004. Cette étape volontaire apporte une crédibilité supplémentaire au SGE, ce qui est

particulièrement le cas pour l'EMAS qui intègre toutes les caractéristiques mentionnées ci-dessus. Cependant, des systèmes non standardisés peuvent, en principe, être aussi efficaces à condition qu'ils soient conçus et mis en œuvre de manière appropriée.

Dans ce secteur industriel en particulier, il est également important d'envisager l'intégration au SGE des caractéristiques éventuelles suivantes :

- les impacts environnementaux provenant du fonctionnement et de l'arrêt éventuel de l'unité au niveau du stade de conception d'une nouvelle installation ;
- le développement et l'utilisation de technologies plus propres ;
- lorsque cela est possible, la mise en œuvre d'une évaluation comparative régulière, comportant le rendement énergétique et les économies d'énergie, la consommation en eau et les économies en eau, l'utilisation de matières premières et le choix des matériaux entrant, les émissions atmosphériques, les rejets dans l'eau, et la production de déchets.

5.1.1.2 Nettoyage et entretien

Un programme d'entretien et de nettoyage fait partie des MTD. Ce programme comprendra la formation et la définition des actions préventives que les employés doivent mettre en œuvre afin de minimiser les risques environnementaux spécifiques, voir les sections 4.1.1 (c) et 4.1.1.1.

5.1.1.3 Minimisation des effets de retraitement des pièces défectueuses

La minimisation des impacts environnementaux dus au retraitement des pièces défectueuses à l'aide de systèmes de gestion nécessitant une réévaluation régulière des spécifications de traitement et un contrôle de qualité réalisé à la fois par les clients et l'exploitation (voir section 4.1.2) fait partie des MTD. Cette minimisation peut être obtenue par :

- la garantie que les spécifications sont :
  - correctes et mises à jour
  - compatibles avec la législation
  - applicables
  - réalisables
  - mesurables de manière appropriée afin répondre aux attentes des clients
- l'examen conjoint par le client et l'exploitant de tout changement proposé pour les traitements et les systèmes envisagés par l'un ou l'autre avant leur mise en œuvre
- la formation des opérateurs à l'utilisation du système
- l'assurance que les clients connaissent les limites du traitement et les spécificités du traitement de surface obtenu.

5.1.1.4 Evaluation comparative de l'installation

La création de valeurs de référence qui permettent la surveillance des performances de l'installation sur une base continue et également la comparaison avec ~~à~~ des valeurs de référence externe (voir section 4.1.3) fait partie des MTD. Des valeurs de référence

concernant des activités individuelles sont présentées dans ce chapitre lorsqu'elles existent. Les domaines principalement concernés sont :

- l'utilisation de l'énergie
- l'utilisation de l'eau
- l'utilisation en matière première.

Pour la surveillance et l'enregistrement des données de tous les moyens de production par type : ~~l'~~électricité~~, le~~ gaz, ~~le~~ GPL et d'autres carburants, ainsi que l'eau, quelle que soit la source et le coût par unité, voir les sections 4.1.1 (j) et 4.1.3. Le relevé détaillé et la période d'enregistrement, qu'il s'agisse d'une base horaire, hebdomadaire, par cycle de production, , par mètre carré produit ou toute autre mesure etc. sera effectué selon la taille du traitement et l'importance de la mesure.

L'optimisation continuelle de l'utilisation des intrants (matières premières et consommables) comparée aux valeurs de référence fait partie des MTD. Un système de mise en place d'actions correctives en fonction des données comprendra :

- l'identification d'une personne ou d'un groupe de personnes responsables de l'évaluation et de la mise en place d'une ou des actions correctives en fonction des données
- la mise en œuvre d'un plan d'action destiné à informer les personnes responsables des performances de l'installation, ce qui implique d'alerter rapidement et de manière efficace les sur les variations s'écartant des performances normales
- la mise en œuvre d'études spéciales destinées à établir les raisons pour lesquelles les performances varient ou s'écartent des valeurs de référence externes.

5.1.1.5 Optimisation et contrôle de la chaîne de traitement

L'optimisation des activités individuelles et des chaînes de traitement par le calcul des intrants et sortants théoriques concernant des options d'amélioration choisies et les comparer avec celles actuellement obtenues fait partie des MTD (voir section 4.1.4).

Les informations obtenues par évaluation comparative, les données du secteur, les conseils prodigués dans ce document et d'autres sources peuvent être utilisés. Les calculs peuvent être réalisés manuellement bien qu'un logiciel facilite cette tâche.

Concernant les chaînes automatiques, l'utilisation du contrôle et de l'optimisation du procédé en temps réel fait partie des MTD, voir section 4.15.

5.1.2 Conception, construction et fonctionnement de l'installation

Les chaînes de traitement de ce secteur présentent des similitudes avec le stockage de produits chimiques, et le document de référence concernant les MTD relatives au stockage décrit des techniques pertinentes [23, EIPPCB, 2002]. La conception, la construction et le fonctionnement d'une installation afin d'empêcher une éventuelle pollution grâce à l'identification des dangers et des trajets d'écoulement, le classement simple de dangers éventuels et la mise en œuvre d'un plan d'actions en trois étapes pour éviter toute pollution (voir section 4.2.1) font partie des MTD :

Etape 1 :

- proposer des dimensions d'installation suffisantes
- doter l'installation de zones identifiées comme étant à risque : zone susceptible de subir un déversement accidentel de produits chimiques qui nécessite l'utilisation de matériaux appropriés permettant la mise en place de barrières imperméables
- garantir la stabilité des chaînes de traitement et des composants (y compris l'équipement utilisé temporairement ou rarement).

Etape 2 :

- garantir que les réservoirs de stockage utilisés pour les matériaux à risque sont protégés à l'aide techniques de construction telles que les réservoirs à double paroi ou en les plaçant dans des zones confinées
- garantir que les réservoirs de traitement des chaînes de traitement se trouvent à l'intérieur de zones confinées
- lorsque les solutions sont pompées entre les réservoirs, garantir que les réservoirs récepteurs sont d'une taille suffisante pour le volume pompé
- garantir la mise en place d'un système d'identification de fuite ou la vérification régulière des zones confinées dans le cadre d'un programme de maintenance.

Etape 3 :

- inspection régulière et programmes d'essai
- plans d'urgence en cas d'accident, qui doivent comprendre :
    - les plans des principaux sites dangereux (dont la taille et l'emplacement apparaissent de manière appropriée)
    - les procédures d'urgence en cas de déversement de produits chimiques et d'huile
    - une visite d'inspection des installations de confinement ou rétention
    - les recommandations en matière de gestion des déchets générés et récupérés suite au déversement accidentel
    - l'identification de l'équipement adéquat et la garantie que ce ~~de~~ dernier soit disponible et en bon état de fonctionnement
    - garantir que le personnel a conscience des problèmes environnementaux et le former afin qu'il soit capable de traiter les accidents et les déversements
    - l'identification des rôles et des responsabilités des personnes impliquées.

5.1.2.1 Stockage des produits chimiques et des pièces de fabrication/substrats

En plus des problèmes généraux énumérés dans le document de référence concernant le stockage [23, EIPPCB, 2002], les problèmes suivants ont été identifiés en tant que MTD spécifiques à ce secteur (voir section 4.2.2) :

- éviter la génération de gaz de cyanure libre en stockant séparément les acides et les cyanures
- stocker séparément les acides et les bases
- réduire le risque d'incendie en stockant séparément les produits chimiques inflammables et les agents oxydants
- réduire le risque d'incendie en stockant tout produit chimique à combustion instantanée sous l'effet de l'humidité, dans des endroits secs et séparés des agents oxydants. Marquer les zones de stockage de ces produits chimiques pour éviter

l'utilisation d'eau dans la lutte anti-incendie
- éviter la contamination des sols et des eaux provoquée par les déversements et les fuites de produits chimiques
- éviter ou empêcher la corrosion de récipients de stockage, de tuyaux, de systèmes d'alimentation et de systèmes de contrôle par des produits chimiques et des émanations corrosives après qu'ils aient été manipulés.

Afin de minimiser les traitements supplémentaires, une MTD s'attache à empêcher la dégradation des pièces de fabrication/substrats métalliques au cours du stockage (voir section 4.3.1) provoquée par l'un des éléments suivants ou une combinaison de ces derniers :

- raccourcir la durée de stockage
- contrôler la corrosivité de l'atmosphère de stockage en régulant l'humidité, la température et la composition de l'air
- utiliser soit un revêtement anticorrosion soit un emballage anticorrosion

5.1.3 Agitation des solutions de traitement

L'agitation des solutions de traitement afin de garantir un mouvement de solutions propres sur les faces de travail (voir section 4.3.4) fait partie des MTD. Ce mouvement peut être obtenu grâce à l'un des procédés suivants ou à une combinaison de ces derniers :

- la turbulence hydraulique
- l'agitation mécanique des pièces de fabrication
- des systèmes d'agitation par air basse pression dans :
  - ° des solutions dans lesquelles l'air contribue au refroidissement par évaporation, en particulier lorsqu'elles sont utilisées avec des matériaux de récupération (voir section 5.1.4.3)
  - ° l'anodisation
  - ° d'autres procédés nécessitant un mouvement important de la solution afin d'obtenir une qualité élevée
  - ° des solutions nécessitant l'oxydation d'additifs
  - ° l'élimination de gaz réactif si elle avère nécessaire (gaz tel que l'hydrogène).

L'agitation par air basse pression ne fait pas partie des MTD lorsque cette technique est utilisée pour :

- des solutions chauffées dans lesquelles l'effet de refroidissement provenant de l'évaporation accroît la demande énergétique
- des solutions cyanurées car cela accroît la formation de carbonate
- des solutions contenant des substances dangereuses lorsqu'elles augmentent les émissions atmosphériques (voir section 5.1.10).

L'agitation par air à pression élevée ne fait pas partie des MTD car cette technique est trop gourmande en énergie.

5.1.4 Intrants consommables – énergie et eau

L'évaluation comparative des consommables (voir section 5.1.1.4) fait partie des MTD. Les MTD concernant le rendement en matériaux avec utilisation d'eau sont décrits en détails de la section 5.1.5 et 5.1.6.

5.1.4.1 Électricité – haute tension et forte demande en courant

Des mesures destinées à gérer la tension et les demandes élevées en courant sont décrites dans la section 4.4.1. La réduction de la consommation d'électricité grâce aux MTD consiste à :

- minimiser les pertes d'énergie réactives pour toutes les alimentations triphasées en testant chaque année ces dernières pour garantir que cos φ entre la tension et les pics de courant soit en permanence au-dessus de 0,95
- réduire la chute de tension entre les conducteurs et les connecteurs en minimisant la distance entre les redresseurs et les anodes (et les rouleaux conducteurs dans le revêtement en bande). L'installation des redresseurs à proximité directe des anodes n'est pas toujours possible mais cela peut soumettre les redresseurs à une corrosion intense et/ou à un entretien difficile. En alternative, l'utilisation de barres de distribution dont la surface en coupe transversale est plus importante peut être envisagée
- conserver des parts de distribution courtes, dont la surface en coupe transversale reste suffisante et maintenir une température fraîche, grâce à l'utilisation d'un système de refroidissement hydraulique lorsque le refroidissement par air s'avère insuffisant
- utiliser un système d'alimentation en anode individuel pour chaque barre de distribution dotée de dispositif de contrôle destiné à optimiser le réglage du courant
- entretenir de manière régulière les redresseurs et les contacts (barres de distribution) du système électrique
- installer des redresseurs contrôlés électroniquement dotés d'un meilleur facteur de conversion que les redresseurs de type plus anciens
- accroître la conductivité des solutions de traitement grâce à l'utilisation d'additifs et à leur entretien (les sections 5.1.5.3, 5.1.5.3.1 et 5.1.6.1 concerne l'optimisation de ces paramètres)
- utiliser des formes d'ondes modifiées (par exemple, à impulsion, inversées), afin d'améliorer des dépôts métalliques, lorsque la technologie le permet.

5.1.4.2 Chauffage

Différentes techniques de chauffage sont décrites dans la section 4.4.2.

Lorsque des thermoplongeurs électriques sont utilisés ou qu'un dispositif de chauffage direct est appliqué sur une cuve la prévention des départs d'incendie par la surveillance manuelle ou automatique de la cuve afin que celle-ci ne s'assèche pas est une MTD.

5.1.4.3 Réduction des pertes thermiques

Les MTD cherchent à réduire les pertes thermiques par le biais de diverses mesures (voir section 4.4.3) :

- rechercher des moyens permettant de récupérer la chaleur

- réduire la quantité d'air évacuée au-dessus des solutions chauffées grâce à l'une des techniques décrites dans les sections 4.4.3 et 4.18.3
- optimiser la composition de la solution de traitement et les gammes de température de fonctionnement. Surveiller la température de contrôle des traitements qui doit être maintenue dans ces gammes de traitement optimisées, voir les sections 4.1.1, 4.1.3 et 4.4.3.
- isoler les cuves à solution chauffée grâce à l'une des techniques suivantes ou à une combinaison de ces dernières :
  - utiliser des cuves à double paroi
  - utiliser des cuves pré-isolées
  - appliquer une couche isolante
- isoler la surface des cuves chauffées en utilisant des sections d'isolation flottantes qui peuvent être par exemple sphériques ou hexagonales. Cette technique n'est pas applicable lorsque :
  - les pièces de fabrication sur montage sont de taille réduite, légère et peuvent être déplacées par la couche isolante
  - les pièces de fabrication sont suffisamment larges pour piéger les sections d'isolation (comme par exemple des carrosseries de véhicule)
  - les sections d'isolation peuvent masquer ou entraver le traitement en cours dans la cuve.

L'agitation par air n'est pas une MTD pour les solutions de traitement chauffées lorsque l'évaporation provoque un accroissement de la demande énergétique (voir section 5.1.3).

5.1.4.4 Refroidissement

Le refroidissement est décrit dans la section 4.4.4. Une MTD implique :

- d'empêcher le sur-refroidissement en optimisant la composition de la solution de traitement et la gamme de température de fonctionnement. La surveillance de la température des traitements et la régulation de cette dernière dans les gammes de traitement optimisées, voir les sections 4.1.1 et 4.1.3
- l'utilisation de système de refroidissement réfrigéré fermé, lors du remplacement de systèmes de refroidissement ou l'installation de nouveaux systèmes
- l'élimination de l'énergie en excès provenant des solutions de traitement grâce à l'évaporation (voir section 4.7.11.2) dans lesquelles :
  - il est nécessaire de réduire le volume de solution pour un appoint en produits chimiques
  - l'évaporation peut être combinée à des systèmes de rinçage en cascade et/ou à quantité réduite en eau afin de minimiser les évacuations d'eau et de matériaux du traitement (voir les sections 5.1.5.4 et 5.1.6).
- installer un système d'évaporation, de préférence en complément d'un système de refroidissement, lorsque le calcul de l'équilibre énergétique démontre que l'exigence énergétique est plus faible pour l'évaporation forcée que pour le refroidissement supplémentaire et que la composition chimique de la solution est stable (voir section 4.7.11.3).

Une MTD permet d'envisager la conception, l'emplacement et l'entretien des systèmes de refroidissement ouverts afin d'empêcher la formation et la transmission de la bactérie légionelle (voir section 4.4.4.1).

L'utilisation de systèmes de refroidissement hydrauliques à passage unique ne fait pas partie des MTD, exception faite lorsque les ressources locales en eau le permettent ou lorsque l'eau peut être réutilisée (voir section 4.4.4.1).

5.1.5 Minimisation des déchets d'eau et de matériaux

Dans ce secteur, la majeure partie des pertes en matières premières survient lors des évacuations d'eaux résiduaires, donc, la minimisation des pertes d'eau et de matières premières est traitée dans les sections suivantes.

5.1.5.1 Minimisation de l'utilisation d'eau en cours de traitement

Une MTD destinée à minimiser l'utilisation d'eau doit permettre :

- de surveiller ~~de~~ tous les points d'utilisation d'eau et de matériaux d'une installation, l'enregistrement régulier des données, en fonction des besoins et des informations nécessaires au contrôle (voir section 4.4.5.2). Les informations sont utilisées dans les évaluations comparatives et le système de management environnementale~~e~~, voir section 5.1.1.4.
- de récupérer l'eau provenant des solutions de rinçage grâce à l'une des techniques décrites dans les sections 4.4.5.1, 4.7.8, 4.7.12 et dont il est fait référence dans la section 4.10 et de la réutiliser dans un procédé de traitement adapté (voir section 5.1.5.1)
- d'éviter les besoins de rinçage entre les activités consécutives en utilisant des produits chimiques adéquats (voir section 4.6.2).

5.1.5.2 Réduction de l'apport par entraînement

Sur les nouvelles chaînes ou lors de la modernisation de ces dernières, les MTD incitent à réduire la perte par entraînement d'eau en excès provenant de l'étape de rinçage précédente grâce à l'utilisation d'une cuve d'éco-rinçage (ou de pré-trempage), voir section 4.5. L'accumulation de particules peut être régulée jusqu'à obtenir le niveau de qualité requis grâce à un système de filtration.

Ceci permet également de contribuer à la réduction des pertes par entraînement, conjointement avec d'autres techniques de réduction du rinçage et des pertes par entraînement (voir les sections 4.7.4, 4.7.11, 4.7.12 et 5.1.5.3).

Le système d'éco-rinçage (pré-trempage) ne peut être utilisé :

- lorsque cette étape engendre des problèmes avec les traitements ultérieurs (tel qu'un pré-revêtement métallique chimique partiel)
- sur les chaînes à carrousel, les chaînes de revêtement en bande ou de bobine à bobine
- lors des étapes d'attaque chimique ou de dégraissage
- sur les chaînes de nickelage, du fait d'un accroissement des problèmes de qualité
- pour l'anodisation, car une partie du matériau est éliminé du substrat (non ajouté).

5.1.5.3 Réduction des pertes par entraînement

Les MTD comprennent l'utilisation d'une ou plusieurs techniques décrites dans cette

section et les sections 5.2.2, 5.2.3 et 5.2.4 afin de minimiser les pertes par entraînement de matériaux provenant d'une solution de traitement (voir section 4.6).

Il existe des exceptions :

- lors de l'application d'une MTD alternative rendant superflue la réduction des pertes par entraînement :
  - lorsque des systèmes chimiques séquentiels sont compatibles (voir section 5.1.5.1)
  - après un éco-rinçage (pré-trempage, voir section 5.1.5.2)
- lorsque la réaction se produisant au niveau des surfaces nécessite un arrêt par dilution rapide au cours de :
  (il s'agit des mêmes exceptions que celles présentées dans la section 5.1.5.4 concernant la réduction du taux de rinçage)
  - la passivation au chrome hexavalent
  - la gravure, l'azurage et le colmatage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages
  - l'immersion dans du zincate
  - le décapage
  - le pré-trempage lors de l'activation de matières plastiques
  - l'activation avant chromage
  - l'éclaircissement des couleurs après zingage alcalin
- pour la phase d'égouttage, lorsqu'un retard provoque la désactivation de, ou endommage la surface entre les traitements, comme par exemple entre un nickelage suivi d'un chromage.

5.1.5.3.1 Réduction de la viscosité

La réduction de la viscosité par l'optimisation des propriétés de la solution de traitement entre dans la catégorie des MTD (voir section 4.6.5) telle que :

- la diminution de la concentration en produits chimiques ou l'utilisation de traitements à faible concentration
- l'ajout d'agents mouillants
- la garantie que les produits chimiques de traitement ne dépassent pas les valeurs recommandées
- la garantie que la température soit optimisée selon la plage du traitement et la conductivité requise.

5.1.5.4 Rinçage

La réduction de la consommation d'eau par l'utilisation du rinçage à étape multiple fait partie des MTD (voir section 4.7.10).

L'éco-rinçage (pré-trempage, voir section 5.1.5.2) peut être combiné à d'autres phases de rinçage afin d'accroître l'efficacité du système de rinçage par étape multiple, voir section 4.7.11.

La valeur de référence concernant les eaux évacuées de la chaîne de traitement mettant en œuvre une combinaison de MTD afin de minimiser l'utilisation d'eau est de 3 à 20 l/m^2/étape de rinçage. Les étapes de rinçage et le calcul sont décrits dans la section 4.1.3.1. La valeur peut être calculée en fonction d'autres facteurs disponibles ~~de~~ (tel que le poids du métal déposé, le poids du substrat produit, etc.) au niveau des

installations individuelles.

Les valeurs qui se situent vers la limite inférieure de la plage peuvent être obtenues à la fois dans les installations neuves et les installations existantes à l'aide de techniques décrites dans les sections 4.7 et 4.10.

Les techniques de pulvérisation (voir section 4.7.5) sont de première importance lorsque l'on souhaite parvenir au niveau le plus bas de cette plage.

Les installations produisant des cartes de circuits imprimés obtiennent en règle générale des valeurs supérieures à cette gamme qui peuvent être de l'ordre de 20 à 25 l/m^2/étape de rinçage voire supérieures. Cependant, des réductions de volume peuvent être limitées par des exigences élevées de qualité.

La conservation des matériaux de traitement par réinjection des eaux de rinçage de la première étape de rinçage vers la solution de traitement (voir section 5.1.6.3, ainsi que la section 5.1.6.1) est considérée comme MTD.

Les réductions de rejet d'eau jusqu'aux valeurs limites inférieures de ces plages peuvent être limitées, pour des raisons environnementales locales, par des concentrations de :

- bore ;
- fluorure ;
- sulfate ;
- chlorure.

Les effets d'interaction liés aux milieux générant une augmentation de la consommation d'énergie et de produits chimiques utilisés pour traiter ces substances surpassent les bénéfices tirés de la diminution de rejet d'eau allant jusqu'à la partie inférieure de la plage.

Les exceptions à la réduction de la consommation d'eau grâce à cette technique sont :

- lorsque la réaction au niveau des surfaces nécessite des arrêts par dilution rapide comme pour :
  - la passivation au chrome hexavalent,
  - la gravure, l'azurage et le colmatage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages,
  - l'immersion dans du zincate,
  - le décapage,
  - le pré-trempage lors de l'activation de matière plastique,
  - l'activation avant chromage,
  - les bains d'éclaircissement de couleur après zingage basique ;
- lorsqu'une perte de qualité est provoquée par un rinçage trop important (remarque : cette exception ne s'applique pas à la section 5.1.5.3).

5.1.6 Récupération de matériaux et gestion des déchets

Une MTD implique :

- la prévention ;
- la réduction ;

- la réutilisation, le recyclage et la récupération.

Parmi ces trois objectifs, la prévention et la réduction de toute perte de matériau sont prioritaires. La perte simultanée de composants à la fois métalliques et non métalliques peut être éliminée ou réduite de manière significative grâce à l'utilisation d'une MTD dans les procédés de production (voir les sections ci-dessous et les sections 4.6, 4.7, 4.7.8, 4.7.10, 4.7.11 et 4.7.12).

Les métaux contenus dans les boues peuvent être récupérés en dehors du site, voir section .

Le GTT a étudié le rendement en matériau donné dans la section 3.2.3, et les niveaux dérivés donnés dans le tableau 5.1 pour certains traitements qui sont associés à diverses techniques présentées dans cette section 5.1.6.

Procédés de traitement de surface	Rendement de l'utilisation des matériaux en cours de traitement en %
Zingage	70 % avec passivation (tous traitements) 80 % sans passivation (tous traitements)
	95 % pour le revêtement en bande
Nickelage électrolytique (en cycle fermé)	95 %
Nickelage électrolytique (en cycle ouvert)	80 à 85 %
Cuivrage (traitement cyanuré)	95 %
Cuivrage (cycle ouvert)	95 %
Chromage hexavalent (circuit fermé)	95 %
Chromage hexavalent (circuit ouvert)	80 à 90 %
Revêtement métallique de métaux précieux	98 %
Cadmiage	99 %

Tableau 5.1 : Niveaux appropriés de rendement en matériaux en cours de traitement

5.1.6.1 Prévention et réduction

Une MTD est mise en œuvre afin d'empêcher la perte simultanée de métaux et d'autres matières premières, car, qu'ils soient métalliques ou non métalliques, ces deux types de composants sont retenus. Pour y parvenir, différents procédés sont envisageables tels que la réduction et la gestion des pertes par entraînement, décrits dans les sections 4.6 et 5.1.5.3 et l'accroissement de la récupération des pertes par entraînement, décrit dans la section 4.7, 7.7.11 et mentionné dans la section 4.10, appliquant l'utilisation de l'échange ionique, de membrane, de l'évaporation et d'autres techniques qui permettent à la fois de concentrer et de réutiliser les pertes par entraînement et de recycler les eaux de rinçage.

Une MTD envisage d'empêcher les pertes de matériaux provoquées par le surdosage. Pour y remédier, il est nécessaire de :

- surveiller la concentration en produits chimiques du traitement ;
- enregistrer et évaluer comparativement les utilisations (voir section 5.1.1.4) ;
- faire état des écarts par rapport aux valeurs de référence à la personne responsable et effectuer les ajustements le cas échéant, afin de maintenir la solution dans des valeurs limites optimum.

Le meilleur moyen d'y parvenir est d'utiliser un moyen de contrôle analytique (généralement sous forme de contrôle statistique de procédé CSP) et un dosage automatisé (voir section 4.8.1).

5.1.6.2 Réutilisation

La récupération du métal sous forme de matériau anodique passant par l'utilisation des techniques décrites dans la section 4.12 et combinée à la récupération des pertes par entraînement fait partie des MTD (section 4.7 et sections 5.1.6.4 et 5.1.6.3). Cette dernière contribue beaucoup à la réduction de l'utilisation d'eau et à la récupération d'eau pour des étapes de rinçage supplémentaires.

5.1.6.3 Récupération des matériaux et fonctionnement en circuit fermé

La conservation des matériaux de traitement par réinjection de l'eau de rinçage provenant du premier rinçage dans la solution de traitement est une MTD. Un ensemble de techniques décrites dans les sections 4.7, 4.7.8, 4.7.10 et 4.7.12 permet d'y parvenir. L'entretien de la solution peut être accru, bien que la majorité des systèmes modernes exige déjà un entretien approfondi (souvent sur la chaîne même). Les procédés appropriés au contrôle des accumulations de métaux sont examinés dans la section 5.1.6.5, et d'autres procédés d'entretien sont donnés dans la section 5.1.7.

Lorsque tous les matériaux sont récupérés dans l'eau de rinçage, un cycle fermé est obtenu pour ce traitement sur la chaîne de traitement (voir section 4.7.11). Le fonctionnement en circuit fermé fait référence à une composition chimique de traitement au sein de la chaîne de traitement, et non à la totalité des chaînes ou des installations.

Une MTD s'intéresse au fonctionnement en cycle fermé des matériaux tels que :

- le chrome dur hexavalent ;
- le cadmium.

Le fonctionnement en circuit fermé de produits chimiques de traitement peut être obtenu par l'application d'un ensemble approprié de techniques telles que : le rinçage en cascade, l'échange d'ions, les techniques membranaires, l'évaporation (voir section 4.7.11).

Un fonctionnement en circuit fermé ne signifie par un rejet zéro : de faibles rejets peuvent se produire en provenance des processus de traitement appliqués à la solution de traitement et au circuit d'eau de traitement (en provenance, par exemple de la régénération de l'échange ionique). Il peut s'avérer impossible de maintenir le circuit fermé au cours des périodes d'entretien. Des déchets et des dégagements de gaz/vapeur vont également être produits. D'autres évacuations peuvent également provenir d'autres parties de la chaîne de traitement.

Le fonctionnement en circuit fermé permet d'obtenir un taux d'utilisation des matières premières élevé et permet en particulier de :

- réduire l'utilisation (donc le coût) des matières premières et de l'eau ;
- parvenir à des valeurs limites d'émission faible en tant que technique de traitement ponctuel
- ~~de~~ réduire la nécessité de traitement des eaux résiduaires en fin de cycle (par exemple, élimination du nickel en contact avec un effluent contenant du cyanure) ;
- réduire l'utilisation globale d'énergie lorsque cette technique est utilisée conjointement avec un système d'évaporation afin de remplacer les systèmes de refroidissement ;
- réduire l'utilisation de produits chimiques destinés au traitement des matériaux

récupérés qui seraient, autrement, évacués dans les eaux résiduaires ;
- réduire la perte des matériaux persistants tels que le PFOS dans le cas où cette substance est utilisée.

Le fonctionnement en circuit fermé a été mis en œuvre de manière réussie sur quelques substrats pour :

- les métaux précieux ;
- le cadmium ;
- le nickelage au tonneau ;
- le cuivrage, le nickelage et le chromage hexavalent pour le revêtement métallique décoratif sur montage ;
- le chromage hexavalent décoratif ;
- le chromage hexavalent dur ;
- l'attaque chimique du cuivre déposé sur les cartes de circuits imprimés.

Voir la section 4.7.11 pour obtenir plus de détails ; pour le nickelage (avec l'utilisation de l'osmose inverse) voir section 4.7.11.5 ; et pour le chromage (avec l'utilisation d'un système d'évaporation) voir section 4.7.11.6.

5.1.6.4 Recyclage et récupération

Après avoir appliqué des techniques de prévention et de réduction des pertes (voir section 5.1.6.4 ci-dessus), les MTD s'intéressent à (voir section 4.17.3) :

- identifier et séparer les déchets et les eaux résiduaires soit au niveau de l'étape de traitement soit au cours du traitement des eaux résiduaires afin de faciliter la récupération ou la réutilisation ;
- récupérer et/ou recycler des métaux provenant des eaux résiduaires comme le décrivent les sections 4.12 et 4.15.7 ;
- permettre la réutilisation externe des matériaux, lorsque la qualité et la quantité produites le permettent, comme par exemple utiliser l'hydroxyde d'aluminium en suspension des traitements de surface de l'aluminium pour précipiter le phosphate contenu dans les effluents en fin de course au niveau des installations de traitement des eaux résiduaires municipales ;
- récupérer les matériaux de manière externe, tels que les acides phosphoriques et chromiques, les solutions de gravure usées, etc. ;
- récupérer les métaux en dehors de la chaîne.

Le rendement global peut s'accroître grâce au recyclage réalisé par des prestataires en externe. Cependant, le GTT n'a pas validé les services proposés par des entreprises tierces notamment au niveau de leurs effets d'interaction liés aux milieux ou de leur propre rendement de recyclage.

5.1.6.5 Autres techniques destinées à optimiser l'utilisation des matières premières

Différents rendements d'électrode
Concernant le dépôt électrolytique, dans lequel le rendement anodique est supérieur au rendement cathodique et la concentration en métaux est en constante augmentation, une MTD va chercher à contrôler la concentration du métal selon la composition électrochimique (voir section 4.8.2) grâce à :

- une dissolution externe du métal, avec dépôt électrolytique à l'aide d'anodes inertes. Actuellement, l'application principale de cette technique concerne le zingage alcalin sans cyanure ;
- un remplacement de certaines des anodes solubles par des anodes à membrane et un circuit de courant supplémentaire et un dispositif de commande séparé. Les anodes à membrane peuvent se casser, et cette technique peut être impossible à utiliser par les installations de sous-traitance de revêtement métallique, dans lesquelles les formes et les tailles des parties à métalliser changent continuellement (elles pourraient entrer en contact avec les membranes et les casser) ;
- une utilisation d'anodes insolubles lorsque la technique est éprouvée.

5.1.7 Entretien général de la solution de traitement

Une MTD cherche à accroître la durée d'utilisation du bain de traitement ainsi qu'à entretenir la qualité des produits, en particulier lorsque les systèmes fonctionnent quasiment ou effectivement en cycle fermé avec leurs matériaux (voir section 5.1.6.3) en :

- déterminant des paramètres de contrôle essentiels
- en les maintenant dans des limites établies acceptables pour l'élimination de polluants.

Des processus correspondants sont décrits dans les sections 4.10 et 4.11.

5.1.8 Emissions dans les eaux résiduaires

Une vue d'ensemble des techniques disponibles est proposée dans la section 4.16. Les MTD spécifiques au traitement des eaux résiduaires et à leur évacuation sont présentées ci-dessous.

5.1.8.1 Minimisation des flux et des matériaux à traiter

Les MTD cherchent à minimiser toute l'utilisation de l'eau dans tous les traitements, néanmoins, il existe des endroits où la réduction de l'utilisation de l'eau peut être limitée par un accroissement de la ou des concentrations en anions difficiles à traiter, voir section 5.1.5.

Les MTD sont mises en place afin d'éliminer ou de minimiser l'utilisation et les pertes de matériaux, en particulier des substances prioritaires, voir les sections 4.6 et 4.7 (voir également la section 5.1.6.3 concernant les techniques d'utilisation de l'eau et des matières premières afin d'obtenir un fonctionnement en circuit fermé intégrant ces matériaux.).La section 5.2.5 présente des produits de substitution et/ou des moyens de contrôle de certaines substances dangereuses.

5.1.8.2 Essais, identification et séparation des flux posant problème

Les MTD sont utilisées lors du changement de type ou de source de solution de produits chimiques et avant leur utilisation dans la production afin de tester leur impact sur les systèmes de traitement des eaux résiduaires existants (en interne) (voir section 4.16.1). Si le test permet de mettre en lumière un quelconque problème, deux options sont envisageables :

- le rejet de la solution

ou

- le changement du système de traitement des eaux résiduaires afin de traiter le problème.

Les MTD sont développées pour identifier, séparer et traiter des flux connus comme posant problème lorsqu'ils sont combinés à d'autres flux (voir section 4.16.1 et 4.16.2) tels que :

- les huiles et les graisses (voir section 4.16.3) ;
- le cyanure (voir section 4.16.4) ;
- le nitrite (voir section 4.16.5) ;
- les chromates (CrVI) (voir section 4.16.6) ;
- les agents complexants (voir section 4.16.8) ;
- le cadmium (remarque : bien que la recommandation PARCOM [12, PARCOM, 1992] conseille de séparer les flux de cadmium pour leur traitement, les MTD envisagent l'exploitation des traitements au cadmium en cycle fermé, sans rejet vers l'eau, voir section 5.1.6.3).

5.1.8.3 Évacuation des eaux résiduaires

La surveillance et l'évacuation des eaux résiduaires selon la section 4.16.13 fait partie des MTD.

Les niveaux d'émissions indiqués dans le tableau 5.2 ont été obtenus dans un échantillon d'installation de traitement de surface. Ils ont été établis grâce à la section 3.3.1 et au tableau 3.20. Il est indiqué les niveaux pouvant être obtenus grâce à l'utilisation d'une combinaison de MTD mettant en œuvre plusieurs techniques appliquées en cours de traitement. Elles sont décrites dans les sections 4.5 à 4.12 et la section 4.16 ainsi que dans le BREF concernant le traitement/gestion des eaux résiduaires et des gaz résiduaires [87, EIPPCB,]. Les MTD destinées à remplacer les substances et les traitements afin de les rendre moins dangereux sont données dans la section 5.2.5 et examinées dans la section 4.9.

Dans le cadre d'une installation particulière, ces niveaux de concentration devraient être envisagés conjointement avec les charges émises par l'installation, les spécifications techniques de l'installation, par exemple, la production, ainsi que d'autres MTD, tout particulièrement les mesures destinées à réduire la consommation d'eau. On remarquera en particulier que des mesures destinées à réduire le flux permettent de réduire une charge, jusqu'à un niveau auquel l'augmentation de la concentration en sels dissous accroît la solubilité de certains métaux, tels que le zinc (voir les sections 3.3.1 et 5.1.5.1).

On voit dans la section 3.3.1 que, bien que des valeurs correspondant aux limites inférieures de ces intervalles soient régulièrement atteintes dans certaines installations, le succès n'est pas garanti pour la totalité d'une installation fonctionnant normalement.

Les MTD peuvent s'attacher à optimiser un paramètre, mais les autres paramètres pourraient ne pas fournir des valeurs optimales (par exemple, la floculation et la décantation des métaux dans le traitement des eaux résiduaires ne peut être optimisée pour des métaux individuels). Ceci signifie que les valeurs les plus basses des gammes

ne peuvent toutes être satisfaites au même moment. Dans des cas particuliers liés au site ou à la substance, un ou des traitement(s) séparé(s) peuvent être nécessaires.

Les MTD associées aux valeurs d'émission sont préconisées sur des échantillons composites quotidiens.

Remarque : seules les substances pertinentes (c'est-à-dire, celles utilisées et apparaissant dans le procédé de traitement) s'appliquent aux installations individuelles.

Niveaux d'émission associés à certaines installations utilisant diverses MTD Ces valeurs proviennent de prélèvements composites effectués quotidiennement, non filtrés avant analyse et réalisés après traitement et avant une quelconque dilution, par exemple par de l'eau de refroidissement, d'autres eaux de traitement ou des eaux réceptrices.				
	Traitement sur support, au tonneau, en bande à petite échelle, du secteur automobile, des cartes à circuits imprimés et d'autres activités n'utilisant pas de bande d'acier à grande échelle		**Revêtement de bande d'acier à grande échelle**	
Toutes les valeurs sont en mg/l	**Évacuation vers le réseau d'égout public (EP) ou vers les eaux de surface (ES)**	**Déterminants supplémentaires applicables uniquement à l'évacuation des eaux de surface (ES)**	**Etain ou fer chromé**	**Zn ou Zn-Ni**
Ag	0,1 - 0,5			
Al		1 - 10		
Cd	0,1 - 0,2			
CN libre	0,01 - 0,2			
Cr(VI)	0,1 - 0,2		0,0001 - 0,01	
Cr total	0,1 - 2,0		0,03 - 1,0	
Cu	0,2 - 2,0			
F		10 - 20		
Fe		0,1 – à 5	2 – à 10	
Ni	0,2 – à 2,0			
Phosphate sous forme P		0,5 – à 10		
Pb	0,05 – à 0,5			
Sn	0,2 – à 2		0,03 – à 1,0	
Zn	0,2 – à 2,0		0,02 – à 0,2	0,2 – à 2,2
COD		100 – à 500	120 – à 200	
HC Total		1 – à 5		
VOX		0,1 – à 0,5		
Solides en suspension		5 – à 30	4 – à 40 (uniquement les eaux de surface)	

Tableau 5.2: Plage de valeurs d'émission évacuées dans l'eau associées à certaines MTD pour des installations spécifiques.

5.1.8.4 Techniques « rejet zéro »

Une installation entière peut espérer obtenir un rejet zéro, sur la base d'un ensemble de techniques examinées dans la section 4.16.12.

Le rejet zéro ne constitue pas une MTD, car elle implique en général une consommation énergétique élevée et peut engendrer la production de déchets difficile à éliminer. La combinaison de techniques nécessaires pour parvenir au rejet zéro implique également des coûts en investissement et des frais d'exploitation élevés. Ces techniques sont utilisées dans des cas isolés pour des raisons particulières.

5.1.9 Déchets

Les MTD destinées à minimiser la production des déchets sont présentées dans la section 5.1.5 et les MTD concernant la récupération des matériaux et la gestion des déchets dans la section 5.1.6.

5.1.10 Emissions atmosphériques

Pour les émissions de COV provenant de l'équipement de dégraissage à vapeur, par exemple, le trichloroéthylène et le chlorure de méthylène, il faut consulter les documents de référence concernant les solvants utilisés dans le traitement de surface [90, EIPPCB,] et le traitement/gestion des gaz résiduaires et des eaux résiduaires dans le secteur chimique [87, EIPPCB,] ainsi que la directive concernant les émissions de solvants [97, CE, 1999].

Le tableau 5.3 énumère les substances et/ou les activités dont les émissions fugaces peuvent avoir des impacts environnementaux locaux et les conditions dans lesquelles la mise en place d'un système d'extraction d'air est nécessaire. Dans certains cas, elles sont liées à la santé et à la sécurité sur le lieu de travail.

D'autres traitements peuvent également nécessiter la mise en œuvre d'un système d'extraction, et des descriptions de traitements individuels sont présentées dans les chapitres 2 et 4.

Lorsqu'un système d'extraction est développé, les MTD incitent à l'utilisation des techniques décrites dans la section 4.18.3 afin de minimiser la quantité d'air rejetée.

Type de solution ou activité	Solutions nécessitant la mise en place d'un système d'extraction	
Dans tous les cas :		
Cyanure		
Cadmium		
Chrome hexavalent doté d'un des attributs suivants ou de plusieurs de ces derniers	• solutions de dépôt électrolytique • chauffée ou à auto-échauffement • agitée par air	
Solutions de nickel	Lorsque agitées par air	
Ammoniac	Solutions émettant de l'ammoniac, soit lorsque l'ammoniac est un composant soit un produit de décomposition	
Activités productrices de poussière telles que le polissage et le travail à la bande abrasive		
Utilisation d'anodes insolubles	Toutes : de l'hydrogène et/ou de l'oxygène sont formés, risque d'explosion	
Solutions acides		
	Solutions ne nécessitant pas la mise en œuvre d'un système d'extraction	**Solutions nécessitant la mise en œuvre d'un système d'extraction**
Procédés à l'acide nitrique avec émissions de NOX		Les procédés de traitement de surface du métal susceptibles d'entraîner l'émission dans l'air d'un quelconque oxyde d'azote acidifiant comprennent : • un azurage chimique d'aluminium • le décapage brillant ou polissage chimique des alliages de cuivre • le décapage à l'aide d'acide nitrique, qui peut également contenir de l'acide fluorhydrique • le nettoyage in situ à l'aide d'acide nitrique • le démétallisation chimique à l'aide d'acide nitrique
Décapage et démétallisation à l'aide d'acide chlorhydrique	Acide chlorhydrique utilisé à températures ambiantes et à des niveaux de concentrations de qualité technique inférieurs à 50 % v/v avec de l'eau ne génère pas la formation de gaz ou de vapeur HCl qui nécessite la mise en œuvre d'un système d'extraction pour des raisons de santé et de sécurité	L'acide chlorhydrique utilisé à des niveaux de concentrations supérieurs et/ou à des températures élevées génère des émissions significatifs de gaz ou de vapeur d'HCl qui nécessitent la mise en place d'un système d'extraction pour des raisons de santé et de sécurité et pour empêcher la corrosion sur le lieu de travail. (La qualité technique est de l'ordre de 31 à 36 % d'HCl, donc, une dilution de 50 % équivaut à une solution contenant environ 15 à 18 % d'HCl. Les solutions présentant un niveau supérieur à celui-ci exigent la mise en place d'un système d'extraction).
Décapage et démétallisation à l'aide d'acide sulfurique	L'acide sulfurique utilisé à des températures inférieures à 60°C ne génère pas habituellement de brumes acides qui nécessiteraient la mise en place d'un système d'extraction pour des raisons de santé et de sécurité	L'acide sulfurique utilisé à des températures supérieures à 60°C engendre des émissions d'aérosols fins d'acide qui nécessitent la mise en place d'un système d'extraction pour des raisons de santé et de sécurité et pour ~~d~~empêcher la corrosion des installations du lieu de travail
Décapage à l'acide fluorhydrique		Dans tous les cas
Solutions alcalines		
Nettoyage aqueux alcalin	Des produits chimiques de nettoyage alcalin ne sont pas volatiles et n'engendrent pas la nécessite de mettre en place un système d'extraction des fumées pour des raisons de santé et de sécurité ou de protection de l'environnement local	Les cuves de nettoyage alcalines fonctionnant à des températures supérieures à 60°C peuvent entraîner la production de quantités significatives de vapeur d'eau qui peuvent être extraites pour le confort de et pour empêcher la corrosion

Tableau 5.3: Solutions et activités pouvant nécessiter la prévention d'émissions fugaces

Les niveaux d'émission présentés dans le tableau 5.4 sont obtenus pour un échantillon d'installations de traitement de surface. Ils proviennent de la section 3.3.3 et du tableau 3.28 et servent de base indicative pour les résultats pouvant être obtenus grâce à l'utilisation d'une combinaison de techniques en cours de traitement décrite dans la section 4.18 et dans le BREF concernant le traitement/gestion des gaz et des eaux résiduaires [87, EIPPCB,]. Les MTD relatives à la substitution des substances et des traitements utilisés par des substances et des traitements moins dangereux sont présentées dans la section 5.2.5 et examinées dans la section 4.9.

Emissions mg/Nm ^{3}	Plages d'émissions pour les installations mg/Nm^3	Plages d'émissions pour des activités de traitement de bobine d'acier à grande échelle mg/Nm^3	Techniques utilisées pour satisfaire les exigences environnementales locales associées aux plages d'émissions
Oxydes d'azote (acide total sous forme de NO_2)	<5 - à 500	dnc	Les épurateurs ou les tours d'adsorption permettent, en général, d'obtenir des valeurs inférieures à environ 200 mg/l voire inférieures avec des épurateurs alcalins
Fluorure d'hydrogène	<0,1 - à 2	dnc	Epurateur alcalin
Chlorure d'hydrogène	<0,3 - à 30	Traitement à l'étain ou au chrome (ECCS) 25 - à 30	Epurateur à l'eau *Voir la remarque 2*
SO_x sous forme de SO_2	1,0 - à 10	dnc	Tour à garnissage à contre courant avec épurateur alcalin final
Ammoniac sous forme N-NH_3	0,1 - à 10 Remarque : les données concernent le nickelage auto catalytique. Pas de données concernant la fabrication de cartes de circuits imprimés	dnc	Epurateur par voie humide
Cyanure d'hydrogène	0,1 - à 3,0	dnc	Pas d'agitation par air Traitement à basse température Traitement sans cyanure Les valeurs inférieures de la gamme peuvent être obtenues en utilisant un épurateur alcalin
Zinc	<0,01 - à 0,5	Traitement au zinc ou au zinc-nickel 0,2 - à 2,5	Epurateur à l'eau *Voir la remarque 2*
Cuivre	<0,01 - à 0,02	dnc	*Voir la remarque 2*
CrVI et composés comme le chrome	Cr(VI) <0,01 - à 0,2 Cr total <0,1 - à 0,2	dnc	Substitution du Cr(VI) par du Cr(III) ou des techniques sans chrome (voir section 5.2.5.7) Dévésiculeur Epurateurs ou tour d'adsorption
Ni et ses composés comme le nickel	<0,01 - à 0,1	dnc	Condensation dans un échangeur thermique Epurateur à l'eau ou alcalin Filtration *Voir la remarque 2*
Matières particulaires	<5 - à 30	Traitement à l'étain ou au chrome(ECCS) 1 - à 20	Pour les particules sèches, un traitement peut être nécessaire afin de parvenir aux valeurs inférieures de la plage, par exemple : Epurateur par voie humide Cyclone Filtration Pour les traitements par voie humide, des épurateurs par voie humide ou alcalins permettent de parvenir aux valeurs inférieures de la plage *Voir la remarque 2*
Remarque 1: dnc = *données non communiquées* *Remarque 2: dans certaines circonstances, certains opérateurs parviennent à obtenir des valeurs correspondantes aux gammes présentées sans traitement au point de évacuation*			

Tableau 5.4 : Plages d'émissions atmosphériques indicatives obtenues dans certaines installations

5.1.11 Bruit

Les MTD permettent d'identifier les principales sources de nuisances sonores et les zones éventuellement touchées dans la communauté locale. Les MTD cherchent à réduire les nuisances sonores lorsque leurs effets sont importants par l'utilisation de mesures de régulation appropriées (voir section 4.19), tel que :

- un fonctionnement efficace de l'installation, par exemple :
  - la fermeture des portes de service,
  - la minimisation des livraisons et l'ajustement des horaires de livraison, voir section 4.18,
- les mesures de contrôle technique telles que l'installation de dispositifs anti-bruit près des ventilateurs de taille importante, l'utilisation d'enceintes acoustiques lorsque ceci est réalisable, pour un équipement dont les niveaux de bruit sont tonales ou élevés, etc.

5.1.12 Protection des eaux souterraines et mise à l'arrêt définitif d'un site

Les MTD sont destinées à protéger les eaux souterraines et à contribuer à la mise à l'arrêt du site grâce aux mesures suivantes :

- envisager la mise à l'arrêt définitif du site au cours de la conception ou de la modernisation de l'installation, voir section 4.1.1 (h) ;
- entreposer les matériaux sur site au sein de zones confinées en utilisant les techniques décrites dans la section 5.1.2 concernant les nouveaux projets, la prévention des accidents et les opérations de manutention ;
- conserver l'historique (jusqu'à une date connue la plus ancienne possible) des produits chimiques prioritaires et dangereux utilisés dans l'installation, et les endroits où ils ont été utilisés et stockés (voir section 4.1.1) ;
- mettre à jour ces informations de manière annuelle, conformément au SME (voir section 4.1.1) ;
- utiliser les informations acquises pour aider à la fermeture de l'installation, l'élimination de certains équipements, bâtiments et résidus des sites, voir section 4.1.1 (h) ;
- Mettre en place une action corrective en cas d'une éventuelle contamination des eaux souterraines ou des sols (voir section 4.1.1).

5.2 MTD destinée à des traitements spécifiques

Les MTD générales de la section 5.1 s'appliquent aux chaînes de traitement sur support, au tonneau et manuelles. Les MTD spécifiques suivantes s'appliquent également à ces types de traitement.

5.2.1 Mise sur support

Sur les chaînes de traitement sur support (montage), les MTD s'appliquent afin d'agencer la mise sur support dans le but de minimiser la perte des pièces de fabrication et de maximiser le rendement en courant, voir section 4.3.3.

5.2.2 Chaîne de traitement sur support – réduction des pertes par entraînement

Les MTD sont développées afin d'empêcher les pertes par entraînement des solutions de traitement sur les chaînes de traitement sur support grâce à une combinaison des techniques suivantes (voir section 4.6.3 et les références individuelles) :

- agencer les pièces de fabrication afin d'éviter la rétention des solutions de traitement en la plaçant sur le support selon un angle particulier et en retournant les composants de forme hémisphérique lors de l'opération ;
- maximiser la durée d'égouttage lors du retrait des supports. Le tableau 4.2 présente des valeurs de référence, à titre indicatif, de l'égouttage des supports. Cette phase sera limitée par :
  - le type de solution de traitement,
  - la qualité requise (de longues durées d'égouttage peuvent entraîner le séchage d'une partie de la solution de traitement sur le substrat),
  - la durée d'un tour complet du dispositif de transport pour les installations ;
- l'inspection et l'entretien régulier des supports de manière à éviter l'apparition de fissures ou de rayures pouvant retenir la solution de traitement, et de manière à ce que les revêtements des supports conservent leurs propriétés hydrophobes ;
- négocier avec les clients afin de fabriquer des composants dont les espaces pouvant piéger la solution de traitement soient minimes ou prévoir des trous de drainage ;
- Placer des rebords de drainage entre les réservoirs inclinés de manière à ce que la solution de traitement retourne dans la cuve de traitement ;
- Utiliser les techniques de rinçage par pulvérisation par brumisation ou par de l'air afin de réinjecter la solution de traitement en excès dans le réservoir de traitement (voir les sections 4.6.6 et 4.7.5). Cette étape peut être limitée par :
  - le type de solution de traitement,
  - la qualité requise.

Il se peut que la pulvérisation soit réalisée en excès, qu'elle engendre la formation d'aérosols de produits chimiques, et qu'un séchage trop rapide provoque des défauts d'aspect. Ces peuvent être résolus par :

- la pulvérisation dans un réservoir ou une autre enceinte ;
- l'utilisation de dispositifs de pulvérisation basse pression (rinçage par projection).

Il est possible que la bactérie Legionella infecte les aérosols. Cependant, cette infection peut être contrôlée dès la conception du système et par un entretien approprié.

5.2.3 Chaînes de traitement au tonneau - Réduction des pertes par entraînement

Les MTD cherchent à empêcher les pertes par entraînement de solutions de traitement sur les procédés au tonneau grâce à une combinaison des techniques suivantes (voir section 4.6.4) :

- la fabrication des tonneaux dans une matière plastique lisse et hydrophobe et l'inspection régulière de ces derniers à la recherche de zones usées, endommagées, de retrait ou de renflement qui pourraient retenir la solution de traitement ;

- garantir que les alésages des trous réalisés dans les corps des tonneaux ont une surface en coupe transversale suffisante par rapport à l'épaisseur requise des panneaux afin de minimiser les effets capillaires ;
- garantir que la proportion de trous situés dans les corps de tonneaux est suffisante au drainage tout en permettant de conserver la résistance mécanique
- remplacer les trous par des bouchons à maille (ceci peut, cependant, ne pas être réalisable avec des pièces de fabrication lourdes).

Lors du retrait des tonneaux, les MTD veillent à empêcher les pertes par entraînement des solutions de traitement sur les chaînes de traitement au tonneau :

- retrait lent afin de maximiser les pertes par entraînement, voir le tableau 4.13 ;
- rotation intermittente ;
- arrosage (rinçage à l'aide d'un tuyau disposé à l'intérieur du tonneau) ;
- adaptation de rebords de drainage entre les cuves inclinées afin que la solution de traitement retourne dans la cuve de traitement ;
- inclinaison du tonneau au niveau d'une extrémité lorsque ceci est réalisable.

Des valeurs indicatives concernant le drainage des tonneaux sont présentées dans le tableau 4.3

Il est à noter que, bien que ces techniques permettent de réduire les pertes par entraînement sur les chaînes de traitement au tonneau, de meilleurs résultats sont obtenus par la récupération de la solution du premier rinçage consécutif (voir les sections 5.1.5 et 5.1.6).

5.2.4 Chaînes manuelles

Sur des chaînes fonctionnant manuellement, les MTD consistent à :

- appliquer les techniques de mise sur support décrites dans les sections 4.3.3 lors d'un traitement sur support ;
- accroître le taux de récupération des pertes par entraînement grâce à l'utilisation des techniques décrites dans les sections 5.1.5, 5.1.6 ainsi que les techniques décrites dans les sections 5.2.2 et 5.2.3 ;
- disposer le support ou le tonneau sur des montages au-dessus de chaque activité afin de garantir une durée de drainage appropriée et d'accroître le rendement du rinçage par pulvérisation, voir les sections 4.7.6 et 5.1.5.4.

5.2.5 Substitution et/ou contrôle des substances dangereuses

L'utilisation de substances moins dangereuses (voir section 4.9) est, en général, une MTD~~)~~.

Des exemples spécifiques de cas dans lesquels des substances et/ou des traitements moins dangereux peuvent être utilisés sont présentés ci-dessous. Lorsqu'une substance dangereuse doit être utilisée, des techniques destinées à en minimiser l'utilisation et/ou à réduire les émissions que l'utilisation de cette substance peut engendrer sont décrites ci-dessous. Dans certains cas, ces techniques sont mises en place conjointement avec l'amélioration du rendement du traitement et/ou la minimisation de l'utilisation ou de l'émission de matériaux dans certaines activités.

5.2.5.1 EDTA

Les MTD sont mises en œuvre afin d'éviter l'utilisation d'EDTA et d'autres agents chélatants forts grâce à l'une des techniques suivantes :

- l'utilisation de substituts biodégradables tels que ceux à base d'acide gluconique (voir section 4.9.1) ;
- l'utilisation de procédés alternatifs tels que le revêtement métallique direct dans la fabrication de cartes de circuits imprimés (voir section 4.15).

Lorsque de l'EDTA est utilisé, les MTD consistent à :

- minimiser l'évacuation de cette substance car l'utilisation de techniques aboutissant à des économies d'eau et de matériaux (voir section 5.1.5 et 5.1.6)
- garantir un rejet nul d'EDTA dans les eaux résiduaires grâce à l'utilisation de techniques de traitement décrites dans la section 4.16.8.

Le cyanure est un agent chélatant fort, mais est examiné séparément dans la section 5.2.5.3.

5.2.5.2 PFOS (Sulfonate de perfluorooctane)

Les possibilités de substitution du PFOS sont limitées et la santé et la sécurité peuvent être des facteurs particulièrement importants.

Lorsque du PFOS est utilisé, les MTD sont mises en œuvre afin de minimiser leur utilisation grâce à :

- la surveillance et le contrôle des ajouts de matériaux contenant du PFOS en mesurant la tension de surface (voir section 4.9.2) ;
- minimiser les émissions atmosphériques par l'utilisation de sections d'isolation flottantes (voir section 4.4.3) ;
- réguler les émissions atmosphériques des émanations dangereuses tel que le décrit la section 4.18.

Lorsque du PFOS est utilisé, les MTD cherchent à en minimiser les émissions dans l'environnement par le biais de techniques de conservation des matériaux, comme l'utilisation du matériau en circuit fermé, voir section 5.1.6.3.

Concernant les installations d'anodisation, les MTD vont permettre l'utilisation d'agents de surface sans PFOS, voir section 4.9.2.

Dans d'autres traitements, les MTD vont chercher à supprimer progressivement l'utilisation de PFOS. Il existe des limites à ces possibilités qui sont examinées dans les sections indiquées :

- utilisation de traitements sans PFOS : en substitution du zingage électrolytique alcalin sans cyanure, section 4.9.4.2 et pour les traitements au chrome hexavalent, voir section 4.9.6 ;
- enfermer le traitement ou la cuve ~~le réservoir~~ correspondant sur des chaînes automatisées, voir les sections 4.2.3 et 4.18.2.

5.2.5.3 Cyanure

Le cyanure ne peut être remplacé dans toutes les applications, voir le tableau 4.9. Lorsque des solutions de cyanure doivent être utilisées, les MTD vont veiller à mettre

en place une technique d'utilisation des procédés au cyanure en circuit fermé, section 5.1.6.3.

Cependant, le dégraissage avec cyanure ne fait pas partie des MTD (voir les sections 4.9.5 et 4.9.14).

Lorsque l'agitation des solutions de traitement cyanurées est nécessaire, les MTD n'envisagent pas l'utilisation d'une technique d'agitation basse pression car cette dernière provoque l'accroissement de la formation de carbonate (voir section 5.1.3).

5.2.5.4 Cyanure de zinc

Les MTD implique la substitution des solutions de cyanure de zinc par l'utilisation de (voir section 4.9.4) :

- zinc acide pour un rendement énergétique optimal, des émissions environnementales réduites et pour des finitions décoratives brillantes (voir section 4.9.4.3) ;
- du zinc alcalin sans cyanure lorsque la répartition du métal est importante (voir section 4.9.4.2, il est cependant à noter que cette solution peut contenir du PFOS, voir section 5.2.5.2).

5.2.5.5 Cyanure de cuivre

La mise en place des MTD suppose la substitution du cuivrage cyanuré par le cuivrage acide ou pyrophosphate (voir section 4.9.5), sauf pour :

- pour l'amorçage du revêtement métallique sur l'acier, les pièces moulées de zinc, les alliages d'aluminium et l'aluminium ;
- lorsque l'amorçage du cuivrage sur l'acier ou d'autres surfaces est suivi d'u cuivrage.

5.2.5.6 Cadmium

Les MTD envisagent le cadmiage en boucle fermée, voir section 5.1.6.3.

Les MTD impliquent que le cadmiage soit réalisé dans des zones confinées et séparées, avec surveillance séparée des niveaux d'émission dans l'eau.

5.2.5.7 Chrome hexavalent

Le remplacement du chrome hexavalent est examiné dans la section 4.9.8 et fait l'objet d'une étude détaillée dans l'annexe 8.10 : les MTD concernant cette substitution sont décrites dans les sections suivantes. Il existe des limites générales au remplacement du chrome hexavalent, le chrome trivalent n'a pas été utilisé d'un point de vue économique dans un traitement en bande de l'acier à grande échelle et ne peut être utilisé pour des applications de chromage dur. L'utilisation de l'anodisation à l'acide chromique reste limitée principalement aux secteurs de l'aérospatiale, de l'électroniques et à d'autres applications spécialisées. Il n'existe aucun substitut à ce produit.

5.2.5.7.1 Chromage décoratif

Concernant les utilisations décoratives du chromage hexavalent les MTD envisagent le remplacement du chrome hexavalent soit :

- par le revêtement métallique de chrome trivalent. Lorsqu'une résistance accrue à la corrosion est nécessaire, elle peut être obtenue par une solution de chrome trivalent sur une couche plus épaisse de nickel sous-jacente et/ou une passivation organique (pour les solutions à base de chlorure de Cr(III), voir section 4.9.8.3, et pour les solutions à base de sulfate de Cr(III), la section 4.9.8.4) ;

~~Soit :~~

- à l'aide d'une technique n'utilisant pas de chrome, à base, par exemple, d'un alliage étain-cobalt, lorsque les spécifications le permettent (voir section 4.9.9).

Cependant, l'exploitant peut avoir des raisons d'utiliser le chrome hexavalent pour des finitions décoratives et, lorsque le client l'exige par exemple dans son cahier des charges pour :

- la couleur ;
- la résistance élevée à la corrosion ;
- la dureté ou résistance à l'usure.

Le chromage trivalent de bande d'acier à grande échelle ne fait pas partie des MTD car ce traitement n'est pas éprouvé techniquement. La composition de l'électrolyte est susceptible de réduire le rendement de revêtement métallique en deçà d'un seuil de rendement adéquat à la vitesse de la chaîne.

Des systèmes de revêtement métallique tels que ceux utilisés pour le chromage hexavalent sont un investissement important et impliquent l'acquisition d'un équipement spécifique tel les anodes~~,~~ et les solutions. Il n'est pas possible de changer aussi facilement la solution en fonction des lots de fabrication des différents clients. Cependant, afin de minimiser les quantités de chrome hexavalent utilisées, il est possible de mettre en œuvre une technique de chromage à froid (voir section 4.9.8.2) et lorsque l'exploitant dispose de plusieurs chaînes de traitement au chromage hexavalent décoratif dans la même installation, l'exploitant à la possibilité de faire fonctionner une ou plusieurs chaînes qui permettront d'obtenir des produits exigeant les qualités du chromage hexavalent et une ou plusieurs chaînes exigeant le chromage trivalent.

Lors du remplacement des solutions par une solution de chrome trivalent ou autres, les MTD impliquent la recherche d'agents complexants pouvant interférer avec le traitement des eaux résiduaires, voir section 5.1.8.2.

5.2.5.7.2 Chromage hexavalent

Lors du chromage hexavalent, les MTD veillent à :

- réduire les émissions atmosphériques à l'aide d'une technique ou d'une combinaison des techniques suivantes (voir section 4.18) :
  - couvrir la solution de revêtement métallique au cours du revêtement métallique, soit mécaniquement soit manuellement, en particulier lorsque les durées de revêtement métallique sont longues ou lorsque les solutions ne sont pas utilisées

- utiliser d'un système d'extraction d'air avec condensation des brumes dans l'évaporateur permettant de mettre en place un système de récupération des matériaux en circuit fermé. Il peut être nécessaire d'éliminer des condensats, les substances pouvant entraver le traitement de revêtement métallique avant de les réutiliser, voire les éliminer au cours de l'entretien du bain (voir section 4.7.11.6).
- concernant les chaînes de traitement récentes ou lors de la reconstruction de la chaîne de traitement et lorsque les pièces de fabrication présentent une uniformité de taille suffisante, fermer la chaîne de revêtement métallique ou la cuve de revêtement métallique (voir section 4.2)

- exploiter les solutions de chrome hexavalent sur la base d'un fonctionnement en circuit fermé (voir les sections 4.7.11.6 et la section 5.1.6.3 ci-dessus). Ce qui permet de retenir le PFOS et le Cr(VI) dans la solution de traitement.

5.2.5.7.3 Revêtements de conversion (passivation) au chrome

La Directive concernant les Véhicules Hors d'Usage et la directive LSD imposent la réduction de l'utilisation des techniques de passivation au Cr(VI) [98, CE, 2003, 99, CE, 2000]. Cependant, au moment de la préparation de ce BREF (2004), le GTT insiste sur le fait que les alternatives actuellement utilisées sont trop récentes pour que des MTD puissent en être déduites. Des techniques de passivation au chrome trivalent peuvent être utilisées mais ces dernières présentent une concentration en chrome supérieure d'un facteur 10 et exigent également un apport énergétique plus élevé. Il leur est impossible de rivaliser avec le degré supérieur de résistance à la corrosion des techniques de passivation noire, kaki ou brune obtenues avec les systèmes au Cr(VI) sans utiliser de couches de revêtement supplémentaires. Les données concernant les systèmes sans chrome restent insuffisantes et ces systèmes pourraient contenir des substances dangereuses pour l'environnement.

5.2.5.7.4 Finitions phosphochromate

Les MTD envisagent le remplacement du chrome hexavalent par des systèmes au chrome non hexavalents, voir section 4.9.12.

5.2.6 Technique de substitution du polissage et du lustrage

L'utilisation du cuivrage acide afin de remplacer le polissage et le lustrage mécanique fait partie des MTD. Cependant, ce procédé n'est pas toujours techniquement applicable. L'accroissement des coûts peut être justifié par la nécessité de mettre en place des techniques de réduction du bruit et des poussières, voir section 4.9.13.

5.2.7 Remplacement et choix du dégraissage

Les dirigeants d'entreprises de traitement de surface, en particulier les ateliers sous-traitants ou de travail à la demande ne sont pas toujours bien informés par leurs clients du type d'huile ou de graisse déposés sur la surface des pièces de fabrication ou les substrats. Les MTD impliquent d'assurer l'échange d'informations concernant le traitement précédent qu'a subi la pièce traitée par l'exploitant pour son client (voir section 4.3.2) afin de :

- minimiser la quantité d'huile ou de graisse

et/ou

- choisir les huiles, les graisses ou les systèmes qui permettent l'utilisation des systèmes de dégraissage les plus écologiques.

Lors d'une application trop abondante d'huile, les MTD impliquent l'utilisation de procédés physiques destinés à éliminer l'huile, par exemple, les techniques de centrifugation (section 4.9.14.1) ou de lames d'air (section 4.9.15). En alternative, pour des pièces de taille importante, dont la qualité est un critère essentiel et/ou d'une valeur élevée, l'essuyage à la main peut être mis en œuvre (voir section 4.9.15).

5.2.7.1 Dégraissage cyanuré

Le remplacement du dégraissage cyanuré par une/des autre(s) technique(s) fait partie des MTD, voir section 5.2.5.3 et la section 4.9.5.

5.2.7.2 Dégraissage aux solvants

Le dégraissage au solvant peut être remplacé par d'autres techniques (voir section 4.9.14 et en particulier la section 4.9.14.2), dans tous les cas, dans ce secteur, étant donné que les traitements ultérieurs sont à base d'eau et qu'aucun problème d'incompatibilité n'est posé. Des systèmes à base de solvants peuvent néanmoins être utilisés au niveau d'une installation pour des raisons particulières comme telles que :

- lorsqu'un système à base d'eau peut endommager la surface en cours de traitement ;
- lorsqu'un client particulier exige un niveau spécifique de qualité.

5.2.7.3 Dégraissage aqueux

Les MTD sont destinées à réduire l'utilisation de produits chimiques et la consommation énergétique dans les systèmes de dégraissage aqueux par l'utilisation de systèmes longue durée avec régénération de la solution et/ou entretien en continu, que ce soit en dehors de la chaîne ou en direct (voir les sections 4.9.14.4, et 4.11.13).

5.2.7.4 Dégraissage hautes performances

En ce qui concerne les exigences de nettoyage et de dégraissage hautes performances, les MTD incitent à l'utilisation soit d'une combinaison de techniques (voir section 4.9.14.9) soit de techniques spécialisées telles que le nettoyage à la glace carbonique ou aux ultrasons (voir les sections 4.9.14.6 et 4.9.14.7).

5.2.8 Entretien des solutions de dégraissage

Afin de réduire les quantités des matériaux utilisés et la consommation énergétique, les MTD impliquent l'utilisation d'une combinaison de techniques destinées à l'entretien et à l'allongement de la durée d'utilisation des solutions de dégraissage. Les techniques appropriées sont présentées dans la section 4.11.13.

5.2.9 Solutions de décapage et autres solutions à l'acide fort – Techniques destinées à allonger la durée de vie des solutions et techniques de récupération

Lorsque la consommation d'acide, dans une étape de décapage, est élevée, les MTD cherchent à allonger la durée de vie de l'acide par l'utilisation d'une des techniques décrites dans la section 4.11.14, ou à allonger la durée de vie des acides de décapage électrolytique par l'utilisation d'une électrolyse afin d'éliminer les sous-produits métalliques et d'oxyder certains composés organiques (voir section 4.11.8).

La solution de décapage et d'autres acides forts peuvent également être récupérés ou réutilisés à l'extérieur de la chaîne de traitement, voir section 4.17.3 et 5.1.6.4, les techniques de récupération ne sont cependant pas dans tous les cas des MTD.

5.2.10 Récupération des solutions de chromatation au chrome hexavalent

La récupération du chrome hexavalent dans des solutions concentrées et coûteuses telles que les solutions de chromatation noire contenant de l'argent fait partie des MTD. Des techniques appropriées telles que l'échange d'ions ou des techniques d'électrolyse par membrane utilisées régulièrement par la profession sont présentées dans les sections 4.10, 4.11.10 et 4.11.11. En ce qui concerne d'autres solutions, les coûts de l'appoint en produits chimiques neufs s'élèvent uniquement à 3 – 4 euros /l.

5.2.11 Anodisation

En plus des MTD génériques, toute MTD spécifique ayant un rapport avec les traitements et les produits chimiques (décrits ci-dessous) s'applique à l'anodisation. De plus, les MTD suivantes s'appliquent spécifiquement à l'anodisation :

- récupération thermique : les MTD envisagent la récupération de chaleur provenant des bains de colmatage d'anodisation par l'utilisation d'une des techniques décrites dans la section 4.4.3 ;
- ~~La~~ récupération de la solution d'attaque chimique caustique : la récupération de la solution d'attaque chimique caustique fait partie des MTD (voir section 4.11.5) si :
  - la consommation en solution caustique est élevée,
  - aucun additif n'est utilisé afin d'empêcher la précipitation de l'alumine,
  - la surface gravée répond aux spécifications ;
- Rinçage en circuit fermé : concernant l'anodisation, les MTD n'intègrent pas l'utilisation d'un cycle fermé de l'eau de rinçage avec échange ionique, car les produits chimiques éliminés ont un impact environnemental identique et sont en quantité équivalente aux produits chimiques nécessaires à la régénération ;
- utilisation d'agents de surface sans PFOS (voir section 5.2.5.2).

5.2.12 Traitement en bande continue – bobine d'acier à grande échelle

En plus des MTD génériques décrites dans la section 5.1, toute MTD pertinente concernant les procédés de traitements et les produits chimiques (décrits ci-dessus dans les sections 5.1 et 5.2) s'applique au revêtement de bobine d'acier à grande échelle. Les MTD suivantes s'appliquent plus particulièrement au traitement en bande :

- utiliser un dispositif de contrôle du traitement en temps réel afin de garantir l'optimisation constante du traitement (voir section 4.1.5) ;
- l'utilisation de moteurs ayant un bon rendement énergétique lors du remplacement des moteurs ou lors de l'acquisition d'un nouvel équipement, de nouvelles chaînes ou de nouvelles installations (voir section 4.4.1.3) ;

- utiliser des rouleaux essoreurs destinés à empêcher les pertes par entraînement des solutions de traitement ou à empêcher la dilution des solutions de traitement par apport par entraînement d'eau de rinçage (voir section 4.6 et la section 4.14.5) ;
- commuter la polarité des électrodes dans les traitements de dégraissage électrolytiques et de décapage électrolytique à intervalles réguliers (voir section 4.8.3) ;
- minimiser l'utilisation d'huile grâce à l'utilisation d'huileurs électrostatiques couverts (voir section 4.14.16) ;
- optimiser l'intervalle anode-cathode pour les traitements électrolytiques (voir section 4.14.12) ;
- optimiser les performances du rouleau conducteur par polissage (voir section 4.14.13) ;
- utiliser des dispositifs de polissage de bord afin d'éliminer l'accumulation de métaux formés au niveau du bord de la bande (voir section 4.14.14) ;
- utiliser des masques de bord afin d'empêcher tout débordement lors du revêtement métallique d'un côté uniquement (voir section 4.14.15).

5.2.13 Cartes de circuits imprimés

En plus des MTD générales décrites dans la section 5.1, toute MTD appropriée aux traitements et aux produits chimiques (décrits ci-dessus dans les sections 5.2 et 5.3) s'applique à la production de circuits imprimés. Les MTD suivantes s'appliquent en particulier à la fabrication des cartes de circuits imprimés :

- le rinçage : lors du rinçage entre les étapes, utiliser des rouleaux essoreurs (essuyeurs) afin de réduire les pertes par entraînement, des techniques de rinçage multiples et de pulvérisation décrites pour d'autres traitements dans les sections 4.6, 4.7 et en particulier 4.7.5 ;
- la fabrication des couches internes : les changements sont rapides dans ce domaine avec les avancées technologiques dictant les spécifications émises par les clients. Utiliser des techniques à faible impact environnemental, telles que des techniques alternatives à la liaison d'oxydes, voir section 4.15.1 ;
- la réserve sèche : lors du développement de la réserve sèche (voir section 4.15.5) :
  - réduire les pertes par entraînement provoquées par le rinçage avec une solution de révélateur propre,
  - optimiser la pulvérisation du révélateur,
  - réguler les concentrations de la solution de révélateur,
  - séparer la réserve développée de l'effluent, par exemple grâce à l'ultrafiltration ;
- les attaques chimiques, de manière générale : utiliser les techniques de récupération des pertes par entraînement et de rinçages multiples décrites dans les sections 4.6 et 4.7.10. Réinjecter la première solution de rinçage dans la solution d'attaque chimique ;
- l'attaque chimique acide : surveiller la concentration en acide et en eau oxygénée de manière régulière et maintenir une concentration optimale (voir section 4.15.6) ;
- l'attaque chimique alcaline : surveiller le niveau de l'agent d'attaque chimique et du cuivre de manière régulière et maintenir une concentration optimale. Concernant la gravure ammoniacale, régénérer la solution d'attaque chimique et récupérer le cuivre tel que décrit dans la section 4.15.7 ;

- le décapage de la réserve : séparer la réserve de l'effluent par filtration, centrifugation ou ultrafiltration selon les débits de l'effluent (voir section 4.15.8) ;
- le décapage de la réserve de gravure (étain) : recueillir les eaux de rinçage et le concentré séparément. Précipiter la boue riche en étain et l'expédier afin qu'elle soit recyclée à l'extérieur de l'installation (voir section 4.15.9) ;
- l'élimination des solutions usées : de nombreuses solutions contiennent des agents complexants tels que ceux utilisés pour :
  - l'immersion ou le revêtement métallique direct,
  - les traitements d'oxydation noire ou brune pour les couches interne,

  Les MTD impliquent l'évaluation et l'élimination des substances citées selon la section 4.15.10

- La réduction des émissions atmosphériques provenant de l'application d'un masque de soudure : utiliser des résines à teneur élevée en matières solides, à faible émission de COV (voir section 4.15.11).

6 TECHNIQUES EMERGENTES POUR LE TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX ET DES MATIERES PLASTIQUES

Dans ce document, une technique émergente correspond à une technique innovante qui n'a pas encore été appliquée dans un secteur industriel quelconque ou sur une base commerciale. Ce chapitre expose les diverses techniques qui pourraient apparaître dans un futur proche et qui pourraient être applicables au traitement de surface des métaux et des matières plastiques par traitement chimique ou électrolytique.

6.1 Revêtement métallique automatisé intégré à la production

Description
Un projet d'intégration des traitements de dépôt électrolytique directement sur la chaîne de production a été initié. Ceci permettrait de minimiser les coûts de traitement et les impacts environnementaux (projet connu sous l'acronyme FIO en Allemagne).

La technologie est particulièrement adaptée aux pièces de fabrication cylindriques uniformes fabriquées en grand nombre. L'anode est alors formée de telle manière qu'elle s'adapte autour de la pièce de fabrication (la cathode), laissant un espace extrêmement réduit entre la cathode et l'anode et créant une intensité de champ extrêmement élevée. Au cours du revêtement métallique, l'anode tourne rapidement ce qui crée une turbulence dans l'électrolytique, empêchant le transport ionique dans la couche de diffusion qui est le facteur limitant.

La combinaison de ces deux facteurs permet un dépôt électrolytique rapide, le traitement peut dès lors être intégré à une chaîne de production.

Un système automatique hermétique fournit l'électrolyte et se charge de l'éliminer lorsque cette dernière est épuisée. Un système de traitement central séparé destiné aux électrolytes recyclés maintient la chaîne de production à l'abri des déchets et des eaux résiduaires. L'automatisation du traitement implique que les employés ne sont pas exposés à un quelconque produit chimique.

Bénéfices environnementaux atteints
Revêtement métallique sans production de déchets et d'eaux résiduaires sur la chaîne de traitement.
Suppression d'étapes de production à charge polluante, telles que le dégraissage et le décapage.

Effets d'interaction
Aucune donnée n'a été fournie

Applicabilité
Coopération étroite (interdépendance) entre les opérateurs et les fournisseurs de produits chimiques. Le traitement exige l'utilisation de produits chimiques spécialement conçus pour cette technologie -et tous les produits chimiques usés doivent être renvoyés auprès du fournisseur.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Les pièces de fabrication doivent être transférées de la chaîne de production vers la chaîne de revêtement métallique pour être enduites, elles sont ensuite renvoyées pour un traitement supplémentaire ou afin d'être assemblées. Ceci engendre un travail

supplémentaire, et accroît également le nombre d'étapes générant des charges polluantes, par exemple, le graissage, le dégraissage et le décapage.

Aspects économiques
Aucune donnée obtenue

Exemples d'installations
Pour le moment, la technique FIO n'est pas utilisée. Cependant, des essais pilotes ont été encouragés par le Ministère allemand des Sciences et de la Technologie :

- KVS plastics processing and service GmbH : KVS, les promoteurs et fabricants de la technique FIO, n'ont pas pu lancer leur technique sur le marché. Le problème le plus important était lié à l'interdépendance entre l'utilisateur et le fournisseur de produits chimiques. Pour certains opérateurs, le niveau de dépendance aux fournisseurs de produits chimiques est considéré comme un risque trop important ;
- Siemens corporation, Département Central Production et Logistique : l'argenture de tubes de cuivre a été intégrée au traitement de fabrication à des fins expérimentales. Malgré des débuts promoteurs la technique n'a pas été transposée au niveau de production en série car ce secteur de production a été vendue à une autre entreprise ;
- Bosch : la procédure était techniquement réalisable pour l'entreprise, cependant pour d'obscures raisons, elle n'a pas été transposée à un niveau de production en série. Des résultats partiels du projet de recherche (des technologies de recyclage quelconques) sont toujours utilisées dans l'entreprise.

Documentation de référence
BMBF Verbundvorhaben (projet commun) "traitement de surface intégré à la fabrication " (FIO) FKZ 01ZH9503; 01ZH9504/4; 01ZH95098 [104, UBA, 2003]

6.2 Substitution du chromage hexavalent par le chromage trivalent dans des applications de chromage dur par utilisation d'un courant à impulsions modifiées

Description
Le procédé exploite une solution de chromage électrolytique trivalent simplifiée à base de sulfate de chrome. La forme d'onde du courant est brevetée (brevets en instance) et comporte un courant à impulsions inversées. Le chrome a pu être déposé jusqu'à une épaisseur de 250 µm et une couche d'une épaisseur quelconque pourrait être déposée. La dureté, la vitesse de dépôt et de post-finition pour des revêtements épais sont les mêmes que ceux obtenus avec des solutions à base de chrome hexavalent. La couleur des couches minces est la même (bleu chromé) que pour le chrome hexavalent. Le traitement conserve les avantages des solutions de Cr III, tels que des concentrations plus faibles, un rendement en courant plus élevé et une tolérance au sulfate et au chlorure apportée par entraînement d'une quelconque étape de nickelage précédente. Un manque d'additifs organiques réduira ou éliminera l'étape d'entretien de la solution à l'aide de charbon actif.

	Vitesse de revêtement	Rendement en courant	Dureté (VHN*) avant post-durcissement	Séquence de traitement

	métallique µm/min			
Kit monté automobile Cr(VI)	0,8	24 %	772	• prénettoyage en 3 étapes • revêtement métallique • étape de post-traitement
Traitement au Cr(III)	1,2	30 %	777	• prénettoyage en 3 étapes • revêtement métallique • étape de post-traitement
Remarque :* VHN = Nombre de dureté Vickers (mesure de dureté) ** OEM = Original Equipment Manufacturer				

Tableau 6.1 : Comparaison du chromage dur à l'aide de la technique classique au Cr(VI) et du chromage au Cr(III) par la technique utilisant le courant à impulsions modifiées

Bénéfices environnementaux atteints
Technique qui permet de remplacer les solutions de chrome hexavalent et de réduire les traitements des gaz et des eaux résiduaires.
Les concentrations des solutions sont les mêmes que pour les compositions chimiques de Cr(III) existantes et peuvent être jusqu'à dix fois inférieures aux concentrations des solutions de Cr(VI).

Rendement en courant supérieur et donc diminution de la consommation d'énergie.

Technique n'utilisant pas d'électrolyte de chlorure et ne produisant donc pas de chlore.

Cette technique ne fait intervenir aucun additif organique afin de supprimer la formation de chlore ou une autre substance telle que le PFOS destiné à supprimer la formation de brume ou à améliorer le pouvoir couvrant, etc.

Une étape supplémentaire de développement permettra de confirmer si cette technique peut être exploitée en circuit fermé.

Effets d'interaction
Aucun

Données d'exploitation : état du développement
Le traitement a été breveté et a fait l'objet d'une vérification de pré-production dans trois projets principaux :

- un essai comparatif (par rapport à des composants plaqués au Cr(VI)) de rotors de 11" (28 cm) destinés à des pompes entrant dans le traitement de boues abrasives (telles que celles utilisées dans les activités d'exploitation minière, du pétrole et la production du ciment). Les essais sont arrivés à terme au printemps 2004 ;
- des rouleaux d'un laminoir d'acier à grande échelle. Essais achevés à l'été 2004 ;
- essais de conformité pour des spécifications militaires au travers d'un projet agréés comme technologies commerciales pour les activités de maintenance (CTMA : Commercial Technology for Maintenance Activity) impliquant le Département américain de la défense et des centres de maintenance militaires ainsi que le National Center for Manufacturing Sciences (Michigan, USA ; le CTMA favorise le développement de nouvelles techniques

permettant de réduire les risques liés à la santé, la sécurité et à l'environnement dans les applications militaires). Achevé en 2005.

Applicabilité
Le projet est destiné au remplacement total des traitements de dépôt électrolytique au Cr(VI) par des traitements de chromage dur.

Aspects économiques
Augmentation probable des coûts de fonctionnement : le système est à base de sulfate de chrome, qui est actuellement légèrement plus coûteux que la composition chimique existante au Cr(III) (un accroissement de son utilisation peut permettre de réduire le prix du marché). Cependant, aucun additif organique n'est utilisé, ce qui réduit les coûts et l'entretien. Les coûts en électricité s'élèveront probablement à la moitié des coûts actuels. Réduction de la consommation en produits chimiques de traitement de l'effluent, et réduction éventuelle de la production de déchets.

Augmentation probable des coûts d'immobilisation du capital : alimentation électrique : jusqu'au double du coût d'une alimentation classique en courant continu.

La nécessité de disposer d'un équipement de traitement des eaux résiduaires et des gaz résiduaires s'en trouve réduite.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Le développement des techniques alternatives à l'utilisation de solutions de chromage électrolytique hexavalent est imposé par la législation de la santé et de la sécurité sur le lieu de travail et la nocivité pour l'environnement (le chrome déposé sur une surface n'a pas d'effet négatif sur la santé). Voir la section 4.9.6.

Exemples d'installations
Voir les données de fonctionnement

Références
http://www.nttc.edu/resources/funding/awards/epa/pollution00/Phase2/renz.asp
http://www.newmoa.org/prevention/p2tech/ [108, NEWMOA, 2003]

6.3 Substitution des couches de conversion au chrome (VI) par des revêtements de conversion au chrome (III)

Description
La section 4.9.6 décrit les forces motrices du changement de traitement de passivation au Cr(VI). Ces dernières sont résumées dans le paragraphe **Eléments moteur** pour la mise en œuvre ci-dessous.

Bénéfices environnementaux atteints
Réduction des quantités de Cr(VI) dans les évacuations d'eaux résiduaires.

Effets d'interaction
Température de traitement et utilisation d'énergie plus élevée.
Technique qui peut nécessiter une couche organique supplémentaire (vernis).
Les agents complexants peuvent avoir des effets négatifs sur l'installation de traitement des eaux résiduaires.

Données d'exploitation
Dans un projet de recherche, financé par le Ministère des Sciences et de la recherche, SurTech GmbH a mis au point une procédure de production de couches de chrome d'une épaisseur de 300 nm sur du fer obtenues par dépôt électrolytique (procédé appelé Chromitierung). La couche de conversion est totalement exempte de chrome hexavalent et a une apparence verdâtre. Cette couleur verte (provoquée par des bandes d'interférence) disparaît après l'ajout d'une couche organique. L'épaisseur de la couche de " Chromitierung" peut être obtenue grâce à une concentration élevée de chrome dans la solution, un accroissement de la température de fonctionnement de 60°C et à l'utilisation de ligands complexes appropriés. En utilisant des pigments sombres dans la couche de conversion de la couche de "Chromitierung", une couleur noire comparable à la finition de chromatation noire au Cr(VI) peut être obtenue. Les pièces de fabrication au nickel ou au cobalt obtenues par dépôt électrolytique peuvent également être traitées avec des couches de chrome (III).

Suite aux essais en brouillard salin, la protection contre la corrosion des deux systèmes est approximativement identique.

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Le développement d'alternatives à l'utilisation de solutions de dépôt électrolytique au chrome hexavalent est imposé par la réglementation concernant la santé et la sécurité sur le lieu de travail et la toxicité sur l'environnement (le chrome plaqué sur une surface n'a pas d'effet nocif sur la santé). Voir la section 4.9.6.

Exemples d'installations

Eléments moteur pour la mise en œuvre
En plus des problèmes de santé au travail associés à l'utilisation du Cr(VI), l'utilisation de Cr(VI) en tant que couche de passivation (conversion) est remise en cause car cette substance est désormais interdite dans la construction de nouveaux véhicules par la directive VHU et son utilisation est également prohibée dans les applications électroniques et électriques par la directive LSD, voir section 4.9.6.

Documentation de référence
Un projet de recherche du Ministère allemand des Sciences et de la Technologie : replacement of Chromium-VI in zinc passivations" Foerderkennzeichen 01ZH9414/7 [98, EC, 2003], [99, EC, 2000]
http: //www.faradaytechnology com/tech-briefs/Cr(III)%20Electroplating%20TECH%20Brief.pdf

6.4 Revêtement métallique d'aluminium et d'alliages d'aluminium à partir d'électrolytes organiques

Description
L'éventualité d'une production d'une couche d'oxyde d'aluminium sur l'acier est attrayante car un tel système offre une protection élevée contre la corrosion. Il permettrait également de remplacer des métaux plus toxiques tels que le cadmium, le zinc et le nickel ainsi que le chrome utilisé dans la passivation du zinc, etc.

Cependant, le dépôt électrolytique d'aluminium pur est impossible sur des pièces de fabrication en acier à partir d'une solution aqueuse.

Jusqu'à présent les industriels n'ont pas réussi à résoudre le problème suivant : l'application d'une couche d'aluminium pure régulière sur une pièce de fabrication sans que cette dernière ne subisse des contraintes thermiques. Etant donné la tension négative de – 1,7 V de l'aluminium dans la série électrochimique des éléments, le dépôt électrochimique de ce métal à partir d'une solution aqueuse est impossible dans un atelier de dépôt électrolytique.

Une technologie de dépôt électrolytique à partir de solvants non aqueux est connue depuis de nombreuses années mais reste limitée à des applications de laboratoire et d'essais pilote. Cette technique vient cependant d'être appliquée pour la première fois à l'échelle industrielle pour le revêtement métallique d'aluminium ou d'alliages aluminium-magnésium en Allemagne. Cette technologie s'est révélée être économiquement réalisable.

Une installation de production dotée d'une cuve de traitement de 3 m^3 a été construite. Cette cuve peut recevoir des pièces de fabrication d'une dimension allant jusqu'à 1500 x 600 mm. Sur cette installation fonctionnant en trois-huit, 30 montages au maximum peuvent être traités par jour, ce qui correspond à la capacité d'une unité de dépôt électrolytique de taille moyenne.

Après à un prétraitement classique (dégraissage, décapage), les pièces de fabrication sont séchées dans un bain d'esters à point d'ébullition élevé. Etant donné la réactivité élevée des électrolytes avec l'air et l'eau l'étape de traitement doit se dérouler dans une installation entretien fermée. Les supports sont placés dans la cuve de traitement via un sas.

Bénéfices environnementaux atteints

Substitution par l'aluminium de métaux plus toxiques tels que le cadmium, le zinc et le nickel.
Le procédé n'engendre pas de pertes par entraînement d'électrolytes, ~~pas~~ de rinçage, ~~où~~ de déchets ou d'eaux résiduaires consécutives.

Effets d'interaction

Etant donné la réactivité élevée des électrolytes, la partie qui effectue le revêtement métallique dans l'installation doit être un système parfaitement clos.

Les rejets dans l'eau, les émissions dans l'air et/ou les déchets produits seront probablement :

- des eaux résiduaires provenant du dégraissage et des étapes de décapage classiques ;
- du toluène provenant du sas et de sources diffuses ;
- des déchets tels que les électrolytes usés.

La solution de traitement usée est difficile à traiter sur site et les installations externes au site doivent s'en charger, installations dans lesquelles des émissions éventuelles de toluène associées au traitement pourront se produire.

Données d'exploitation

L'électrolyte est un complexe alcoylé d'aluminium dissous dans du toluène. Les anodes sont constituées d'un alliage aluminium/magnésium ou d'aluminium "super pur". Le rendement actuel est quasiment égal à 100 % et la vitesse de dépôt est d'approximativement 10 µm par heure. La durée de vie des électrolytes est d'approximativement six mois. Actuellement, la majorité des pièces enduites sont en acier, comme par exemple des vis, des écrous, des ressorts, etc., et sont destinées au secteur automobile.

La manipulation des électrolytes hautement inflammables et explosifs exigent la mise en place de précautions de sécurité totalement nouvelles, précautions bien supérieures à un quelconque atelier de dépôt électrolytique normal.

Aspects économiques
Pas de données fournies

Eléments moteur pour la mise en œuvre
Le revêtement d'aluminium offre une protection élevée contre la corrosion.
Le revêtement d'aluminium remplace des revêtements de métaux plus toxiques.

Exemples d'installations
Voir les ouvrages de référence

Documentation de référence
Un projet financé par le Ministère Fédéral Allemand des Sciences et de la Technologie "Development and testing of a low-waste technology for the electro-deposition of aluminium coatings on all base materials of technical importance" (développement et essais concernant une technologie produisant de faibles quantités de déchets pour le dépôt électrolytique de revêtement d'aluminium sur tous les matériaux de base d'importance technique particulière) (Sedec Galvano Aluminium KG; FKZ 01ZH 0326 et FKZ 01ZH8501) et le projet UBA : "Development and Scale up of an environmentally friendly galvanic process to deposit high purity aluminium layers on metal pieces" (mise au point et développement d'un traitement galvanique écologique destiné au dépôt de couches d'aluminium de pureté élevée sur les pièces métalliques) (Aluminal Oberflächentechnik GmbH; FKZ 30441-5/41). [104, UBA, 2003]

6.5 Cartes de circuit imprimé

6.5.1 Insolation par laser

D'importants problèmes peuvent se produire en cas de défaut d'alignement ou de déformation au cours de la production des images primaires sur les couches internes et externes, engendrant des problèmes d'alignement des trous. L'insolation par laser est utilisée pour la formation d'images primaires, mais la technique est trop lente et ne permet pas d'être appliquée à une production en grande quantité. Cette technique est principalement utilisée pour la production de prototypes et de pièces en nombre réduit.

L'utilisation de l'insolation par laser pour fabriquer des masques de soudure est également en cours d'étude mais ~~les~~ masques de soudure façonnés laser ne sont pas encore disponibles (au milieu de l'année 2004).

Bénéfices environnementaux atteints
Aucune pellicule n'est nécessaire pour le procédé de mise en image
Aucun support de développement et aucun traitement de rinçage des pellicules aux halogénures d'argent diazoïque
Cette technique permet d'obtenir une formation d'image plus précise et moins de rejets avec une meilleure utilisation du matériel.

Documentation de référence
[122, UBA, 2003] [159, TWG, 2004]

6.5.2 Interconnexions à haute densité (HDI)

Description
La technologie HDI permet d'obtenir une densité d'assemblage plus élevée des sous-assemblages électroniques. Une image primaire dense est obtenue par l'utilisation de nouveaux types de dispositifs de perçage de trou, qui garantissent des trous de diamètre plus petit et des pistes d'une largeur réduite.

Des trous plus petits peuvent être générés à l'aide de procédés photo, laser ou plasma. Leur développement a débuté au début des années 90 mais n'est pas encore au point.

Bénéfices environnementaux atteints
Des sous-assemblages plus petits nécessitent moins de matériau.

Documentation de référence
[122, UBA, 2003]

6.5.3 Composants passifs intégrés

Description
Les composants passifs intégrés constituent une technologie qui permet la fabrication de cartes plus petites dotées de fonctionnalités plus nombreuses et d'une performance à fréquence élevée améliorée. Cette technique repose sur l'élimination des condensateurs et des résistances discrets de la surface et de les intégrer dans les couches internes d'une carte de circuits imprimés.
Plusieurs technologies différentes permettent la mise en œuvre des composants passifs intégrés, dans des matériaux finement stratifiés ou dans des divers types de patte.

Documentation de référence
[159, TWG, 2004]

7 REMARQUES FINALES

7.1 Organisation des tâches

La première réunion plénière du GTT a eu lieu en avril 2002. Le premier document provisoire a ensuite fait l'objet d'une consultation en août 2003. Les commentaires ont été examinés et intégrés et le second document provisoire, qui comprenait des propositions établies sur les bases des conclusions obtenues pour les MTD, a été achevé et envoyé en avril 2004. La dernière réunion plénière du GTT a eu lieu en septembre 2004. Suite à cette dernière réunion, des données supplémentaires concernant les émissions aquatiques et atmosphériques associées aux MTD ont été obtenues. De brèves consultations au sujet des sections modifiées concernant les conclusions obtenues pour les MTD et au sujet des remarques finales et du document de synthèse ont également eu lieu.

7.2 Sources d'informations

Les États membres et les entreprises du secteur industriel concernés ont fourni de nombreux documents, et plus de 160 sources d'informations ont été utilisées au total. Les documents MTD provenant des entreprises du secteur industriel concerné et de l'Allemagne peuvent être considérés comme les pierres angulaires des premiers chapitres présentant les diverses techniques à envisager afin de déterminer les MTD (Chapitre 4). A ces deux sources viennent s'ajouter des guides concernant les MTD et des ouvrages sur les règles de bonnes pratiques environnementales appliquées en France, en Espagne, en Belgique, au Pays-Bas et au Royaume-Uni. La France et l'Italie ont fourni des informations précieuses concernant l'utilisation de l'eau, le traitement, les rejets des eaux résiduaires et d'autres techniques spécifiques ainsi que leur mise en œuvre dans des installations de référence. Des associations du secteur ont mis à disposition des informations importantes concernant des domaines et des techniques spécifiques. L'Allemagne a présenté les résultats d'une enquête menée auprès d'installations dans lesquelles sont appliquées plusieurs meilleures techniques disponibles. D'autres pays ont donné des détails sur des techniques spécifiques et le Royaume-Uni (pays désigné comme leader du groupe de travail de l'OCDE) a fourni des données supplémentaires concernant la toxicité du PFOS (sulfonate de perfluorooctane). Parmi les nouveaux États membres, la république tchèque et la Hongrie, par leurs représentants au sein du GTT, ont contribué à la mise à disposition d'informations sur des sujets spécifiques. Des visites de site ont eu lieu au Royaume-Uni, en Espagne, en France et en Belgique. Tout au long du projet, les experts du secteur et les instances régulatrices se sont montrés ouverts et communicatifs. Les réunions consultatives avec les experts ont permis d'obtenir des informations spécifiques concernant l'applicabilité et la mise en œuvre de certaines techniques ainsi que des données fonctionnelles supplémentaires.

Dans certains domaines, un manque de données quantitatives n'a pas permis d'approfondir les conclusions concernant les MTD. De même, peu de données (avec des exceptions notables) concernant les niveaux de consommation et d'émission de États membres ont pu être obtenues. Ces sujets font l'objet, ci-dessous, des Recommandations pour la mise en œuvre de travaux futurs.

La qualité des données intégrées à ce document reste incomplète et manque de cohérence, il est donc difficile d'en tirer des conclusions : par exemple, les niveaux de consommation et d'émission cités dans les chapitres 3 et 4 proviennent d'une enquête concernant

des traitements spécifiques dans les 15 pays de l'UE ou ~~à~~ de données obtenues auprès de plusieurs installations de référence ou encore de données spécifiques d'installations particulières. Des données de traitement importantes, telles que celles concernant le type ou le niveau de production du traitement, n'ont souvent pas pu être obtenues ou sont issues d'enquêtes incomplètes. Les paramètres les plus utiles à la mesure et à la comparaison des techniques lors de l'élaboration de MTD pour ce secteur particulier sont la consommation et le niveau d'émissions par mètre carré. Cependant, bien qu'il s'agisse du secteur du traitement de surfaces, il existe peu de données disponibles sur la production en terme de superficie pour les traitements effectués dans une installation. Ceci est dû à la difficulté de procéder au calcul de la surface de pièces de fabrication présentant des formes complexes et à la diversité des pièces traitées dans de nombreuses installations. De même, les unités consommées ou émises en fonction du temps (par exemple, par heure), par kilo de métal utilisé (le métal déposé et non le substrat), ou par tonne de substrat produit sont également utilisées lorsqu'elles sont disponibles mais cela nécessite une qualification exigent des données.

Toutes les données fournies concernent généralement les chaînes de traitement ou les installations et non les techniques individuelles au sein d'une chaîne de traitement. Le manque de données spécifiques pour des traitements individuels implique que lorsque des valeurs obtenues pour l'utilisation d'eau et le rendement en matériau de traitement sont disponibles, elles sont associées à diverses MTD. Les niveaux des rejets dans l'eau et dans l'air ~~et~~ sont également associés à l'utilisation de plusieurs MTD.

Le développement de nouveaux procédés de traitements dans le secteur est principalement le fait des fournisseurs de produits chimiques de traitement ou d'équipements, car ce secteur compte un grand nombre de PME. Néanmoins, à l'exception de certains d'experts à titre individuel et de certaines entreprises (en particulier sur les techniques de chromage), les fournisseurs n'ont pas participé, en règle générale, à l'échange d'informations. Ceci a limité la quantité d'informations disponibles pour certains traitements, notamment pour les techniques récemment développées, en particulier pour celles permettant la substitution de substances ou de procédés par des produits chimiques et des traitements moins toxiques, pour différents types d'équipement (comme par exemple l'agitation des solutions de traitement, en particulier par éjecteurs), pour les systèmes de refroidissement et de chauffage destinés aux procédés ou aux bâtiments, et pour le traitement de l'eau avant utilisation ou réutilisation .

Un grand nombre d'informations ont été échangées et validées au sujet de la substitution du chrome hexavalent par du chrome trivalent dans le dépôt électrolytique. Cependant, les données concernant les possibilités de remplacement de la passivation au chrome hexavalent sont restées limitées à quelques exploitants. Malgré des contacts répétés, aucune donnée n'a pu être obtenue sur le projet européen Ecochrome qui traite les problèmes environnementaux associés au dépôt électrolytique de chrome VI.

Aucune information n'a pu être obtenue sur l'anodisation en continu (en bande) ~~-~~de l'aluminium à grande échelle, bien qu'il soit établi que le volume traité est élevé, en particulier dans la production de plaques destinées à l'industrie graphique.

Lors de la validation des informations obtenues par les membres du GTT, très peu de données disponibles publiquement ont pu être récupérées en Europe. Les informations ont été validées en contactant directement la source d'informations, les experts individuels ou les entreprises, ou à l'aide de données provenant principalement des U.S.A.

7.3 Degré de consensus atteint

Au cours de la première réunion du GTT, les membres du groupe ont examiné le problème du seuil des 30 m^3 établis dans le secteur et, afin de faciliter l'échange d'informations, ils ont convenu qu'il s'agissait du volume total de toutes les cuves de traitement d'une installation. Ceci inclut donc les cuves de pulvérisation, bien que des

opinions divergentes aient été émises concernant la prise en compte des activités de dégraissage. Cependant, les membres du groupe ont convenu qu'il était plus important d'interpréter ce seuil comme limite établissant la nécessité de délivrer un permis à une installation que comme limite déterminant quels traitements seraient couverts dans le document. Le document concerne donc les traitements à tout type d'échelle, étant donné que les volumes des cuves de traitement répondant aux caractéristiques "*électrolytiques ou chimiques*" sont ajoutés (voir l'annexe 1 de la directive IPPC).

Globalement, le niveau de consensus extrémité plutôt bon. Les conclusions de travail ont été acceptées lors de la réunion finale du GTT en septembre 2004 et tous les membres, sans exception, ont approuvé les conclusions concernant les MTD.

7.4 Recommandations pour la mise en œuvre de travaux futurs

L'échange d'informations et ce qui en résulte, à savoir ce document, constituent une avancée importante vers la prévention et la réduction intégrées de la pollution issue du traitement de surface des métaux et des matières plastiques. Cependant, sur certains sujets, un meilleur niveau d'information permettrait de parvenir à des conclusions plus précises et donc plus utiles concernant les MTD. Certains problèmes ont été identifiés dans la section 7.2 et sont présentés ci-dessous conjointement avec d'autres problèmes identifiés au cours des échanges d'informations.

Mise à jour des informations concernant les solutions de traitement et le développement de techniques

- Le PFOS n'a été que récemment identifié en tant que polluant et paraît pouvoir être contrôlé au sein de l'UE et au niveau international. Cette substance est largement utilisée en tant qu'agent antimousse et surfactant, en particulier comme substance permettant d'empêcher l'apparition de brumes dans le chromage hexavalent et le zingage alcalin sans cyanure, elle permet également d'améliorer la qualité du produit dans d'autres traitements. Il serait bon de collecter des données sur l'efficacité des choix réalisés en pratique, ainsi que sur les niveaux d'émission et d'utilisation du PFOS ;
- La passivation au chrome hexavalent (Cr(VI)) sur une couche de zinc obtenue par dépôt électrolytique est l'un des principaux traitements utilisés. Cependant, la quantité de Cr(VI) déposée à la surface des pièces de fabrication dans les secteurs automobile, électronique et de l'électroménager est désormais régulée par deux Directives. Les données disponibles ont montré que les alternatives actuellement utilisées ont des effets d'interaction liés aux milieux tels que la toxicité et/ou des exigences énergétiques plus élevées et le GTT en a conclu qu'une MTD ne pouvait être obtenue pour les techniques alternatives. Il est nécessaire de rassembler les informations concernant les techniques envisageables émergentes et leurs niveaux de consommation et d'émission associés ;
- Il serait bon de rassembler les données sur le projet européen Ecochrome.

Données quantitatives concernant les bénéfices environnementaux obtenus, des aspects économiques et les effets d'interaction liés aux milieux

- Dans ces domaines, pour les techniques décrites, le secteur et les États membres devraient rassembler et échanger des données, en particulier en

ce qui concerne les systèmes de refroidissement et l'utilisation/ré-utilisation de l'eau. Concernant les techniques de chauffage, une série complète de données de fonctionnement concernant toutes les possibilités sont également nécessaires (voir le chapitre 4). Ceci permettrait la mise en œuvre et la qualification (comme par exemple, le fait de savoir si une MTD s'applique à des installations neuves ou existantes) de MTD plus précises et plus utiles. Il peut être nécessaire d'impliquer plus d'un Etat membre dans des projets de rassemblement de données de ce type (la mise en place de "club" peut être envisagée à cette fin, voire une "assistance destinée à la mise en place de travaux futurs ».

Données quantitatives de consommation et d'émission
Il est nécessaire que les secteurs et les États membres collectent plus d'informations précisant les relations entre l'utilisation de techniques et les niveaux de consommation et d'émission (telles que celles présentées dans l'annexe 8.5). Les données existantes montrent que certains traitements restent relativement peu efficaces. Des ensembles de données standardisées qui peuvent être comparés, en particulier des ensembles de données brutes, devraient être recueillis auprès de plusieurs installations exploitant une technique donnée afin de déterminer les niveaux de fonctionnement associés aux MTD individuelles, ainsi qu'aux groupes de MTD qui sont bien définis. De nouveau, ce type de projet peut nécessiter l'implication de plus d'un Etat membre (qui pourrait se regrouper dans des "clubs", voire une "assistance destinée à la mise en place de futurs travaux" ci-dessous), et permettrait d'obtenir des niveaux de consommation et d'émission plus utiles associés aux MTD, ainsi qu'un meilleur niveau d'information concernant l'efficacité des traitements individuels.

Logiciels destinés à l'optimisation d'un traitement
Au moins un progiciel destiné à l'optimisation d'un traitement a été signalé. Ce dernier utilise des formules standard où la majorité des paramètres peuvent être modifiés. D'autres progiciels devraient identifiés. De tels logiciels permettent aux opérateurs de simuler diverses MTD avant d'engager l'entreprise financièrement. Il est nécessaire que ces logiciels soient disponibles dans des langues autres que l'anglais, et pour une variété d'activités et de scénarii.

Mise au point sur les progressions et l'application de traitements et de techniques immergentes
Il est nécessaire de rassembler des données sur la mise en œuvre et la réussite des techniques identifiées au Chapitre 6. Les informations pourront ensuite être échangées pour déterminer les MTD, et les conditions dans lesquelles les techniques sont techniquement et économiquement viables.

Autres recommandations
Bien qu'elles dépassent la portée de ce document, les recommandations suivantes sont apparues suite à l'échange d'informations et permettront de contribuer à la mise en place des MTD dans le secteur, ainsi qu'à l'accroissement de leur pérennité globale. Il est recommandé aux États membres, aux instances régulatrices et à la profession d'adopter ces initiatives.

- **stratégie à but environnemental et R&D dans le secteur**
  Le secteur du traitement de surface est utile à de nombreux autres secteurs différents, et si les acteurs de ce secteur pouvaient parler d'une voie unifiée, il leur serait possible de faire l'objet de toutes les attentions et d'attirer des fonds

pour la recherche, le développement et d'autres projets. La majorité des exploitants du secteur sont des petites et moyennes entreprises (PME) et la recherche et le développement R&D sont largement menés par les fournisseurs. Afin de surmonter ce problème aux Etats-Unis, un groupe de travail représentant les exploitants, les fournisseurs, les professionnels de l'industrie et les instances régulatrices a rédigé deux documents stratégiques. Le même type de document pourrait facilement être émis en Europe et favoriserait la mise en œuvre des MTD en fournissant des données nécessaires à la réduction de futures versions de ce document et contribuerait également à pérenniser les progrès effectués par le secteur concernant :

- des objectifs stratégiques environnementaux pour le secteur. Une courte liste d'objectifs environnementaux spécifiques (sept sont identifiés dans le document américain), pourrait fournir un résumé des avantages environnementaux dont pourrait bénéficier le secteur dans son ensemble par l'utilisation de MTD, dans lesquelles apparaîtraient les priorités et les délais d'obtention de ces objectifs,
- une liste pour le secteur des priorités de recherche. Une liste de la Commission Européenne des priorités de recherche pour le secteur est disponible publiquement afin de servir de base de recherche aux universités, aux instances de recherche, aux autres programmes de recherche, etc. Cette mesure permettrait d'identifier les lacunes en connaissances de ce document.

- **assistance à la mise en place de travaux futurs**

  En Europe, plusieurs organisations de coopération ou "clubs" aident d'ores et déjà les PME en leur assignant des objectifs environnementaux. Ce type d'approche en "club" pourrait être utilisé pour effectuer les tâches supplémentaires identifiées :

  - au Royaume-Uni et au Pays-Bas, des activités de "club" ont été organisées afin de permettre aux PME d'en obtenir des bénéfices mutuels, comme le partage des coûts des honoraires d'un bureau de consultant concernant la réglementation et l'octroi de permis environnementaux. Dans les deux cas, les instances régulatrices ont collaboré ce qui leur a permis de gagner un temps précieux.
  - En Italie, ECOMETAL est un consortium à but non lucratif dont l'objectif est de faire entrer la totalité du secteur de finition des métaux dans le cadre d'une politique de développement durable. Ce type d'association pourrait être utilisé pour relayer les propositions émises ici.

- **accroissement de la viabilité économique des activités de recyclage par des entreprises tierces**

  Bien que ceci sorte de la portée de ce document, dans de nombreux cas, les entreprises de ce secteur doivent faire appel à des installations tierces pour les activités de recyclage et d'élimination. La nature fragmentée du secteur entraîne l'élimination des déchets dangereux car les quantités se situent fréquemment au-dessous du seuil de recyclage économiquement viable. Les types de déchets, leurs quantités et leur localisation doivent être identifiés de sorte qu'ils puissent être récupérés en grande quantité. Cette aspect se prêterait lui aussi à une approche de type "club" L'implication des instances régulatrices contribuerait à la simplification des problèmes réglementaires, tels que l'exportation des déchets, la détermination des activités compatibles avec le recyclage des déchets plutôt que leur élimination, etc.

- **développement du concept de recyclage infini**

Le consortium italien à but non lucratif ECOMETAL a initié un projet destiné à délivrer un label "recyclage infini" aux biens de consommation. Ce projet a pour but :

  - ° d'actualiser les connaissances concernant le recyclage des articles en métal
  - ° d'étudier les traitements alternatifs susceptibles d'accroître le pourcentage de métaux recyclés
  - ° de garantir aux fabricants, aux producteurs et aux consommateurs que les composants métalliques sont recyclables.

  On attend des deux premières tâches le développement de protocoles qui établissent une caractéristique auxquelles doivent répondre à la fois les métaux de base et les métaux de finition pour pouvoir entrer dans un processus de recyclage en utilisant des techniques simples, économiques et fiables.

- **développement des normes de performance destinées à accélérer l'adoption de nouvelles techniques**
  Une barrière à l'adoption des techniques et des traitements de remplacement par les clients du secteur a été identifiée au cours de l'échange d'informations : les contrats établis dans le traitement des surfaces spécifient régulièrement le type de traitement de surface à utiliser. La spécification du type de traitement limite l'adoption de traitements alternatifs qui utilisent des matériaux moins toxiques, et/ou présentent d'autres avantages environnementaux, tels que la réduction de la consommation énergétique. En réalité, les exigences sont établies en fonction des performances telles que la résistance à la corrosion, la couleur, la dureté, etc. Certains programmes ont été mis en œuvre afin de développer les normes de performance ; il est nécessaire de poursuivre sur cette voie et que ces programmes soient accompagnés par le développement de programmes de formation afin que les exploitants et les clients envisagent plus favorablement l'adoption de ces normes et les mettent en œuvre.

7.5 Suggestions d'orientation pour de futurs projets de R&D

Cuivrage et nickelage autocatalytique
Les solutions de traitement autocatalytiques ont une durée d'utilisation très limitée, au contraire des solutions de dépôt électrolytique. Cette durée est établie par le nombre d'applications de la quantité de métal en solution (renouvellement des métaux, MTO). Le MTO est généralement de 6 à 8 fois voire inférieur, en fonction de la qualité requise. Les traitements autocatalytiques sont également par définition moins stables que les solutions électrolytiques, divers problèmes entraînant des rejets de solutions plus nombreux. Dans de nombreux cas, les solutions sont évacuées en tant que déchets dangereux, bien qu'elles contiennent encore des quantités significatives de métaux. Des recherches sont à mener concernant :

- l'allongement des durées de vie des bains en terme de MTO ;
- le développement de techniques destinées à recycler ou à réutiliser les solutions ;
- l'amélioration des options de recyclage pour les métaux des bains évacués.

Techniques utilisant la modulation de courant et équipement nécessaire
Les techniques de revêtement métallique par modulation de courant sont utilisées dans les applications de haute précision, telles que la production de cartes de circuits imprimés. Une technique émergente est décrite ici et fait l'objet d'essais de préproduction pour le chromage dur à partir d'une solution de chrome trivalent. Bien que les coûts en équipement soient estimés au double des coûts normaux, la technique

permet de simplifier les exigences chimiques, et réduit la consommation d'énergie et la consommation de produits chimiques de manière importante. Il est nécessaire d'effectuer des études supplémentaires concernant les techniques à modulation de courant, car le coût, en valeur réelle, de l'équipement a chuté puisque cette technique est de plus en plus appliquée dans la fabrication de cartes de circuits imprimés.

Nouvelles techniques destinées à mesurer les facteurs de production et de superficie

Comme indiqué ci-dessus, bien que le secteur soit spécialisé dans le traitement des surfaces, la superficie d'un composant n'est généralement pas un facteur connu. Le secteur pourrait améliorer les paramètres de contrôle des matières premières et de la consommation d'énergie ainsi que la qualité globale de la production si la superficie et donc la capacité de production du traitement, étaient faciles à mesurer. Il est de développer des procédés qui soient rapidement utilisables et peu onéreux, qu'ils soient physiques, physicochimiques ou qu'il s'agisse de progiciel effectuant les calculs. Il est en outre nécessaire que les procédés permettent d'apprécier les relations entre la superficie et d'autres facteurs de production tels que le poids du matériau anodique utilisé, le poids de la production de substrat, etc.

Traitement à rendement amélioré

Les données fournies ont permis d'établir que pour certains traitements, les rendements sont faibles (voir le chapitre 3). Il est nécessaire d'effectuer des recherches afin d'améliorer le rendement des procédés de traitements ou d'identifier des produits de remplacement appropriés.

La CE a lancé et supporte, au travers de ces programmes de RDT, une série de projets s'intéressant aux technologies propres, aux technologies émergentes du traitement et du recyclage des effluents et aux stratégies de management. Ces projets pourraient contribuer utilement à l'élaboration de futures synthèses documentées. Nous invitons donc le lecteur à faire part à l'EIPPCB de tous les résultats de recherche qui intégreraient la portée de ce document (voir également la préface de ce document).

Produits de remplacement destinés à la passivation au chrome hexavalent.

L'utilisation du chrome hexavalent subsistant d'une étape de passivation que l'on retrouve dans des familles de produits utilisés en grande quantité est désormais limitée voire interdite par deux Directives (s'appliquant aux véhicules hors d'usage et aux déchets de produits électroménagers et électriques). Le GTT n'est pas parvenu à identifier des substituts qui puissent devenir des MTD et il est nécessaire d'approfondir le travail dans ce domaine, soit en identifiant des moyens de substitution à la passivation au chrome hexavalent qui aient moins d'effets d'interaction liés aux milieux soit d'identifier des systèmes de traitement de surface qui puissent être utilisés pour remplacer les systèmes nécessitant la mise en œuvre d'une étape de passivation.

REFERENCES

1 CE (1996). « Directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 concernant la prévention et la réduction intégrées de la pollution », Journal Officiel des Communautés Européennes (JO), L257, vol. 39, pp. 15.

2 CE (2000). « Décision de la Commission du 17 juillet 2000 concernant la mise en œuvre d'un registre europeen des émissions de polluant (REEP) selon l'article 15 de la directive 96/61/CE du Conseil concernant la prévention et la réduction intégrées de la pollution SI (2000) 2004 », Journal Officiel des Communautés Européennes, L192.

3 CETS (2002). « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles pour le traitement de surface des matières plastiques et de métaux à l'aide d'un traitement électrolytique ou chimique », CETS.

4 Cramb, A. W. "A Short History of Metals", Carnegie Mellon University, http://neon.mems.cmu.edu/cramb/Processing/history.html.

5 Hook, P. and Heimlich, J. E. (2003). "A History of Packaging", Ohio State University, http://ohioline.osu.edu/cd-fact/0133.html.

6 IHOBE (1997). "Recubrimientos Electroliticos", Gobierno Vasco.

8. Conseil nordique (2002). "DEA- an aid for identification of BAT in the inorganic surface treatment industry", TemaNord, Conseil nordique des ministres, TemaNord 2002:525.

9 ESTAL (2002). "Presentation by ESTAL" ESTAL, *Seville*

11 Tempany, P. (2002). "STM TWG kick off meeting report" rayon de lancement du GTT sur les TSM,*Seville.*

12. PARCOM (1992), « Recommandation PARCOM 92/4 sur la réduction des émissions provenant de l'industrie du dépôt électrolytique », PARCOM 92/4.

13 UNEP; MAP et RAC/CP (2002). "Alternatives for preventing pollution in the surface treatment industry", RAC/CP (Regional Activity Centre for Cleaner Production of the Mediterranean Action Plan), UNEP, WAP, Ministère de l'environnement espagnol, Gouvernement de Catalogne, Ministère de l'environnement,.

16 RIZA (1999). "Best safety practice for preventing risks of unplanned discharges", RIZA.

18 Tempany, P. (2002). "Site visit reports, Mission 1 UK", EIPPCB, DG-JRC, EC.

19 Eurofer (2003). "Draft Reference document on best available techniques in the continuous electrolytic coating of steel", Eurofer.

20 VITO (1998). "Beste Beschikbare Technieken voor het Elektrolytisch behandelen, chemisch behandelen en ontvetten", VITO.

21 Agences de l'Eau de France; SITS; SATS; CETIM et Ministère de L'Amenagement du Territoire et de l'Environnement (2002). "Surface Treament Waste water Treatment", Agence de l'Eau Rhone-Mediterranée-Corse, 2-9506252-3-1 (EN), 2-9506252-2-3 (FR).

22 Fraunhofer (2002). "Comprehensive preliminary studies et proposals for measures of risk reduction strategies for EDTA", Fraunhofer ISI and Fraunhofer IME, ÜBA.

23 EIPPCB (2002). « Document de référence sur les meilleures techniques disponibles sur les émissions provenant du stockage », EIPPCB, CE.

24 UBA Autriche (2001). "State-of-the-art for the production of nitric acid with regard to the IPPC Directive", UBA-Autriche.

26 Envirowise (2003). "Electroplaters plant performance optimisation tool", DEFRA,
http:
//www.envirowise.gov.uk/envirowisev3.nsf/Key/CROD4TGK79?OpenDocument.

28 DG-RTD, E. (2002). "EU Workshop on waste prevention and chromium issues in industrial effluents" Atelier européen sur la prévention des déchets et les problèmes liés à l'utilisation du chrome dans les effluents industriels les influents industriels, *l'ULEA, Suède Lulea.*

29 EA (2001-3). "IPPC: Interim guidance for Surface treatment of metals or plastics - by chemical or electrolytic means, Draft", Agence de l'environnement pour l'angleterre et le Pays de Galles, SEPA, NIESH.

30 CE (2003). « Directive du 2003/53/CE du Conseil du 18 juin 2003 amendant pour la 26ème fois la directive 76/769/CEE du Conseil concernant les restrictions d'utilisation et de commercialisation de certaines substances et préparation (nonylphénol, nonylphénoléthoxylate et ciment) », Journal Officiel de l'Union Européenne (JO), pp. 4.

31 Biowise (2001). "Biological solution for cheaper metal cleaning", Dépatement du commerce et de l'industrie, étude de cas 6.

34 Brett, P. C. (2002). "Electrolytic processes", IUPAC, communication personnelle.

35 Columbia (2002). "Electrolysis", Columbia Electronic Encyclopedia 6ème édition.

36 IUPAC (1997). "Compendium of Chemical Technology: IUPACRecommendations, 2nd edn 1997", IUPAC, ISBN 0865426848.

38 Ullmann (2002/3). "Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 6th edn, 2001 electronic release".

39 (1993). "Dictionary of Science", Penguin, 0-14-051262-4.

41 (2003). "Gold facts", Fine Things, www.finethingsjewelry.com.

42 SEA (2001). "Code of Good Safety Practice for the Surface Finishing Industry", Surface Engineering Association, agence de l'environnement, SEPA, HSE.

43 SEA (2001). "Trivalent Chromium for a safer workplace and environment", SEA..

44 France, T. (2003). "Accident", groupe de travail technique national français pour la PRIP en traitement de surface des métaux et des matières plastiques.

45 France, T. (2003). "Aluminium anodising".

46 France, T. (2003). "Cleaning degreasing solutions by centrifuge".

47 France, T. (2003). "Chemical milling".

48 France, T. (2003). "Closed loop chromium plating".

49 France, T. (2003). "Copper recovery by electrodeposition".

51 France, T. (2003). "Emission levels".

53 France, T. (2003). "Recovery systems for aluminium from anodising".

55 France, T. (2003). "Nickel recovery by reverse osmosis".

56 France, T. (2003). "Self monitoring".

57 France, T. (2003). "Static separator for degreasing activities".

58 France, T. (2003). "French regulations for surface treatment activities".

59 France, T. (2003). "Ultrafiltration of degreasing solutions".

60 Hemsley, D. (2003).The PPC Regulations and their impact on the chemical engineering of process plating plant", Transactions of the Institute of Metal Finishing (UK), 81(3), pp. 4.

61 CE (2002). "Definition of small and medium enterprises (SME)", Commission Européenne, http://europa.eu.int/comm/enterprise/consultations/sme__.

62 France, T. (2003).Recovery systems for aluminium in anodising".

65 Atotech (2001). "Integrated vertical systems for pcb production - Aurotech".

66 PPRC (2003). "Chromium electroplating and anodising tanks", Pacific Northwest Pollution Resource Center, www.pprc.org/pprc/sbap/facts/chrome.html.

67 IAMS (2003). "A Pollution Prevention Resource Manual for Metal Finishers", Institue of Advanced Manufacturing Sciences, Inc.

68 USEPA (2003). "Research in support of the metal finishing industry", USEPA, www.epa.gov.gov/ORD/NRMRL/std/mtb/metal_finishing.htm.

69 NCDPPEA (2003). "Overview of the Metal Finishing Industry", North Carolina Division of Pollution Prevention and Environmental Assistance, www.p2pays.org/ref/03/02454/overview.htm.

70 Ellis, J. B. (2001). "Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality" Interurba II, *Lisbonne, Portugal*.

71 BSTSA "Metal Pre-treatment".

73 BSTSA "Electroless Nickel".

74 BSTSA "Hard Chromium".

75 BSTSA "Precious Metals".

76 BSTSA "Laquers for Metal Finishing".

77 BSTSA "Electroplated Plastic Components".

78 BSTSA "Zinc Plating".

80 INRS "Guide pratique de ventilation: Cuves de traitmentsde surface", 2.

81 INRS (1998). "Ateliers de traitement de surface: Prévention des risques chimiques", ED 827.

82 Agences de l'Eau (1996). "Prevention des pollutions accidentelles dans les industries de la chimie, du traitement de surface, etc.".

85 EIPPCB « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles pour les systèmes de refroidissement industriel », CE.

86 EIPPCB « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles dans le secteur du traitement des métaux ferreux », CE.

87 EIPPCB « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles dans les systèmes de gestion/traitement des eaux et des gaz résiduels dans le secteur chimique », CE.

88 EIPPCB « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles sur les effets de réponse croisée et les aspects économiques », CE.

89 EIPPCB « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles pour les industries du traitement des déchets », CE.

90 EIPPCB « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles pour les solvants utilisés dans le traitement des surfaces », CE.

91 EIPPCB « Document de référence sur les principes généraux de surveillance », CE.

92 CE (1991). « Directive du Conseil du 12 décembre 1991 concernant les déchets dangereux », Journal Officiel des Communautés Européennes, L377.

93 CE (2000). « Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau », Journal Officiel des Communautés Européennes L327, pp. 72.

94 CE (1999). « Directive 1999/31/CE du Conseil du 26 novembre 1999 concernant la mise en décharge des déchets », Journal Officiel des Communautés Européennes, 182.

95 CE (1986). « Directive du Conseil du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture », Journal Officiel des Communautés Européennes, L181.

96 CE (2003). « Directive 2002/96/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) », Journal Officiel des Communautés Européennes, L37.

97 CE (1999). « Directive 1999/13/CE du Conseil du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations », Journal Officiel des Communautés Européennes (JO), L85.

98 CE (2003). « Directive 2002/95/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 janvier 2003 relative à la restriction de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques », Journal Officiel des Communautés Européennes (JO).

99 CE (2000). « Directive 2000/53/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 relative aux véhicules hors d'usage », Journal Officiel des Communautés Européennes (JO), L269.

100. CE (2000). « Liste des déchets dangereux : Décision de la commission (2000/532/CE) du 3 mai 2000 remplaçant la décision 94/3/CE établissant une liste des déchets dangereux en application de l'article I(a) de la directive 75/442/CEE du Conseil relative aux déchets et… », Journal Officiel des Communautés Européennes, L226.

101. CEN (2000). "Corrosion protection of metals and alloys - Surface treatment, metallic and other inorganic coatings - Vocabulary: EN 12508", CEN, 0 580 34230 1

103. CE (1991). « Directive du 18 mars 1991 du Conseil modifiant la directive 75/442/CE relative aux déchets », Journal Officiel des Communautés Européennes, L78.

104. UBA (2003). "Draft German BREF: Treatment of metallic and non-metallic surfaces with chemical and electrochemical procedures", UBA

105. CE (1967). « Directive 67/548/CEE du Conseil du 27 juin 1967 concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses (amendée) », Journal Officiel des Communautés Européennes, P196, 16/8/1967 pp. 0001-0008.

106. NCMS (2003). "Recent Alternatives for chromate coatings", National Centre for Manufacturing Sciences, USA, http:/chromate.ncms.org/about.htm.

108. NEWMOA (2003). "Trivalent chromium replacements for hexavalent chromium plating", North East Waste Management Officials'Organisation

109. DEFRA (2004). "Perflurooctane sulphonate Risk reduction strategy and analysis of advantages and drawbacks & review of environmental risks - Stage 3 report", DEFRA, j454/PFOS RRS.

110. (2003). "Chemelec cell", BEWT, communication personnelle

111. ACEA (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

112. Assogalvanica (2003). "Comments on STM BREF draft1".

113. Autriche (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

114. Belgique (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

115. CETS (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

116. République tchèque (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

118. ESTAL (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

119. Eurofer (2003). "Comments on STM BREF draft1".

120. Finlande (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

121. France (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

122. UBA (2003). "Draft German BREF: Printed circuit board manufacture", ÜBA

123. UBA (2004). "German reference plants", ÜBA Germany, communication personnelle.

124. Allemagne (2003). "Comments on STM BREF draft1".

125. Irelande (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

126. Pays-Bas (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

127. Oekopol (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

128. Portugal (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

129. Espagne (2003). "Comments on STM BREF draft 1".

131. OSPAR (2002 en cours). "List of substances of possible concern", OSPAR, 2002-17.

132. Sheasby, P. G. et Pinner, R. (2002). "The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys 6th edn Vol 1", Finishising Publications Ltd., SG1 4BL UK, ASM International, Ohio 44073-0001 USA, ISBN 0904477231

133. Hensel, K. B. (2002). "Electropolishing, Metal finishing guidebook and directory, Vol 100, 1A".

134. CEN/BSI (1997). "Electropolishing", CEN, BSI, BS EN 3769: 1997.

135. Swain, J. (1996).Electropolishing stainless steel for the pharmaceutical, food and beverage industries", Surface World, mai 1996.

136. Webber, J. and Nathan, S. (2000).A process with POLISH", Process Engineering, avril 2000.

137. ISO/BSI (2000). "Electropolishing", ISO, BSI and other standards organisations, BS ISO 15739: 2000.

138. (1999). "Specifications for the quality label for Anodic Coatings on Wrought Aluminium for Architectural Purposes", QUALANOD, Edition: octobre 1999.

139. Wikipedia (2004). "Printed circuit board", Wikipedia, http://en.wikipedia.og/wiki/Printed_circuit_board.

140. Atotech (2003). "Integrated chromium plating plant - Dynachrome".

142. CE (1996). « Directive du Conseil relative au contrôle des dangers pouvant engendrer des accidents graves impliquant des substances dangereuses, amendement 2003/105/CE », JO.

143. CE (2001). « Décision 2455/2001/CE de la Commission établissant une liste de substances prioritaires dans le domaine de l'eau », JO.

144. CE (1976). « Directive du Conseil du 27 juillet 1976 concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses 7/769/CEE », JO, JO L262, 27.9.1976 p. 201.

145. LeCarre (2004). "Surface area calculation", Agence de l'Eau Seine Normandie, communications personnelles

146. ZVO (2003). "Decorative high gloss chromium plating and functional chromium plating", ZVO.

147. CETS (2004). "Technical arguments for chromium plating from trivalent and hexavalent electrolytes", CETS.

148. HTMLA (2003). "Fact sheet: plating with trivalent chrome", Hazard and toxic materials office, Board of Public Works, ville de Los Angeles, http://es.epa.gov/techinfo/ca-htm/htmfact9.html.

149. PPT (2004). "Replacing hexavalent chromium", http://www.nam.org?PPT/autopanelpresentation.ppt.

150. Rowan (2003). "Chrome plating alternatives", Rowan Technology Group, http://www.rowantechnology.com/Tech-Info.htm.

153. ESTAL (2004). "ESTAL TWG supplementary information", ESTAL, communications personnelles

154. NMFRC (2004). "Pollution prevention and control technologies for plating sources (NCMS-NAMF Blue Book)", National Metal Finishing Resource Centre, http://www.nmfrc.org/bluebook/tocmain.htm.

155. EIPPCB « Document de référence concernant les meilleures techniques disponibles dans les industries des métaux non ferreux », CE.

156. France, T. (2003). "Water Treatment".

157. ACEA (2004). "Comments on STM BREF draft 2".

158. Portugal (2004). "Comments on STM BREF draft 2".

159. TWG (2004).Comments on STM BREF draft 2".

160. ESTAL (2004). "Comments on STM BREF Draft 2".

161. Assogalvanica (2004). "Comments on STM Draft 2".

162. USEPA (2000). "Approaching zero discharge in surface finishing", USEPA, EPA/625/R-99/008.

163. Gock et Schlmrosczyk (2004).Aufbereitung von Phosphatierschlämmen aus der Automobilindustrie", Stoffstrommanagement, pp. 895-899.

164. Wittel (2004). "Phosphating", Chemetall GmbH, communication personnelle

165. Tempany (2004). "Final TWG meeting report".

166. RIZA (2004). "Cross-media analysis and provisioanl cost calculation of the re-use of rinse water in chemical nickel plating", RIZA, RIZA werkdoucment nr. 2004.096x

GLOSSAIRE

Glossaire général

1. Termes généraux, abréviations, acronymes et substances

Termes anglais/français	Signification
A	
A	Ampère
A/dm^2, A/m^2	Ampère par dm^2, Ampères par m^2, mesure de la densité de courant au niveau de l'électrode.
ABS	Plastique à base de copolymère d'acrylonitrile – butadiène – styrène
ACGHI	American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cette organisation édicte des normes d'hygiène industrielle et de sécurité sur le lieu de travail.
Acide	Donneur de protons. Substance qui, dans une solution à base d'eau, émet, avec plus ou moins de facilité, des ions d'hydrogène
Aération	Action de mélanger de l'air (oxygène) à un liquide.
Aérobie	Processus biologique qui se produit en présence d'oxygène.
Agent chélatant	Composé capable de chélation grâce aux ions métalliques.
Agent complexant	Voir agent chélatant.
Agent mouillant	Substance qui permet de réduire la tension de surface d'un liquide, ce qui permet une répartition plus facile et plus uniforme du liquide sur une surface solide
Alcali	Accepteur de protons (base). Substance qui, plus ou moins facilement, absorbe des ions d'hydrogène dans une solution aqueuse.
Anaérobie	Traitement biologique qui se produit en l'absence d'oxygène.
Anodisation	Oxydation anodique. Traitement électrolytique dans lequel la couche de surface d'un métal, tel que l'aluminium, le magnésium ou le zinc est convertie en un revêtement, généralement un oxyde, ayant des propriétés protectrices, décoratives ou fonctionnelles. [101, CEN, 2000]
Anion	Ion chargé négativement ; un ion attiré vers l'anode dans des réactions électrochimiques.
Anode	Electrode positive.
AOCl	Composés organochlorés adsorbables.
AOX	Composés organohalogénés adsorbables. La concentration totale en mg/l, exprimée en chlore, de tous les composés halogénés (à

	l'exception du fluor) présents dans un échantillon d'eau et pouvant être adsorbés par du charbon actif.
APE	Alkylphénol éthoxylate.
Applicabilité (voir le chapitre 4)	Considération concernant les facteurs impliqués dans l'application et l'adaptation de la technique (par exemple disponibilité de l'espace, traitement spécifique).
Apport par entraînement	Liquide (provenant d'un bain précédent) transporté dans un bain par la pièce de fabrication ou le substrat introduit au cours du traitement.
Aquifère	Couche de roche contenant de l'eau (y compris du gravier et du sable) qui permettra d'obtenir de l'eau en quantité utilisable dans un puits ou une source.
Aspects économiques (Voir chapitre 4)	Information concernant les coûts (d'investissement et de fonctionnement) et toute économie envisageable (par exemple, réduction de consommation de matières premières, frais concernant les déchets) en relation également à la capacité de la technique.
ATBC	Acétylcitrate de tributyle (*Acetyl Tributyl Citrate*)
Atelier de travail à façon ou façonnier	Entreprise spécialisée dans le traitement de surface en tant que sous-traitante des industries mécaniques.
Attaque chimique	En règle générale, domination d'une partie de la surface métallique grâce à l'action d'un acide ou d'un alcalin. Ce terme peut être utilisé pour décrire l'élimination de la surface supérieure du métal, conjointement avec les poussières et les oxydes, etc., avant un traitement ultérieur. Utilisée avant l'anodisation, l'attaque chimique a recours à une solution alcaline dans laquelle une activité microgalvanique au niveau de la surface de l'alliage entraîne une apparence mate. [118, EMSTN, 2003].
B	
Bactéricide	Pesticide utilisé pour contrôler ou détruire les bactéries.
Bain	Solution de produits chimiques destinée à une activité de traitement de surface spécifique, par exemple, un bain de décapage. Fait également référence à une cuve ou poste de travail dans une séquence de traitement.
Barre d'anode	Assemblage utilisé à la fois pour déplacer les supports au travers des étapes de traitement principales et (voir est-ce que les traitements fonctionnent à l'aide d'un courant électrique)

	pour transporter le courant électrique vers les supports.
Bénéfices environnementaux obtenus (voir le chapitre 4)	Principaux impacts environnementaux positifs que la technique permet d'obtenir (traitement ou réduction), y compris les valeurs d'émission et les performances de rendement. Bénéfices environnementaux de la technique en comparaison avec d'autres.
BF	Floculation discontinue *(Batch wise Floculation).*
Big bag ou sac de transport en vrac	Grand sac destiné à contenir et à livrer des matières solides. Peut généralement contenir jusqu'à une tonne en fonction de la densité du matériau et est destiné à être compatible avec des systèmes de manutention par palette.
Biodégradable	Qui peut être brisé physiquement et/ou chimiquement par des micro-organismes. Par exemple, de nombreux produits chimiques, des déchets alimentaires, le coton, la laine et le papier sont biodégradables.
BREF	document de référence sur les meilleures techniques disponibles MTD *(Bat REFerence document)*
C	
CA	Courant Alternatif
Capacité assimilative	Capacité d'un corps naturel aquatique à recevoir des eaux résiduaires ou des matériaux toxiques sans effets nocifs et sans endommager la vie aquatique.
Caroat	Monopersulfate de potassium
CASS	Essai CASS . Test de corrosion normalisée *(Copper Accelerated Salt Spray test).*
Cathode	Electrode négative.
Cation	Ion chargé positivement : cation qui est attiré vers les cathodes (électrode négative) dans les réactions électrochimiques.
CF	Floculation en continu *(Continuous Floculation).*
Chélation	Formation d'un complexe (chélate) par une liaison de composés ou radicaux sur un ion métallique polyvalent central (parfois non métallique).
CL50	Concentration Létale 50 (*LC50*). Plus faible concentration d'une substance dans l'eau ou dans l'air ambiant en mg/l suffisant pour provoquer la mort de 50 % de la population test au cours d'une période définie (par exemple, 96 heures pour les poissons, 48 heures pour les daphnies).
CMA	Concentration Maximale Admissible.
CN	Commande Numérique
CNC	Commande Numérique par Calculateur.

CND	Commande Numérique Directe. Système dans lequel un programme à commande numérique est envoyé d'un PC vers une machine à commande numérique par calculateur.
Conditions de référence	Conditions qui sont spécifiées, par exemple ayant trait au fonctionnement d'un traitement, aux échantillons collectés, etc.
Confinement, zone confinée	Le confinement (secondaire) fait référence à une protection supplémentaire contre les rejets provenant des cuves de stockage au-dessus et en plus de la protection de base fournie par le réservoir de stockage lui-même. Il existe deux types principaux de confinement secondaire pour les fuites, à savoir ceux qui font partie de la construction de la cuve, tels que des doubles-fonds de cuve (uniquement pour les cuves utilisées en surface), les cuves à revêtement double et à paroi double et les barrières imperméables qui sont placées sur la surface en-dessous des cuves [90, IEPPCB,]
Corrosion	Réaction chimique de surface qui concerne en particulier les métaux, produite par l'action de l'humidité, de l'air ou de produits chimiques.
COT	Carbone Organique Total : mesure des composés organiques dans les eaux résiduaires. Cette mesure n'intègre pas d'autres agents de réduction entrant dans la détermination (au contraire de la DCOCr). La méthode européenne normalisée pour la mesure du Carbone Organique Total (COT) est : NE 1484
COV	Composés Organiques Volatils (comprend les composés VOX et les non-VOX)
CPI	Déshuileur à plaque ondulée *(corrugated Plate Interceptor)*– dispositif de séparation de l'huile utilisant des plaques ondulées inclinées pour séparer l'huile non émulsifiée et l'eau sur la base de leur différence de densité.
Critères de rinçage	Rapport de rinçage d'un contaminant et d'un solvant, généralement de l'eau, à obtenir.
CSP	Contrôle Statistique du Processus ; technique de gestion d'un traitement. Mesure régulière des paramètres de traitement (tels que la température du bain, le niveau du pH, la concentration de composants de traitement principaux) effectuée sur une base continue pour garantir le maintien de paramètres statistiques (tels que, 3 x l'écart type) afin de contrôler la qualité du traitement.
D	

DAF	Flottation à l'air dissous *(Dissolved Air Flotation)*
DBO	Demande Biologique en Oxygène : quantité d'oxygène dissous nécessaire aux micro-organismes afin de décomposer la matière organique. L'unité de mesure est O_2 en mg/l. En Europe, la DBO est généralement mesurée après 3 (DBO_3), 5 (DBO_5) ou 7 (DBO_7) jours.
DC	Courant Continu (alimentation électrique) *(Direct Courant*)
DCO	Demande Chimique en Oxygène (quantité de dichromate de potassium, exprimée par la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation chimique, à environ 150°C, des substances contenues dans les eaux résiduaires. Cependant, le DCO Cr contient également des traces d'agent réducteur inorganique. Chlorure élevé (> 1 000 mg/l) entrave également les résultats. La norme ISO concernant la DCO est ISO 15705.2002. Le COT est également une mesure des composés organiques dans les eaux résiduaires.
DDC	Dithiocarbamate
DEA	Méthode d'enveloppe des données ; méthode d'évaluation comparative et/ou d'analyse des données (*Data Envelope Analysis*).
Décapage	Pour les métaux : élimination d'oxydes ou d'autres composés d'une surface métallique par un produit chimique ou une action électrochimique [101, CEN, 2000]. Pour une matière plastique : mélange d'acide chromique et sulfurique appliqué sur des surfaces de plastique ABS et destiné à oxyder et dissoudre le composant de butadiène, générant ainsi une surface micro-rugueuse, étape faisant partie de la préparation au revêtement métallique autocatalytique (En allemand : Beisel, bien que Decapieren semble signifier la même chose).
Décaper, décapage, démétallisation	Traitement ou solution utilisée pour l'élimination d'un revêtement déposé sur une sous-couche ou un métal de base. Voir *rectification.*
Dégazage	Type particulier de fragilisation d'un métal ou d'un alliage provoqué par l'absorption d'hydrogène atomique, par exemple, au cours du dépôt électrolytique, du nettoyage cathodique, ou des traitements de décapage et qui se manifeste par une rupture différée, une rupture de fragilité ou une réduction de ductilité [101, CEN, 2000]
Dépôt électrolytique	Électrodéposition d'un revêtement métallique

	adhérent sur une électrode afin de doter une surface de propriétés ou de dimensions différentes de celle du métal de base (voir Électrogalvanisation, galvanisation). Allemand : galvanische Metallabscheidung. Remarque : l'expression revêtement métallique seule ne peut être utilisée dans ce sens. [101, CE, 2000].
Dépôt par immersion	Métal produit par réaction de remplacement dans laquelle un métal est remplacé par un autre dans la solution [101, CEN, 2000]. Par exemple : $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Cu + Fe^{2+}$ (Également connu en tant que dépôt par déplacement).
Dépôt sans courant	Voir dépôt autocatalytique, l'utilisation de cette expression n'est pas conseillée [CEN, 2000 #101].
Description (voir chapitre 4)	Description technique de la technique
Dialyse	Technique de séparation : séparation des colloïdes dans une solution d'autres substances dissoutes par diffusion sélective à travers une membrane.
DE 50 (EC50)	Dose Efficace 50 (*Effect Concentration 50*). La concentration à laquelle des effets clairement définis sont observés sur 50 % de la population test après administration d'une dose unique. Les effets incluent l'immobilisation de daphnies, l'arrêt de la croissance, de la division cellulaire ou de la production de biomasse, ou la production de chlorophylle par des algues.
DL50	Dose Létale 50 (*LD50*). Plus petite dose d'une substance administrée à des espèces telles que des souris et des rats suffisante pour provoquer la mort de 50 % de la population test au cours d'une période définie (pas plus de 14 jours), exprimée en mg de substance test par kg du poids corporel.
Données opérationnelles (voir le chapitre 4)	Données de performance concernant les émissions/déchets et la consommation (matières premières, eau et énergie). Toute autre information utile concernant le fonctionnement, l'entretien et le contrôle de la technique, y compris l'insécurité, les contraintes de fonctionnement de la technique, la qualité de production, etc.
DOS	DiOxyl Sébacate
DSA	Anodes Dimensionnellement stables (*Dimensionaly Stable Anode*). Anodes métalliques qui ne sont pas consommées en cours d'utilisation, comme les anodes de graphites, et qui sont dimensionnellement

	stables.
E	
Ebavurage	Elimination des bavures ou arrêtes vives par électropolissage, moulage, travail à la bande abrasive, ou décapage.
EC50 en anglais (voir définition en français : DE 50)	*Effect Concentration 50.*.
ECCS	Fer chromé électrochimiquement (electro-chemical chromium plating)
Écorinçage	Réservoir de rinçage statique dans lequel des pièces de fabrication sont introduites avant et après le revêtement métallique, permettant la réutilisation des pertes par entraînement sous forme d'apports par entraînement.
EDDS	Éthylène Diamine DiSuccinate
EDT	
EDTA	Acide éthylène ~~et~~ diamine tétra-acétique (*Ethylene diamine Tetraacetic Acide)* Agent chélatant important.
Effet aigu	Effet négatif sur tout organisme vivant développant des symptômes graves rapidement et fréquemment lorsque l'organisme n'est plus exposé
Effets multimilieux	Lorsque des effets s'appliquent à plus d'un milieu, par exemple à l'air et à l'eau. Voir : *effets de réponse croisée.*
Effets d'interaction (voir le chapitre 4)	Tout effet et inconvénient collatéral provoqué par la mise en œuvre de la technique. Détails concernant les problèmes environnementaux liés à la mise en œuvre de la technique en comparaison avec d'autres techniques.
Effluent	Fluide physique (air ou eau mélangé à des polluants) formant une émission.
EIPPCB	bureau européen de la PRIP (*Europeen IPPC Bureau)*
Électrode	Conducteur par lequel un courant électrique entre ou sort d'un électrolyte dans une réaction électrochimique (ou un arc électrique ou un tube à vide) [101, CEN, 2000], voir anodes et cathodes.
Électrogalvanisation	Terme souvent utilisé pour traduire l'expression allemande (*galvanische Metallabscheidung*), ou des expressions similaires provenant d'autres langues. Il est préférable de ne pas utiliser ce terme en anglais car on le confond facilement avec l'expression (*hot dip galvanising*) (galvanisation).
Électrolyte	Substance obtenue par dissolution ou fusion d'un sel, d'un acide ou d'une base et pouvant conduire un courant
Émission	Rejet direct ou indirect de substances,

	vibrations, chaleur ou bruit provenant de sources diffuses ou individuelles dans l'installation, dans l'atmosphère, l'eau ou la terre.
Emission diffuse	Emission se produisant par contact direct de substance volatile ou en poudre fine avec l'environnement (l'atmosphère, dans des conditions de fonctionnement normal). Ces émissions peuvent résulter de : ◦ la conception intrinsèque de l'équipement (par exemple, les filtres, les dispositifs de séchage, etc.) ◦ les conditions de fonctionnement (par exemple, au cours du transfert d'un matériau entre des cuves) ◦ le type de fonctionnement (par exemple, les activités d'entretien), ou ◦ à partir d'un rejet progressif dans d'autres milieux (par exemple dans de l'eau de refroidissement ou des eaux résiduaires). Les émissions fugaces sont un sous-ensemble des émissions diffuses.
Émission fugace	Émission provoquée par un équipement non étanche/une fuite : émission dans l'environnement résultant d'une perte progressive d'étanchéité d'une pièce d'équipement conçue pour contenir un fluide (gazeux ou liquide). Provoquée essentiellement par une différence de pression et une fuite ultérieure. Exemples d'émission fugace : fuite pouvant provenir d'une bride, d'un joint, d'une pompe, d'un équipement étanche ou scellé…
Emission spécifique	Emission en rapport à une base de référence, telle qu'une capacité de production, ou une production réelle (par exemple, masse par tonne ou par unité produite).
ENSA	Acide sulfonique alpha-naphtol éthoxylé. (*Ethoxylated alpha-Naphtol Sulphonic Acid*)
EOP, EoP, eop	Technique de fin du procédé de traitement de surface (End Of Pipe).
EP *en anglais*	Dépoussiéreur électrostatique (*Electrostatic Précipitator).*
UE 15	États membres de l'UE au 26 juin 2002. La plupart des données intégrées à ce document ont été obtenues avant l'élargissement aux ~~à~~ 25 pays membres. Les données provenant des nouveaux États membres sont indiquées lorsque ces derniers en ont fourni.
Eutrophisation	Pollution d'un milieu aqueux par des eaux usées, des fertilisants provenant des champs, et par les déchets industriels (nitrates

	inorganiques et phosphates). Ces composés stimulent la croissance d'algues, réduisent la teneur en oxygène dans l'eau, et provoquent la mort d'animaux ayant des ~~à~~ besoins importants d'oxygène.
Exemples d'installations (voir le chapitre 4)	Référence à une installation dans laquelle la technique est utilisée.
Exploitant	Toute personne physique ou morale qui exploite ou contrôle l'installation ou, dans le cas où la législation nationale le prévoit, à qui sont attribués les droits économiques décisifs sur le fonctionnement technique de l'installation.
F	
Floculation	Coagulation de particules finement divisées en particules d'une masse très importante. [39, 1993].
Force motrice ou éléments moteurs de mise en œuvre (voir le chapitre 4)	Raisons pour lesquelles la technique peut être mise en œuvre (par exemple, une législation différente, une amélioration de qualité de production).
G	
Galvanizing (galvanisation)	En anglais britannique : revêtement métallique par immersion dans des métaux fondus (en allemand : Schelztauchüberzug; en français : galvanisation à chaud). Terme souvent utilisé pour traduire de manière inappropriée l'allemand *galvanische Metallabscheidung*, ou des termes similaires dans d'autres langues. Ces termes devraient être traduits en anglais par electroplating (dépôt électrolytique).
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié. Mélange de gaz de pétrole, généralement du propane et du butane, stocké sous pression sous forme liquide.
GTT (*TWG*)	Groupe de Travail Technique *(Technical Working Group)*
H	
HC	HydroCarbure
HDI	Interconnexions à haute densité (High Density Interconnecs) Type de carte de circuits imprimés dotée de plusieurs couches et d'interconnexions à haute densité entre les couches.
HV (*VHN en anglais*)	nombre de dureté Vickers (*Vickers Hardness Number*)
I	
I.V.	Indice de Viscosité
IEF	Information Exchange Forum (corps consultatif officieux dans le cadre de la directive PRIP).

Installation	Dans la directive PRIP, une unité technique non mobile dans laquelle une ou plusieurs activités énumérées dans l'annexe 1 sont effectuées, ainsi que toute autre activité directement associée techniquement liée aux activités effectuées sur ce site et qui pourrait avoir un effet sur la production d'émissions et la pollution.
Installation (de production)	Machinerie ou usine. Grande unité d'équipement ou assemblage d'équipement, par exemple, une installation pour le traitement d'une surface en sous-traitance, une installation pour le dépôt électrolytique de chrome.
Installation existante	Installation en activité ou, conformément à la législation, existante avant la date à laquelle cette directive est mise en pratique, installation soumise à une demande d'autorisation, à condition que cette installation soit en activité avant le délai maximum d'un an après la date à laquelle cette directive est mise en pratique.
J	
JAT (*JIT*)	Juste A Temps (just in time). JUST-IN-TIME ; technique de gestion de fabrication, régie par la livraison de composants destinés à l'étape suivante d'assemblage au moment où ils sont nécessaires, aucun stock (flux tendu).
K	
Knoop	Les Knoop sont une mesure de dureté.
L	
Lame d'air	Machine à basse pression, volume d'air important, expulsé au travers de fentes fines, et permettant d'obtenir un rideau d'air laminaire. Les composants passent au travers de ce rideau, soit manuellement soit sur un tapis de transport, soit sous forme de bande. La température de l'air s'élève du fait de la compression et du mouvement créé au sein du système, ce qui permet de réchauffer les huiles et les graisses, contribuant à leur élimination. Le mouvement d'air et la température facilitent le séchage des composants. Système utilisé également dans d'autres secteurs, tels que la chocolaterie.
LAS	alkylbenzène sulphonate à chaîne linéaire (*Linear Alkylbenzene Sulphonate*)
Légionelle	~~Genre de~~ Bacilles gram-négatif qui comporte les espèces provoquant la maladie de légionnaire (légionéllose en français ;

	Legionärskrankheit en allemand, parfois legionela en espagnol)
M	
Mesure/technique secondaire	Voir *technique de fin de traitement.*
Métallisation	Application d'un revêtement métallique à la surface d'un matériau non métallique. Remarque : il est recommandé d'utiliser le terme métallisation uniquement dans ce sens et en particulier de ne pas l'utiliser en tant que synonyme de métallisation par projection ou dans le sens de couche métallique de dépôt sur un substrat métallique [101, CEN, 2000].
MES	Matière En Suspension (Solide en Suspension)
Microélectronique	Partie de l'électronique traitant de la miniaturisation des composants.
Microrugosité	Irrégularités microscopiques à la surface d'un matériau.
MLB	Carte imprimée multicouches (multi-layer board). Carte de circuit imprimé munie de plusieurs couches.
MLS	Matières sèches (teneur). La masse d'un matériau restant après séchage est mesurée grâce à des procédés normalisés d'essai.
MES	Matières En Suspension (teneur dans l'eau)
MS	Matières solides (teneur). Teneur en matière solide avant séchage du matériau.
MSA	Acide méthane sulfonique (methane sulfonic acid)
MST	Matières Solides Totales
MTD	Meilleures Techniques Disponibles
MTO	Renouvellement des métaux. Nombre de réapprovisionnements (ou renouvellements) correspondant à la quantité d'origine du métal contenu dans le bain, par ajouts.
N	
N/a	Non applicable OU Non disponible (en fonction du contexte).
N/d	Aucune données (No data)
Niveaux de consommation et d'émission associés à l'utilisation des MTD	
NOX	Oxydes d'azote
NPE	Nonyl-phénol-éthoxylate
NTA	Acide nitriloacétique (*Nitriloacetic Acid*)
O	
O & M	Opérations et Maintenance dans ce document. (Peut également signifier méthodes et organisation, en référence à l'organisation du travail).
OEM	Fabricant d'équipement ou équipementiers (*Original Equipement Manufacter*).

	Entreprise qui fournit un équipement à d'autres entreprises qui le revendent ou l'incorporent dans un autre produit en utilisant la marque de fabrique du revendeur, par exemple le fabricant de composants pour de grands fabricants automobiles.
OSPAR	La convention OSPAR de 1992, combinée à la convention d'Oslo de 1972 concernant les rejets de déchets en mer et la PARCOM (voir ci-dessous). Les travaux menés dans le cadre de la convention sont gérés par la convention OPSAR.
P	
PARCOM	La convention de Paris de 1974 au sujet des sources terrestres de pollution marine. La commission PARCOM, un service de forum à la coopération des parties contractantes. Elle s'est vue remplacée par la convention OSPAR de 1992 (voir ci-dessus).
Pcb, PCB	I : carte de circuit imprimée. Circuit électronique dans lequel le câblage entre les composants et certains composants fixes eux-mêmes sont imprimés sur une carte isolante. (Remarques : 1) il s'agit de la principale utilisation dans ce document. 2) les pellicules souples et d'autres substrats peuvent être utilisés à la place de carte isolante) [39, 1993]. II PolyChloroBiphényle. Dérivés chlorés de biphényle. Composés toxiques bio-accumulables utilisés dans les résines synthétiques et comme isolants électriques. L'unique utilisation dont il est fait état dans ces documents est la section examinant les produits chimiques potentiellement utilisés dans des installations de ces secteurs (voir section 4.1.1.1) [39, 1993].
Perte par entraînement	Liquide transporté en dehors d'un bain par les pièces de fabrication ou le substrat au cours du traitement.
PFOS	Sulfonate de perfluorooctane : agent de surface. Voir l'annexe 8.2 (*PerFluoroOctane Sulphonate)*
PI	Process Integrated : Système intégré au traitement.
PME	Petites et Moyennes Entreprises, voir [61, EC, 2002] (SME : Small and Medium Enterprise(s)).
Polissage au tonneau	Traitement au tonneau en vrac soit à l'aide d'un abrasif ou d'un granulé de polissage et destiné à améliorer la finition des surfaces.
Polissage électrolytique	Rendre anodique une surface métallique afin de la lisser ou de lasurer dans une solution

	appropriée [101, CEN, 2000].
Polissage mécanique	Lissage d'une surface métallique par l'action de particules abrasives.
Polluant	Substance individuelle ou groupe de substances nocives pour ou affectant l'environnement.
Pollution aiguë	Pollution survenant suite à des événements rares, des événements imprévus ou accidentels (voir également : pollution chronique)
Pollution chronique	Pollution se produisant sur une base régulière ou continue, comme par exemple le rejet des effluents (voir pollution aiguë).
Pouvoir de micropénétration	Capacité d'une solution de dépôt électrolytique, dans un ensemble de conditions particulières, à déposer des métaux dans des pores ou des stries. Remarque : un bon pouvoir de micropénétration n'implique pas nécessairement un bon pouvoir de pénétration [101, CEN, 2000].
Pouvoir de pénétration	Capacité d'une solution de dépôt électrolytique à produire un revêtement avec une surface plus lisse que celle du substrat. Voir pouvoir couvrant [101, CEN, 2000].
Pouvoir de répartition	Amélioration de la répartition d'un revêtement (généralement métallique) par rapport à celui obtenu par la répartition en courant primaire d'une électrode (généralement une cathode) dans une solution donnée, pour des conditions spécifiques. Remarque : l'expression peut également être utilisée pour les traitements anodiques pour lesquels l'expression a le même sens que : pouvoir de pénétration. [101, CEN, 2000].
PRIP (IPPC)	Prévention et Réduction Intégrées de la Pollution (Integrated Pollution Prevention Control).
Produit de solubilité	Produit de concentration des ions d'un électrolyte dissous lorsqu'un équilibre avec une substance non dissoute est atteint.
Profils architecturaux	Les pièces de fabrication et les substrats fabriqués selon des dimensions spécifiques de coupe transversale et dont la taille est adaptée à un assemblage et qui sont utilisés dans le secteur du bâtiment. Par exemple, les encadrements de porte et de fenêtre.
PS	Pré-Sensibilisé (presensitised) ; terme utilisé dans ce document en référence aux plaques offset dont la surface est traitée à l'aide d'un revêtement photosensible au cours du

	traitement de fabrication, et avant commercialisation.
PSA	acide phénylsulfonique
PTFE	PolyTétraFluoroEthylène
PTH	Plating Through Hole (revêtement métallique de trou). Il s'agit d'une technique appliquée aux cartes de circuits imprimés. Le revêtement métallique des trous permet de mettre en place des connexions conductrices entre les plans de piste conductrice de dureté d'une carte à double face ou entre les plans de pistes multiples d'une carte à couche multiple (MLB). **Remarques** : ne pas confondre avec la construction des trous débouchants, qui est un type de fabrication de cartes de circuits imprimés dans lequel les pattes des composants sont placées au travers de trous percés au travers de la carte. Cette technique est aujourd'hui largement remplacée par les composants montés en surface.
Q	
QAC	Quaternary Ammonium Compound : composé quaternaire d'ammonium.
R	
Réchauffement planétaire	Effet de serre : le rayonnement des ondes courtes du soleil passe au travers de l'atmosphère de la terre mais après avoir été envoyée par sa surface sous forme de rayonnement infrarouge, une partie de ces rayons est absorbée par les gaz de l'atmosphère provoquant une élévation de la température (phénomène connu en tant que réchauffement planétaire). Selon des calculs, 55 % du réchauffement est provoqué l'absorption d'énergie par le CO_2. Les 45 % restants sont provoqués principalement par une absorption d'énergie par le méthane et détruisent la couche d'ozone en conséquence de l'utilisation de divers VOX.
Rectification	La rectification est le retraitement de produit dont la qualité du traitement de surface a été rejetée car ne correspondant pas aux spécifications requises. En pratique, les termes reworking (retraitement) et stripping (démétallisation) sont parfois confondus et peuvent être utilisés pour indiquer les deux activités.
Refusion	Fusion d'un revêtement d'étain déposé électrolytiquement afin de donner une finition brillante.

Rejet imprévu	Émission qui n'est pas prévue, et qui n'est donc pas autorisée dans le cadre d'un permis. Par exemple, le débordement d'un liquide qui pénètre la surface ou les eaux souterraines, ou un rejet vers une installation de traitement des eaux résiduaires qui dépassent la capacité prévue du traitement. Il peut s'agir d'un rejet aigu (c'est-à-dire qui se produit sur une durée courte, ce que l'on appelle souvent une émission accidentelle, tel qu'un débordement) ou d'un rejet chronique, (c'est-à-dire, se produisant sur une longue durée, telle qu'une fuite d'une cuve)
Revêtement métallique	Expression largement utilisée synonyme de « dépôt électrolytique », qui est le terme le plus approprié.
Revêtement métallique autocatalytique	Dépôt d'un revêtement métallique à l'aide d'une réduction chimique contrôlée qui est catalysée par le métal ou l'alliage en cours de dépôt (101, CEN, 2000)
Revêtement par déplacement	Voir revêtement par immersion
Routage, ou support	Cadre destiné à suspendre des pièces de fabrication au cours des activités de traitement des surfaces. Dans les activités électrochimiques, le routage permet également de transporter le courant jusqu'aux pièces de fabrication.
Rz	Paramètre de mesure de la rugosité d'une surface.
S	
Sac de transport en vrac	Voir big bag
SDT	Solides Dissous Totaux (voir *TDS* en anglais)
Séquestration	Traitement d'« immobilisation » des ions métalliques en composés de coordination pour leur ôter leurs effets. Les agents séquestrants utilisés à cette fin sont généralement des agents chélatants.
SGQ	Système de gestion de la qualité.
SME	Système de Management de l'Environnement
Solution à émulsion faible	Solution faiblement émulsifiante utilisée pour le dégraissage. Les huiles contenues dans la solution peuvent être quasiment éliminées ce qui permet la réutilisation de la solution nettoyée (*demulget* est une marque commerciale)
Sources diffuses	Sources d'émissions identiques diffuses ou directes, ces sources sont multiples et réparties à l'intérieur d'une zone définie.
STEP (en anglais *WWTP*)	STation d'EPuration des eaux résiduaires installation des traitements des eaux résiduaires ; *(Waste Water Traitement Plant)*
Support, ou montage	Cadre destiné à la suspension de pièces de

	fabrication au cours des activités de traitement de surface. Les activités électrochimiques, le montage permettent également le transport de courant jusqu'aux pièces de fabrication.
Surveillance	Procédé destiné à évaluer ou à déterminer la valeur réelle et les variations d'une émission ou d'un autre paramètre, sur la base de procédures de surveillance systématique, périodique ou ponctuelle, d'inspection, d'échantillonnage et de mesure ou de tout autre procédé d'évaluation destiné à fournir les informations concernant les quantités émises et/ou des tendances au sujet des polluants émis.
T	
TA-Luft	Réglementation fédérale allemande pour le contrôle de la pollution atmosphérique.
Technique de fin de traitement	Technique permettant de réduire les émissions ou les consommations finales à l'aide d'un traitement supplémentaire mais ne modifiant pas le fonctionnement fondamental du traitement principal. Synonymes : « technique secondaire », « technique de réduction ». Antonymes : « technique intégrée au traitement », « technique primaire » (une technique qui modifie le fonctionnement du traitement principal, réduisant ainsi les émissions ou les consommations dudit traitement).
Techniques émergentes	Techniques innovantes pouvant être incorporées aux techniques décrites dans le document (voir guide d'utilisation et l'exposé des grandes lignes des BREF). Nom du chapitre récurrent dans les BREF dans lesquels les techniques innovantes sont identifiées.
Tonneau	Egalement appelé tambour. Réservoir rotatif pouvant contenir des pièces de fabrication et utilisé pour leur traitement en masse :
Toxicité aiguë	Effets négatifs qui résultent d'une dose unique ou d'une exposition unique à un produit chimique, tout effet toxique produit au cours d'une période de temps relativement courte, généralement moins de 96 heures. Cette expression est généralement utilisée pour décrire les effets obtenus au cours des tests en laboratoire sur des animaux.
Traitement au tonneau	Activités de traitement de surface effectuées à l'aide de tonneaux. Par exemple, nettoyage au tonneau, dépôt électrolytique au tonneau.
Traitement en bande	Traitement de bande continue de substrat. La plus grande échelle d'activités concerne le

	traitement de l'acier (jusqu'à une largeur de 2 080 mm) ou l'aluminium, bien que le cuivre, le laiton, le nickel et le zinc soient également traités en bandes. Les bandes peuvent également se présenter à une échelle plus petite (quelques millimètres de large) pour la finition décorative.
Travail à la bande abrasive	Meulage directionnel de surface plane au moyen d'un abrasif disposé sur une courroie flexible sans fin [101, CEN, 2000].
TDS *en anglais*	solides dissous totaux (voir SDT en français)
TSM	Traitement de Surface des Métaux et matières plastiques. Concerne les sujets entrant dans la portée de ce document.
TSS *en anglais*	Total des solides en suspension (teneur) (dans l'eau) (voir également MES).
TWG (voir en français GTT)	*Technical Working Group*
U	
Unité d'accumulateur	Unité, lors du revêtement en bande, contenant des boucles du substrat continu. Dans les accumulateurs d'entrée, la longueur des boucles diminue, permettant à l'extrémité du substrat de rester immobile lorsqu'une nouvelle bande est attachée ; dans les accumulateurs de sortie, les boucles augmentent en longueur tout en maintenant la bande réceptrice immobile et en coupant l'extrémité d'un rouleau achevé.
US	(i) anglais des Etats-Unis (*United States*) (ii) États-Unis d'Amérique
Usure/technique primaires	Technique qui, à certains égards, modifie le fonctionnement du traitement principal réduisant ainsi des émissions ou des consommations brutes (voir *technique de fin de traitement*).
UV	Rayonnement UltraViolet
V	
Valeurs limites d'émission	Masse, exprimée en termes de certains paramètres spécifiques, concentration et/ou niveau d'une émission, qui ne peut être dépassé au cours d'une ou plusieurs périodes de temps.
Valoriser	Obtenir la valeur de, ou ajouter une valeur à quelque chose. Par exemple, valoriser une boue contenant des métaux pour l'utilisation de la boue en tant que matière première dans une installation métallurgique (une fonderie), et récupérer les métaux.
VOX	Composés organohalogénés volatils
vs	Versus : terme utilisé pour comparer deux idées ou ensembles de données, etc.
W	

WHB	chaudière de récupération
WWTP (voir STEP en français)	*installation des traitements des eaux résiduaires (Waste Water Traitement Plant)*
X	/
Y	/
Z	/

2. Unités, mesures et symboles

Symbole	Signification
% v/v	pourcentage en volume (également noté vol-%)
% w/w	pourcentage en poids (également noté w-%)
≈	environ ; plus ou moins
Ω	Ohm, unité de résistance électrique
Ω cm	Ohm centimètre, unité de résistance spécifique
A	Ampère
A/dm^2, A/m^2	Ampère par décimètre carré, ampère par mètre carré. Mesure de la densité de courant au niveau de l'électrode
AC kWh	KiloWatt heure (en courant alternatif)
AMP	Ampère
an	an
atm	atmosphère (1 atm = 101 325 N/m^2)
bar	bar (1.013 bar = 1 atm)
barg	Bargauge (barre de pression relative lue sur un manomètre) (bar + 1 atm)
CA	courant alternatif
CC	courant continu
cgs	centimètre, gramme, seconde. Système de mesure aujourd'hui largement remplacé par SI.
cm	centimètre
cSt	centistokes = 10^{-2} stokes
g	gramme
Gj	gigajoule
h	heure
ha	hectare (10^4 m^2) (= 247.105 acres)
Hz	Hertz
j	jour
J	Joule
K	kelvin (0°C = 273,15 Kelvin)
kA	kiloampère
kcal	kilocalorie (1 kcl = 4,19 kj)
kg	kilogramme (1 kg = 1.000 g)
kj	kilojoule (1 kj = 800,24 kcal)
kPa	kilopascal
kt	kilotonne
kWh	kiloWatt heure (1 kWh = 3.600 kJ = 3.6 MJ)
l	litre
m	mètre
m/min	mètres par minute
m^2	mètre carré
m^3	mètre cube
mg	milligramme (1 mg = 10^{-3} gramme)
MJ	Mégajoule (1 MJ = 1.000 kJ = 10^6 joules
ml	millilitre
mm	millimètre (1 mm = 10^{-3} m)
Mt	Mégatonne (1 Mt = 10^6 tonnes)

Mt/an	Mégatonne par an
mV	millivolts
MW_e	Mégawatt électrique (énergie)
MW_{th}	Mégawatts thermiques (énergie)
ng	manogramme (1 ng = 10^{-9} gramme)
Nm^3	mètre cube normal (100.325 kpa, 273 k)
ºC	degré Celsius
Pa	Pascal
Poise	mesure de viscosité : 1 poise = 0,1 Pa/s
ppb	part par billion (milliardième)
ppm	part par million (en poids) (millionième)
ppmv	part par million (en volume) (millionième) ou parties par million en volume
s	seconde
S	siemens, l'unité de mesure de la conductance du SI
St	stokes. Ancienne unité cgs de viscosité cinématique. St = 10^{-6} m^2/s
t	tonne métrique (1.000 kg ou 10^6 g)
t/an	tonne(s) par an
t/j	tonne(s) par jour
V	volt
val/m	valence par litre
Vol-%	pourcentage en volume (également noté % V/v)
W	Watt (1 W = 1J/s)
wt-%	pourcentage en poids (également noté % W/w)
ΔT	accroissement de température
µm	micromètre (1 µm = 10^{-6} m)

3. Liste des éléments chimiques

Nom	Symbole
Actinium	Ac
Aluminium	Al
Américium	Am
Antimoine	Sb
Argent	Ag
Argon	Ar
Arsenic	As
Astatine	At
Barium	Ba
Berkélium	Bk
Béryllium	Be
Bismuth	Bi
Bore	B
Brome	Br
Cadium	Cd
Calcium	Ca
Californium	Cf
Carbone	C
Cérium	Ce

Césium	Cs
Chlore	Cl
Chrome	Cr
Cobalt	Co
Cuivre	Cu
Curium	Cm
Dysprosium	Dy
Einsteinium	Es
Erbium	Er
Europium	Eu
Fermium	Fm
Fluor	F
Francium	Fr
Gadolinium	Gd
Gallium	Ga
Germanium	Ge
Or	Au
Hafnium	Hf
Hélium	He
Holmium	Ho
Hydrogène	H
Indium	In
Iode	I
Iridium	Ir
Fer	Fe
Krypton	Kr
Lanthane	La
Lawrencium	Lr
Plomb	Pb
Lithium	Li
Lutécium	Lu
Magnésium	Mg
Manganèse	Mn
Mendélévium	Md
Mercure	Hg
Molybdène	Mo
Néodyme	Nd
Néon	Ne
Neptunium	Np
Nickel	Ni
Niobium	Nb
Azote	N
Nobélium	No
Osmium	Os
Oxygène	O
Palladium	Pd
Phosphore	P
Platine	Pt
Plutonium	Pu
Polonium	Po

Potassium	K
Praséodyme	Pr
Prométhéum	Pm
Proctatinium	Pa
Radium	Ra
Radon	Rn
Rhénium	Re
Rhodium	Rh
Rubidium	Rb
Ruthenium	Ru
Rutherformdium	Rf
Samarium	Sm
Scandium	Sc
Sélénium	Se
Silicium	Si
Sodium	Na
Strontium	Sr
Soufre	S
Tantale	Ta
Technetium	Tc
Tellure	Te
Terbium	Tb
Thallium	Tl
Thorium	Th
Thulium	Tm
Étain	Sn
Titane	Ti
Tungstène	W
Uranium	U
Vanadium	V
Xénon	Xe
Ytterbium	Yb
Yttrium	Y
Zinc	Zn
Zirconium	Zr

8 ANNEXES

8.1 Métaux et composés dans la législation et les accords les concernant

Métaux et composés ► **▼Directives européennes, règlement, ou traité international ↓**	**Cadmium**	**Cuivre**	**Chrome**	**Plomb**	**Nickel**	**Zinc**
Décision de la Commission concernant la mise en œuvre d'un Registre Européen des Émissions de Polluants (REPE) pour la DPRIP [2, CE, 2000]	Seuil atmosphérique en kg/an : 10 Seuil aquatique en kg/an : 5	100 50	100 50	200 20	50 20	200 100
Directive du 67/548/CEE du Conseil dans sa version modifiée : classification, emballage et étiquetage [105, CE, 1967]	**La classification proposée concernant la santé humaine est** : substance cancérogène de catégorie 2, R49 (peut provoquer un cancer par inhalation) ; R48/23/25 (produit toxique : danger de lésion grave suite à une exposition prolongée par inhalation et par ingurgitation) ; produits mitagènes de catégorie 3, R68 (risque éventuel d'effets irréversibles) ; produits reprotoxiques de catégorie 3, R63 (risque éventuel pour l'enfant à naître) ; et éventuellement R37 (irritation du système respiratoire). **Proposition de classement de cette substance dans la catégorie des substances dangereuses pour l'environnement** : très toxique pour les organismes aquatiques et pouvant provoquer des effets négatifs à long terme dans l'environnement aquatique (R50/53).	Non	**Classification actuelle/proposée** CrO_3 : toxique/très toxique (produit cancérogène de catégorie 1) $Na_2Cr_2O_7$, composés de chrome (VI) (avec des exceptions) : produits cancérogènes de catégorie 2	Composés du plomb, sauf cas contraire : produits reprotoxiques de catégorie 1	Oxyde et sulfures de nickel : produits cancérogènes de catégorie 1	Chromate de zinc (Cr (VI) est la substance contrôlée) : produits cancérogènes de catégorie 1

Métaux et composés ► ▼Directives européennes, règlement, ou traité international ↓	Cadmium	Cuivre	Chrome	Plomb	Nickel	Zinc
Règlement de la Commission (CE) n° 143/97 du 27 janvier 1997 concernant la troisième liste des substances prioritaires tel que prévu par les règlements du Conseil (CEE) n° 793/93 (étude du risque et des stratégies de réduction des risques)	Cadmium, oxyde de cadmium	Non	Trioxyde de chrome Dichromate de potassium Chromate de sodium Dichromate de sodium Dichromate d'ammonium	Non	Nickel Sulfate de nickel	Non
Directive 96/82/CE du Conseil relative au contrôle des principaux dangers d'accident impliquant des substances dangereuses (directive Seveso II)	Produit toxique : déclenchement du plan Seveso II à partir de 100 tonnes		Produit très toxique : déclenchement du plan Seveso II à partir de 5 tonnes			
Directive 76/769/CEE du Conseil dans sa forme modifiée : restrictions de l'utilisation et de la commercialisation [144, CE, 1976]	Oui : peut uniquement être utilisé dans le secteur aéronautique, aérospatial, d'une exploitation minière et, l'exploitation de gisement sous-marin et nucléaire. Egalement dans certains dispositifs de sécurité pour le transport et dans certains contacts électriques de divers secteurs.	Non	Sous forme de chrome hexavalent.	Oui, mais ne s'applique pas aux utilisations de TSM.	Le métal de nickel et ses composés : à ne pas utiliser en bijouterie ou pour des dispositifs d'attache sur revêtement, avec quelques exceptions	Ne s'applique pas aux utilisations de TSM.
Directive 86/278/CEE du Conseil : boues des eaux usées utilisées en agriculture [95, CE, 1986]	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Métaux et composés ► ▼Directives européennes, règlement, ou traité international ↓	Cadmium	Cuivre	Chrome	Plomb	Nickel	Zinc
Décision 2455/2001/CE établissant une liste de substances prioritaires dans le domaine de la qualité de l'eau [143, CU, 2001]	Oui (X)	Non	Non	Oui (X***)	Oui	Non
	X = substance dangereuse prioritaire, cessation dont arrêt progressif prévu des rejets, des émissions et des pertes dans les 20 ans.					
	*** = soumis à une étude d'identification éventuelle en tant que substance dangereuse prioritaire					
Directive 2002/95/CE : restriction de l'utilisation dans les équipements électroniques et électriques [2, CE, 2000]	Oui	Non	Sous forme de chrome hexavalent.	Oui, dans les applications de soudure.	Non	Non
Directive 2000/53/CE : véhicules hors d'usage [99, CE, 2000]	Non	Non	Sous forme de chrome hexavalent.	Oui (à l'exception des réservoirs à essence et des PCB).	Non	Non
Liste de la convention Ospar concernant les substances éventuellement dangereuses [131, Ospar, depuis 2002]	Oui	Non	Non	Non	Non	Non

Tableau 8.1 : Métaux et composés dans la législation et les accords les concernant

8.2 PFOS (sulfonate de perfluorooctane) dans le traitement de surface des métaux et matières plastiques

[109, DEFRA, 2004] Les composants contenant du PFOS sont des polymères de poids moléculaire élevé dans lesquels du PFOS ne représente qu'une partie du polymère et du produit final. Ils ont des propriétés tensio-actives et une résistance élevée à l'oxydation qui le rend utile dans un grand nombre d'applications. Cette annexe, et les rapports auxquels elle renvoie, concerne les PFOS et les substances qui permettent de les éliminer.

Elles sont utilisées pour les finitions métalliques en tant qu'additifs destinés à réduire la tension de surface et à empêcher la formation de brumes provoquée par dégagement de gaz au niveau des électrodes au cours du revêtement métallique. Elles sont largement utilisées dans les techniques de chromage hexavalent afin de réduire la concentration de chrome hexavalent dans l'atmosphère du lieu de travail. Elles sont également utilisées de manière similaire dans les procédés d'anodisation et de décapage acide.

D'autres utilisations connues de ce produit dans le traitement des surfaces sont :

◦ dans le cuivrage, afin d'empêcher la formation de brouillard en régulant la production de mousse et en accroissant la stabilité du bain tout en améliorant la brillance et l'adhérence ;
◦ dans le nickelage, en tant qu'agent de surface antimousse permettant de réduire la tension de surface et d'accroitre la résistance du dépôt électrolytique en éliminant les piqûres, les fissures et l'écaillage ;
◦ dans l'étamage, pour produire une épaisseur de couche uniforme ;
◦ afin de transmettre une charge positive aux particules de fluoropolymère et de contribuer au dépôt électrolytique des polymères (par exemple, PTFE) sur l'acier .

L'utilisation globale estimée du produit, dans les 15 pays de l'UE, dans le secteur du traitement des métaux, est de l'ordre de 3 à 9 tonnes par an.

Le principal producteur mondial de PFOS (3M, US) a procédé volontairement, en 2000, au retrait du marché de la substance sous la majorité de ses formes.

Les Etats-Unis et le Royaume-Uni ont convenu avec le groupe de travail de l'OCDE sur les produits chimiques existants, de travailler de concert à l'élaboration d'une évaluation des risques : les Etats-Unis se sont chargés de la partie concernant la santé humaine et le Royaume-Uni de l'environnement. Cette évaluation des risques a été achevée et approuvée par le groupe de travail de l'OCDE en fin de l'année 2002. L'étude a conclu que les PFOS sont persistants, bio-accumulatifs et toxiques, et qu'il s'agit d'une substance dangereuse pour l'environnement et l'espèce humaine.

Etant donné ses propriétés et l'exposition évidente, une stratégie de réduction des risques (RRS : Risk Reduction Strategy) a été amorcée au Royaume-Uni. Bien que ce mouvement soit lancé au Royaume-Uni, il s'agit d'une orientation européenne exposée dans le document d'orientation technique de régulation des substances existantes. Ainsi, l'intention du Royaume-Uni est de partager ce document avec les autres pays membres de l'Union et également d'en faire profiter tout autre pays qui souhaiterait utiliser les informations.

Bien que le RRS soit un mouvement purement initié par le Royaume-Uni, l'UE et un certain nombre d'États membres ont exprimé leur intérêt pour ces travaux.

La stratégie a été finalisée et publiée par le Royaume-Uni au mois de mars 2004.

8.3 Exemples de valeurs limites d'émission légalesj

	PARCOM	Belgique	France[1]	Allemagne	Angleterre et Pays de Galles[2]	Italie[3]	Pays-Bas	Espagne	Portugal
Rejet vers le réseau d'égouts publics (EP) ou vers les eaux de surface (ES)	EP ou ES		ES	Valeurs des MTD indicatives voir EP	ES				
Ag	0,1	0,1		0,1	0,1		0,1		
Al		10,0	5	3,0		1,0		1,0-2,0	5,0
Cd	0,2[4]	0,6	0,2	0,2	0,01	0,02	0,2	0,1-0,5	0,2
CN Libre	0,2		0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,5-0,10	0,1
CN (VI)	0,1[5]	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2-0,5	0,1
Cr total	0,5[5]	5,0	3,0	0,5	1,0	2,0	0,5	Cr (III) 2,0-4,0	Cr (III) 3,0
Cu	0,5[5]	4,0	2,0	0,5	2,0	0,1	0,5	0,2-10,0	2,0
F		10,0	15,0	50		6		6,0-12,0	15,0
Fe		20,0	5,0	3,0		2,0		2,0-10,0	5,0
Hg	0,05[4]		0,1			0,005	0,05	0,05-0,1	0,05
Ni	0,5[5]	3,0	5,0	0,5-1	1,0	2,0	0,5	2,0-10	5,0
NO_2			1,0			0,6			1,0
P		2,0	10	2		10	15	10-20	10
Pb	0,5[5]	1,0	1,0	0,5		0,2		0,2-0,5	1,0
Sn	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	10	2,0	10,0	2,0
Zn	0,5[5]	7,0	5,0	2,0	2,0	0,5	0,5	3,0-20	5,0
DCO		300	150	400		160			150
EDT				0			0,0		
HC Total			5,0	0,1	0,1	5	0,1	20-40	
VOX	0,1			0,1	0,1		0,1		
Matières solides décantables					50,0				60
Charge totale en sels			aucune limite	aucune limite			aucune limite		
Charge totale en métaux lourds	(voir note 5)		15,0	aucune limite			50kg/an/usine, 20kg/an/métal	3	Somme de tous les métaux 15-20mg/l

HC : hydrocarbures
1) France : consommation d'eau : 8 l/m² de surface traitée pour chaque étape de rinçage
2) Agence de l'environnement de l'Angleterre et du Pays de Galles : il s'agit de normes de MTD indicatives provenant du plan d'orientation pour l'obtention d'un permis que la mise en application des MTD permet théoriquement d'atteindre
3) Des valeurs limites plus basses sont prévues par la loi dans certains domaines (à savoir, le bassin récepteur du lagon de Venise) [112, <XXX>00:03:01</XXX>, 2003]
4) PARCOM : pour les flux d'eau résiduaire traités de manière spécifique [12, PARCOM, 1992]
5) Installations PARCOM rejetant de faible quantité de métaux (définie par : la somme de chrome, de cuivre, de plomb, de nickel et de zinc totale inférieure à 200 g/jour avant traitement en fin de cycle trouvé par le demandeur) peuvent être soumises à des valeurs limites allant jusqu'à un maximum quatre fois supérieur à la quantité de chrome, cuivre, plomb et nickel totale.
Octroyé par l'autorité compétente.

Tableau 8.2 : Valeurs limites d'émission des eaux résiduaires provenant du traitement des surfaces en Europe (valeurs en mg/l) (CETS)

En Finlande, il n'existe pas de valeurs limites d'émission sur le plan national pour les rejets des installations de traitement des surfaces. Généralement, les eaux résiduaires provenant des installations de traitement des surfaces sont évacuées vers le réseau d'égouts publics et chaque station de traitement de l'eau établit ses propres valeurs limites pour les eaux résiduaires industrielles. Cependant, des valeurs limites d'émission utilisées par Helsinki Water Company sont largement appliquées dans d'autres installations de services liées à l'utilisation d'eau. Il faut y ajouter la recommandation Helcom (23/7) destinée à réduire les rejets et les émissions provenant du traitement de surface des métaux, et qui est utilisée pour la délivrance des permis environnementaux. Outre la concentration limite (mg/l), la charge (kg/d) est, en règle générale, définie. La charge est déterminée au cas par cas. Le tableau 8.3 présente les valeurs limites d'émission qui sont utilisées par la Helsinki Water Company et les valeurs données par la recommandation Helcom :

Substance	**Exemple de valeurs limites d'émission de la Helsinki Water Company** Station de traitement des eaux résiduaires	**Normes de la recommandation Helcom (23/7)**
Cadmium	0,01 mg/l	0,20 mg/l
Mercure	0,01 mg/l	0,05 mg/l
Chrome (Cr total)	1,0 mg/l	0,7 mg/l
Chrome VI	0,1 mg/l	0,2 mg/l
Cuivre	2,0 mg/l	0,5 mg/l
Plomb	0,5 mg/l	0,5 mg/l
Nickel	0,5 mg/l	1,0 mg/l
Argent	0,2 mg/l	0,2 mg/l
Zinc	3,0 mg/l	2,0 mg/l
Étain	2,0 mg/l	
Cyanure non lié		0,2 mg/l
Cyanure (total)	0,5 mg/l	
Composé organohalogéné volatile (VOX)		0,1 mg/l
Sulfate, thiosulfate, sulfite (total)	400 mg/l	

Tableau 8.3 : Valeurs limites d'émission provenant de la Helsinki Water Co et de la Helcom concernant les eaux résiduaires industrielles

Substance	**Classification**	**Matériaux dangereux**	**Concentration maximale**	**TA Luft**
Oxyde d'azote (NOX)	~résitant au feu ~ corrosif	TRGS 900	5 mg/m^3	350 mg/m^3
Fluorure d'Hydrogène (HF)	~ très toxique ~ corrosif	TRGS 900	2,5 mg/m^3	3 mg/m^3
Acide chlorhydrique (HCl)	~ corrosif	TRGS 900	8 mg/m^3	30 mg/m^3
Acide sulfurique (SO_x)	~ corrosif	TRGS 900	1 mg/m^3	350 mg/m^3
Aérosols avec NaOH	~ corrosif	TRGS 900	2 mg/m^3	aucun
Composés Chromium (VI)	~ toxique ~dangereux pour l'environnement	TRGS 900	0,1 mg/m^3	0,05 mg/m^3

Tableau 8.4 : Polluants atmosphériques dans la technologie de traitement des surfaces

Bruit

Les réglementations françaises imposent des valeurs d'émission pour le bruit, en fonction de l'environnement local ; un niveau sonore compris entre 3 et 6 dB (A) au-dessus du niveau du sol est préconisé à l'extérieur d'une installation [121, France, 2003].

Concentration de polluants provenant de la fabrication (cartes de circuits imprimés) dans les effluents.

Le tableau 8.5 présente les concentrations les plus fréquentes de polluants dans les effluents des installations de production classiques de cartes de circuits imprimés effectuant ses rejets dans un réseau d'égouts publics.

Paramètre	Limites Allemandes en mg/l (selon les régulations ou comme composite de deux heures)
AOX	1
Arsénic	0.1
Plomb	0.5
Chromium	0.5
Chromium VI	0.1
Cyanure	0.2
Cuivre	0.5
Nickel	0.5
Argent	0.1
Sulphate	1
Etain	2

Tableau 8.5 : Valeurs limites classiques concernant le rejet des eaux résiduaires provenant d'une installation de fabrication de cartes de circuits imprimés vers un réseau d'égouts publics

Lors du rejet dans des cours d'eau, en plus des valeurs mentionnées ci-dessus, les valeurs suivantes sont imposées.

Paramètre	Limites Allemandes en mg/l (selon les régulations ou comme composite de deux heures)
Composés azotés (nitrogen of amonium	50
DCO	600
Fer	3
Fluorures	50
Hydrocarbures	10
Phosphore	2
Toxicité pour les poissons (Fish Toxicity)	6

Tableau 8.6 : Paramètres s'ajoutant aux valeurs classiques pour le rejet d'un effluent provenant de la fabrication de PCB dans un cours d'eau

8.3.1 Réglementations applicables aux activités de traitement de surface en France

La pollution et les nuisances occasionnées par le traitement de surface proviennent principalement de l'utilisation et de la manipulation de produits toxiques, qui nécessitent également la mise en place de mesures rigoureuses de sécurité et d'hygiène dans les ateliers.

Les polluants principaux sont identifiés dans la section 1.4.

Pour ces raisons, les traitements de surface sont directement ou indirectement soumis à divers règlements, notamment les règlements concernant les installations classées et destinées à protéger l'environnement, mais également à la législation sur l'eau et à la législation sur les produits chimiques. Dans certains cas, des réglementations d'urbanisme peuvent également interdire l'installation d'un atelier de traitement de surface.

Les principaux règlements nationaux présentés ci-dessous concernent directement ou indirectement les traitements de surface. Ces règlements, qui sont susceptibles de changer, sont les règlements en vigueur à la date de la construction de l'installation. Ils s'appliquent également sous toute réserve de règlements spécifiques quelconques qui pourraient être en vigueur localement. Pour ces raisons, pour un projet quelconque impliquant la création, la modification ou même la fermeture d'un atelier, il est recommandé de prendre contact avec l'organe d'inspection des installations classées (service régional de l'industrie, de la recherche et de l'environnement), qui est responsable de la communication des règlements qui s'appliquent en réalité au cas en question.

Contraintes d'urbanisation
La construction d'une installation classée nécessite généralement un permis de construire, qui doit être demandé au même moment que la demande d'autorisation dans le cadre de la législation sur les installations classées ou du dépôt de la déclaration.

Législation sur les installations classées
La prévention de la pollution causée par les installations industrielles est régie par un cadre législatif spécifique, à savoir la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (article L.511-1 du code de l'environnement et suivant – ancienne loi du 19 juillet 1976).

- **Systèmes d'autorisation et de déclaration.**
  Les activités de traitement de surface soumises au système d'autorisations doit satisfaire aux exigences des arrêtés préfectoraux établis en particulier sur la base des exigences minimales définies au niveau national par l'arrêté ministériel du 26 septembre 1985 et l'arrêté du 30 juin 2006 .

- **Arrêté du 26 septembre 1985 modifié par l'arrêté du 30 juin 2006**
  Publié en application de l'article 7 de la loi du 19 juillet 1976 (L.512-5 du code de l'environnement), l'arrêté ministériel du 26 septembre 1985 (Journal Officiel du 16 novembre 1985) établit le cadre réglementaire applicable aux ateliers de traitement de surface, est le fruit d'une réflexion menée sur les réglementations initiées en 1972 (circulaire du 4 juillet 1972, suivi par la circulaire du 22 mars 1983).

Note du relecteur de la version française :
Depuis la publication de l'arrêté du 30 juin 2006, l'arrêté du 26 septembre 1985 modifié s'applique aux installations classées soumises à autorisation sous les rubriques 2562, 2566 et 2567. Les prescriptions de l'arrêté du 30 juin 2007 concernent les installations classées dont la demande d'autorisation est déposée à compter du 1er octobre 2006 et à toutes autres installations, à l'exclusion des articles 3-I et 8, à compter du 1er octobre 2007.

- **Arrêté 2565 à valeur de norme**
  L'arrêté du 30 juin 1997 établit le cadre réglementaire concernant les ateliers de traitement de surface soumis à déclaration sous la rubrique 2565,

Législation sur l'eau
La législation sur l'eau (code de l'environnement – article L.210-1 et suivants) est destinée à garantir une gestion équilibrée des ressources en eau.

Législation sur la santé
L'élimination d'eaux résiduaires non domestiques dans un réseau d'égout public est une pratique relativement courante, en particulier dans l'industrie alimentaire. En pratique, cette solution est également fréquemment utilisée par les petites entreprises ou les petites structures industrielles, y compris les ateliers de traitement de surface.

Déchets
Le secteur du traitement de surface produit des quantités considérables de boues d'hydroxyde métallique, qui constituent des déchets industriels spéciaux (DIS) tel que définis par le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 concernant la classification des déchets dangereux. Quelques 175 000 tonnes par an de boue d'hydroxyde sont produites en France, et approximativement 100 0000 de tonnes par an par l'Union Européenne [source : Cetim].

Pollution des sols
Les ateliers de traitement de surface sont fréquemment à l'origine de problèmes de pollution grave des sols et des eaux souterraines. Les sites dont le sol a été pollué par des activités industrielles entrent dans le cadre de la réglementation concernant les installations classées.

Substances polluantes
L'arrêté du 26 septembre 1985 (et celui du 30 juin 2006, note du relecteur) réglemente une activité clairement définie, à savoir l'activité de traitement de surface (approche sectorielle).

Solvants

- **Solvants nocifs pour le milieu aquatique**
  L'arrêté du 2 février 1998 réglemente le rejet dans l'eau des trichloroéthènes (trichloréthylène), de tétrachloroéthène (perchloréthylène), et du 1,2-dichloroéthane (chlorure de méthylène), y compris dans leurs utilisations en tant que produits de dégraissage des surfaces, en application de la directive 76/464/CEE.

- **Composés organiques volatils**

La Directive 99/13/CE du Conseil Européen du 11 mars 1999 vise à réduire les émissions provoquées par l'utilisation de solvants dans l'industrie de 57 % d'ici à 2007. Les ateliers de traitement de surface pourraient intégrer le domaine d'application de cette Directive pour le nettoyage des métaux et les opérations de dégraissage et l'application de certaines peintures et vernis. La transposition de cette Directive dans la loi française pour les activités soumises à autorisation est exécutée par l'amendement de l'arrêté du 2 février 1998 (arrêté du 29 mai 2000 et arrêté devant être publié).

Gestion environnementale

En plus des aspects réglementaires, l'importance des actions volontaires visant à une amélioration constante des résultats d'une entreprise en termes environnementaux est soulignée. Les raisons sont nombreuses (image, responsabilité, stratégie à long terme) pour que la direction d'une entreprise s'implique dans une politique de management de l'environnement.

8.4 Surveillance

Le document de référence concernant les principes généraux de surveillance [91, EIPPCB,] propose une large variété de plans d'orientation sur tous les aspects de la surveillance. Les détails concernant le calcul de la consommation d'eau sont donnés dans la section 3.3.2 de ce document. Certains problèmes spécifiques au secteur sont présentés dans les sections suivantes.

8.4.1 Problèmes généraux concernant la surveillance du traitement de surface des métaux et matières plastiques

8.4.1.1 Carbone organique

Dans certains cas, outre la demande chimique en oxygène (DCO), le carbone organique total (COT) pourrait être également déterminé dans les eaux résiduaires. Le COT représente la quantité de composés organiques dans les eaux résiduaires ; qui peut être biodégradable ou non. La méthode DCO oxyde quasiment tous les types de composés organiques et la plupart des agents de réduction. Une concentration en chlorure élevée (1000 mg/l) dans les eaux résiduaires peut gêner la détermination du DCO. La norme européenne EN 1484 est le procédé de détermination du carbone organique total (COT) et la norme ISO pour la détermination du DCO est ISO 15705 : 2002.

8.4.2 Surveillance atmosphérique

Dans la section 3.3.3, les données provenant du CETS britannique ont été obtenues à partir d'échantillons réalisés selon les procédures suivantes :

La vitesse des gaz dans la cheminée, les mesures de température et le total des particules (y compris du chrome) ont été réalisés selon la norme BS EN 13284 : 2002 et la norme BS ISO 9096 : 2003. Des échantillons particulaires ont été obtenus grâce à un appareillage de prélèvement Stackmite 9096. Les déterminations du chrome ont été réalisées par spectroscopie par absorption atomique. Un échantillonnage périodique des halogénures (chlorure) a été réalisé grâce à l'utilisation d'une pompe graduée raccordée à un appareillage de prélèvement à impacteur contenant des solutions de 0,1N d'acide sulfurique et 0,1N d'hydroxyde de sodium, basé sur l'USEPA 26. Une analyse a été réalisée par chromatographie par échange d'ions. Les travaux d'échantillonnage et de laboratoire ont été effectués par un prestataire agréé ISO 9002, et le prestataire est également agréé UKAS et peut procéder à la majeure partie des tests de laboratoire (à l'exception du chlorure).

8.4.3 Auto-surveillance des effluents aqueux provenant du traitement de surface des métaux et matières plastiques

Introduction

[56, France, 2003] L'auto-surveillance est basée sur des analyses régulières des effluents avec deux objectifs :

- vérifier la conformité de la concentration des diverses espèces et de leurs écoulements, dont les limites sont définies par les pouvoirs publics (instance régulatrice)
- mettre en place des actions correctives lorsque celles-ci se révèlent nécessaire.

La détermination d'une charge polluante nécessite :

- la mesure du flux continu
- un échantillonnage

- des analyses

Mesures du flux continu
Les mesures de flux continus sont d'une importance particulière, en particulier leur précision et leur fiabilité. Une connaissance appropriée des flux de l'eau permet l'utilisation d'un équipement d'échantillonnage afin de calculer les charges de polluants et de déterminer les dimensions adéquates d'un équipement de traitement des eaux résiduaires.

Quel que soit le type d'appareils utilisé, la mesure doit comprendre un enregistrement des flux et une somme des volumes. Tout l'équipement de mesure doit être calibré et réglé par une personne ou un organisme qualifié au moins une fois par an.

Il existe deux techniques de mesure :

- en canal ouvert
- en contrôle, sur canalisation ou circuit fermés.

La mesure du flux en canal ouvert consiste à obtenir une relation entre le flux et le niveau d'eau dans l'équipement de mesure (canaux Venturi, canaux à écoulement rapide ou déversoir, jauges) qui permet d'obtenir une hauteur permanente d'eau afin d'effectuer les mesures. Le flux est calculé par une mesure du niveau d'eau ou de la pression. Les capteurs les plus utilisés sont :

- des dispositifs de mesure à bulles, qui permettent d'obtenir une bonne précision de mesure mais sont sensibles et nécessitent un entretien consciencieux
- le détecteur à ultrason (ultrasonique) qui n'entre pas en contact avec les effluents, mais qui n'est pas utilisable avec la mousse. La condensation de l'humidité sur la tête ultrasonique peut provoquer des interférences
- des flotteurs de jauge de profondeur.

Mesure de flux en circuit fermé :

- appareils de mesure électromagnétique
- appareils de mesure ultrasonique
- appareils de mesure à effet vortex.

La précision de ces derniers types de mesure peut être affectée par des particules et des bulles d'air entraînées ou de la mousse dans l'ensemble des canalisations.

Echantillonnage
L'équipement doit permettre un échantillonnage représentatif des effluents. La place du point de mesure doit être choisie de sorte que :

- la vitesse de l'effluent ne soit pas modifiée par un rétrécissement ou des obstacles
- l'effluent soit homogène
- le point de mesure soit situé à une distance suffisante de la dernière connexion de la conduite pour un mélange approprié.

Si nécessaire, un poste de mélange peut être utilisé sans modifier la qualité des eaux rejetées.

L'échantillonnage doit être proportionnel au flux de l'effluent sauf dans le cas d'un flux constant après un cuve tampon, par exemple :

- types de systèmes d'échantillonnage : par aspiration et par pompage
- ils doivent permettre une vitesse de prélèvement suffisante (supérieure ou égale à 0,5 m/s)
- ils doivent être équipés de tuyaux d'aspiration et de refoulement d'un diamètre interne minimum de 9 mm
- ils doivent être équipés d'un système de purge séquentiel du tuyau d'aspiration
- ils doivent être équipés d'une enceinte isolée thermiquement et réfrigérée à 4°C lorsque cela s'avère nécessaire (tel que pour les analyses de DCO, de DBO) pour une conservation appropriée des échantillons.

D'autres échantillons doivent être prélevés si nécessaire pour garantir que l'effluent soit bien conforme aux conditions établies par le permis, comme par exemple pour une concentration ou une valeur maximale (tel que pour le pH).

Les échantillons ne doivent pas être filtrés avant analyse [12, PARCOM, 1992].

Validation
L'opérateur se doit de procéder à une double analyse réalisée sur le même échantillon par un laboratoire agréé au moins une fois par an.

Le traitement extérieur de validation est basé sur :

- la vérification des conduites d'écoulement et de l'échantillonnage (un contrôle au moins une fois par an)
- un contrôle analytique des conduites (une à quatre fois par an selon la taille de l'installation)
- la constitution de deux séries d'échantillons provenant du même lot et l'envoi d'un lot à un laboratoire agréé (mêmes conditions de conservation, démarrage simultané des analyses).

Analyses et échantillons
Les procédés de référence sont :

1. La spectrophotométrie d'absorption moléculaire ou colorimétrie
L'élément ou les espèces devant être évaluées est combiné à un réactif afin de former ou de détruire un complexe coloré. Ce complexe est soluble dans l'eau ou dans une phase organique. Un faisceau lumineux passe au travers de la solution devant être analysée. Une fraction de la lumière incidente est retenue ou absorbée par la solution proportionnellement à la concentration de la substance absorbante. La proportion de lumière d'absorption à une longueur d'onde spécifique est déterminée par l'utilisation d'un dispositif optique (monochromateur) associé à un dispositif de mesure électronique.

Avantages

- technique très simple
- certains équipements sont portables
- procédé généralement suffisamment sensible pour atteindre les limites de rejet imposées.

Inconvénients

- dispositif ~~qui~~ est sujet aux interférences car il n'est pas toujours conçu spécifiquement en fonction des espèces à déterminer (les éléments observés peuvent réagir avec le réactif ou l'entité qui doit être étudié ou les éléments à étudier peuvent être confrontés à des éléments colorés)
- le dispositif peut ne pas être suffisamment sensible pour certaines valeurs limites (par exemple, le cadmium).

2. Spectrométrie d'absorption moléculaire

L'élément à analyser est à une température élevée entraînant une rupture des liaisons moléculaires et libérant des atomes. Ces atomes ont la propriété d'absorber les rayonnements lumineux visibles ou ultraviolets à des longueurs d'ondes spécifiques.

L'absorption est proportionnelle à la quantité d'atomes croisés par le rayonnement, permettant ainsi d'obtenir le niveau de concentration de l'élément.

La source d'ionisation se compose d'une flamme dans laquelle la solution est mobilisée ou d'un système électrothermique (four) dans lequel la solution est injectée.

Avantages :

- procédé approprié utilisable pour l'estimation des cations métalliques, plus sélectifs, plus sensibles et plus rapides que d'autres, plus coûteux également mais économiques sur une durée raisonnable lorsqu'un grand nombre d'analyses sont nécessaires.

Inconvénients :

- ce procédé ne peut être utilisé qu'en laboratoire.

3. Spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif.

Un gaz est ionisé (argon) dans un chalumeau (tube à quartz) entouré par un inducteur raccordé à un générateur de haute fréquence fonctionnant à fréquence constante.

Un aérosol de l'échantillon à analyser est adopté dans ce plasma à l'aide d'un nébulisateur pneumatique. Le rayonnement de l'atome est décomposé en raies spectrales à l'aide d'un schéma de diffraction.

L'intensité lumineuse de ces raies est convertie en concentration des éléments chimiques requis.

Avantages :

- permet d'obtenir une limite de détection très basse, un dosage simultané d'éléments traces et d'éléments fortement concentrés, une suppression des interférences, un dosage du Cr.

Inconvénients :

- équipement très coûteux
- ce procédé ne peut être utilisé qu'en laboratoire.

4. Chromatographie par échange d'ions

Ce procédé est obtenu par chromatographie en phase liquide avec séparation d'une résine d'échange ionique suivi de divers types de mesures (conductimétrie, ampérométrie, spectrophotométrie UV, fluorescence). Un échantillon liquide est injecté

dans une colonne analytique dans un flux d'éluant permettant la migration des espèces ioniques qui dépend de leur d'affinité individuelle avec la résine. La colonne sépare les ions différents selon leur temps de rétention. La durée des pics observés est comparée avec celles d'un mélange standard (la hauteur de la surface ou les pics permet une mesure quantitative). L'intégrateur effectue une mesure automatique.

Avantages :

- le détecteur permet d'étudier les cations de terre alcaline et métallique
- le détecteur ampérométrique permet l'étude du cyanure, du sulfure, de l'iodure et du bromure.

Inconvénients :

- ce procédé ne peut être utilisé qu'en laboratoire

5. Techniques de base (ou ponctuelles)

Toutes ces techniques sont basées sur la colorimétrie, à l'exception des mesures de pH. De nombreux dispositifs sont disponibles sur le marché. Ils peuvent être classés en quatre groupes :

- **les bandes-éprouvettes**

Il s'agit de bandes de plastique munies d'une pastille de papier absorbant au niveau d'une extrémité qui contient un réactif. Lorsqu'elle est placée dans une solution d'essai, la pastille change de couleur et la densité est proportionnelle à la concentration des espèces à mesurer. Leur sensibilité et leur précision sont médiocres, ils ne sont donc utilisés que pour contrôler l'efficacité d'un traitement ou en cas de pollution accidentelle.

Des bandes similaires peuvent également être utilisées pour contrôler le pH, soit sur une plage étroite soit sur une plage large.

- **Comparateurs**

Un système muni de deux faisceaux est utilisé. L'un d'eux passe au travers de l'échantillon dans lequel ont été ajoutés les réactifs, et l'autre est dirigé vers une échelle de couleurs. L'échelle de couleur est ajustée afin de correspondre à la couleur de l'échantillon d'essai, ceci permet d'obtenir la concentration de l'élément mesuré.

- **Les photomètres**

Il s'agit d'un système optique isolant différentes longueurs d'ondes et pourvu de filtres interférentiels. La source est polychromatique et la lumière incidente inclut soit la totalité du spectre visible ou soit une partie d'une bande située entre deux longueurs d'ondes. Le signal lumineux est converti en courant électrique qui est traité et affiché soit sur un galvanomètre à aiguille ou sur un appareil numérique. La concentration peut ensuite être directement lue.

- **Les pH-mètres**

Ces derniers peuvent être portables ou de laboratoire.

Conclusion :

La gamme de l'équipement analytique est techniquement appropriée aux objectifs de l'auto-surveillance.

La difficulté réside dans la complexité des effluents et dans la nécessité d'obtenir des échantillons qui soient représentatifs, c'est-à-dire qui correspondent précisément à l'effluent rejeté.

Les résultats sont compatibles, à l'exception des cyanures (qui peuvent nécessiter d'être stabilisés avant transport vers les laboratoires de vérification ou si une durée relativement longue s'écoule avant analyse).

La collecte et la préparation des échantillons représentatifs (y compris la stabilisation), la complexité des effluents et des analyses demande un personnel bien qualifié et entraîné.

Références :
[56, France, 2003] Le document de référence concernant les principaux généraux d'échantillonnage [91, EIPPCB,]

8.5 Installations de référence allemandes

Remarque : aucune donnée n'a pu être obtenue pour les installations B ou I.

8.5.1 Installation de référence A

Age de l'installation
20 ans

Nombre d'employés affectés au traitement de surface
22 collaborateurs (18 pour la production, 4 pour l'administration).

Type d'installation
Atelier intégré à l'entreprise

Unités de production sur l'ensemble de l'entreprise

- activité de fonderie des matières plastiques et du zinc (coulée sous pression)
- traitements mécaniques (formage à la presse et usinage)
- atelier de peinture
- activité de revêtement métallique
- activité d'assemblage

Traitements de production dans l'unité de revêtement métallique
Installation de traitement au tonneau pour des articles de taille réduite procédant aux étapes de traitement suivantes :

- dégraissage à chaud
- dégraissage électrolytique
- cuivrage cyanuré
- nickelage noir
- nickelage semi-brillant
- nickelage chimique

Les matériaux de base des pièces de fabrication traitées sont représentés approximativement par :

- 60 % de zinc pour la coulée sous pression
- 30 % d'acier
- 10 % de laiton et de cuivre

Production

- 54 000 m^2/an d'articles de petite taille, comprenant :
  - 5000 opérations à l'heure par an
  - 5000 à 10 000 tonneaux/an
  - 100 000 kg/an de pièces de fabrication.

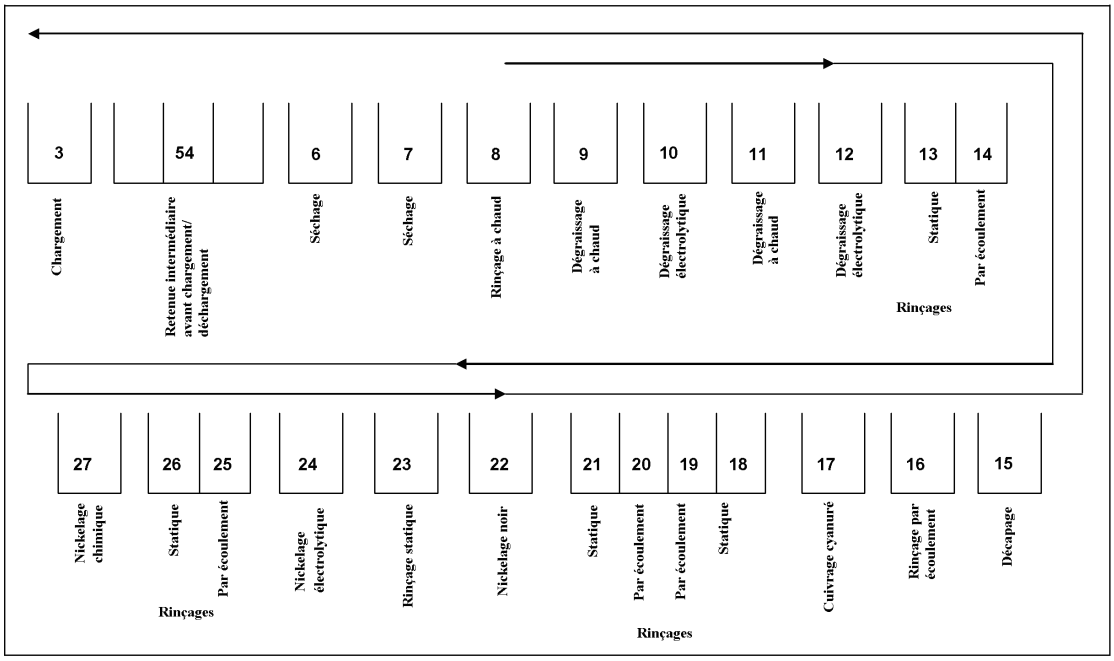


Figure 8.1 : Schéma de principe du traitement effectué dans l'installation A

Produits chimiques utilisés, y compris les noms commerciaux	Etape du traitement	Quantité ou volume du bain en litres	Concentration	Consommation annuelle
Rivolta BRX	Dégraissage à chaud	300	50 g/l	220 kg
Bonder V358	Décapage à chaud	320	100 g/l	325 kg
Entfetter 2032	Dégraissage électrique	320	150 g/l	450 kg
Cyanure de sodium Cyanure de cuivre Partie d'additif 3 Partie d'additif 4 Partie d'additif 5 Anodes de cuivre	Cuivre cyanuré	320	25 g/l 55 g/l (Cu+) 13,4 ml/l 6,8 ml/l n/d n/a	400 kg 300 kg 90 kg 30 kg 30 kg 900 kg
Solution de départ Sel de plomb Additif BP Additif 67 Agents mouillants	Nickel noir	250	140 ml/l 60 g/l 10 ml/l 5 ml/l n/d	600 kg 100 kg 400 kg 40 kg n/d
Sulfate de nickel Chlorure de nickel Acide borique Agent mouillant Additif d'azurage Anodes de nickel	Nickel semi-brillant	320	65 g/l (Ni^{2+}) 25 g/l (Cl^{-}) 40 g/l 5 ml/l 20 ml/l n/a	900 kg 400 kg 300 kg 90 kg 150 kg 500 kg
Solution C-A1 Solution C-A2 Solution C-A3 Régénérat C-A5 Solution C-A6 Régénérat C-A8 Acide nitrique	Nickelage chimique poste 27	320	67 ,2 ml/l 67 ,2 ml/l 0,75 ml/l 18,56 l/MTO n/d entretien du pH	300 kg 150 kg 15 kg 300 kg 180 kg 230 kg 1260kg
Produits chimiques	**Etape de traitement**	**Quantité/ volume**	**Concentration de fonctionnement**	**Consommation annuelle**
NaOH NaOCl HCl Acide amidosulfonique agents de flottation Chaux, solide	Traitement de l'effluent avant rejet vers le système de traitement des eaux résiduaires urbain			20 980 kg 38 000 kg* 2082 kg 700 kg 540 kg 175 kg
* la consommation de NaOCl depuis le 1er juin 99 n'a été que de 9770 kg, car les étapes de traitement au nitrite ont été remplacées par de l'acide amidosulfonique n/d = non déterminé n/a = non applicable				

Tableau 8.7 : Matériaux entrant dans la production de l'installation A

Etape de traitement	Matériau	Quantités ajoutées	Cycle des ajouts	Cycle de contrôle analytique
Décapage à chaud	Rivoltal BRX	4,4 kg/s	Hebdomadaire (s)	Hebdomadaire
Dégraissage à chaud	Bonder V358	6,3 kg/s	Hebdomadaire (s)	Hebdomadaire
Dégraissage électrique	Entfetter 2032	9 kg/s	Hebdomadaire (s)	Hebdomadaire
Cuivrage cyanuré	Cuivre de cyanure de sodium Cyanure Partie d'additif 3 Partie d'additif 4 Partie d'additif 5 Anodes de cuivre	1,6 kg/j 1,2 kg/j 360 g/j 120 g/j 3,6 kg/j	Quotidien (j)	Quotidien
Nickelage noir	Solution de départ Sel de plomb Additif BP Additif 67 Agents mouillants	2,4 kg/j 400 g/j 1,2 kg/j 160 g n.b.*	Quotidien (j) n.b. * ajout régulier sans analyse	Quotidien
Nickelage semi-brillant	Nickel de sulfate de nickel Chlorure Acide borique Agent mouillant Additif brillant Anodes de nickel	18 kg/s 8 kg/s 6 kg/s 1,8 kg/s 3 kg/s 10 kg/s	Hebdomadaire (s)	Hebdomadaire
Nickelage chimique	Solution C-A1 Solution C-A2 Solution C-A3 Régénérat C-A5 Solution C-A6 Régénérat C-A8 Acide nitrique	1,2 kg/d 600 g/j 60 g/j 1,2 kg/j 720 g/j 920 g/j 5 kg/j	Quotidien (j)	Quotidien

Tableau 8.8 : durée d'utilisation des produits de départ, cycles de surveillance et atout de produits chimiques de l'installation A

Substitution des matériaux problématiques utilisés
Les systèmes sans cyanure destinés au remplacement du cuivrage de matériaux de zinc coulé sous pression ne sont pas encore disponibles.

Des tentatives de substitution de l'oxydation du cyanure dans les effluents effectuées à l'aide d'hypochlorite de sodium (afin d'éviter les problèmes de dégagement d'AOX) par une oxydation au rayonnement UV ont échoué. Afin de maintenir la quantité de NaOCl utilisée à un niveau faible, le traitement au nitrite a été remplacé par une réduction à l'acide amidosulfonique, ce qui a entraîné une économie d'approximativement 50 % réalisée sur la quantité de solution d'hypochlorite de sodium utilisée auparavant.

Désignation	Matériaux d'entrée	Concentration (g/l)	Température (°C)	Durée d'utilisation
Dégraissage à chaud	Rivolta BRX	50	60	1 mois
Dégraissage à chaud	Bonder V358 M	100	60	1 mois
Dégraissage électrolytique	Entfetter 2032	150	60	3 mois
Cyanure	NaCN Cu	25 55	50	Changement peu fréquent
Nickelage noir	Sel de plomb de la solution de départ	760	60	Changement peu fréquent
Nickelage semi-brillant	Ni^{2}+ Cl^{-} H_3BO_3	65 25 40	60	Changement peu fréquent
Nickelage chimique	Ni^{2}+ Agent de réduction	4,7 24,4	90	2 mois

Tableau 8.9 : Durée d'utilisation des bains de traitement de l'installation A

Mesures destinées à prolonger la durée d'utilisation des solutions
La durée d'utilisation des électrolytes de cuivre et de nickel, à l'exception des solutions de nickel chimique, sont pratiquement infinies, du fait que la perte par entraînement est suffisamment élevée pour que les impuretés n'atteignent pas un niveau de concentration nocif. Des mesures particulières d'entretien du bain ne sont pas nécessaires. Les impuretés sont retirées des solutions électrolytiques et de nickelage noir par filtration dans un système de dérivation. Pour les charges restantes, aucune mesure particulière d'entretien n'est utilisée ; les durées d'utilisation obtenues sont considérées comme suffisantes.

Mesures pour la réduction des pertes par entraînement
Les tonneaux pour cette chaîne sont conçus précisément pour obtenir un meilleur égouttage du liquide dans le tonneau. Après avoir été sorti du bain, le tonneau est retourné afin que l'égouttage soit le meilleur possible. Les temps d'égouttage sont en général fixés à 5 secondes, à l'exception des réservoirs de cuivrage et de nickelage pour lesquels le temps d'égouttage est de 15 secondes.

L'installation lance une grande variété de programmes. En conséquence, le temps d'égouttage pour les prétraitements et les rinçages est limité à cinq secondes.

Réinjection des électrolytes perdus par entraînement
La réinjection des électrolytes perdus par entraînement a lieu de différentes façons :

- les pertes par évaporation des électrolytes sont compensées par le remplissage depuis le bain de rinçage statique
- la pré-immersion (écorinçage) dans le bain de rinçage statique après le cuivrage, le nickelage noir et semi-brillant, envoie les pertes par entraînement dans le bain. L'électrolyte de nickel chimique ne peut pas être réintroduit de façon significative

étant donné que l'augmentation simultanée de la quantité d'impuretés réduirait la durée d'utilisation de la solution de façon drastique.

Les systèmes d'évaporation de l'eau de rinçage pour la réinjection des électrolytes produits par entraînement ne sont pas utilisés dans cette entreprise.

Technique de rinçage

En général, le système de rinçage utilisé est un système de "rinçage statique/rinçage dynamique", mais avec uniquement une technique de rinçage en deux étapes, où le bain de rinçage dynamique passe à travers des échangeurs d'ions au cours d'un cycle. Etant donné que la production de pièces de fabrication n'est que de un à deux tonneaux par heure et que les pertes par entraînement ne sont que faibles, une très faible quantité d'eau résiduaire est générée. Les rinçages dynamiques sont renouvelés uniquement chaque semaine, et les eaux résiduaires accumulées s'élèvent à approximativement 1,5 m^3 par semaine, une petite quantité d'eau résiduaire provenant de l'éluat des échangeurs d'ions s'y ajoutant.

L'installation échangeuse d'ions pour l'eau de rinçage des rinçages dynamiques fonctionne telle une installation centrale pour l'ensemble des unités de traitement de surface de l'entreprise. Actuellement, 17 bains de rinçage sont évacués au cours d'un cycle ; cinq d'entre eux à partir de l'unité de cuivrage/nickelage décrite. L'installation échangeuse d'ions a une production de 20 m^3/h et est constituée de colonnes échangeuse contenant chacune 500 litres de résine. Les échangeurs de cations et d'anions sont régénérés tous les sept jours ouvrables. Cela donne un volume d'effluent de 8 m^3/semaine.

Le bain de rinçage dynamique après le cuivrage passe dans une dérivation à travers une cellule électrolytique à un débit de 150 l/h, afin de récupérer le cuivre présent. La durée d'utilisation du bain de rinçage augmente d'approximativement six moins pendant que dans le même temps 120 kg/an de cuivre sont récupérés par électrolyse. La consommation d'énergie pour la cellule électrolytique s'élève à environ 950 kWh par an.

Traitement des eaux résiduaires

Il y a une installation de traitement des eaux résiduaires centrale pour toutes les zones de production, donc l'installation de cuivrage/de nickelage ne représente qu'une petite partie de large spectre des eaux résiduaires traitées.

Les eaux résiduaires acides ou alcalines contenant du nickel ou du ferro-cyanure sont entraînées et traitées séparément.

L'installation de traitement des eaux résiduaires est constituée de deux réservoirs de traitement statiques de 10 m^3 chacun. Le traitement habituel existe pour le traitement séparé du cyanure et du chrome hexavalent.

Les flux contenant du cyanure et du nitrite sont mélangés par la suite avec les concentrés restant pour être neutralisés et pour la précipitation des métaux lourds. Pour un post-traitement, l'eau traitée est passée à travers des filtres à gravier et des échangeurs d'ions sélectifs avant d'être évacuée dans le réseau d'évacuation municipal des eaux résiduaires.

Les flux d'eau résiduaire sont :

- des flux contenant du cyanure : 10 m^3/semaine
- des flux contenant du nickel/du fer : 1,5 m^3/semaine
- des flux acides/alcalins : 20 m^3/semaine

- un éluat moyen d'échange d'ions : 5,7 m^3/semaine

Niveaux d'émission des métaux lourds dans les eaux résiduaires

Paramètre	Valeurs limites	Mesures de contrôle interne	Analyses externes	Analyses externes
Cuivre	0,5 mg/l	0,13 mg/l	0,63 mg/l	0,18 mg/l
Nickel	1,0 mg/l	0,13 mg/l	0,20 mg/l	0,34 mg/l
Zinc	2,0 mg/l	0,24 mg/l	0,15 mg/l	0,05 mg/l

Tableau 8.10 : Niveaux d'émission de métaux lourds pour l'installation A

Avec une moyenne de 35 et 40 m^3 d'eau résiduaire par semaine, et des valeurs moyennes de 0,25 mg/l de Cu, 0,25 mg/l de Ni et 0,15 mg/l de Zn, on obtient une charge annuelle en métaux lourds de 440 à 500 g de cuivre, 440 à 500 g de nickel et 260 à 300 g de zinc.

Quantité de déchets

Les déchets sont principalement constitués de sept tonnes de boue de dépôt électrolytique produites annuellement par le traitement des eaux résiduaires. Certains concentrés alcalins sont également traités à l'extérieur. Des matériaux d'absorption et de filtration sont également présents en faibles quantités.

Type de déchets	Nomenclature européenne des déchets	Quantité annuelle	Recyclage	Transport coûts, transport compris
Boues contenant des substances dangereuses	11 01 09	7,02 t	Recyclage pyrométallurgique du nickel	225 € par tonne
Solutions caustiques	11 01 07	2,0 t	Traitement physico-chimique	450 € par tonne
Matériaux d'absorption et de filtration contenant des impuretés dangereuses	15 02 02	0,15 t	Traitement physico-chimique	420 € par tonne

Tableau 8.11 : Quantités de déchets pour l'installation A

La boue de dépôt électrolytique provenant du traitement des eaux résiduaires est complètement utilisée en tant que matière première secondaire dans une installation de recyclage pyrométallurgique. Sa composition est indiquée dans le tableau 8.12.

Boue de dépôt électrolytique			
Cations	**Teneur**	**Anions**	**Teneur**
Calcium	55,1 g/kg	Soufre	10,7 g/kg
Fer	37,3 g/kg	Chlorure	9,1 g/kg
Nickel	49,5 g/kg		
Cuivre	26,9 g/kg		
Zinc	38,1 g/kg		
Titane	1,0 g/kg		
	Composants sous forme de traces		
Chrome	109,9 mg/kg		
Manganèse	33,3 mg/kg		
Molybdène	458,1 mg/kg		
Baryum	79,7 mg/kg		
Tungstène	253,9 mg/kg		
Plomb	319,3 mg/kg		

Tableau 8.12 : Constituants métalliques de la boue de dépôt électrolytique de l'installation A

Considérations liées aux coûts

Les dépense d'investissement se sont élevées à :

- 150 000 € pour l'installation de traitement au tonneau
- 125 000 € pour l'installation de traitement des eaux résiduaires
- 15 000 € pour la récupération électrolytique du cuivre provenant du bain de rinçage statique
- 4 000 € pour une unité de filtration destinée à nettoyer les eaux résiduaires.

L'entretien et les coûts d'entretien s'élèvent à :

- 5 000 € chaque année pour l'installation de traitement au tonneau
- 2 500 € chaque année pour le traitement des effluents.

Les dépenses en personnel pour le fonctionnement en équipe de travail s'élèvent annuellement à 45 000 €.

Aspects économiques de l'installation de récupération du cuivre par électrolyse

Les coûts totaux de l'installation sont calculés approximativement à partir des facteurs suivants, en considérant que les coûts d'énergie sont établis à 0,08 € /kWh:

- coûts d'investissement = 8 % 600 € /an
- entretien/entretien (par perte mesurée) 300 € /an
- dépense d'énergie = 950 kW x 0,16 DEM/kWh = 76 € /an
- somme des coûts annuels = 976 € /an

Ces économies d'échelle découlent de la quantité d'eau économisée (évacuation moindre du bain de rinçage statique), de la production inférieure de déchets, des recettes engrangées par la production de cuivre recyclé et de l'utilisation réduite de produits chimiques de neutralisation. Les économies unitaires s'élèvent à :

- 3 € /m^3 pour l'eau propre
- 0,9 € /kg pour les recettes engrangées par la production de cuivre

- 0,23 € /kg pour 50 % de NaOH.

Economies réalisées chaque année

- économie réalisée sur la consommation en eau propre =
  10 m^3/an x 3 € /m^3 = 30 € /an
- recettes provenant de la production du cuivre =90 kg/an x 0,9/kg = 78,8 € /an
- produits chimiques de précipitation (NaOH) économisés :
  133,3 kg : 0,76 kg/l x 23 € /l = 33,5 € /an
- coûts d'élimination de la boue économisés :
  0,345 t x 275 € /t = 95 € /an

Somme des économies annuelles = 237 € /an

Etant donné que les coûts annuels dépassent les économies annuelles, cette technique ne présente pas d'intérêt économique. Cet argument est déjà connu de l'exploitant.

Estimation des intrants et des sortants
Pour l'installation A, les chiffres suivants peuvent être calculés à partir des données disponibles :
Quantité de nickel entrant = environ 1 023 kg/an, dont :
- 900 kg/an de sulfate de nickel, ce qui correspond à 341,5 kg de Ni/an
- 400 kg/an de chlorure de nickel, ce qui correspond à 181,2 kg de Ni/an
- 500 kg/an d'anodes de nickel.

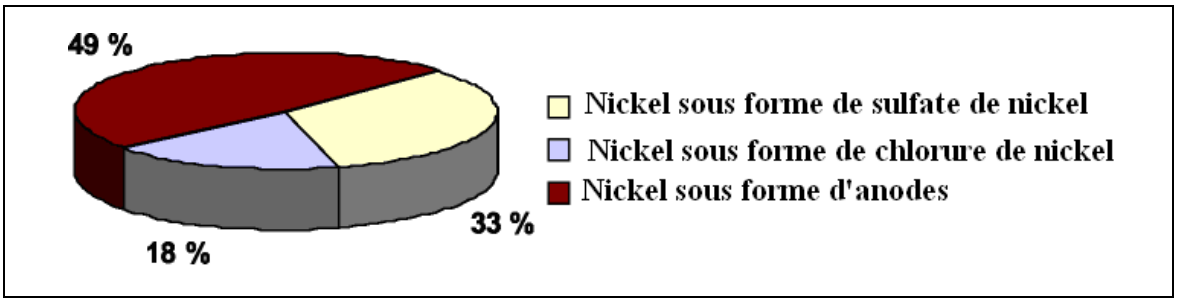


Figure 8.2 : Intrants de nickel pour l'installation A

Quantités de nickel sortant = 347 kg/an, ce qui correspond à 34 % du matériau entrant utilisé, dont :
- 0,5 kg/an dans les eaux résiduaires
- 346, 5 kg/an sous forme de déchets.

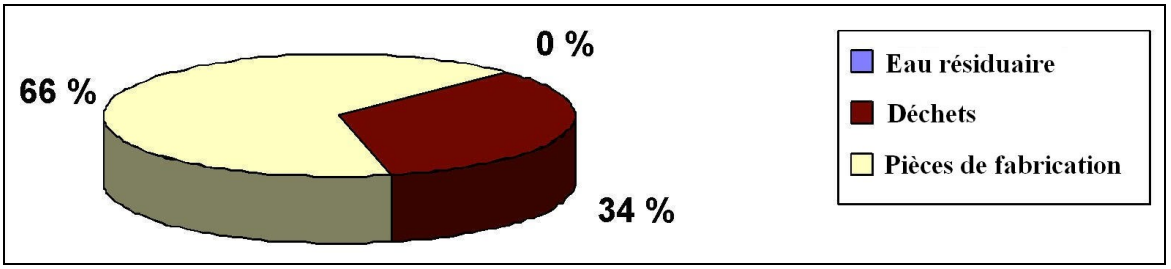


Figure 8.3 : Extrant de nickel pour l'installation A

Quantité de cuivre entrant = 1 065 kg /an, dont :
- 300 kg/an de cyanure de cuivre, ce qui correspond à 165 kg/de Cu/an
- 900 kg/an d'anodes de cuivre.

Quantités de cuivre rejeté = approximativement 189 kg/an, ce qui correspond à 18 % du matériau utilisé, dont :
- 0,5 kg/an dans les eaux résiduaires
- 188,3 kg/an dans les déchets.

Puisque l'ensemble des déchets contenant du métal sont recyclés dans les installations métallurgiques, les pertes globales de métaux sont minimisées. Les seules pertes complètes du système sont les rejets dans les eaux résiduaires et les pertes provoquées par l'inefficacité des fonderies de métaux qui peuvent s'élever à 30 %.

8.5.2 Installation de référence C

Age de l'installation
Aucune donnée

Type d'installation
Atelier intégré à l'entreprise

Nombre de salariés
180

Unités de production de l'entreprise

- fonderie pour plastique (moulage par injection) et zinc (coulée sous pression)
- traitement mécanique
- galvanisation
- assemblage.

Procédé de production dans l'unité de revêtement métallique

- cuivrage
- nickelage
- chromage

Tout procédé de pré et de post-traitement nécessaire compris

Matériau de base
Zinc coulé sous pression net laiton

Production
Aucune donnée disponible

Volume des cuves de traitement
- décapage du métal 2,2 m^3
- prégraissage 3,2 m^3
- dégraissage 4,8 m^3

- dégraissage électrolytique 7,2 m^3
- cuve de cuivrage à l'acide I 8,9 m^3
- cuve de cuivrage à l'acide II 14,1 m^3
- nickelage 13 m^3
- chromage 3,8 m^3

La somme du volume des bains de traitement est supérieure à 30 m^3 ; l'installation est donc soumise à une demande d'autorisation selon la directive IPPC.

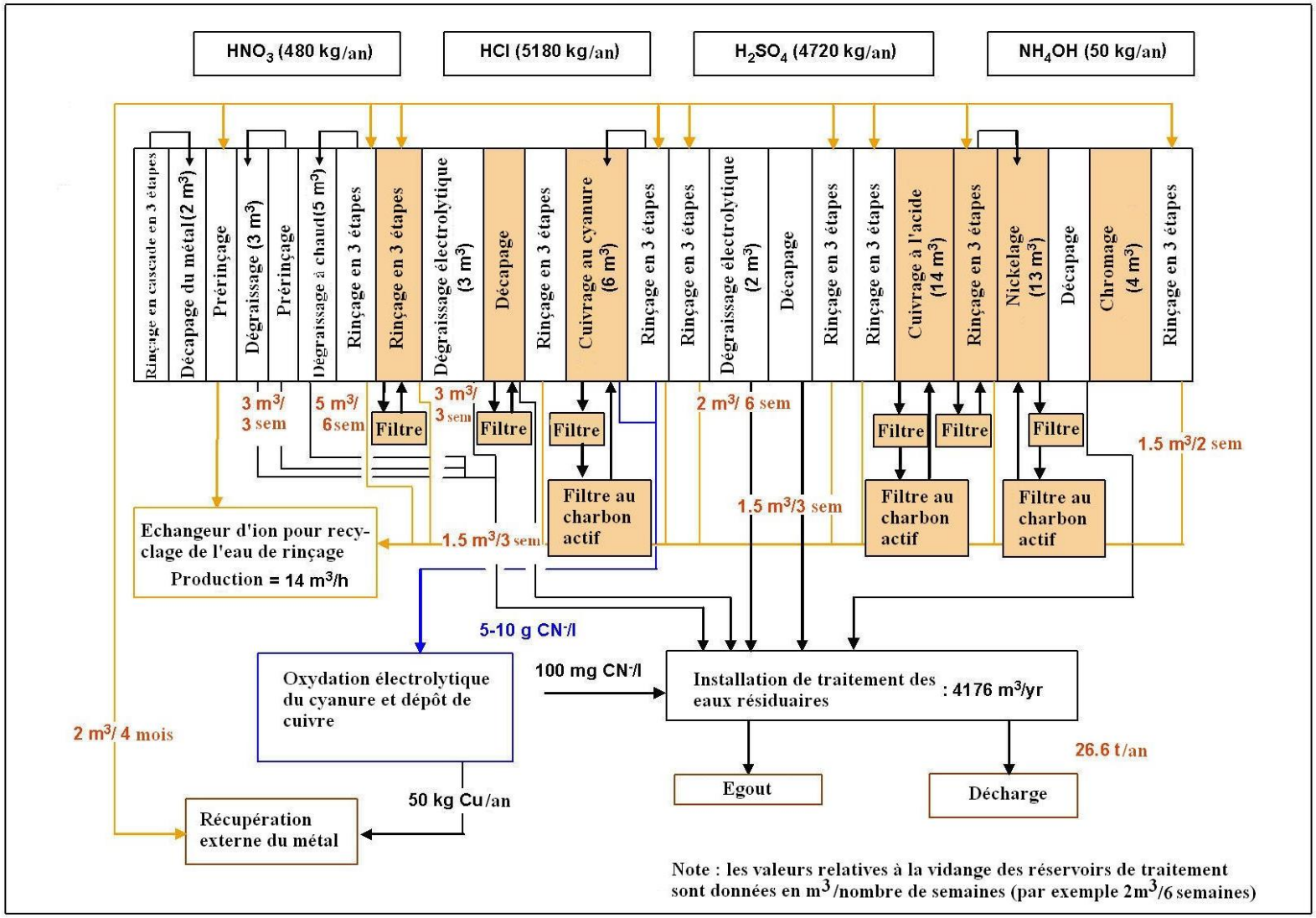


Figure 8.4 : Schéma de principe de traitement de l'installation C

Remplacement des matériaux problématiques utilisés
Le méthanol a été utilisé comme brillanteur avec le bain de cuivrage à l'acide, mais a été remplacé en raison de sa toxicité.

Les cyanures ne peuvent pas être remplacés pour le cuivrage des pièces en zinc coulées sous pression.

La part principale du cyanure dans les eaux résiduaires est oxydée par électrolyse, ce qui minimise l'utilisation de l'hypochlorite de sodium. Cependant, l'hypochlorite de sodium ne peut pas être totalement remplacé et est toujours utilisé avec l'eau de rinçage contenant du cyanure.

Mesure pour la réduction de pertes par entraînement
On utilise généralement des solutions de traitement à faible concentration. Les temps d'égouttage vont jusqu'à 10 secondes, ce qui permet d'obtenir un égouttage relativement bon et ainsi de moindre perte.

Mesures destinées à prolonger la durée d'utilisation des solutions
Les électrolytes de cuivre et de nickel de décapage sont filtrés, comme le sont les deux bains de pré-rinçage, de ce fait la durée d'utilisation pourrait être multipliée par six.

Les électrolytes de cuivre sont traitées au charbon actif, ce qui permet d'obtenir une durée d'utilisation presque illimitée.

Technique de rinçage
La technique de rinçage se présente généralement sous la forme d'un rinçage en cascade en trois étapes. Les eaux de rinçage sont de plus recyclées par l'intermédiaire d'échangeur d'ions.

Réinjection des électrolytes perdus par entraînement
Une réinjection automatique de l'eau de rinçage dans les solutions de traitement jusqu'à un niveau opérationnel prédéterminé est prévue. Ceci s'applique à l'ensemble des solutions de dégraissage et aux électrolytes de cuivre cyanuré, de nickel et de chrome satinés.

Un pré-trempage (de type éco-rinçage) est utilisé avec l'électrolyte de nickel brillant, ce qui permet d'obtenir une récupération d'environ 50 %.

Données relatives à l'installation

- production de l'installation : 25 000 montages/an
  40 000 à 50 000 m² de surface traitée/an
- matériau anodique = nickel (pas de donnée)
  cuivre 750 kg/an
- acide chromique : 2 400 kg/an, ce qui correspond à 1 248 kg/Cr/an.

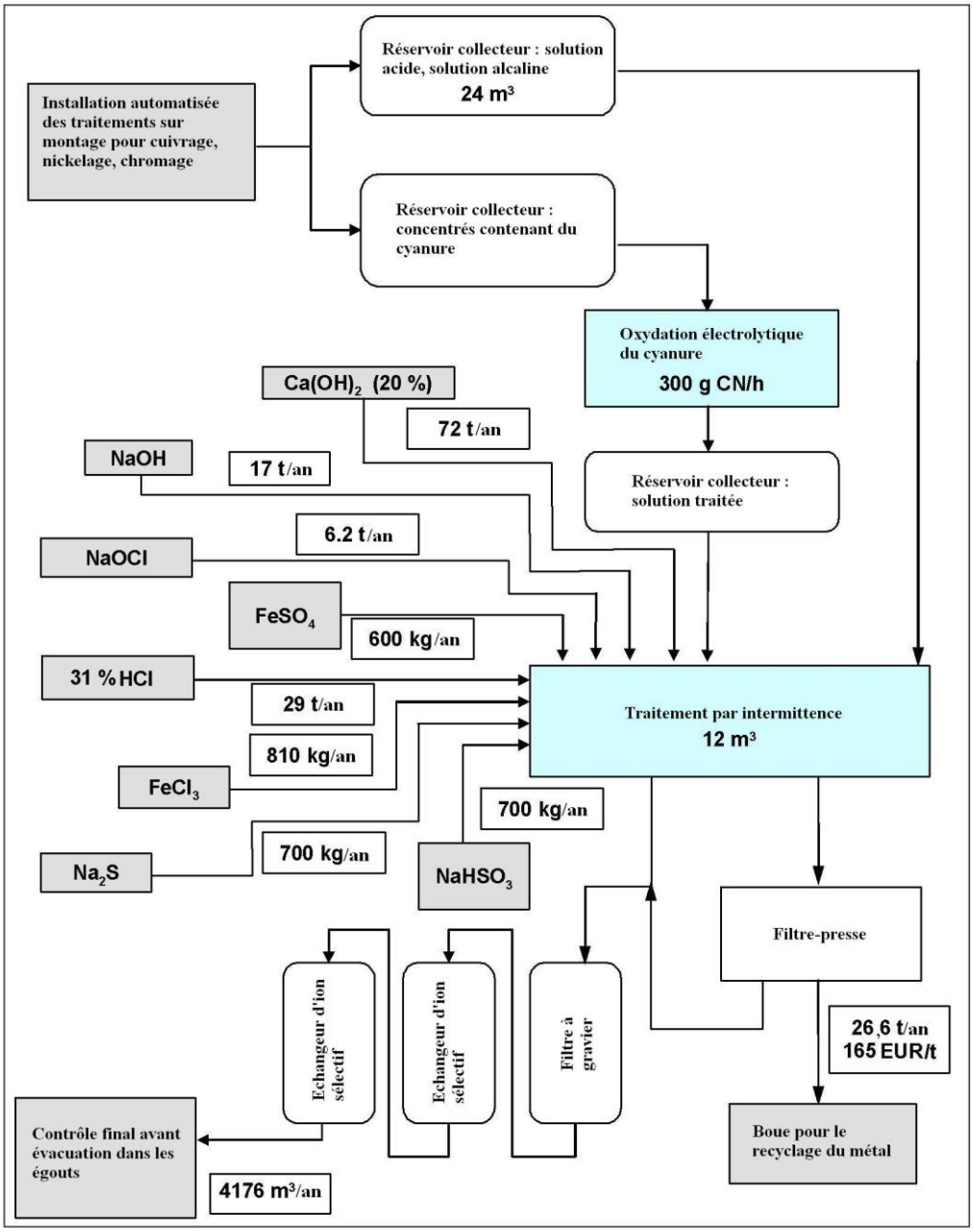


Figure 8.5 : Schéma de procédé de l'installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation C

La boue de dépôt électrolytique par la composition suivante

- résidus secs : approximativement 50 %
- cuivre 4,3 g/kg
- nickel 14,8 g/kg
- fer 17,5 g/kg
- zinc 2,2 g/kg
- calcium 112,5 g/kg
- chrome 44,5 g/kg

Les concentrations en métaux lourds dans les effluents des eaux résiduaires sont les suivantes :

- cuivre 0,25 mg/l
- nickel 0,2 mg/l
- chrome 0,10 mg/l
- fer 1,8 mg/l.

Bilans des métaux

a) Cuivre

- quantité entrante de cuivre (matériau anodique) : 750 kg/an
- évacuation du cuivre avec la boue de traitement des eaux résiduaires : 114 kg/an
- évacuation du cuivre avec les eaux résiduaires : 1,04 kg/an.

Le traitement perd environ 15,3 % du cuivre (84,7 % du cuivre est utilisé) ; 0,14 % du total est perdu dans les eaux résiduaires.

b) Nickel

- quantité de nickel entrant (matériau anodique) : 10 815 kg/an
- évacuation du nickel avec la boue de traitement des eaux résiduaires : 394 kg/an
- évacuation du nickel dans les eaux résiduaires : 083 kg/an

Sur la quantité totale de nickel entrant (10 815 kg), 703,1 kg sont rejetés annuellement principalement sous forme de déchets. Ceci correspond à une utilisation de 96,3 %. La part de nickel rejetée avec les eaux résiduaires s'élève à moins de 0,01 % de la quantité entrante.

c) Chrome

- quantité de chrome entrant (sous forme H_2CrO_4) : 1 248 kg/an
- évacuation du chrome avec la boue de traitement des eaux résiduaires : 336 kg/an
- évacuation du chrome avec les eaux résiduaires : 0,4 kg/an

Environ 27 % de la quantité de chrome entrant est rejetée (à nouveau, principalement sous forme de déchets) ce qui correspond à une utilisation de 73 %. L'acheminement des eaux résiduaires contribue à hauteur de 0,032 %.

Conclusion
La boue de revêtement métallique est entièrement utilisée comme matière première secondaire dans les traitements métallurgiques. La perte en métaux entrant de l'ensemble du système est inférieure à 1 % (0,018 % actuellement), et celle-ci se présente sous forme de rejets dans les eaux résiduaires. Cependant, ceci ne tient pas compte de l'efficacité de récupération des métaux dans les fonderies, etc. qui peut être de l'ordre de 70 %.

8.5.3 Installation de référence D

Age de l'installation
Aucune donnée

Type d'installation
Atelier intégré à l’entreprise

Nombre de salariés

Aucune donnée

Programme de production de l'ensemble de l'entreprise :

- travail mécanique
- revêtement métallique et
- assemblage, y compris l'emballage et l'expédition

Programme de production de cette unité de revêtement métallique (installation D) :

- cuivrage
- nickelage
- nickelage chimique
- chromage
- argenture et dorure

Matériau de base
Pièces en acier et en laiton

Production
3 000 tonnes d'acier et de métaux non ferreux

Volume des cuves de traitement

• décapage du métal	16 m^3
• dégraissage par immersion	3,6 m^3
• dégraissage électrolytique	11,2 m3
• cuivrage au cyanure	4 m^3
• cuivrage à l'acide	(pas de donnée)
• nickelage	15 m^3
• chromage	4,4 m3
• argenture	12 m^3.

Intrant de matériau
Aucune donnée disponible.

Remplacement des matériaux problématiques utilisés
Les cyanures sont partiellement remplacés dans les solutions de dégraissage. Le remplacement du cuivrage au cyanure a entraîné de graves problèmes de qualité et a donc été annulé. Comme alternative à l'oxydation à l'hypochlorite de sodium et du cyanure, le Caroat et l'oxydation électrolytique par rayonnement UV ont fait l'objet d'essais approfondis sans aucun succès.

Mesures pour la réduction des pertes par entraînement
La concentration en acide chromique dans l'unité de chromage a été abaissée à 150 g/l, ce qui a entraîné une diminution sensible de l'électrolyte perdu par entraînement.

La construction interne à l'entreprise des montages et l'entretien intensif des montages a conduit à une réduction significative des pertes par entraînement.

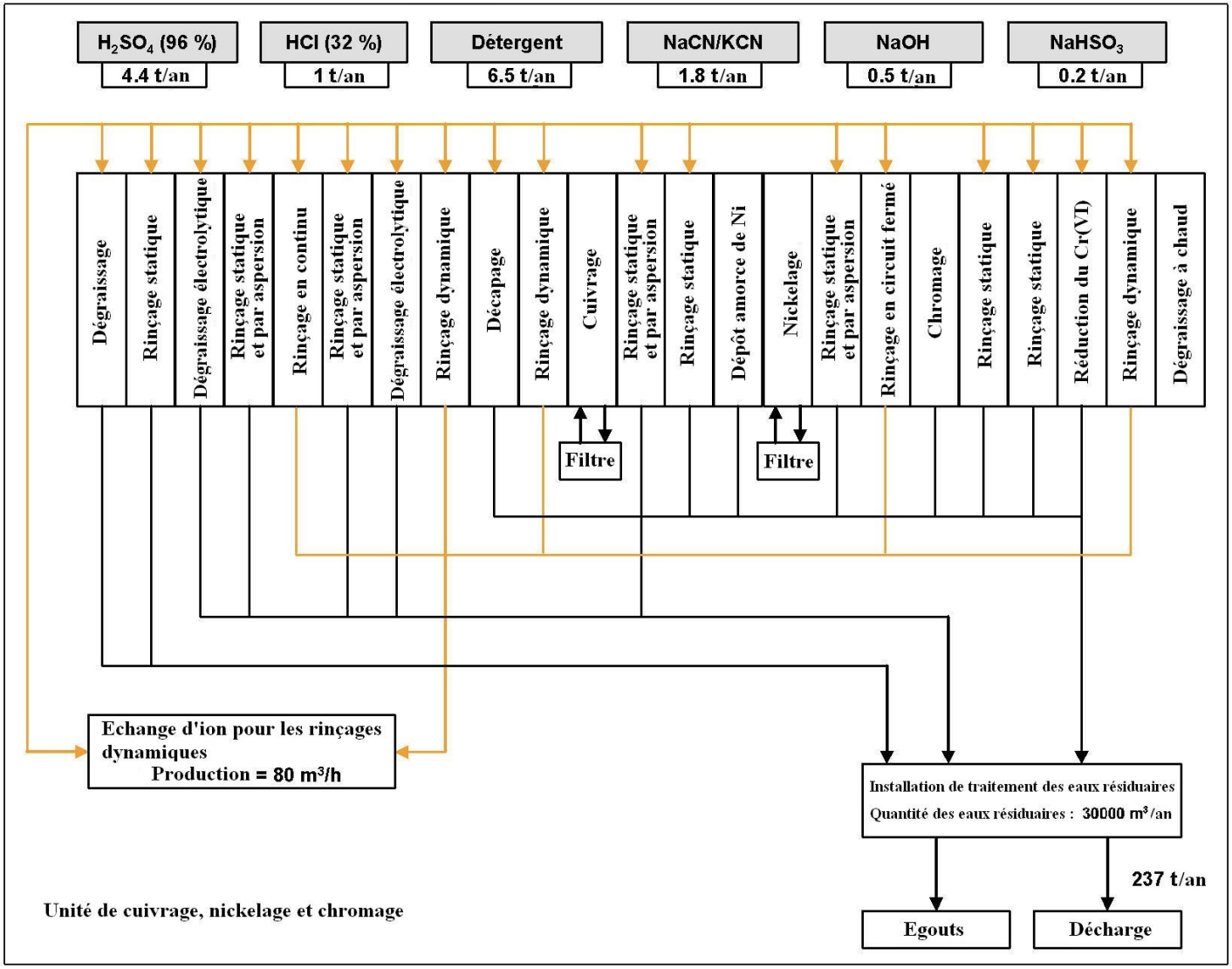


Figure 8.6 : Schéma de principe du traitement avec l'installation D

Mesures destinées à prolonger la durée d'utilisation des solutions
Les électrolytes de cuivre, de nickel et d'argent sont filtrés. Les électrolytes d'argent sont traités au moyen d'un traitement supplémentaire au charbon actif.

Technique de rinçage
La technique de rinçage se présente généralement sous la forme de trois bains de rinçage en cascade en trois étapes ; le rinçage après décapage constitue une exception. Les trois rinçages en cascade en trois étapes sont réalisées soit grâce à deux rinçages statiques soit grâce à un rinçage statique combiné à un rinçage par aspersion, suivi d'un rinçage dynamique final qui est régénéré de façon continue par des échangeurs d'ions.

Réinjection des électrolytes perdus par entraînement
Une réinjection de l'eau de rinçage provenant du premier bain de rinçage statique dans les réservoirs de traitement est effectuée au niveau de l'ensemble des unités de nickelage ainsi que des unités de chromage et de cuivrage au cyanure.

Traitement des eaux résiduaires
Voir figure 8.7. Grâce à l'utilisation de ce que l'on appelle un procédé de filtration par rotor tubulaire pour la déshydratation de la boue générée avec la neutralisation des eaux résiduaires, l'addition de produits chimiques de floculation (sels de fer, lait de chaux, floculants) pourrait être réduite radicalement.

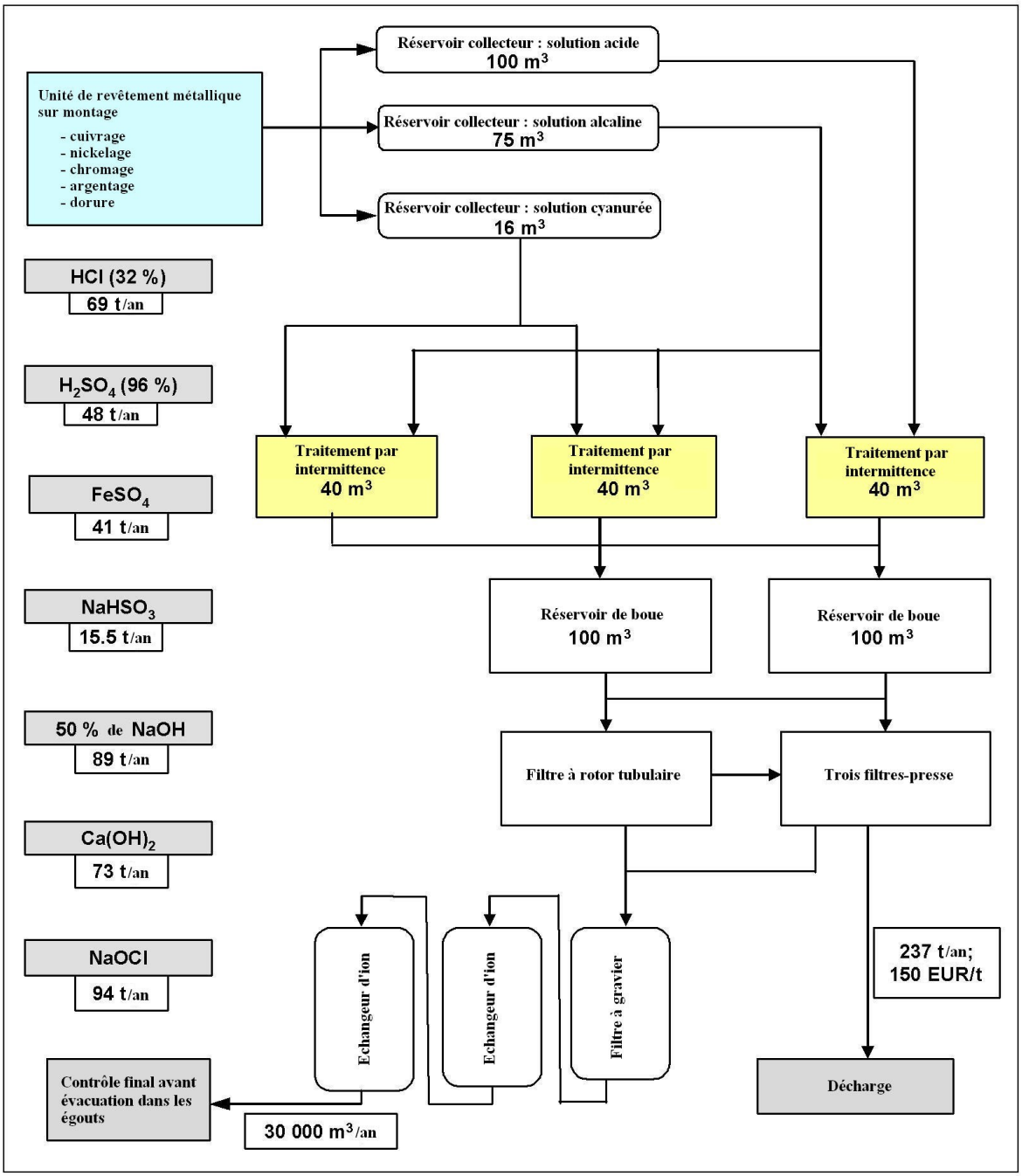


Figure 8.7 : Schéma de principe du traitement des eaux résiduaires dans l'installation D

Données caractéristiques de l'installation
Du fait de la grande diversités de produits et du changement régulier de type de produits, l'indication du métal sur la surface traitée n'est pas possible.

L'analyse de la boue a donné les valeurs suivantes (analyse du prélèvement d'origine) :

- résidus secs approximativement 48 %
- cuivre 0,21 g/kg
- nickel 1,4 g/kg
- zinc 0,09 g/kg
- chrome 0,13 g/kg
- hydrocarbures 3,7 g/kg.
-

Les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires sont de l'ordre de :

- cuivre <0,1 mg/l ~~L~~
- nickel <0,1 mg/ l ~~L~~
- chrome <0,1 mg/ l ~~L~~
- fer 0,5 mg/ l ~~L~~.

Les charges d'émission des métaux lourds sont indiquées dans le tableau 8.13 :

Métal	Emission	
	Dans les eaux résiduaires	Dans les déchets
Cuivre	<30 kg/an	50 kg/an
Nickel	<30 kg/an	332 kg/an
Chrome	<30 kg/an	31 kg/an

Tableau 8.13 : Pertes en métaux dans les eaux résiduaires et les déchets pour l'installation D

****attention, à partir de ce point, le document n'a pas été relu par l'INERIS****

8.5.4 Installation de référence E

Age de l'installation
20 ans ; la dernière modernisation a été entreprise il y a de cela plus de 7 ans.

Type d'installation
Atelier de travail à la demande.

Programme de production de l'ensemble de l'entreprise

- zingage et chromatation de pièces en acier
- cuivrage, nickelage et étamage de pièces en acier
- cuivrage, nickelage et étamage de pièces en métaux non ferreux
- argentage de pièces en métaux non ferreux

Programme de production de l'installation de revêtement métallique (Installation E)
Il s'agit d'une unité de dépôt électrolytique qui comporte les étapes de traitement suivantes : dégraissage à chaud, décapage, dégraissage électrolytique, dépôt électrolytique au cyanure, azurage, chromatation bleue.

Production
63 000 m^2/an pour 2 400 heures de travail par an.

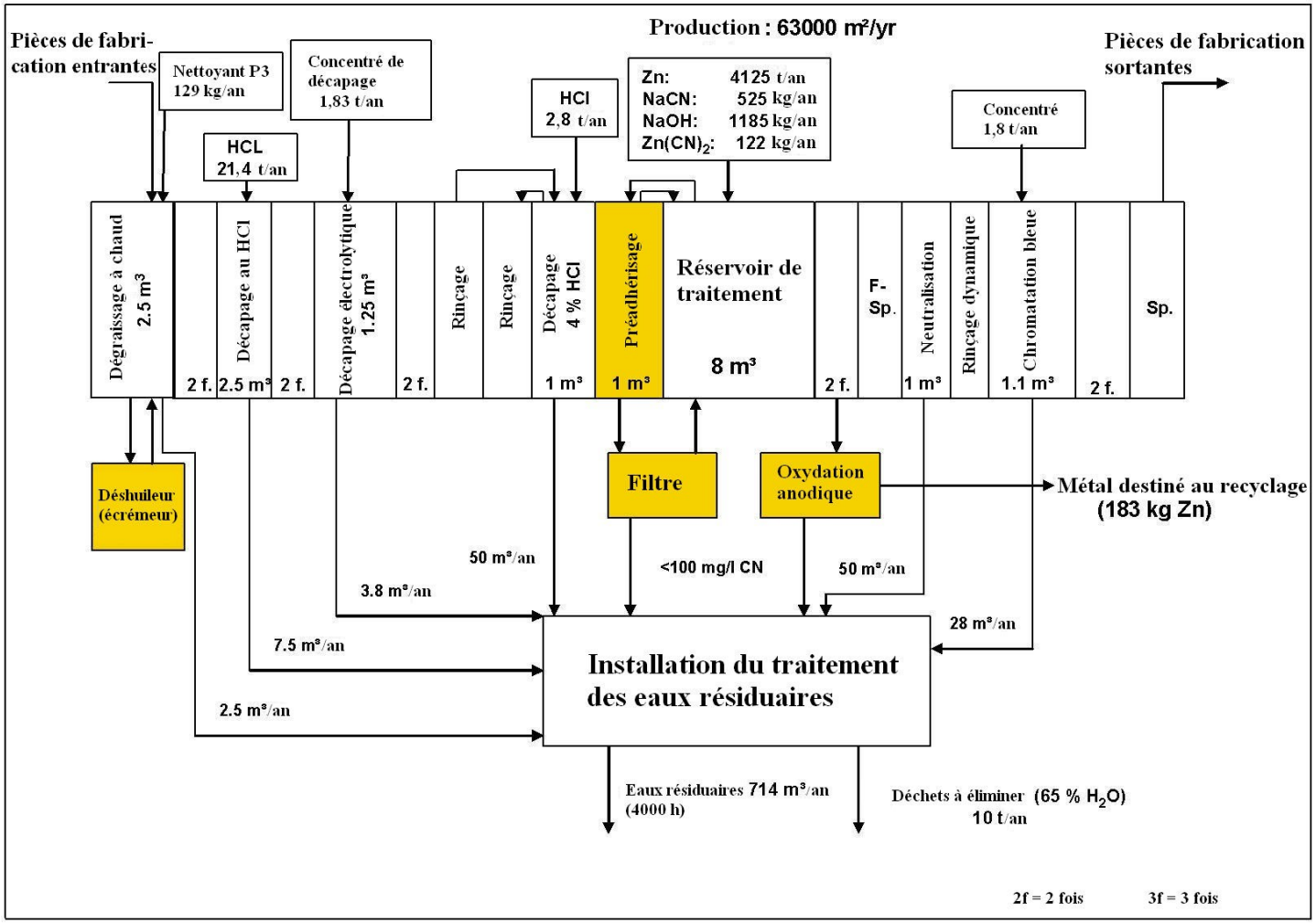

Production : 63000 m²/yr
Pièces de fabri-cation entrantes
Nettoyant P3 129 kg/an
Concentré de décapage 1,83 t/an
HCL 21,4 t/an
HCl 2,8 t/an
Zn: 4125 t/an
NaCN: 525 kg/an
NaOH: 1185 kg/an
Zn(CN)2: 122 kg/an
Concentré 1,8 t/an
Pièces de fabrication sortantes
Dégraissage à chaud 2.5 m³
2 f.
Décapage au HCl 2.5 m³
2 f.
Décapage électrolytique 1.25 m³
2 f.
Rinçage
Rinçage
Décapage 4 % HCl 1 m³
Préadhérisage 1 m³
Réservoir de traitement 8 m³
2 f.
F-Sp.
Neutralisation 1 m³
Rinçage dynamique
Chromatation bleue 1.1 m³
2 f.
Sp.
Déshuileur (écrémeur)
Filtre
Oxydation anodique
Métal destiné au recyclage (183 kg Zn)
50 m³/an
<100 mg/l CN
50 m³/an
3.8 m³/an
28 m³/an
7.5 m³/an
Installation du traitement des eaux résiduaires
2.5 m³/an
Eaux résiduaires 714 m³/an (4000 h)
Déchets à éliminer (65 % H2O) 10 t/an
2f = 2 fois
3f = 3 fois

figure 8.8 :

Produits chimiques utilisés y compris les noms de marque	Etape de traitement	Quantité (litres)	Concentration Utilisée	Consommation annuelle (kg)	Consommation annuelle en EUR
Nettoyant P 3	Dégraissage à chaud	2500	50 g/l	192	480
Acide chlorhydrique, agents tensioactifs	Décapage :	2 500	250 g/l 25 g/l	21 354	3 203
Non-acide	Dégraissage électrique	1 250	130 g/l	1796	4040
Anodes de zinc Cyanure de zinc NaCN NaOH	Electrolyte de zinc	8 000	Zn 20 g/l 40 g/l 85 g/l	4 036 150 525 1415	5 400 600 920 481
Acide nitrique	Clarification	1 000	29 g/l	1000	250
Tridur Zn blue	Chromatation bleue	1 100	70 ml/l	2 370	7 110
Somme :					22 484
50 % de soude caustique	Système de traitement des effluents Cette installation traite 23,5 % des eaux résiduaires totales	--	--	120 300	36 090
chaux				19 000	2 850
30 % d'acide chlorhydrique				40 000	7 000
Hypochlorite de sodium				19 000	5 130
Sulfate ferreux				3000	450
Somme totale :					**51 520**
Proportionnel	**23,5 % du système total**				**12 107**

Tableau 8.14 : Matériaux entrants dans l'installation E

Remplacement des matériaux problématiques utilisés

En raison de la conception et du fonctionnement actuellement sûr de l'installation, aucun remplacement de matériau entrant, c'est-à-dire des cyanures, n'est planifié pour le moment.

Matériaux	Cycle de remplissage	Cycle de contrôle analytique	Durée d'utilisation
Nettoyants P 3	12/an	2/mois	52 semaines
30 % d'acide chlorhydrique	20/an	1/semaine	17 semaines
Non-acide	3/jour	1/semaine	17 semaines
Zn NaCN NaOH	1/semaine	1/semaine	infini
Acide nitrique	1/jour	1/jour	1 semaine
Tridur Zn-blue	Continu	1/semaine	2 semaines

Tableau 8.15 : Durée d'utilisation des solutions – cycle de contrôle et de remplissage des produits chimiques

Mesures destinées à prolonger la durée d'utilisation des solutions

La durée d'utilisation de l'électrolyte de zinc est pratiquement infinie puisque la perte par entraînement est suffisamment élevée pour que les impuretés n'atteignent pas une concentration détériorant la qualité du revêtement métallique. Des mesures particulières d'entretien du bain ne sont pas nécessaires.

Un séparateur d'huile (écrémeur) est utilisé pour retirer les graisses, les huiles et les autres polluants des solutions de dégraissage à chaud.

La solution de chromatation n'est pas régénérée.

Mesures pour la réduction des pertes par entraînement
Le dispositif de rinçage par aspersion se trouve au-dessus des réservoirs de dégraissage à chaud et électrolytiques.

Réinjection des électrolytes perdus par entraînement

- **réinjection directe partielle du contenu du bain de rinçage dans les réservoirs de traitement**
- **préadhérisage dans le bain de rinçage statique à l'étape de zingage ; cela se traduit par une réinjection de 50 % des électrolytes perdues par entraînement.**

Technique de rinçage
Voir le schéma de procédé de la figure 8.8.

Traitement des eaux résiduaires
Voir le schéma de procédé de la figure 8.9.

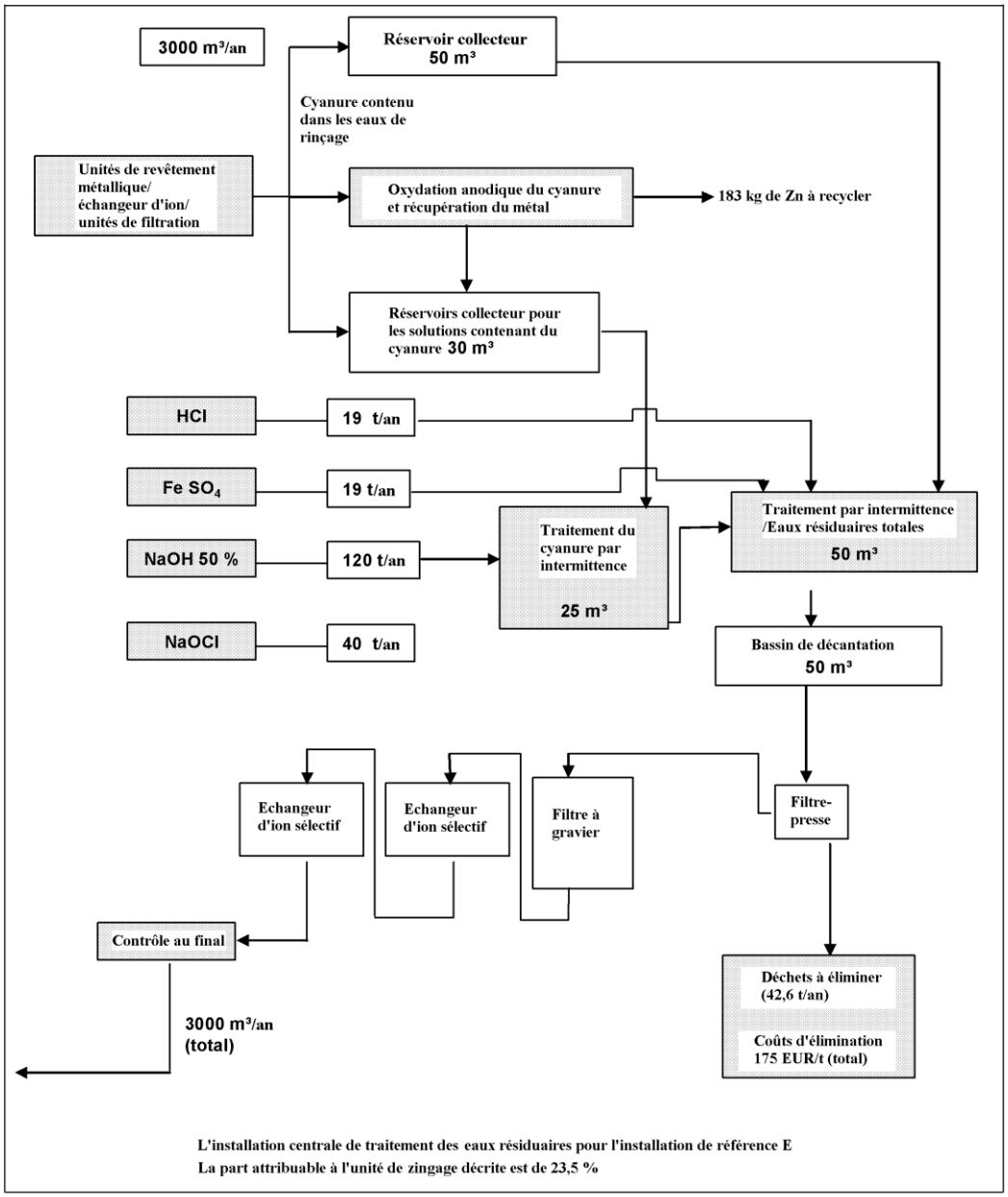


Figure 8.9 : Schéma de procédé d'une installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation E

Les eaux résiduaires de cette unité de revêtement métallique sont traitées en même temps que les eaux résiduaires provenant d'une autre unité de traitement de surface de l'entreprise. La part s'élève à 23,5 % du total des eaux résiduaires de l'ensemble de l'installation.

Techniques particulières dans le traitement des eaux résiduaires – cellule électrolytique pour l'oxydation du cyanure et le recyclage du zinc et du cuivre provenant des eaux de rinçage

Une cellule électrolytique est utilisée pour le traitement des eaux de rinçage contenant du cyanure provenant des unités de cuivrage et de zingage afin d'oxyder les ions de cyanure (au niveau de l'anode) et de séparer les métaux (au niveau de la cathode). Ceci permet de réduire fortement l'utilisation d'hypochlorite de sodium et donc la formation de composés organohalogénés absorbables extractibles.

L'oxydation anodique des solutions contenant du cyanure permet d'atteindre une concentration en cyanure inférieure à 100 mg/l.

Au niveau de la cathode, 331 kg de cuivre et 183 kg de zinc sont séparés ; au niveau de l'anode, 571 kg de cyanure sont oxydés.

La consommation d'énergie pour l'oxydation du cyanure et la réduction du métal s'élève à 6753 kWh/an. Le coût du traitement est de 0,9 EUR/kg de cyanure oxydé, en supposant un tarif de 0,075 EUR/kWh (l'utilisation du métal n'est pas ici prise en compte). Les concentrations moyennes du flux entrant de cyanure sont de 3,7 g/l et de 0,018 g/l dans le flux sortant. Les niveaux d'émission obtenus sont indiqués dans le tableau 8.1

Paramètre	**Concentrations des émissions mg/l**		
	Valeurs limites	Analyse interne	Analyse externe
Chrome	0,5	0,2 à 0,4	0,3
Cyanure	0,2	<0,2	0,1
Zinc	2,0	0,8 à 1,2	1,1

Tableau 8.16 : Concentrations en métaux lourds dans les émissions d'eaux résiduaires pour l'installation E

Charges en métaux lourds

Avec une consommation en eau de 3036 m^3 par an et des concentrations en métaux de 1 mg/l de Zn et 0,3 mg/l de Cr, respectivement, on obtient une charge annuelle en métaux lourds de 3036 g de zinc et de 910 g de chrome évacués dans les égouts.

Déchets produits

La quantité de déchets provenant de l'unité de revêtement métallique décrite est de 10 t/an (teneur en eau de 65 %).

Type de déchet	**Numéro EWC**	**Quantité proportionnelle annuelle**	**Type d'utilisation/ d'élimination**	**Coûts (transport compris)**
Déchets exempts de cyanure, contenant du chrome	11 01 09	10 t	décharge	175 EUR par tonne

Tableau 8.17 : Déchets produits par l'installation E

Elimination des déchets

Les déchets sont éliminés dans une décharge particulière. Ils présentent une teneur en zinc de 40 g/kg de matière sèche.

Considérations liées aux coûts

Les coûts annuels pour l'ensemble de l'atelier de galvanisation s'élèvent à 2,3 millions d'euros dont :

- 55 % sont des coûts fixes liés à l'amortissement de l'installation, sa construction, la réaffectation du personnel
- 35 % sont des coûts variables (matériaux pour les traitements, eaux résiduaires, entretien, énergie)

- 10 % sont des coûts de main d'œuvre directe : quatre personnes étant en charge des unités de revêtement métallique ; pour ce qui est de la partie zingage de l'installation de traitement de zingage au tonneau, on a calculé une valeur année-homme de 0,67 avec des coûts par travailleur de 56 500 EUR/an.

Les dépenses en personnel d'entretien pour l'ensemble des installations et des électrolytes (1,2 personne) ainsi que pour le fonctionnement et l'entretien de l'installation de traitement des effluents (1 personne) sont comprises dans les coûts fixes.

Les dépenses en capital pour la cellule d'oxydation anodique se sont élevées à 30 000 EUR (aux coûts de l'année 1993). Pour une période d'amortissement de 10 ans à 3 000 EUR par an, la part des bains de rinçage contenant du zinc s'élève à 18 %. Les coûts d'amortissement annuels proportionnels pour cet équipement sont donc de 501 EUR.

Le coût de l'électricité est établi à 0,075 EUR/kWh. Les coûts en eau propre (eau potable) provenant du réseau d'alimentation public s'élève 1 EUR/m^3 et pour l'évacuation des eaux résiduaires dans le réseau d'assainissement municipal local, les coûts s'élèvent à 1,50 EUR/m^3.

Le tableau 8.18 indique les coûts de fonctionnement de l'installation E calculés par m^3.

	Coûts spécifiques EUR/m^3
Produits chimiques pour le traitement de revêtement métallique	0,28 (0,35 avec les anodes)
Produits chimiques pour le traitement des eaux résiduaires	0,19
Electricité pour l'oxydation anodique	0,0015
Achat de l'eau	0,005
Eaux résiduaires	0,0125
Déchets à éliminer	0,03
Main d'œuvre pour l'exploitation de l'installation	0,61
Main d'œuvre pour l'entretien	0,36

Tableau 8.18 : Coûts unitaires par m2 pour l'installation E

Perte/efficacité estimées du métal

Pour l'installation de référence E, les chiffres habituels suivants peuvent être calculés à partir des données disponibles :

- zinc utilisé sur les pièces de fabrication = 80,6 %
- intrant total de zinc = 4.36 kg/an, dont 99,95 % de Zn
- zinc perdu dans la chaîne de traitement = 786 kg/an, ce qui correspond à 19,4 % du matériau utilisé, dont :
  - 3 kg/an dans les eaux résiduaires (<0,1 %)
  - 600 kg/an sur les déchets à éliminer (14,9 %)
  - 183 kg/an dans le métal récupéré par électrolyse (4,5 %)

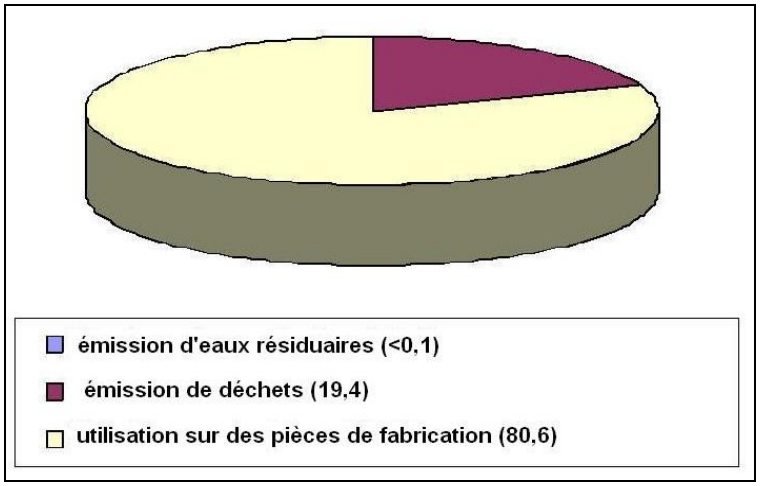


Figure 8.10 : Emissions de zinc par installation E

8.5.5 Installation de référence F

Age de l'installation
5 ans

Type d'installation
Atelier de travail à la demande

Programme de production de l'ensemble de l'entreprise

- revêtement métallique et chromatation de pièces en acier
- cuivrage, nickelage et étamage de pièces en acier
- cuivrage, nickelage et étamage de pièces en métaux non ferreux
- argentage de pièces en métaux non ferreux
- zingage et chromatation de pièces en acier.

Programme de production de l'unité de revêtement métallique décrite (installation F)
Unité de traitement sur montage au zinc comprenant les étapes suivantes : dégraissage par immersion à chaud, décapage, dégraissage électrolytique, revêtement métallique, chromatation bleue, chromatation jaune, chromatation noire.

Production
66 000 m^3 pour 5 500 heures de travail par an

Matériaux entrants

Produits chimiques utilisés pour la production	Etape de traitement	Consommation annuelle	Coûts annuels en EUR
Nettoyant neutre	Dégraissage par immersion à chaud	500 kg	5 000
Acide sulfurique	Décapage	1 300 kg 1 50 l	2 500

Agent tensioactif			
Slotoclean	Dégraissage électrique	2 000 kg	3 000
30 % d'acide chlorhydrique	Décapage	1 250 kg	400
Anodes de zinc Chlorure de zinc Chlorure de potassium Electrolyte de zinc Acide borique Additif basic et brillant		10 000 kg 0 2 500 kg 300 kg 2 500 l	13 000 0 850 315 7 500
Trioxyde de chrome, chlorure d'ammonium, sulfate de sodium, chlorure de sodium	Chromatation jaune	100 kg	250
Metapas F	Chromatation noire	800 kg	3 000
Immonox 3	Chromatation bleue	400 kg	800
Total :			**36 615**

Tableau 8.19 : Matériaux entrants pour l'installation F

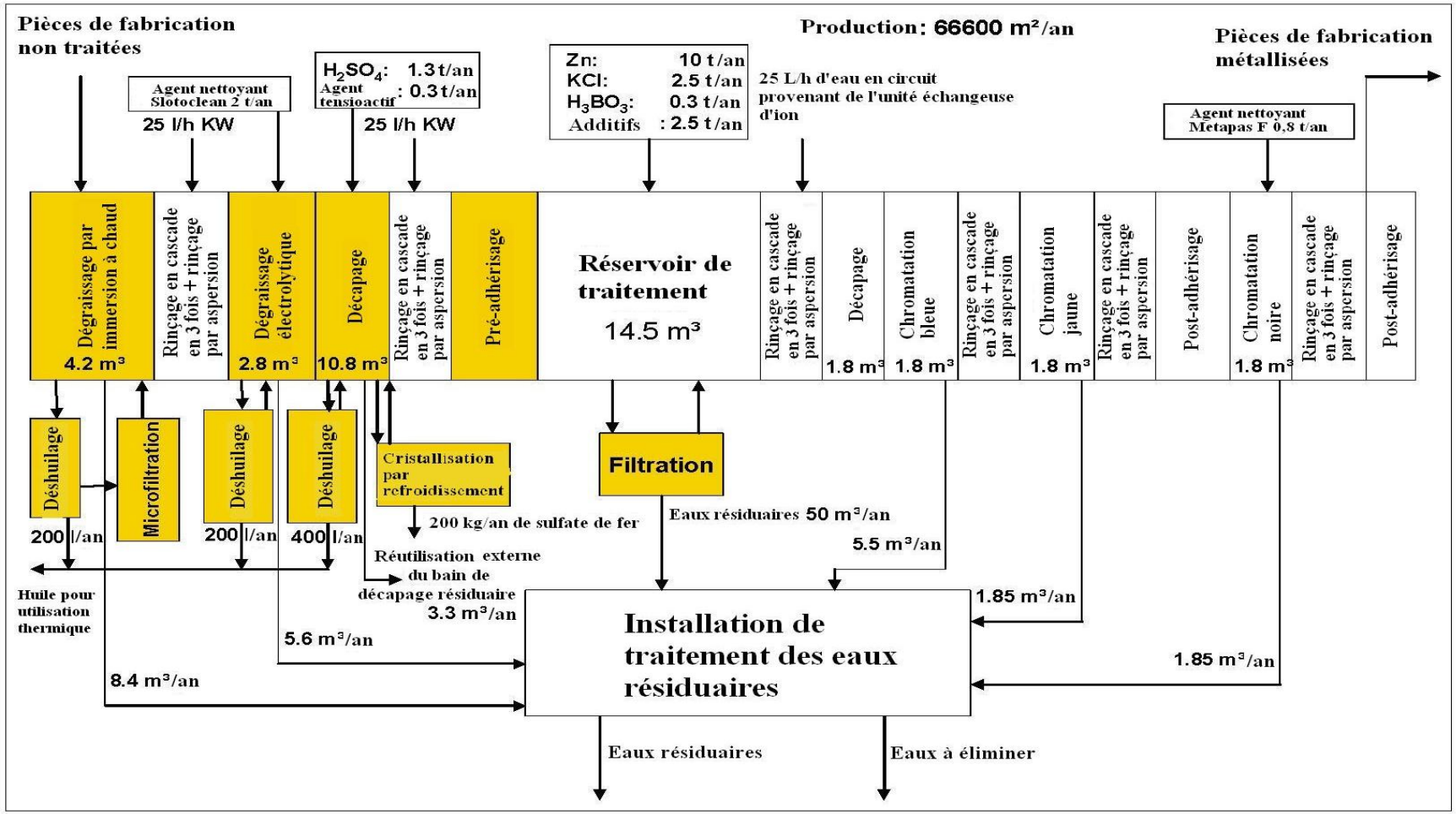


Figure 8.11 : Schéma de principe de l'installation de traitement F

Produits chimiques utilisés Pour le traitement des eaux résiduaires *	Etape de traitement	Consommation annuelle	Coûts annuels en EUR
50 % de solution de soude caustique 30 % d'acide chlorhydrique Bisulfite de sodium Dithionite de soude caustique	Installation de traitement des eaux résiduaires	13 500 kg 17 250 kg 500 kg 800 kg	2 300 2 900 75 650
Coût total pour l'ensemble de l'entreprise			5 925
Coûts pour l'installation F correspondant à 20 % du coût total pour l'ensemble de l'entreprise			**1 180**

Tableau 8.20 : Produits chimiques utilisés dans le traitement des eaux résiduaires pour l'installation F

Remplacement des matériaux problématiques utilisés

Aucun remplacement de matériaux utilisés n'est actuellement nécessaire.

Durée d'utilisation des solutions de traitement

Etape de traitement	Produits chimiques	Concentration	Température de traitement (°C)	Durée d'utilisation
Dégraissage par immersion à chaud	Nettoyant neutre	2 % (Volume)	50 à 55	26 semaines
Décapage	Acide sulfurique Agent tensioactif	200 g/L	50 à 55	156 semaines
Dégraissage électrolytique	Slotoclean	50 g/L	50 à 55	26 semaines
Electrolyte de zinc	Voir tableau 8.19	Voir tableau 8.19	30	Infinie
Décapage	Acide	10 g/L	20	1 jour
Chromatation jaune	Chrome Trioxyde de chrome	7.5 g/L	20	52 semaines
Chromatation noire	Metapas F	100 g/L	20	52 semaines
Chromatation bleue	Immunox 3	40 g/L	20	16 semaines
Traitement de post-adhérisage	Solution de post-adhérisage	7 mL/L	20	Plusieurs semaines

Tableau 8.21 : Durée d'utilisation des solutions de traitement pour l'installation F

Mesures destinées à prolonger la durée d'utilisation des solutions

L'électrolyte de zinc n'est pas rejeté du fait que la perte par entraînement est suffisamment élevée, de sorte que les impuretés n'atteignent pas une concentration qui pourrait nuire à la qualité.

L'électrolyte de zinc est filtré en dérivation (20 m^3/h).

Les solutions de dégraissage par immersion à chaud sont régénérées par un écrémeur pour retirer la graisse, l'huile et d'autres polluants.

Pour prolonger la durée d'utilisation, le sulfate de fer est séparé de la solution de décapage (H_2SO_4) par refroidissement et cristallisation.

La solution de chromatation n'est pas régénérée.

Mesures pour la réduction des pertes par entraînement
Les dispositifs de rinçage par aspersion sont installés au-dessus de l'ensemble des réservoirs de dégraissage et de décapage à chaud.

Réinjection des électrolytes perdus par entraînement
La réinjection du bain de rinçage statique dans les réservoirs de traitement est largement utilisée pour compenser les pertes par évaporation.

Le pré-adhérisage des pièces de fabrication dans le bain de rinçage statique de l'unité de zingage se traduit par une réinjection de 50 % des électrolytes perdus par entraînement.

Technique de rinçage

Il est de coutume d'utiliser des bains de rinçage en cascade en trois étape et la régénération de l'eau de rinçage via les échangeurs d'ion.

Traitement des eaux résiduaires

Voir le schéma de traitement sur la figure 8.12.

Le tableau 8.22 indique les niveaux d'émission de métaux lourds

	Concentrations limites mg/L	Concentrations mesurées mg/L		
Paramètres	**Valeur**	**Contrôle autonome**	**Analyses réalisées par les autorités**	**Analyses réalisées par les autorités**
Chrome total	0,5	0,1à 0,4	0,15	0,05
Chrome VI	0,1	<0,01	<0,01	<0,01
Zinc	2,0	0,1à- 1	0,1	0,33
Cuivre	0,5	0,06 - 0,1	0,1	0,05
Nickel	0,5	0,1à 0,15	0,1	0,1
Etain	2,0	<0,4	<0,2	<0,2

Tableau 8.22 : Concentration en métaux lourds dans les eaux résiduaires pour l'installation F

Charges en métaux lourds

Avec une quantité totale d'eaux résiduaires de 2 500 m^3 par an et des concentrations en métaux de 0,3 mg/L de Zn et 0,1 mg/L de Cr, les charges en métaux lourds de 750 g de zinc et 250 g de chrome sont évacués dans les égouts chaque année.

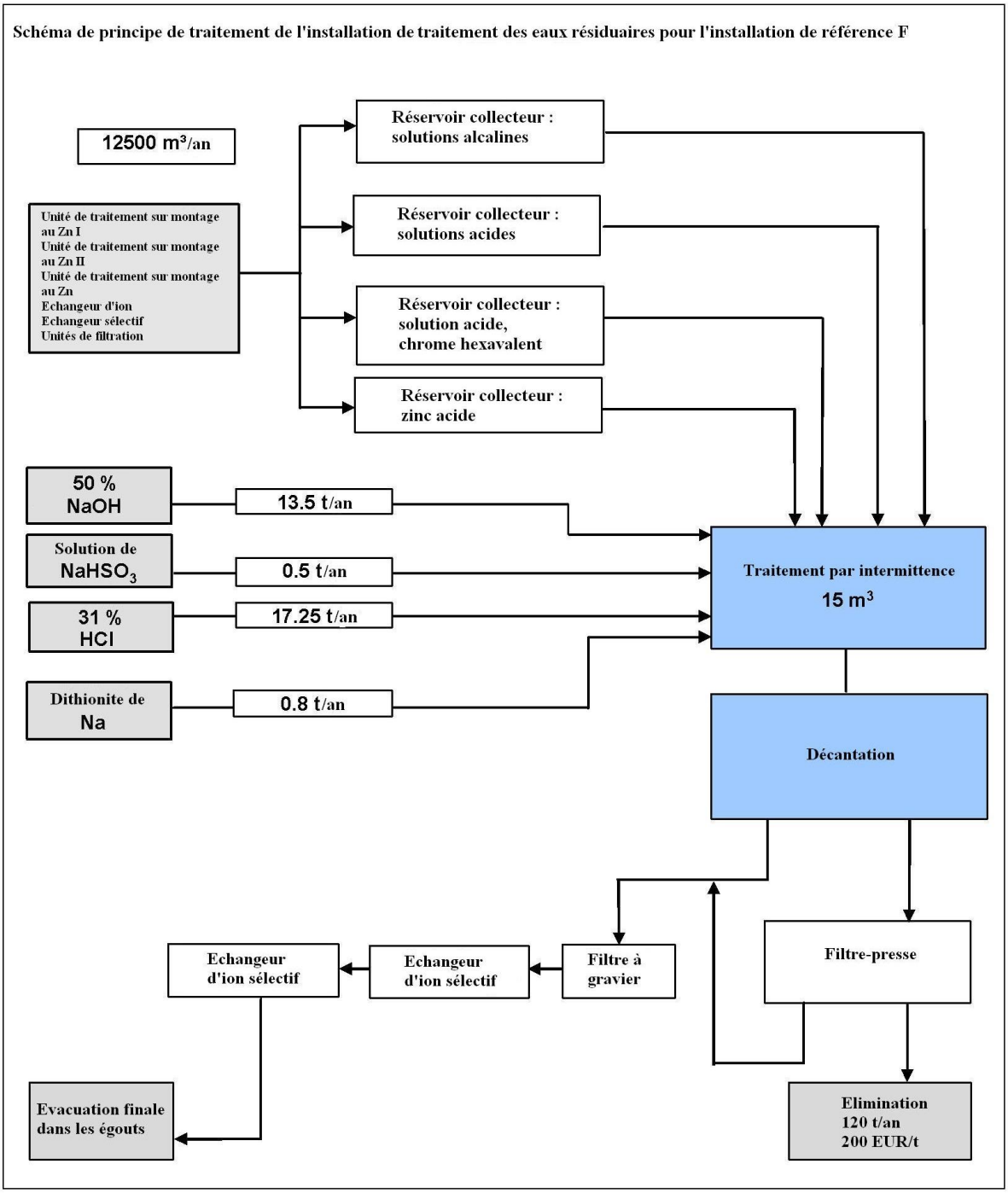


Figure 8.12 : Schéma de traitement des eaux résiduaires pour l'installation F

Quantité de déchets

La quantité de déchets provenant de l'installation décrite s'élève à 20 t/an (teneur en eau de 65 %). Les détails sont indiqués dans le tableau 8.23 et le tableau 8.24

	No. EWC	Quantité	Procédé d'élimination	Coûts d'élimination Transport compris
Boue de dépôt électrolytique	11 01 03	20 t	Décharge	200 EUR par tonne

Tableau 8.23 : Détails concernant la boue pour l'installation F

Métaux	Teneur en g/kg de matière sèche
Zinc	210
Cuivre	5
Nickel	5
Chrome	20
Fer	200

Tableau 8.24 : Concentrations en métaux de la boue pour l'installation F

Elimination des déchets
Les déchets sont éliminés dans une décharge pour déchets dangereux.

Contrôle de la pollution de l'air
Les réservoirs de traitement fonctionnant à chaud sont équipés d'un échappement adapté sur l'unité de transport ; les réservoirs de traitement restants ont des échappements par les bords.

L'air s'échappant à un débit de 50 000 m^3/h est épuré au moyen d'un épurateur et de séparateurs de gouttelettes. Les coûts énergétiques pour les ventilateurs s'élèvent à 800 EUR/an.

Considérations liées aux coûts
Les dépenses en capital indiquées par l'opérateur s'élèvent à :

- 750 000 EUR pour l'unité de traitement sur montage
- 360 000 EUR pour l'installation de traitement des eaux résiduaires comprenant l'installation échangeuse d'ion.

dont :

- 10 000 EUR pour l'unité de filtration destinée à nettoyer la solution de zingage
- 25 000 EUR pour les mécanismes de déshuilage y compris la microfiltration
- 40 000 EUR pour l'unité de refroidissement/de cristallisation.

Coûts d'entretien annuels :
Unité de revêtement métallique :

- 50 000 EUR pour les matériaux
- 12 500 EUR pour le personnel et l'entretien.

Pour les installations périphériques (protection environnementale intégrée à la production), les dépenses suivantes liées au personnel sont proportionnellement nécessaires au fonctionnement et à l'entretien :

- 1 250 EUR pour la filtration
- 500 EUR pour le système de déshuilage et de microfiltration
- 500 EUR pour le refroidissement et la cristallisation
- 131 000 EUR pour les coûts liés au personnel avec trois changements d'équipe de travail.

Traitement des effluents et unité échangeuse d'ion :

- 19 000 EUR pour les matériaux
- 8 000 EUR pour le personnel d'entretien

Les coûts proportionnels pour l'unité de revêtement métallique décrite s'élèvent à :

- 2 000 EUR pour la consommation en eau
- 3 000 EUR pour l'évacuation dans les égouts
- 6 000 EUR pour l'élimination des déchets.

Répartition du zinc dans les pièces de fabrication, l'eau et les déchets
Les données suivantes sont habituelles pour l'installation de référence F :

- intrant de zinc : 10 000 kg/an, dont 99,95 % de matériau semi-fini de Zn
- extrant de zinc = 1 681 kg/an, ce qui correspond à 16,8 % de la quantité des matériaux utilisés, dont :
  - 0,75 kg/an dans les eaux résiduaires
  - 1 180 kg/an dans les déchets.

8.5.6 Installation de référence G

Age de l'installation
5 ans.

Type d'installation
Atelier de travail à la demande

Nombre de salariés
50.

Programme de production de l'ensemble de l'entreprise

- zingage et chromatation de pièces en acier
- argentage
- phosphatation de pièces en acier
- revêtement métallique au tonneau d'alliage zinc-fer (alliage ferro-zinc)

Programme de production de l'unité de revêtement métallique décrite (installation G)
Unité de traitement au tonneau de revêtement métallique d'alliage zinc-fer (voir figure 8.13) comprenant :

- un dégraissage par immersion à chaud
- un décapage
- un dégraissage électrolytique
- un revêtement métallique (alcalin) d'alliage zinc-fer
- une chromatation jaune
- une chromatation noire

Production
157 778 m^2/an pour un poids de 1703 t/an et 6320 heures de travail par an

Matériaux entrants
Voir tableau 8.25.

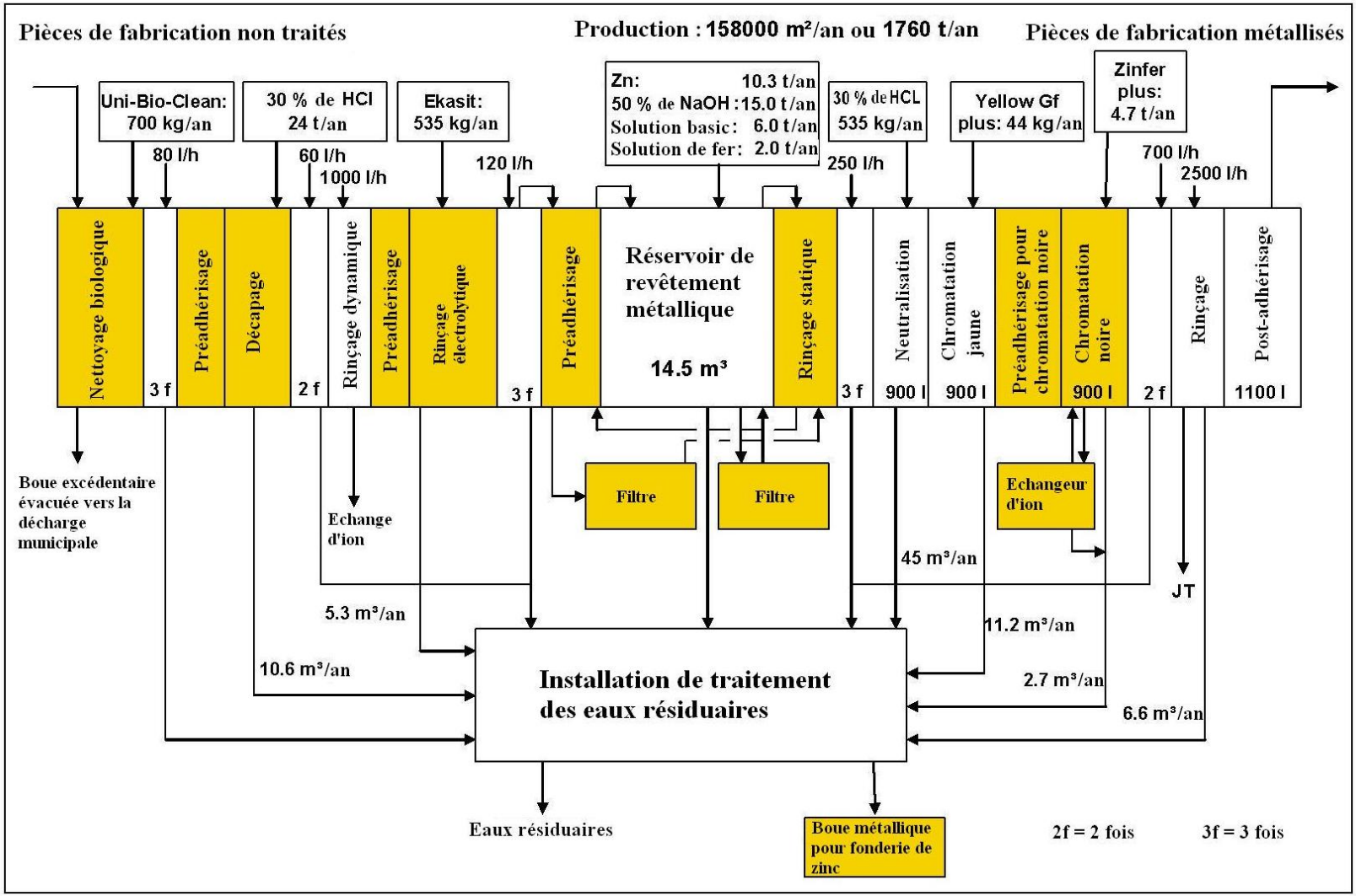


Figure 8.13 : Schéma de principe de traitement pour l'installation G

Produits chimiques utilisés y compris les noms de marque	Etape de traitement	Concentration utilisée	Consommation annuelle	Consommation annuelle en EUR
Uni-bio-clean	Dégraissage par immersion à chaud	50 ml/l	1 420	6 300
Acide chlorhydrique	Décapage	200 g/l	24 300	4 600
Solution de dégraissage acide		25 ml/l	574	1 600
15 % d'Ekasit F	Dégraissage électrolytique	50 gl/l	535	1 300
50 % de solution de soude caustique		150 g/l/l	8 200	1 700
Anodes de zinc	Electrolyte zinc-fer		10 276	13 600
50 % de solution de soude caustique		100 150 g/l	15 000	3 400
Zinc		8 14 g/l		
Solution de fer		70 200 mg/l	1 968	9 000
Solution basique		70 120 ml/l	5 919	22 000
30 % d'acide chlorhydrique	Neutralisation	30 g/l	425	81
GF Plus	Chromatation jaune	40 m/l	44	140
Zinfer plus	Chromatation noire	80 m/l	9 900	35 000
Solution de post-adhérisage pour zinfer plus	Post-adhérisage	7 ml/l	892	2 600
Production totale				**101 321 EUR**
50 % de solution de soude caustique	Produits chimiques utilisés dans l'installation de traitement des eaux résiduaires	-	88 800	Coûts des produits chimiques utilisés par l'ensemble de l'installation de traitement des eaux résiduaires : **76 000 EUR**
30 % d'acide chlorhydrique			41 400	
Bisulfite de sodium			16 300	
Dithionite de sodium			750	
Agent antimousse			50	Coûts proportionnels de produits chimiques pour l'unité décrite : **14 000 EUR**
Agent floculant			125	
Chaux			1 100	

Tableau 8.25 : Matériaux entrants pour l'installation G

Remplacement des matériaux problématiques utilisés
Aucun remplacement des matériaux actuellement utilisés n'est nécessaire.

Mesures destinées à prolonger la durée d'utilisation des solutions
Toutes les solutions de traitement sont régulièrement contrôlées par analyse et réintroduites, voir tableau 8.26. La durée d'utilisation est indiquée dans le tableau 8.27. Tous les électrolytes sont filtrés de façon continue. Lorsque la quantité de perte par entraînement d'électrolyte est suffisamment élevée pour maintenir les impuretés en deçà d'un niveau de concentration perturbant le traitement, aucune mesure supplémentaire n'est nécessaire. Le nettoyage biologique a de la même façon une durée d'utilisation illimitée : seule la boue excédentaire est éliminée. Le bain de chromatation noir est régénéré grâce à des échangeurs d'ions. Pour les solutions de traitement restantes, aucune mesure particulière n'est prise, puisque la durée d'utilisation obtenue dans chaque cas est considérée comme suffisante du point de vue à la fois écologique et économique.

Etape de traitement	Matériau	Quantité de remplissage kg/semaine	Cycle de remplissage avec 3 changements d'équipe de travail	Contrôle analytique
Dégraissage par immersion à chaud	Ekasit 2005	--	2/semaine	2/semaine
Décapage	30 % d'acide chlorhydrique	207	3/jour	2/semaine
	Dégraissant acide	10		
Dégraissage électrolytique	50 % de solution de soude caustique	180	3/jour	2/semaine
	Ekasit F15	20		
Electrolyte zinc-fer	Solution de soude caustique	360	3/jour	2/semaine
	Solution de fer	40	continu	
	Solution basique	118	continu	
	Additif brillant	100	continu	
Neutralisation	30 % d'acide chlorhydrique	8,3	3/jour	1/semaine
Chromatation jaune	AP plus	10	1/semaine	1/semaine
Chromatation noire	Zinfer plus	150	continu	2/semaine
Post-adhérisage	Solution de post-adhérisage Zinfer plus	6	3/jour	2/semaine

Tableau 8.26 : Cycle de contrôle et de remplissage des produits chimiques pour l'installation G

Etape de traitement	Matériaux	Concentration	Durée d'utilisation
Dégraissage par immersion à chaud	Ekasit 2005	50 g/l	8 semaines
Décapage	Acide chlorhydrique	200 g/l	8 semaines
Dégraissage électrolytique	Soude caustique 50 %	150 g/l	8 semaines
	Ekasit F 15	20 ml/l	
Electrolyte zinc-fer	Voir le tableau 8.25	Voir le tableau 8.25	Infinie
Neutralisation	Acide chlorhydrique	30 %	1 semaine
Chromatation jaune	AP plus	40 ml/l	4 semaines
Chromatation noire	Zinfer plus	80 ml/l	4 semaines
Post-adhérisage	Solution de post-adhérisage	7 ml/l	8 semaines

Tableau 8.27 : Durée d'utilisation des solutions de traitement pour l'installation G

Mesures pour la réduction des pertes par entraînement
Les tonneaux comportent des perçages de 5 mm afin d'obtenir un meilleur égouttage du liquide. Après avoir été sortis de la solution de traitement, les tonneaux sont retournés pour améliorer l'égouttage. Les temps d'égouttage s'élèvent à approximativement 15 secondes. Ainsi, la perte d'électrolyte par entraînement est réduite avec des solutions acides à approximativement 11 l/h et avec des solutions alcalines à approximativement 15 l/h (production de 5 tonneaux/h).

Réinjection des électrolytes perdus par entraînement.
La réinjection des électrolytes perdus par entraînement a lieu par différents biais :

- les pertes par évaporation du bain de dégraissage sont réinjectées à partir du premier bain de rinçage statique
- le préadhérisage est effectué dans les bains de rinçage statiques des bains de décapage, de dégraissage électrolytique, d'électrolyte-zinc-fer et de chromatation noire.

Technique de rinçage
La technique de rinçage se présente généralement sous la forme d'un bain de rinçage en cascade en trois étapes souvent complété par un bain de rinçage statique supplémentaire. En fonction des besoins des conditions de rinçage, un bain en cascade à deux étapes avec un rinçage dynamique consécutif à l'eau déminéralisée est partiellement inséré.

Des procédés de rinçage utilisent l'eau du réseau public d'alimentation en eau. L'eau déminéralisée est utilisée pour les rinçages en cascade après décapage.

Traitement des eaux résiduaires
Le traitement des eaux résiduaires se fait dans une installation centrale pour l'ensemble des unités de production (voir figure 8.14), et l'installation de revêtement métallique à l'alliage zinc-fer n'est à l'origine que d'une partie (25 %) de l'eau résiduaire entrante. Le volume d'eau résiduaire sortante pour l'installation sélectionnée (séparation alliage de zinc/ferreux) s'élève à 3570 m^3/an. Les niveaux d'émission sont indiqués dans le tableau 8.28.

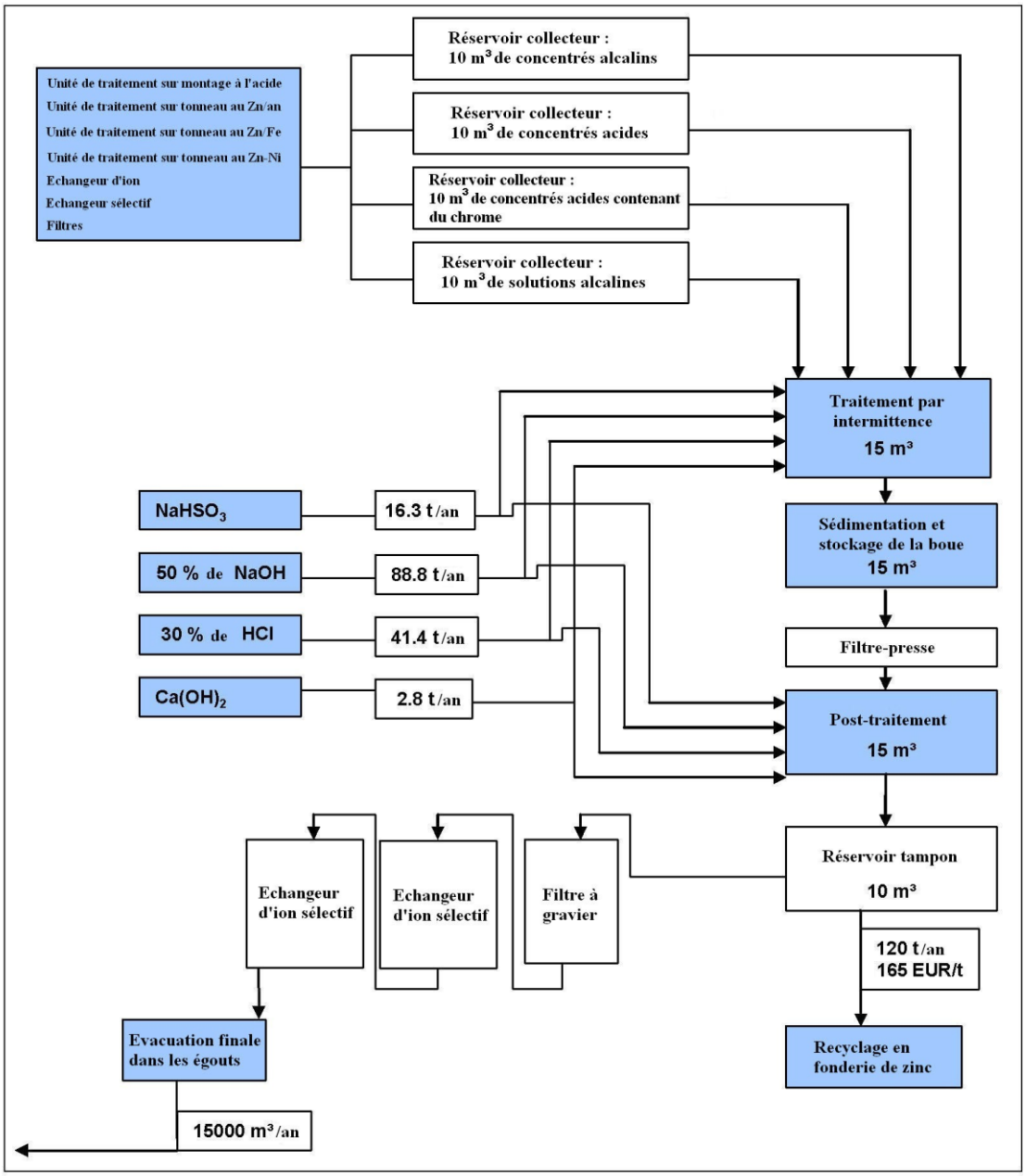


Figure 8.14 : Schéma de principe d'une installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation G

	Valeurs de concentration mg/l			
Paramètres	**Valeurs limites**	**Contrôle autonome**	**Analyse externe**	**Analyse externe**
Chrome total	0,5	0,4	0,3	0,3
Chrome VI)	0,1	<0,1	<0,01	<0,01
Zinc	2,0	1,0 à 1,3	1,0	1,1

Tableau 8.28 : Valeurs de concentration en métaux lourds dans les eaux résiduaires rejetées pour l'installation G

Charges en métaux lourds dans les eaux résiduaires

La charge annuelle en métaux lourds est de 3 900 g de zinc et 1 120 g de chrome.

Déchets produits

La quantité de boue de dépôt électrolytique de l'installation décrite s'élève à 30 tonnes par an. Elle contient en moyenne 198 g de zinc/kg de matière sèche (avec une teneur en eau d'approximativement 60 %), voir tableau 8.29. En raison de la teneur élevée en zinc, la boue convient à un recyclage dans une fonderie de zinc. Les coûts de recyclage, transport compris, s'élèvent à 165 EUR/t. La perte totale de zinc au cours de l'acheminement des déchets s'élève à 2 376 kg/an.

Métal	Quantité de perte dans la boue
Zinc	198 g/kg de matière sèche
Plomb	0,4 g/kg de matière sèche
Cadmium	0,1 g/kg de matière sèche
Arsenic	0,1 g/kg de matière sèche
Fer	129 g/kg de matière sèche
Oxyde de calcium	40 g/kg de matière sèche

Tableau 8.29 : composition de la boue provenant du traitement des eaux résiduaires pour l'installation G

Consommations et coûts habituels

Les coûts indiqués ci-dessous sont récapitulés dans le tableau 8.30 en euro par tonne et par m^3 traité.

Coûts du personnel

Pour l'installation de revêtement métallique : environ 138 000 EUR/an.

Coûts énergétiques par an

- 53 000 EUR atelier de revêtement métallique
- 1 750 EUR chauffage
- 2 500 EUR traitement des eaux résiduaires.

Dépenses en capital

- 200 000 EUR pour l'installation de traitement au tonneau
- 125 00 EUR pour les unités de filtration destinées au nettoyage des charges (fer, zinc)
- 10 000 EUR pour le mécanisme de déshuilage
- 5 000 EUR pour une récupération du bain de chromatation noire
- 7 500 EUR pour l'équipement de séparation par congélation
- 14 000 EUR (coût proportionnel) pour un nettoyage biologique
- 300 000 EUR pour l'installation de traitement des eaux résiduaires
- 68 000 EUR pour l'installation échangeuse d'ion par cycle

Entretien et coût d'entretien

Installation de traitement au tonneau : 16 000 EUR/an pour les matériaux ; 16 900 EUR pour le personnel

Installations périphériques : dépense liée au personnel :

- 33 800 EUR/an pour la filtration
- 22 500 EUR/an pour le déshuilage
- 33 800 EUR/an pour la récupération du bain de chromatation

- 1 100 EUR/an pour l'installation de séparation par congélation
- 22 500 EUR/an pour le nettoyage biologique.

	EUR/tonne	EUR/m^3
Produits chimiques pour le traitement de revêtement métallique (au Zn-Fe) :	40	0,49
Produits chimiques pour le traitement des eaux résiduaires	11	0,12
Energie (rivière + chauffage à distance)	32	0,35
Achat d'eau	2,25	0,0025
Eau résiduaire	6,6	0,07
Déchets	2,9	0,03
Investissement	20	0,22
Coût d'entretien lié au personnel et au matériau	85	0,91
Coût du personnel pour l'installation	80	0,85

Tableau 8.30 : coûts par tonne et par m^3 traité pour l'installation G

Intrants et extrants de zinc

Pour l'installation de référence G, les chiffres caractéristiques suivants peuvent être calculés à partir des données disponibles :

- intrant de zinc = 10 276 kg/an, de 99,95 % de zinc
- extrant de zinc = 2 380 kg/an, ce qui correspond à 23 % du matériau utilisé, dont :
  - 3,9 kg/an avec les eaux résiduaires
  - 2376 kg/an avec les déchets.

8.5.7 Installation de référence H

Age de l'installation

6 ans.

Type d'installation

Atelier interne à l'entreprise.

Nombre de salariés

60.

Programme de production de l'ensemble de l'entreprise

- une unité de traitement au tonneau de zingage acide
- deux unités de traitement au tonneau de zingage-ferrage
- une unité de traitement sur montage de zingage-nickelage (technique alcaline)
- une unité de traitement sur montage de zingage-nickelage (technique acide)
- une unité de traitement sur montage de zingage-ferrage
- une unité de traitement sur montage de zingage acide.

Programme de production de l'unité décrite

L'unité est une unité de traitement sur montage de zingage-nickelage (technique alcaline) contrôlée par ordinateur avec des temps de traitement variables. Les étapes du

traitement sont : un dégraissage à chaud, un décapage, un dégraissage électrolytique, un décapage, une galvanisation (zinc-nickel), une chromatation transparente, une chromatation jaune, une chromatation noire et un colmatage (voir figure 8.15). Les matériaux entrants sont indiqués dans le tableau 8.31.

Production

Avec un temps de production d'approximativement 6 000 heures par an, la production est d'approximativement 200 000 m^2 de pièces de fabrication en acier qui sont métallisées et chromatées ou colmatées. La capacité moyenne s'élève approximativement à 6,3 montages ou 33 m^2 par heure, respectivement. L'unité fonctionne quotidiennement avec 33 changements d'équipe de travail.

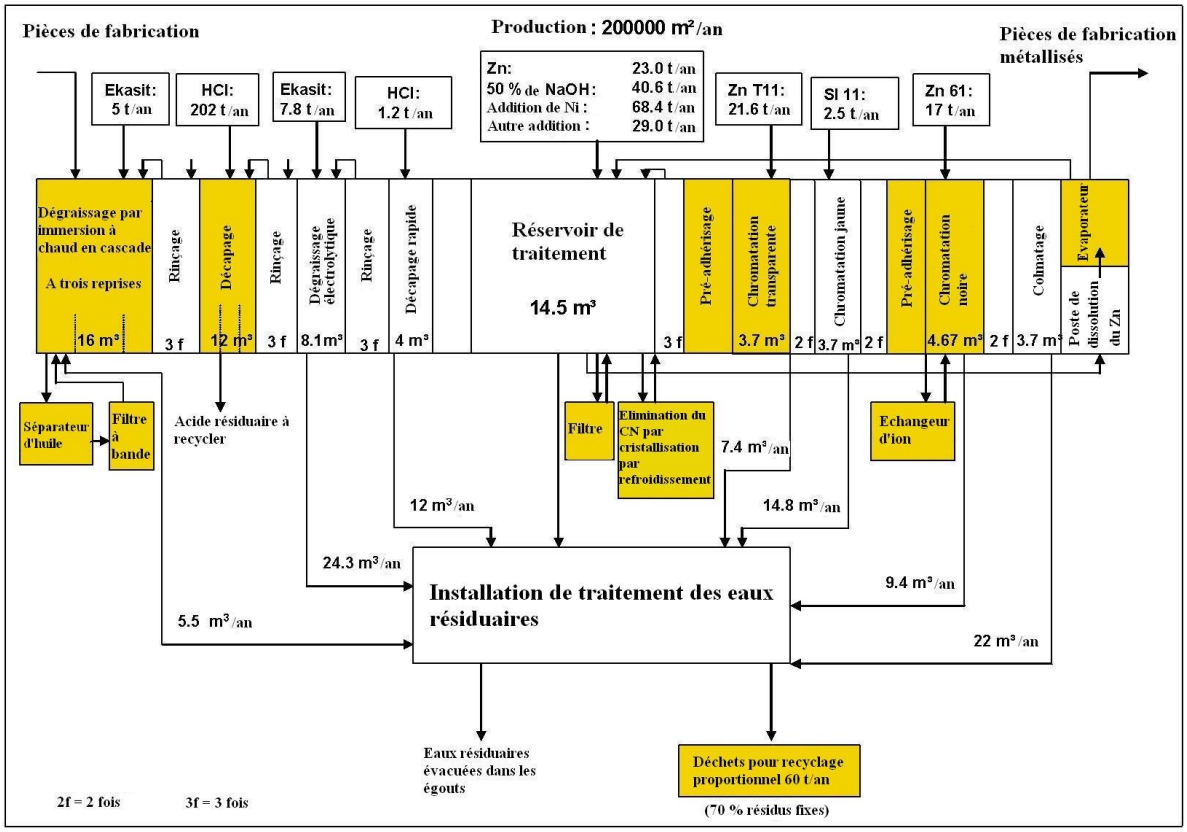


Figure 8.15: Schéma de prinicipe de l'installation de traitement H

Produits chimiques	Etapes de traitement	Volume en litres	Concentration	Consommation annuelle Kg	Consommation annuelle En EUR
Agent de dégraissage Ekasit	Dégraissage à base d'eau	16 000	7 %	5 000	
30 % de HCl	Décapage	12 500	200 g/L	20 2000	
Ekasit AK	Dégraissage électrolytique	8 100	75 g/L	7 800	
30 % de HCl	Décapage rapide	4 000	10 g/L	1 250	
Anodes de zinc	Electrolyte de zinc-nickel			23 080	
NaOH			Zn 8 g/L	40 600	
EGL2		56 000	Ni 3 g/L	68 400	
Zn 51			120 g/L	3 600	
Zn 52			160 g/L	3 000	
Zn 53			25 g/L	7 200	
Zn 56			50 ml/L	15 200	
Slotopas SI 11	Chromatation jaune	3 740	70 g/L/L	2 500	
Slotopas Zn 61	Chromatation noire	4 670	120 g/L	17 000	
Slotopas Zn-T11	Chromatation bleue	3 700	60/300 ml/L	21 600	
Total					**580 000 EUR**

Tableau 8.31 : Intrants de matériau pour l'installation H

Remplacement des matériaux problématiques

L'introduction du chrome trivalent dans la chromatation bleue est prévue. Ceci pourrait conduire à un remplacement majeur des composés du chrome hexavalent.

Mesures destinées à prolonger la durée d'utilisation des solutions

La période de contrôle analytique ainsi que la durée d'utilisation des solutions de traitement sont indiqués dans le tableau 8.32.

La durée d'utilisation des électrolytes pour l'ensemble des procédés de revêtement métallique est presque infinie. La perte par entraînement combinée à la filtration continue (50 m^3/h) et l'élimination du carbonate par l'intermédiaire d'une unité de cristallisation par refroidissement sont suffisamment importantes pour qu'aucune contamination ne dépasse une valeur limitant la qualité.

L'unité de dégraissage à chaud consiste en trois postes (une étape de prégraissage et des étapes de post-dégraissage), qui sont reliés en cascade. L'unité de prédégraissage est équipée d'un décapant pour huile et d'un filtre à bande pour éliminer l'huile et les graisses, de sorte que la durée d'utilisation d'un bain puisse atteindre un an. Les pertes par évaporation à 70 °C et un débit de 40 à 50 L/h sont suffisantes pour pouvoir réinjecter la totalité de l'eau de rinçage de la cascade en trois étapes suivante.

Un prolongement de la durée d'utilisation de la solution de décapage pourrait ne pas être économiquement viable, donc la solution de décapage est vendue après une durée d'utilisation de trois semaines pour pouvoir être utilisée dans une installation de zingage par immersion à chaud.

Le dégraissage électrolytique a une durée d'utilisation de 4 mois en raison du prédégraissage très efficace. D'autres mesures ne sont pas considérées comme nécessaires.

Les pertes par évaporation à 50 % en combinaison avec une unité de dégraissage en cascade en trois fois sont suffisantes pour réinjecter la totalité des pertes par entraînement.

La solution de traitement de chromatation noire est régénérée au moyen d'un échangeur d'ion, moyennant quoi il a été possible d'obtenir un prolongement significatif de la durée d'utilisation.

Des solutions de chromatation jaune et transparente ne sont pas régénérées en raison de leur composition chimique complexe.

Etape de traitement	Produits chimiques entrants	Fréquence de remplissage (fonctionnement avec 3 changements d'équipe de travail)	Fréquence du contrôle analytique	Durée d'utilisation
Dégraissage	Ekasit	2/semaines	1/semaine	52 semaines
Dégraissage	30 % de HCl	2/semaines	1/semaine	3 semaines → Réutilisation externe
Dégraissage électrolytique	Ekasit AK	2/semaines	1/semaine	17 semaines
Dégraissage	30 % de HCl	2/semaines	1/semaine	13 semaines
Revêtement métallique	NaOH	Continues	Analyse du Ni 2/jours	Infinie
	EGL 2		Analyse en continu du Zn	
	Zn 51			
	Zn 52			
	Zn 53			
Chromatation jaune	Slotopas SI 11	2/semaines	2/semaines	13 semaines
Chromatation noire	Slotopas Zn-T 11	2/semaines	2/semaines	26 semaines
Chromatation bleue	Slotopas Zn 61	2/semaines	1/semaine	26 semaines

Tableau 8.32 : Cycle de remplissage et durée d'utilisation des solutions de traitement pour l'installation H

Mesures pour la réduction de la perte par entraînement
La viscosité est réduite pour l'ensemble des solutions de dégraissage et de décapage par l'addition d'agents tensioactifs.

Les temps d'égouttage au-dessus des bains de traitement sont optimisés, de sorte que le volume perdu par entraînement pour chaque bain de traitement ne dépasse pas 5 L/h en moyenne.

Réinjection des solutions de traitement perdues par entraînement
L'eau de rinçage provenant des procédés de prétraitement à chaud est réinjectée. Ceci se traduit par une réinjection importante des produits chimiques de traitement (la quantité d'eau de rinçage et les pertes par évaporation sont équilibrées.)

Les bacs d'égouttage sur le dispositif de transport collectent le reste des électrolytes (5 L/h), provenant du zingage et du nickelage, qui sont réinjectés.

La pré-immersion (rinçage écologique) dans le bain de rinçage statique de la chromatation noire se traduit par une réinjection de 50 % de la solution de chromatation noire.

Technique de rinçage
La technique de rinçage se présente généralement sous la forme d'un rinçage en cascade et en trois étapes après chaque étape de traitement avec un dispositif de pulvérisation au-dessus du liquide de rinçage de l'étape finale.

Certains dispositifs de traitement, par exemple le dispositif de chromatation, sont habituellement équipés de cascades en deux étapes combinées à un dispositif de rinçage par aspersion construit sous la forme d'un anneau au-dessus de l'étape finale.

Une unité centrale échangeuse d'ion est destinée au recyclage de l'eau de rinçage qui est utilisée pour plusieurs chaînes de revêtement métallique.

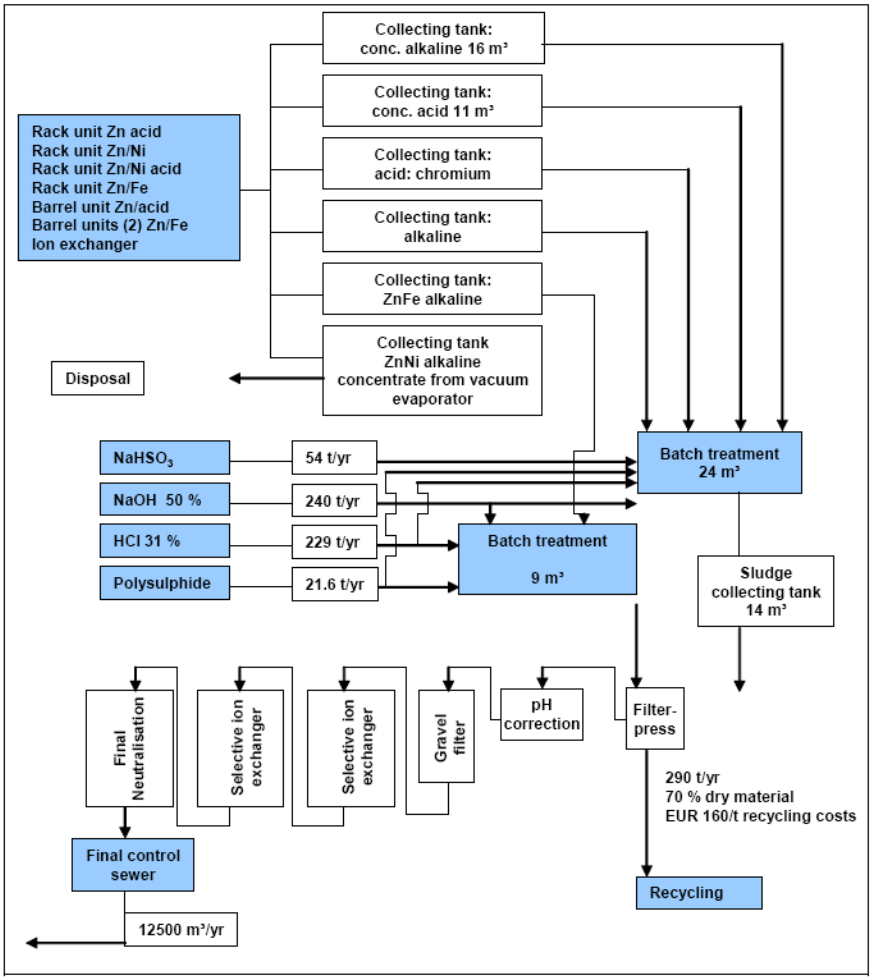


Figure 8.16 : Schéma de principe d'une installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation H

Traitement des eaux résiduaires

Le traitement des eaux résiduaires est effectué dans une unité centrale pour l'ensemble des unités de production utilisant de l'eau, et la chaîne de zingage et de nickelage étudiée ne représente qu'une partie de la quantité totale et de la gamme des composants de l'effluent (voir figure 8.16). L'unité de traitement des eaux résiduaires se compose de deux unités indépendantes de traitement par intermittence. L'effluent traité est conduit jusqu'à un filtre à gravier suivi d'une neutralisation finale à l'étape finale d'ajustement du pH. La boue d'hydroxyde est pompée jusqu'à un filtre-presse puis déshydratée jusqu'à présenter une teneur en matière solide de 70 %. Le tableau 8.33 indique les niveaux d'émission habituellement obtenus.

Paramètres	Valeur de contrôle Mg/L	Valeurs mesurées mg/L	
		Contrôle interne	Contrôle des autorités
Cr total	0,5	0,3 à 0,4	0,4
Cr (VI)	0,1	<0,05	<0,05
ZN	2,0	1,6 à 1,8	1,7
Ni	0,5	0,3 à 0,5	0,4

Tableau 8.33 : Concentrations en métaux dans les eaux résiduaires pour l'installation H

Une charge annuelle en métaux lourds de 3 400 g de zinc et 800 g de chrome est évacuée dans les égouts à partir de cette unité de production dans un volume de 40 m^3 par semaine et une concentration moyenne de 1,7 mg/L de Zn et de 0,4 mg/L de Cr.

Déchets
La boue formée au cours du traitement des eaux résiduaires est la source principale des déchets. La quantité de déchets peut représenter jusqu'à 60 tonnes avec une teneur de 70 % en matière solide, voit tableau 8.34.

Catégorie de déchets	No. EWC	Quantité annuelle	Technique de recyclage/d'élimination	Coûts du recyclage/de l'élimination transport compris, en EUR
Déchets exempts de cyanure qui ne contient pas de chrome	11 01 03	60 t	Recyclage dans le travail des métaux	160
Décapant résiduaire		210 t	Utilisation en tant que décapant dans une installation de galvanisation à chaud	175
Soude résiduaire (cyanurée)		24 t	Traitement chimique	750

Tableau 8.34 : Quantités de déchets pour l'installation H

Les pertes annuelles de zinc dans les déchets sont les suivantes :

60 000 kg de boue x 0,7 (teneur en matière solide) x 0,200 g de zinc/kg de boue déshydratée = 8 400 kg

Données supplémentaires concernant la consommation de l'unité de traitement sur montage au zinc - nickel
Les charges électriques de fonctionnement des éléments individuels de l'installation sont :

- chaîne de revêtement métallique automatisée 587 kVA
- redresseurs 567 kVA
- bain de filtration du zinc 2,4 kVA
- microfiltration 2,2 kVA
- déshuilage 1 kVA
- cristallisation par refroidissement 1 kVA
- air comprimé 55 kVA
- équipement de dosage 5 kVA
- unité de traitement des eaux résiduaires, unité échangeuse d'ions incluse 30 kVA.

L'air d'échappement ayant un débit d'approximativement 75 000 m^3/h est épuré au moyen d'un épurateur et de dispositifs anti-brouillard.

Etude des coûts
Coûts d'investissement :

- 2 000 000 EUR pour l'unité de traitement sur montage ;
- 450 000 EUR pour l'unité de traitement des eaux résiduaires.

Coûts d'exploitation :

- 126 000 EUR pour l'entretien annuel ;
- 720 000 EUR pour les coûts du personnel avec trois changements d'équipe de travail ;
- pour 6 000 heures d'exploitation :
  - 150 000 EUR pour l'électricité,
  - 25 000 EUR pour le gaz.

Coûts de gestion des eaux et des déchets :

- 70 000 EUR pour le traitement des eaux résiduaires et l'unité échangeuse d'ions ;
- 3 800 EUR pour l'eau propre ;
- 6 500 EUR pour l'évacuation des eaux résiduaires ;
- 61 000 EUR pour l'élimination des déchets.

Les coûts d'exploitation sont indiqués en EUR par m² dans le tableau 8.35

Coûts	EUR/m²
Produits chimiques pour le traitement de galvanisation	5,5
Produits chimiques pour le traitement des eaux résiduaires	0,37
Energie	1,75
Eau propre	0,04
Eau résiduaire	0,07
Elimination des déchets	0,61

Tableau 8.35 : Coûts d'exploitation en EUR/m² de l'installation H

Perte/rendement de métal estimé
Pour l'installation de référence H, les filtres suivants peuvent être calculés à partir de données disponibles :

- intrant de zinc : 23 080 kg/an, dont 99,95 % de matériau semi-fini de zinc ;
- extrant de zinc : 8 400 kg/an, dont 36,4 % du matériau entrant :
  - 3,4 kg/an étant rejetés par le biais des eaux résiduaires,
  - 8 400 kg/an étant rejetés par le biais des déchets.

8.5.8 Installation K de référence

Age de l'installation
13 ans

Type d'installation
Atelier interne à l'entreprise

Production programme pour l'ensemble de l'entreprise

- traitement mécanique ;
- zingage ;
- chromatation ;

- phosphatation de vis et de rondelles ;

Programme de production de l'unité de revêtement métallique au tonneau
Voir figure 8.17

- dégraissage par immersion à chaud ;
- décapage ;
- dégraissage électrolytique ;
- zingage (acide) ;
- décapage du cuivre (cyanure) ;
- zingage (cyanure) ;
- chromatation (bleu, jaune et noir) ;
- phosphatation.

Production

3 294t/an (principalement des vis et de rondelles de petite taille) à 6 800 heures de travail par an

Intrants de matériaux

Produits chimiques	Etape de traitement	Quantité en litre	Concentration utile	Consommation annuelle (kg)	Consommation annuelle en EUR
Concentrés de dégraissage	Dégraissage par immersion à chaud	5000	50 g/L	4000	7000
HCl	Bain de décapage	4000	160 g/L	48 400	9000
Hydroxyde de sodium	Dégraissage électrolytique	4000	100 g/L	1400	500
Anodes de zinc	Electrolyte de zinc			53 200	84 000
Chlorure de zinc			40 g/L	6960	5080
KCl		40 000	180 g/L	1920	1143
Acide borique			25 g/L	9600	33 000
Trioxyde de chrome Chlorure d'ammonium Sulfate de sodium Chlorure de sodium	Chromatation jaune	600	7,5 g/L	6000	14 000
Solution de chromate noir	Chromatation noire	600	100 g/L	15 000	47 000
Solution de chromate bleu	Chromatation bleue	600	40 mL/l		
Solution post-adhérisage	Post-adhérisage	3700	10 g/L	890	2600
Produits chimiques de revêtement métallique	**Unité de revêtement métallique**				**203 323**
50 % de solution de soude caustique	Installation de traitement des eaux résiduaires			5640	1270
30 % d'acide chlorhydrique				7560	1135
Bisulfite de sodium		--	--	1250	306
Coût total des produits chimiques destinés au traitement des eaux résiduaires					**2711**

Tableau 8.36 : Intrants de matériau pour l'installation K

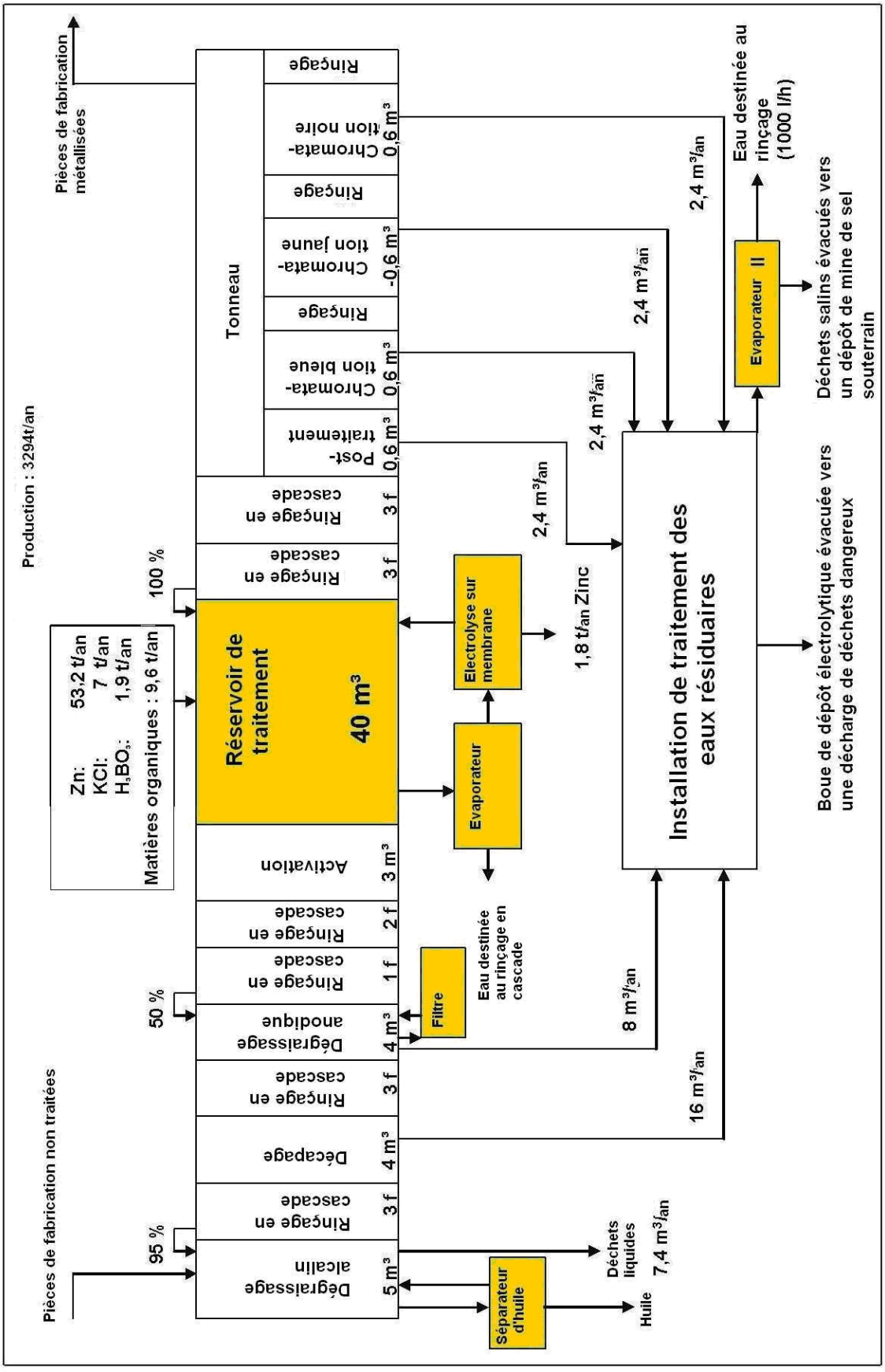


Figure 8.17 : Schéma de principe de traitement de l'installation K

Remplacement des matériaux problématiques utilisés
Actuellement, aucun remplacement des matériaux utilisés n'est possible.

Mesures destinées à prolonger la durée de vie des solutions
La durée de vie des solutions de traitement est indiquée dans le tableau 8.37

Etape de traitement	Produits chimiques	Concentration	Température	Durée de vie
Dégraissage par immersion à chaud	Hydroxyde de sodium	50 g/L	70	26 semaines
Décapage	Acide chlorhydrique	160 g/L	20	13 semaines
Dégraissage électrolytique	Hydroxyde de sodium	50 g/L	55	26 semaines
Electrolyte de zinc	Voir tableau 8.36	Voir tableau 8.36	30	Infinie
Chromatation jaune	Trioxyde de chrome	7,5 g/L		13 semaines
Chromatation noire	Trioxyde de chrome	20 g/L		13 semaines
Chromatation bleue	Sel de chrome trivalent	1 g/L		13 semaines

Tableau 8.37 : Durée de vie des solutions de traitement de l'installation K

La durée de vie de l'électrolyte de zinc est infinie. Ceci est obtenu grâce à une filtration continue et une électrolyse sur diaphragme combinée à la perte naturelle par entraînement.

La solution pour le dégraissage par immersion à chaud est pompée jusqu'à un séparateur d'huile pour éliminer l'huile libre.

La solution de dégraissage électrolytique est filtrée dans le but d'éliminer la boue.

Des traitements particuliers sont appliqués aux solutions de chromatation en raison de leur composition chimique complexe. La durée de vie obtenue dans chaque cas est considérée comme suffisante du point de vue écologique et économique.

Le cycle de contrôle et de remplissage des produits chimiques est représenté dans le tableau 8.38

Etape de traitement	Produits chimiques	Quantité de remplissage	Fréquence du contrôle analytique
Dégraissage par immersion à chaud	Tenside	Pas de données	1/semaine
Poste de décapage	Concentré d'acide sulfurique, tenside	Pas de données	1/semaine
Dégraissage électrolytique	50 % de solution de soude caustique Slotoclean	Pas de données	1/semaine
Electrolyte de zinc	Chlorure de calcium	50 kg/semaine	1/semaine
	Acide borique	6 kg/semaine	Continu
	Additifs basiques + brillant	50 kg/semaine	Continu
Décapage	30 % d'acide chlorhydrique	Pas de données	Redémarrage quotidien

Chromatation jaune	Trioxyde de chrome	Pas de données	2/semaine
Chromatation bleue	Sel de chrome trivalent	Pas de données	2/semaine
Chromatation noire	Sel d'argent, trioxyde de chrome	Pas de données	1/semaine

Tableau 8.38 : Cycle de contrôle et de remplissage des produits chimiques de l'installation K

Mesures destinées à réduire la perte par entraînement
Dans tous les procédés de revêtement métalliques, la procédure d'écoulage de l'électrolyte est optimisée, grâce à l'optimisation du corps du tonneau et du régime de rotation du tonneau.

Réinjection des solutions de traitement perdues par entraînement
On peut réinjecter les solutions de traitement perdues par entraînement en suivant différentes voies :

- dans les solutions du traitement à chaud (dégraissage) les pertes par évaporation sont complétées par l'eau de rinçage du rinçage compact, plus de 90 % de la solution de dégraissage à chaud et 50 % de la solution de dégraissage électrolytique sont réinjectées
- la solution de rinçage provenant de l'électrolyte est concentrée par un évaporateur sous vide et l'électrolyte reconcentré est complètement recyclé. Le distillat provenant de l'évaporateur est utilisé à des fins de rinçage (voir figure 8.18.).

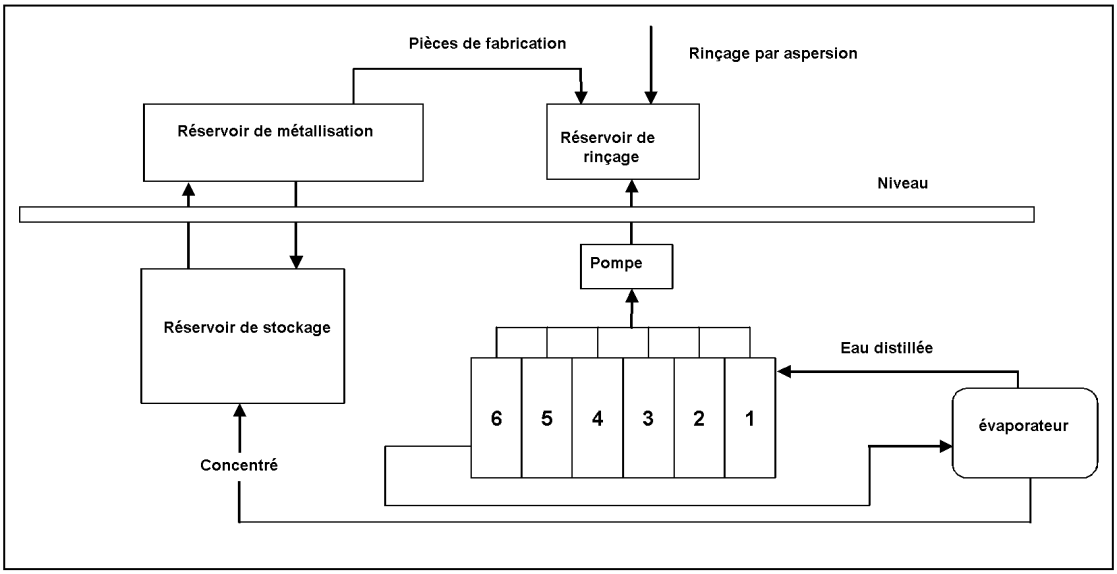


Figure 8.18 : Rinçage en cascade en six étapes dans l'installation K

Rinçage en plusieurs étapes avec un espace limité pour la chaîne

La technique du rinçage pour le procédé de revêtement métallique est un système de rinçage compact en six fois décrit dans la section 4.7.10.4 (voir figure 8.18). Après le réservoir de métallisation, le tonneau est placé dans un réservoir vide. Celui-ci est séquentiellement rempli par et vidé dans six réservoirs hors chaîne, chacun stockant ce qui est, en réalité, une eau de rinçage statique. Lorsque la première eau de rinçage (la plus concentrée) atteint une concentration critique, elle est pompée vers l'évaporateur.

Le concentré est renvoyé dans le bain de métallisation et l'eau distillée condensée est utilisée dans un nouveau rinçage. Le traitement complet dure environ 60 secondes.

Après les étapes de traitement restantes, les rinçages sont des rinçages en cascade en deux ou trois fois.

Traitement des eaux résiduaires avec évaporation consécutive (opération exempte d'eau résiduaire)

L'installation de traitement des eaux résiduaires est une unité centrale destinée à l'ensemble de l'installation, de sorte que l'unité de métallisation examinée ne représente qu'une partie de la quantité totale d'eau résiduaire. Dans chaque cas, avant l'oxydation et la réduction chimique, une oxydation anodique et une réduction cathodique se produisent. Après précipitation, une sédimentation et une déshydratation de la boue primaire a lieu dans un filtre-presse. Le filtrat est envoyé vers l'évaporateur. Le distillat (1 000 L/h) est réutilisé pour les procédés de rinçage.

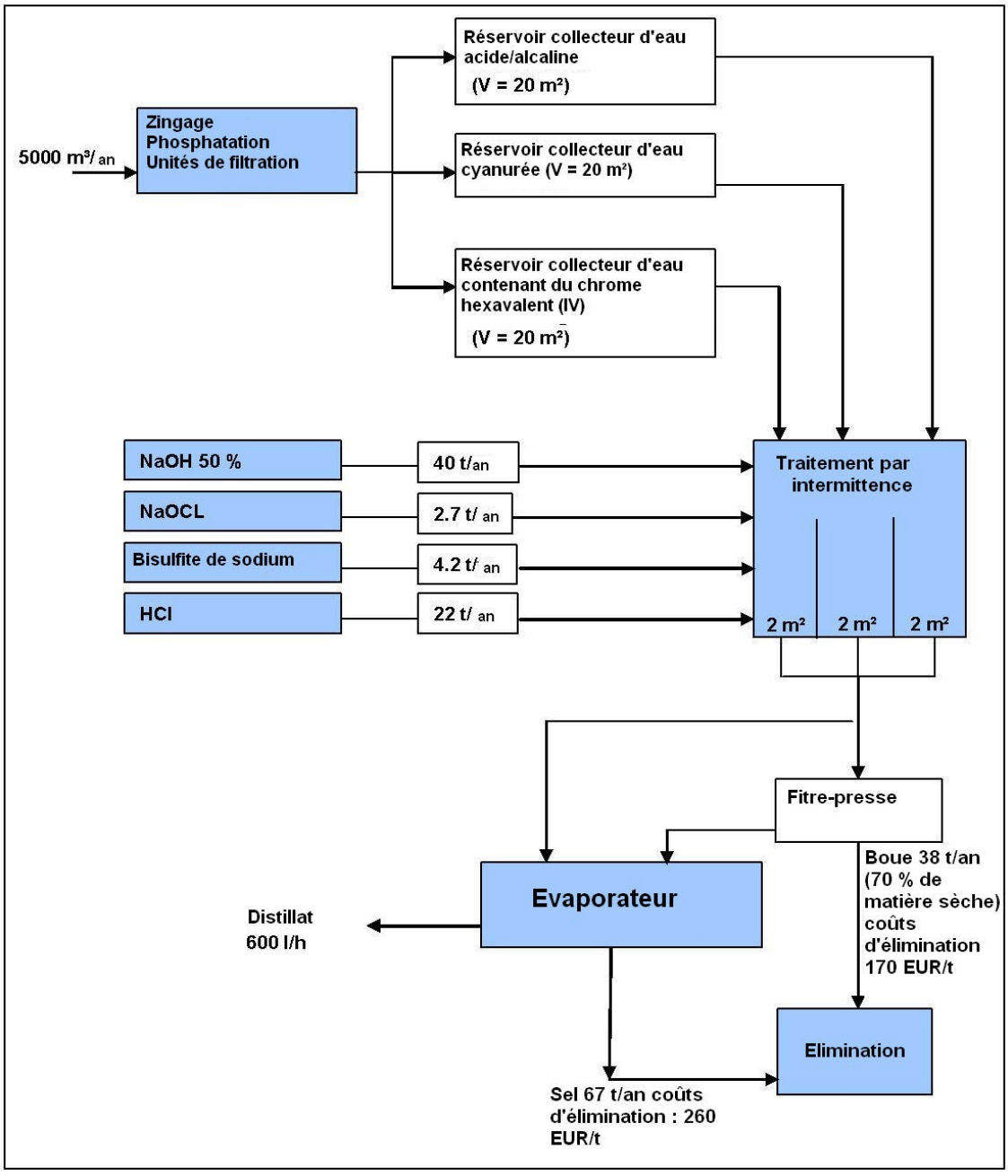


Figure 8.19 : Schéma de principe de l'installation de traitement des eaux résiduaires pour l'installation K

Quantité de déchets

La quantité principale des déchets produits provient des matières solides (boue), formées au cours du traitement des eaux résiduaires (précipitation et évaporation). Voir tableau 8.39.

Type de déchets	No. EWC	Quantité annuelle	Procédé d'élimination	Coûts, transport compris, en EUR par tonne
Déchets exempts de cyanure	11 01 03	21 t (70 % de matière sèche)	Décharge	500
Sel provenant de l'évaporateur		37 t	Dépôt dans des mines de sel	270

Tableau 8.39 : Quantités de déchets pour l'installation K

Coûts

Les coûts d'investissement pour l'ensemble de l'installation, y compris la technique de traitement sans eau s'élève à 4 000 000 EUR.

Ces coûts se répartissent de la manière suivante :

- 900 000 EUR pour l'évaporateur sous vide I ;
- 250 000 EUR pour l'évaporateur sous vide II ;
- 100 000 EUR pour le séchoir à disques ;
- 125 000 EUR pour l'électrolyse sur membrane, le filtre et la technique de dosage.

Coûts d'entretien annuels proportionnels pour l'unité de métallisation :

- 25 000 EUR pour le matériau ;
- 46 000 EUR pour le personnel.

Intrants et extrants de zinc

Pour l'installation de référence K, le bilan de zinc suivant peut être calculé à partir des données disponibles :

- intrant de zinc = 53 200 kg/an, dont 99,95 % de zinc semi fini ;
- extrant de zinc = 5 320 kg/an, correspondant à 10 % de l'intrant de matériau. Les extrants sont rejetés à hauteur de :
  - 0 kg/an par l'intermédiaire des eaux résiduaires,

5 320 kg /an par l'intermédiaire des déchets.

  -

8.5.9 Installation de référence L

Age de l'installation

8 ans

Type d'installation

Atelier de travail à la demande

Nombre de salariés

68

Programme de production de l'ensemble de l'entreprise

- zingage en bain cyanuré et alcalin : unité de montage ;
- zingage en bain cyanuré et acide : unité de montage et tonneau ;
- 1 x chromage : unité de montage ;
- 1 x chromage : unité manuelle ;
- étamage, nickelage et chromage : unité manuelle ;
- nickelage chimique : unité manuelle.

Programme de production de l'unité décrite (zingage en bain cyanuré)

Voir figure 8.20:

- dégraissage par immersion à chaud ;
- décapage ;
- dégraissage électrolytique ;
- zingage en bain cyanuré ;
- clarification ;
- chromatation transparente ;
- chromatation jaune ;
- chromatation noire.

Production

468 000 m^2/an pour t 7 200 heures de travail par an.

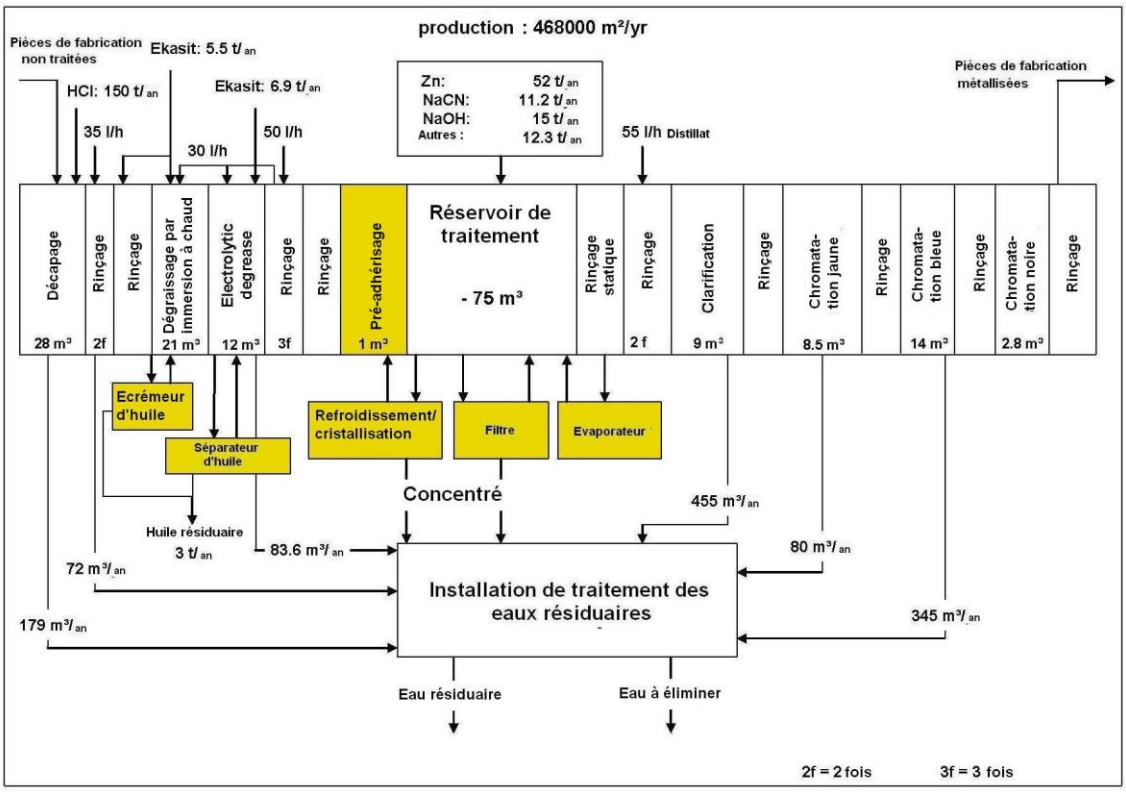


Figure 8.20 : Schéma de principe du traitement dans l'installation L

Matériau entrant

Produits chimiques	Etape de traitement	Concentration	Consommation annuelle en tonnes	Consommation annuelle en EUR
Ekasit 2005	Dégraissage par immersion à chaud	50 g/L	5,5	8 250
31 % d'acide chlorhydrique	Décapage	200 g /L	150	38 000
Dégraissant de bain de décapage		25 g/L	5,5	5 500
Ekasit	Dégraissage électrolytique	55 g/L	6,9	10 350
Anodes de zinc	Zingage		51,98	70 135
Oxyde de zinc		20 g/L	2,77	6 925
Cyanure de sodium		60 g/L	11 225	32 552
Hydroxyde de sodium		92 g/L	15,06	18 825
Milieu brillant			12,3	32 900
Acide nitrique	Clarification	10 g/L	7,6	3 790
Solution basique	Chromatation jaune	1 g/L Cr(VI) -	0,55	5 500
Solution basique	Chromatation noire	20 g/L Cr(VI) 250 mg/L Ag	7 ,5	25 000
Pro-seal X-Z 111	Blue chromate finishing	1 g/L	6,35	31 750
Solution post-adhérisage	Post-adhérisage	10 g/L	1,5	1 500
Total des intrants				**290 977**
50 % de soude caustique	Traitement des eaux résiduaires		40	24 000
30 % d'HCl			75	33 000
Bisulfite de sodium			15	10 200
Dithionite de sodium			2,5	8 200
Chaux			10	2 500
Hypochlorite de			111	60 000
Total des produits chimiques utilisés pour le traitement des eaux résiduaires				**137 900**

Tableau 8.40 : Matériau entrant pour le revêtement métallique et le traitement des eaux résiduaires dans l'installation L

Remplacement des matériaux problématiques utilisés

On prévoie le remplacement des électrolytes de zinc avec cyanure par des électrolytes exempts de cyanure alcalin.

Mesures destinées à prolonger la durée de vie des solutions

Le contrôle analytique, le cycle de remplissage et la durée de vie des solutions de traitement sont représentés dans le tableau 8.41

Etape de traitement	Produit chimique	Cycle de remplissage	Fréquence du contrôle analytique	Durée de vie
Dégraissage à chaud	University bio clean	3/semaine	1/semaine	15 semaines

Décapage	30 % HCl + Dégraissant de bain de décapage	3/jour	1/semaine	8 semaines
Dégraissage électrolytique	50 % de solution de soude caustique Ekasit F15	3/jour	1/semaine	7 semaines
Electrolyte de zinc	Hydroxyde de sodium	3/semaine	Zn 5/semaine	Infinie
	Solution basique	Continuel	CN 5/semaine	
	Additif brillant	Continuel	OH 3/semaine	
Azurage	Concentré d'acide nitrique	3/jour	1/semaine	1 semaine
Chromatation jaune	AP plus	3/semaine	3/semaine	8 semaines
Chromatation bleue	X Z 111	3/semaine	3/semaine	2 semaines
Chromatation noire	ZBL-T	3/semaine	3/semaine	8 semaines
Colmatage	Solution post-adhérisage	2/semaine	2/semaine	Infinie

Tableau 8.41 : Contrôle analytique, cycle de remplissage et durée de vie des solutions de traitement pour l'installation L

La durée de vie de l'électrolyte de zinc est infinie. Ceci est obtenu grâce à l'entraînement naturel, une filtration continue de l'électrolyte et l'installation d'une unité de refroidissement/de cristallisation destinée à éliminer le carbonate.

Pour les solutions de traitement restantes, aucun traitement particulier n'est effectué. Une filtration sur membrane pour la solution de dégraissage par immersion à chaud n'a pas eu de résultat satisfaisant. La concentration de l'eau de rinçage provenant des solutions de chromatation au moyen d'un procédé d'osmose inverse a également échoué.

Mesures destinées à réduire la perte par entraînement
Les temps d'égouttage ont été optimisés pour obtenir un temps identique de 15 secondes. Lorsque les tuyaux sont métallisés, la perte par entraînement est fortement réduite lorsqu'ils sont accrochés en diagonal sur les montages.

Réinjection des solutions de traitement perdues par entraînement
La réinjection des électrolytes perdus par entraînement se fait selon deux parcours différents :

- les pertes par évaporation des bains actifs chauds s'accumulent depuis le premier réservoir de rinçage après le réservoir de traitement. La quantité d'eau de rinçage réinjectée est comprise entre 30 et 40 L/h.
- l'évaporation de l'ensemble de l'eau de rinçage après le réservoir de métallisation au moyen d'évaporateurs sous vide et la réinjection du concentré (6 L/h) en plus de l'utilisation du distillat à des fins de rinçage après la métallisation (30 L/h et 25 L/h).

Technique de rinçage
La technique de rinçage est généralement dans chaque cas un rinçage en cascade en trois étapes.

Les exceptions aux procédés de rinçage en trois étapes se retrouvent après la chromatation. Ici, l'eau de circulation provenant de l'échangeur d'ions alimente une étape de rinçage du procédé de chromatation.

Dans certains cas, un lavage supplémentaire par pulvérisation est utilisé au-dessus du niveau de fluide du réservoir. Pour ce faire, 30 à 35 L/h d'eau déminéralisée alimentent le pulvérisateur du dernier rinçage.

En raison des pertes élevées par entraînement lorsque les tuyaux sont métallisés, une étape de rinçage supplémentaire avec de l'eau déminéralisée provenant de l'échangeur d'ions est ajoutée au procédé de dégraissage par immersion à chaud et au procédé de décapage.

Traitement des eaux résiduaires

L'installation du traitement des eaux résiduaires est une installation centrale pour toutes les unités de production utilisant de l'eau, et l'installation de zingage décrite représente uniquement une partie du spectre total des eaux résiduaires entrantes (voir figure 8.21).

Le prétraitement et le traitement final sont réalisés dans deux réservoirs de traitement, un réservoir pour les flux de cyanure et un réservoir pour les flux de chromate, chaque réservoir ayant une capacité de 30 m^3. Après prétraitement et précipitation, une étape de sédimentation dans les bassins de décantation et une étape de déshydratation de la boue ont lieu dans deux filtres-presses. L'eau nettoyée est évacuée dans les égouts par l'intermédiaire d'un filtre à gravier, un échangeur de cation final, une neutralisation finale et l'ajustement final du pH.

Les installations décrites produisent 75 m^3 d'eau résiduaire par semaine.

Les concentrations en métaux lourds mesurées dans les eaux résiduaires sont décrites dans le tableau 8.42.

Paramètre	Valeurs limite mg/L	Analyse de contrôle mg/L		
		Interne	Externe	Externe
Cr total	0,5	0,3	<0,05	<0,05
Cr (VI)	0,1	<0,01	<0,05	<0,05
Zinc	2,0	0,9 à 1,2	0,22	<0,22
Cyanure	0,2		0,24	<0,05

Tableau 8.42 : Concentration en métaux lourds dans les eaux résiduaires après traitement pour l'installation L

Avec une quantité d'eau résiduaire de 75 m^3 par semaine et des concentrations moyennes en métaux de 0,22 mg/L pour le Zn et de moins de 0,05 mg/L pour le Cr, on obtient des charges annuelles en métaux lourds de 825 g de zinc et de 187 g de chrome au maximum.

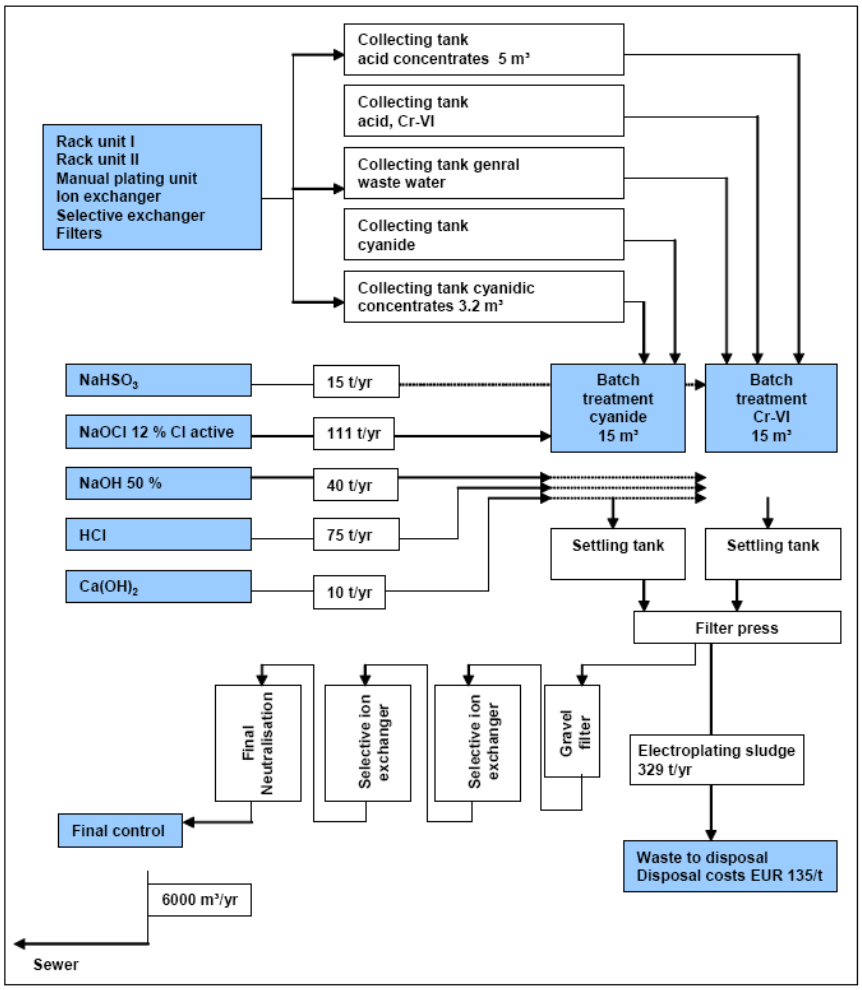


Figure 8.21 : Schéma de principe d'une installation de traitement des eaux résiduaires de l'installation L

Déchets générés

Type de déchet	No. EWC	Quantité annuelle en tonnes	Procédé d'élimination	Coûts d'élimination transport compris EUR/tonne
Déchets exempts de cyanure, contenant du chrome	11 01 03	181	Décharge	135
Déchets contenant du cyanure	11 01 01	9	Destruction thermique	640
Huile résiduaire	11 01 07	3	Réutilisation thermique	470

Tableau 8.43 : Quantités de déchets de l'installation L

	Teneur en matière sèche en g/kg
Zinc	200 (valeur médiane)
Fer	42
Cadmium	<0,1
Arsenic	<0,1
Teneur en matière solide	40 %

Tableau 8.44 : Installation L, composition de la boue de dépôt électrolytique pour un recyclage métallurgique

Coûts

Les coûts d'investissement indiqués par l'opérateur sont :

- 1 500 000 EUR pour l'installation de zinc ;
- 845 000 EUR pour l'installation de traitement des eaux résiduaires (coût intégral) ;
- 63 000 EUR pour l'unité échangeuse d'ions (coût proportionnel) ;
- 35 000 EUR pour les unités de filtration (zinc) ;
- 10 000 EUR pour le mécanisme de déshuilage ;
- 32 500 EUR pour l'unité de cristallisation par refroidissement ;
- 125 000 EUR pour l'évaporateur.

Coûts annuels d'entretien pour une installation de revêtement métallique :

- 40 000 EUR/an pour les matériaux ;
- 40 000 EUR/an pour le personnel.

Pour les installations périphériques (protection environnementale intégrée à la production), les dépenses en personnel suivantes sont proportionnellement nécessaires à l'exportation et à l'entretien :

- Filtration, mécanisme de déshuilage, cristallisation par refroidissement :
  - 10 000 EUR/an ;
- Installation de traitement des eaux résiduaires et échangeuse d'ions (coût proportionnel) :
  - 7 500 EUR/an pour le matériau ;
  - 50 000 EUR/an pour le personnel.

Le Tableau 8.45 indique les coûts pour l'installation L en EUR/m² traités :

	EUR/m^2
Produits chimiques pour le traitement de galvanisation	0, 31

Produits chimiques pour le traitement des eaux résiduaires	0, 15
Energie (rivière + chauffage à distance)	0, 24
Achat d'eau	0, 025
Eaux résiduaires et déchets	0, 08
Investissement	0, 56
Personne/matériau pour l'entretien	0, 34

Tableau 8.45 : Coûts pour l'installation L en EUR/m² traité

Intrants et extrants de zinc
Les données habituelles pour l'installation L sont les suivantes :

- intrant de zinc : = 51 980 kg/an, dont 99,95 % de matériau semi-fini de zinc ;
- extrant de zinc = 14 481 kg/an, dont 27,86 % du matériau entrant :
  - via le trajet des eaux résiduaires = 0,8 kg/an,
  - via le trajet du déchet = 14 480 kg/an.

8.6 Utilisation du chrome pour des petites chaînes habituelles de revêtement métallique décoratif

Il s'agit d'une des trois chaînes similaires et habituelles pour bon nombre d'installations de chromage. La technique de rinçage intègre certaines techniques couramment utilisées pour "fermer le circuit" : cependant, le circuit de matériau n'est pas fermé :

- dimension du réservoir pour le bain de chromage : 100 x 70 x 120 cm (2 040 litres) ;
- un réservoir de rinçage écologique (voir section 4.7.4) pour le rinçage statique avant chromage (la concentration du CrO_3 doit être contrôlée par dilution de façon à ce qu'elle soit supérieure à 80 g/L puisque dans le cas contraire la sous couche de nickel serait passivée et ne pourrait pas être métallisée). Ce rinçage écologique est également utilisé comme première étape après le chromage ;
- les pertes par évaporation dans le bac de revêtement métallique sont remplacées automatiquement par de l'eau de rinçage provenant du rinçage écologique statique (le bac de revêtement métallique perd seulement 1 L/h, a une superficie de 0,45 m² et fonctionne à une température de 43 °C. Le bain comporte un dispositif d'extraction de l'air) ;
- le rinçage écologique statique est automatiquement réalimenté en eau déminéralisée dont le niveau est contrôlé ;
- après le rinçage statique, un rinçage en double cascade (écoulement de l'eau à contre-courant) a lieu et toute l'eau propre est tout d'abord utilisée comme eau de pulvérisation par les buses ;
- les étapes de rinçage ultérieures évacuent l'acide chromique résiduel dans l'installation des eaux résiduaires.

Rendement

- surface métallisée : 11 000 m²/an avec une épaisseur moyenne de 0,3 µm de chrome (typique pour un chromage brillant décoratif) ;
- chrome déposé sur la surface : 236 kg/an ;
- consommation en acide chromique : 870 kg/an = 452,4 kg/an d'intrant de chrome ;
- rendement approximatif du métal : 52 %.

Trajets du chrome

- déposé sur les pièces grâce à un procédé de dépôt électrolytique ;
- système d'extraction d'air (déchet ; les mêmes quantités de déchets sont collectées chaque année) ;
- boue de chrome dans le bain (déchet) ;
- décapage des montages (hydroxyde métallique, déchets mais revendus pour une récupération externe du métal) ;
- installation de traitement des eaux résiduaires (hydroxyde métallique > 99 %; déchets mais revendus pour une récupération externe du métal).

Les points 2, 3 et 4 susmentionnés représentent ensemble au moins 3 à 5 % des intrants et ne peuvent jamais être totalement éliminés même dans l'hypothèse d'un circuit complètement fermé.

Conclusions

- le rendement du métal d'approximativement 52 % est habituel pour ce type de petite chaîne de chromage hexavalent ;
- pour des installations de chromage de petite taille sans concentrateur, il n'est pas possible de parvenir à un circuit fermé ;
- plus la couche de chromage est mince, plus il est difficile de parvenir à un très bon rendement du métal ;
- sans les étapes mentionnées ci-dessus visant à fermer le circuit, le rendement du métal pour le chromage hexavalent décoratif n'est que de 20 à 30 %.

Source

[Martin Peter, Collini GmbH, Mars 2005]

8.7 Échange d'ions – description générale des techniques

Description
L'échange d'ions a été utilisé commercialement pendant de nombreuses années dans l'industrie du traitement de l'eau et du traitement de surface. Sa description ne s'applique donc pas à une application en particulier, et de nouvelles applications et de nouveaux systèmes de résine continuent à émerger. On peut citer comme exemples :

- la déminéralisation de l'eau ;
- les applications d'adoucissement de l'eau.

et dans l'industrie du traitement de surface, on peut citer comme exemples :

- les applications de traitement des eaux résiduaires ;
- la récupération des eaux de rinçage ;
- la récupération des métaux. Les applications les plus répandues sont la récupération du cuivre (provenant des solutions de cuivre acide), du nickel et des métaux précieux provenant des eaux de rinçage utilisées pour le revêtement métallique.

L'échange d'ions est une réaction chimique autour de laquelle des ions provenant de solutions sont remplacés par des ions liés à des groupes fonctionnels actifs chimiquement sur des résines échangeuses d'ions. Des résines sont habituellement classées en résines échangeuses de cations ou en résines échangeuses d'anion. Les résines échangeuses de cations remplacent habituellement des ions de sodium ou d'hydrogène par des cations chargés positivement tels que des cations de nickel, de cuivre et de sodium. Les résines échangeuses d'anion remplacent habituellement des ions hydroxyle par des ions chargés négativement tels que des ions de chromate, de sulfate et de chlorure. Les résines échangeuses de cation et d'anion sont toutes deux produites à partir de réseaux réticulés organiques tridimensionnels. Cependant, elles ont des liaisons de groupes fonctionnels ionisables différentes qui offrent des propriétés d'échange d'ions différentes. Les résines échangeuses d'ions ont des sélectivités variables spécifiques aux ions (préférences pour l'élimination). L'équation d'équilibre chimique suivante décrit un procédé d'échange de cation :

$$zR - A + zB + zR - B + zA+$$

R - = Groupe fonctionnel de la résine
A+ = Cation lié à la résine
B+ = Cation en phase aqueuse
z = Nombre d'équivalents

Les systèmes d'échange d'ions consistent habituellement en des colonnes chargées de granulés de résines échangeuses d'ions. Les solutions de traitement sont pompées par le biais des colonnes pour mettre en œuvre le traitement. Les caractéristiques principales des systèmes à colonnes échangeuses d'ions sont :

- les ions sont retirés dans le système de flux continu ;
- les résines échangeuses d'ions se chargent dans la direction du flux jusqu'à ce que la colonne entière soit chargée ;
- les résines peuvent être régénérées, moyennant quoi des solutions acides sont habituellement utilisées pour retirer les métaux des résines échangeuses de

cation, et des solutions caustiques sont habituellement utilisées pour retirer les sels liés par la résine. Des solutions de rinçage sont utilisées pour éliminer le surplus de fluide de régénération de colonne ;

- la vitesse d'écoulement linéaire à travers le lit de résine a un impact sur le taux d'échange d'ions.

Les principaux types de résines échangeuses d'ions sont :

- les résines à acide fort : un groupe fonctionnel de résine à acide fort typique est le groupe acide sulfonique (SO_3H). Les résines à acide fort sont des échangeuses de cation fortement ionisées. La capacité d'échange des résines à acide fort est relativement constante sur les plages de pH fonctionnelles spécifiques ;
- les résines à acide faible : un groupe fonctionnel de résine à acide faible typique est le groupe acide carboxylique (COOH). Les résines à acide faible présentent une bien plus grande affinité pour les ions d'oxygène que les résines à acide fort, et peuvent être régénérées au moyen de quantités significativement inférieures de réactifs de régénération. La dissociation des résines à acide faible est fortement influencée par le pH de la solution et a une capacité limitée en dessous d'un pH d'approximativement 6,0 ;
- les résines à base forte : un groupe fonctionnel de résine à base forte typique est le groupe ammoniaque quaternaire. Les résines à base forte sont des échangeuses d'anion fortement ionisées. La capacité d'échange de ces résines est relativement constante sur les plages de pH fonctionnelles spécifiques ;
- les résines à base faible : celles-ci manifestent une bien plus grande affinité pour les ions hydroxyde que les résines à base forte et peuvent être régénérées au moyen de quantités significativement inférieures de réactifs de régénération. La dissociation des résines à base faible est fortement influencée par le pH de la solution ; la capacité de la résine est influencée par le pH et a une capacité limitée au-dessus d'un pH d'approximativement 7,0 ;
- les résines chélatantes : celles-ci se comportent de façon similaire aux résines échangeuses de cation à acide faible mais manifestent un plus haut degré de sélectivité pour les cations de métaux lourds. La résine iminodiacétate est une résine chélatante courante. Cette résine comporte deux groupes fonctionnels d'acide carboxylique liés à un atome d'azote qui est lié à la structure réticulée de la résine. Les groupes d'acide carboxylique effectuent des échanges avec différents cations, de la même façon qu'une résine à acide faible. Cependant, l'atome d'azote peut également former une liaison ligande avec les cations métalliques, ajoutant ainsi un autre mécanisme de capture de cation. Les résines chélatantes sont particulièrement sélectives pour des cations divalents plus lourds par rapport aux cations monovalents ou trivalents du fait de la présence de deux groupes fonctionnels espacés de façon souhaitable.

Les points précisés suivants indiquent les préférences relatives de sélectivité spécifiques aux ions pour des types de résine échangeuse d'ions commerciale et courante. Dans chaque liste, les ions sont ordonnés de l'ion présentant la plus haute sélectivité à l'ion présentant la sélectivité la plus faible :

- sélectivité de la résine (échangeuse de cation) à acide fort :
  baryum > plomb > strontium > calcium > nickel > cadmium > cuivre > zinc > fer > magnésium > manganèse > métaux alcalins > hydrogène
- sélectivité de la résine (échangeuse d'anion) à base forte :
  iodure > nitrate > bisulfite > chlorure > cyanure > bicarbonate > hydroxyde > fluorure > sulfate
- sélectivité de la résine (échangeuse de cation) à acide faible :
  cuivre > plomb > fer > zinc > nickel > cadmium > calcium > magnésium > strontium > baryum > alcali
- sélectivité de la résine chélatante (iminodiacétate) :

cuivre > mercure > plomb > nickel > zinc > cadmium > cobalt > fer > manganèse > calcium > magnésium > strontium > baryum > alcali

- sélectivité de la résine chélatante (aminophosphonique) :
  plomb > cuivre > zinc > nickel > cadmium > cobalt > calcium > magnésium > strontium > baryum > alcali

La capacité d'échange des résines échangeuses d'ions habituelle peut s'exprimer en milliéquivalent par litre (meq/L = ppm d'ions/poids équivalent par litre). Le Tableau 8.46 présente les capacités d'échange habituelles pour les résines échangeuses d'ions commerciales courantes.

Type de résine	Capacité d'échange
A acide fort (échangeuse de cation)	1800
A acide faible (échangeuse de cation	4000
A base forte (échangeuse d'anion)	1400
A base faible (échangeuse d'anion)	1600
Chélatante (sous forme de sodium)	1000

Tableau 8.46 : Capacités d'échange d'ions habituelles des résines courantes (en milliéquivalents par litre, meq/L)
[162, USEPA, 2000]

Bénéfices environnementaux atteints
Se référer au paragraphe Applicabilité ci-dessous.

Effets multimilieux
Les produits chimiques utilisés lors de la régénération
Les effets des solutions résiduaires provenant de la régénération
L'énergie consommée pour le pompage

Données d'exploitation
Les composants habituels du système sont :

- les colonnes échangeuses d'ions avec résine ;
- les pompes, la tuyauterie et les valves de procédé ;
- les réservoirs, les pompes et la tuyauterie de régénération ;
- les systèmes de mélange chimique et les produits chimiques de régénération ;
- les pré filtres (pour éliminer les matières solides et les matières organiques) ;
- les contrôles de procédé (pour des cycles de génération automatisés ou semi-automatiques).

En fonction de l'application, il est possible d'utilisateur plusieurs combinaisons de résine échangeuse d'anion, de cation, et à lit mélangé (échange d'anion/de cation).

Applicabilité
Se référer au paragraphe Description ci-dessus comprenant l'utilisation pour des applications de déminéralisation d'eau et d'adoucissement d'eau. Ceci permet d'améliorer la qualité de l'eau entrante pour l'installation ou la chaîne de traitement, et permet d'améliorer la qualité de la solution de traitement par élimination des ions non voulus (et donc permet d'améliorer la qualité du produit et de prolonger la durée de vie du bain) et pour le rinçage, cela permet de garantir que les pièces sècheront sans laisser de trace de matière solide dissoute.

L'échange d'ions constitue également une technique excellente pour récupérer les produits chimiques de revêtement métallique provenant des eaux de rinçage diluées. Dans la configuration habituelle, l'eau de rinçage contenant une concentration diluée de produit chimique de revêtement métallique est passée à travers une colonne échangeuse d'ions où les métaux sont retirés de l'eau de rinçage et retenus par la résine échangeuse d'ions. Lorsque la capacité maximum de l'unité est atteinte, la résine est régénérée et les métaux sont concentrés dans un volume raisonnable de solution. Il est important de noter que dans certains cas le recyclage des eaux de rinçage nécessite une capacité de traitement moindre par rapport au traitement de l'eau entrante et au traitement des rinçages suivants, puisque la charge des ions ou les matières solides totales dissoutes peuvent être inférieures.

Pour des procédés de récupération chimiques classiques, les systèmes sont conçus soit avec un lit échangeur de cation soit avec un lit échangeur d'anion, en fonction de la charge des espèces ioniques à récupérer. Après être passé à travers la colonne, l'eau de rinçage traitée est évacuée dans les égouts ou subit un traitement consécutif. Dans la plupart des cas, l'eau de rinçage est recyclée dans le procédé. Ces systèmes comprennent deux types de colonnes, échangeuses de cation et échangeuses d'anion, pour déminéraliser complètement l'eau de rinçage.

Les réservoirs de récupération des pertes par entraînement peuvent être combinés à un échange d'ions pour réduire la capacité requise des colonnes échangeuses d'ions. Lorsque cette configuration est utilisée, le ou les réservoir(s) de récupération des pertes par entraînement sont suivis d'un rinçage par débordement qui alimente une colonne échangeuse d'ions. En cours d'exploitation, les réservoirs de récupération des pertes par entraînement renvoient la plus grande partie des produits chimiques de revêtement métalliques dans le bain de revêtement métallique et une colonne échangeuse d'ions capture uniquement la charge chimique résiduelle. Ceci permet de réduire les dimensions nécessaires du système échangeur d'ions.

Applicabilité – flux secondaire(s)

Les produits chimiques de régénération peuvent être choisis de façon à optimiser les produits dérivés de la régénération des résines échangeuses d'ions. Les produits chimiques sont choisis pour produire les sels pouvant être directement récupérés dans le procédé de traitement. Les métaux peuvent être récupérés par l'intermédiaire d'une électrolyse et les sels sont récupérés en dehors du site de production. Suivant les spécifications des produits chimiques et du procédé de récupération, la solution régénérée peut être directement renvoyée dans le réservoir de revêtement métallique pour être réutilisée, davantage traitée, ou pour que les métaux soient récupérés au moyen d'une autre technique, telle que l'électrolyse. Les applications les plus courantes pour cette technique se trouvent dans la récupération du cuivre, du nickel et des métaux précieux. Les mécanismes de régénération à contre-courant permettent de réduire de façon significative la consommation en produits chimiques destinés à la régénération puisque la zone régénérée est toujours maintenue dans un état "propre". La régénération à contre courant requiert une consommation plus importante de produits chimiques et/ou se traduit par une qualité initiale inférieure de l'eau puisque la "zone régénérée" est laissée dans un état semi-contaminé après régénération.

Applicabilité - limitations

Les limitations courantes pour l'échange d'ions sont :

- l'échange d'ions peut s'avérer être peu pratique pour une utilisation avec des concentrations totales en matière solide dissoutes supérieures à 500 ppm, du fait qu'une régénération fréquente est nécessaire ;
- les résines ont différentes plages de pH efficaces. Par exemple, la résine chélatante iminodiacétate est plus efficace dans une plage légèrement acide ; la sélectivité est inférieure à un pH supérieur et en deçà d'un pH d'approximativement 2,0 ;
- les oxydants, les solvants, les matières organiques, l'huile et la graisse peuvent dégrader les résines ;
- les matières solides en suspension peuvent déboucher une colonne de résine.

Aspects économiques
Spécifique à chaque situation. Se référer au paragraphe Installation de référence, ci-dessous.

Eléments moteurs de la mise en œuvre
Spécifique à chaque situation.

Installation de référence
Se référer aux applications et aux exemples spécifiques dans les sections suivantes :
4.4.5.1 Alimentation en eau, traitement et recyclage/réutilisation
4.7.8.1 Régénération par échange d'ions
4.7.10 Techniques de rinçage multiples
4.7.12 Combinaison de techniques et d'approches au niveau de l'installation dans sa globalité
4.10 **Techniques courantes de traitement des** eaux et des solutions aqueuses : eau d'alimentation, rinçage, traitement des eaux résiduaires, solutions de traitement, et récupération de matériaux
4.11.7 Purification par échange ionique de la contamination métallique
4.12.2 Echange d'ions – récupération des métaux précieux provenant des rinçages
4.14.17.3 Elimination en continu du fer et réutilisation du bain de zingage
4.16 **Techniques de réduction des émissions** d'eaux résiduaires

Documentation de référence
[104, UBA, 2003, 162, USEPA, 2000]

8.8 Nettoyage par ultrasons – Installations de référence

Chaîne de revêtement métallique automatisée
Les générateurs, qui sont situés près de la cuve, fournissent aux transducteurs un signal électrique haute fréquence et haute tension (dans chaque cas 4 000 W à 25 kHz puisqu'il s'agit de transducteurs tubulaires). Un effet piézoélectrique, à l'intérieur des transducteurs, lorsqu'il reçoit ce signal commence à vibrer et produit des ondes mécaniques dans son environnement. Le système requiert un bain de dégraissage chimique, et accélère le nettoyage en améliorant l'élimination des huiles et des autres impuretés provenant des pièces.

Détails de l'installation
Volume : 4 950 litres
Système constitué de 15 transducteurs tubulaires d'une puissance de 4 000 W (bien que la puissance en fonctionnement ne dépasse pas 1 500 W)
Cuve en acier inoxydable norme AISI 316 avec double paroi thermo isolante
Température : 70 °C (entre 65 °C et 75 °C)
Energie : chauffage au moyen d'un serpentin de 25 mm de diamètre dont l'eau est chauffée à 85 °C. L'installation comporte trois résistances auxiliaires de 3 000 W destinées à compléter le chauffage.
Durée du bain (renouvellement) : 2 semaines (16 heures par jour)
Temps de nettoyage : les ultrasons fonctionnent pendant une durée comprise entre 0 et 3 minutes (suivant le type des matériaux : de l'acier inoxydable, du fer ou du laiton, et suivant qu'il est poli ou non ou qu'il contient de grandes quantités d'huile)
Equipement auxiliaire : une pompe à filtre avec cartouches (8 m^2) pour l'élimination des particules insolubles (13 000 L/h)
Produits : dégraissant alcalin avec des concentrations de 30 g/L (25 à 35 g/L).

Lavage après polissage au moyen d'une machine automatisée
Volume : 230 litres
Système composé de deux transducteurs plats d'une puissance de 1 000 W.
Cuve en acier inoxydable norme AISI 316 avec double paroi thermo-isolante
Température : 70 °C (65 °C à 75 °C)
Energie : une seule résistance de 2000 W pour le chauffage
Durée du bain (remise en état) : hebdomadaire (8 heures par jour)
Temps de nettoyage : fonctionnement permanent des ultrasons (ils servent uniquement à nettoyer le laiton poli (grande quantité de pâte))
Avertissement : dégazage initial du bain
Produits : dégraissant acide ayant une concentration de 35 g/L.

Effets multi milieux pour les deux exemples
Déchets : ceux provenant de la pompe à filtre, y compris les cartouches, et ceux associés au traitement des eaux (boue). Leur quantité dépend du volume de production
Bruit : son haute fréquence (25 kHz). Si les ultrasons commencent à fonctionner alors que les pièces sont absentes, le bruit constitue une gêne pour l'oreille humaine étant donné que l'équipement vibre et que le bruit se diffuse largement du fait de l'absence d'isolation. Dans le cas d'un fonctionnement normal, il n'est possible d'entendre le bruit qu'à proximité de l'espace de travail
Emissions gazeuses : un système destiné à capter les vapeurs au moyen d'un système d'épuration est recommandé (comme pour les nettoyants alcalins chauds)
Eaux résiduaires : traitées avec un dégraissant normal, c'est-à-dire, neutralisées avec précipitation des métaux dissous sous la forme d'une boue.

Contrôle des paramètres pour les deux exemples
Un dégazage initial du bain doit être effectué lors de la première utilisation et une utilisation normale provoque des vibrations. Il est donc nécessaire de fixer fermement les pièces sur les supports pour que les vibrations n'entraînent pas leur chute. Un contrôle en laboratoire de l'alcalinité et de l'acidité du bain est effectué chaque semaine.

Documentation de référence
[158, Portugal,
2004]

8.9 Installation de référence pour la réduction du volume d'air extrait

Description
La technologie de système automatisé à réservoirs couverts pour économies d'énergie KCH est un système conçu pour éliminer efficacement les contaminations dans l'air du lieu de travail à un coût raisonnable et à un niveau minimisant la consommation énergétique globale et le volume extrait par le dispositif de contrôle de la pollution de l'air. Cette installation est mise en place par un système de contrôle semi automatisé du procédé. Le procédé consiste à laver et attaquer chimiquement des pièces de titane. Les couvercles et l'échappement sont automatisés. Tous les réservoirs ventilés sont équipés de couvercles qui s'ouvrent et se ferment lorsque l'élévateur se déplace au-dessus du réservoir pour charger ou décharger des pièces à laver ou à graver chimiquement. Les gaz sont évacués de la conduite par l'intermédiaire du système d'extraction de celle-ci constitué d'un épurateur et d'un ventilateur. Chaque réservoir ventilé comporte deux hottes d'extraction latérales, chacune avec son propre registre de volume. Les registres de volume sont reliés aux couvercles de réservoir et s'ouvrent et de se ferment en même temps. Ceci permet de monter le débit d'air à travers les hottes si nécessaire lorsque les couvercles sont en position ouverte. Le système d'extraction a un registre de contrôle de l'air de prélèvement situé entre les hottes de la conduite et l'épurateur, qui s'ouvre et se ferme si nécessaire pour compenser les variations de la pression statique dues à l'ouverture et à la fermeture du couvercle de réservoir et des registres de hotte. Cela permet de maintenir un volume constant et une pression statique constante à travers l'épurateur et le ventilateur. Le système fournit un volume constant avec un débit d'air légèrement négatif dans la salle. L'air d'appoint est introduit depuis l'extérieur, mis à température, et réparti dans l'ensemble de la salle.

Bénéfices environnementaux atteints
Le débit mesuré de 514 m^3/m constitue une réduction de 905 m^3/m par rapport au débit de la conception de base de 1 419 m^3/3 pour un système de réservoir sans couvercle.

Les économies d'énergie totales s'élèvent à 1 108 852 kWh/an.

Effets multimilieux
Aucun effet constaté

Données d'exploitation
La chaîne de lavage et de gravure chimique du titane a les caractéristiques suivantes :

- 15 m de long ; six réservoirs de traitement d'un volume de 13 m^3 ;
- 4,3 m de long x 1,2 m de large x 2,4 m de profondeur ;
- un seul couvercle s'ouvre à la fois ;
- deux réservoirs de 1,4 % d'acide nitrique/0,14 % d'acide fluorhydrique ;
- débit d'air de base sans couvercle : 1 419 m^3/minute.

Vérification des performances
La technologie a été essayée afin de vérifier si les déclarations du vendeur concernant les économies d'énergie réalisées grâce à la réduction des besoins énergétiques étaient justifiées.

Aspects économiques
Une analyse du coût de la technologie a été réalisée en se basant sur les conditions d'exploitation actuelles. La réduction de la taille de l'épurateur et du ventilateur

d'extraction due au besoin de ventilation inférieur grâce à l'utilisation des couvercles se traduit par des coûts inférieurs liés à l'équipement et au besoin énergétique. La réduction de la taille du ventilateur d'extraction est significative. L'installation permettra une économie annuelle de 65 884 USD, qui comprend des économies réalisées sur les coûts énergétiques et les coûts d'exploitation et d'entretien. En outre, les dépenses d'investissement initiales sont significativement réduites du fait de la réduction de la taille du composant. Une économie de 61 283 USD réalisée sur les coûts d'investissement est à attendre.

Travaux d'exploitation et d'entretien
Les besoins de la technologie en terme de travaux d'exploitation et d'entretien n'ont pas été surveillés au cours de l'essai. Cependant, les informations en matière d'exploitation et d'entretien obtenues indiquaient des coûts d'exploitation et d'entretien annuels de l'installation de l'ordre de 8 547 USD.

Calcul des économies d'échelle
(Travaux du rapport réalisés en 2000, date du rapport : 2002)

- le coût du système sans la technologie de système automatisé à réservoir couvert pour économie d'énergie (ACTSED) KCH est de
  187 272 USD
- le coût du système avec la technologie ACTSEC KCH est de
  125 989 USD
- la réduction de l'équipement d'extraction a permis d'économiser
  61 283 USD

- économie annuelle sur les coûts énergétiques =
  48 790 USD
- économie annuelle sur les coûts d'exploitation et d'entretien =
  17 094 USD

- économies annuelles sur les coûts énergétiques + économies sur les coûts d'exploitation et d'entretien = économies annuelles totales
- 48 590 + 17 094 USD = 65 884 USD d'économies annuelles totales.

Mise en œuvre
Le système d'extraction de l'air doit répondre aux exigences environnementales et de la médecine du travail. Les économies d'échelle constituent un élément moteur pour ce système.

Résumé
Les résultats de l'essai ont montré que la technologie ACTSEC KCH, lorsqu'elle est installée sur un système de réservoir avec des besoins en ventilation et en chauffage, entraîne des besoins énergétiques et de ventilation inférieurs pour répondre aux normes ACGIH (Conférence Américaine des Hygiénistes Industriels Gouvernementaux). Par conséquent, un épurateur plus petit, un moteur de pompe d'épurateur, et un ventilateur d'extraction sont nécessaires lorsque la technologie ACTSEC KCH est utilisée. Cela se traduit non seulement par des besoins énergétiques réduits, mais également par des coûts d'équipement inférieurs. Le coût de l'énergie consommée par les moteurs de couvercle est faible comparé aux économies globales réalisées lorsque les couvercles sont utilisés. Par ailleurs, la réduction de la quantité d'énergie utilisée par une installation utilisant la technologie ACTSEC KCH entraîne une réduction

correspondante des émissions de polluant atmosphérique provenant d'une quelconque centrale thermique fonctionnant à l'énergie fossile.

Référence
http:
//www.epa.gov/etv/pdfs/vrvs/KCH_Final_Report.pdf
[167, USEPA, 2002]

Installation de référence
Goodrich Aerospace Landing Gear Division, Tullahoma, Tennessee, Etats-Unis
.

8.10 Table des commentaires sur l'utilisation du chrome hexavalent et trivalent

Avantages du chromage hexavalent (Cr(VI))	
Avantage	**Commentaires**
Permet d'obtenir des couches épaisses nécessaires dans des applications de chromage dur	Les options commerciales actuelles pour le **chromage dur** sont énumérées dans un document provenant du NEWMOA (cf. [108, NEWMOA, 2003]). Dans certains cas, il n'existe aucune alternative à l'électrodéposition du Cr(VI)
Haute dureté de 700 à 1 000 HV (plus dur que le Cr(III)), résistant à la corrosion, microfissuré et permet de retenir les lubrifiants, faible résistance au frottement, anti-adhésive, usinable, thermorésistant	Inexacte : les revêtements en Cr(III) atteignent des valeurs de dureté similaires. Peuvent être affectées par l'épaisseur du revêtement. D'autres propriétés du Cr(III) sont similaires au Cr(VI) (voir ci-dessous)
Largement utilisé, bien établi, facilement appliqué et peut coûteux	Cr(VI) revêtement décoratif : 650 sites en Allemagne, chiffre d'affaire de 21 000 million EUR/an Cr(VI) chromage dur : 285 sites en Allemagne, chiffre d'affaire de 840 million EUR/an
Les revêtements brillants sont généralement déposés à partir de solutions de Cr(VI)	Les revêtements brillants sont également obtenus à partir de solutions de Cr(III)
Les spécifications du traitement de surface pour les applications clés (par exemple automobile) spécifient le Cr(VI)	
Avantages du chromage trivalent (Cr(III)) (à la fois à base de chlorure et de sulfate)	
Avantage	**Commentaires**
Toxicité inférieure	Pas d'exigence supplémentaire du point de vue de la santé et de la sécurité Ne dépassera pas les limites de la directive Seveso
Rendement supérieur de la cathode	Pas d'hydrogène formé et moins de projection L'économie d'énergie est significative (voir les études de cas et les exemples d'installation, section 4.9.8.3) et dépasse l'augmentation des coûts liés à l'achat de produits chimiques, offre une période de retour sur investissement correcte pour la modification et des profits accrus.
Meilleur pouvoir couvrant et de pénétration. Permet d'atteindre des densités supérieures de supports et donc de produire davantage de pièces par cycle de production	Les études de cas ont fait état d'une profitabilité accrue
Densité courant inférieur. Cela requiert un allègement du poids et une mise sur support moins coûteuse.	Les cas d'étude ont fait état d'une profitabilité accrue
Procédé insensible à la l'interruption de courant (donc aucun badigeonnage) et presque impossible à brûler. Baisse des taux de rejet (une baisse de 66 % a été rapportée)	Les études de cas ont fait état d'une profitabilité accrue
Largement utilisé aux Etats-Unis, et au moins dans 100 sites à travers le monde. Utilisé par deux fabricants majeurs de cuisinière en Europe pendant 7 ans, pour des pièces soumises à la chaleur, à l'humidité et à un nettoyage au moyen de nettoyant caustique ou acide puissant et de matériau abrasif	
La teneur inférieure en chrome des solutions se traduit par une viscosité inférieure, une perte à l'entraînement inférieure, une contamination moindre des effluents et une coloration moindre des pièces	
Il a été fait état d'une réduction allant jusqu'à 80 % de la production de déchets par rapport au procédé de chromage hexavalent. De même, pas de dissolution des anodes en boue de chromate de plomb	
Augmentation globale du bénéfice net grâce à une réduction du traitement des effluents, une réduction de la quantité des déchets et des charges résiduaires, une diminution des rejets, une réduction du contrôle de l'air, et une augmentation de la production. Les opérateurs d'installation de chromage trivalent peuvent avoir des primes d'assurance inférieures en raison des risques professionnels moindres	
Les solutions sont moins concentrées, non oxydantes et sont plus propres et moins corrosives à la manipulation, à l'utilisation et sont moins corrosives pour l'installation d'équipement	
Les solutions de chromage trivalent peuvent être régénérées par filtration sur pot poreux ou membrane poreuse	

Inconvénients du chromage hexavalent (Cr(VI))		
Inconvénient	**Commenta**	**Contre-commentaires**

	ir es	
Très toxique pour les personnes et l'environnement. Classifications actuelles/proposées : Na2C^{r}2O7 très toxique/très toxique Na2CrO4 toxique/très toxique CrO3 toxique/très toxique Toutes les substances sont très toxiques pour les organismes aquatiques (R50/53) Très toxique (pour la santé humaine) et dépasse le seuil de la directive Seveso II de cinq tonnes par installation	Les mesures de contrôle sont bien comprises et peuvent être facilement appliquées : y compris la suppression des pulvérisations, l'extraction des émanations, la réduction facile du Cr(VI) pour le traitement des effluents avec floculation et précipitation. Peut être utilisé en boucle fermée avec rinçage à contre courant, évaporation, etc. Peut être utilisé des chaînes de production confinées spécialisées pour une production en grand volume de composants de taille similaire	Les mesures de contrôle, telles que l'extraction des émanations, ont d'autres effets sur l'environnement Une mesure principale implique l'utilisation de sulfonate de perfluorooctane dans des cuves pour réduire la formation de dépôt de chrome par pulvérisation : le sulfonate de perfluorooctane a des effets toxiques et de bioaccumulation, et est actuellement étudié (voir section 8.2). Le plus grand fabricant a cessé sa production en 2002 Les primes d'assurance en matière de santé et de sécurité peuvent être supérieures du fait des problèmes de santé professionnels
Faible rendement de la cathode, mauvaise répartition du métal avec accumulation excessive dans les zones de forte intensité de courant et mauvais recouvrement dans les zones de faible intensité de courant, absence de recouvrement autour des trous, sensibilité aux ondulations de l'alimentation et au "badigeonnage" (finition opaque/irrégulière : un problème commun). Taux de rejet importants. Coûts énergétiques importants.	Des anodes auxiliaires peuvent être utilisées pour améliorer la pénétration	
Rendement en courant médiocre du fait que 85 à 90 % de l'énergie électrique génère de l'hydrogène, provoquant l'apparition de bulles qui éclatent formant ainsi un brouillard de Cr(VI).	Se référer aux mesures de contrôle (voir la première ligne de cette table ci-dessous)	
L'apport par entraînement et la gravure chimique (parfois dans les cuves de chrome) dans l'électrolyte à acide fort augmente la quantité d'impuretés telle que du Fe, du Cu, du Ni, et du Cr(III) (celui-ci est également généré dans le procédé). Ces impuretés doivent être éliminées par précipitation chimique, décapage, colonnes de résine échangeuses d'ions, ou électrolyse ou électrodialyse sur membrane. Normalement, l'échange d'ions se fait lors du premier rinçage statique pour empêcher la dégradation de la résine. Ceci est essentiel		
Concentration chimique élevée dans les cuves : habituellement entre 180 et 450 g/L	Concentration jusqu'à dix fois supérieure aux bains de Cr(III). Ceci entraîne une augmentation de la viscosité et lorsque la concentration est élevée, donne lieu à une perte importante de Cr(VI) par entraînement	
Production élevée de déchets à partir de solutions de force élevée (où il y a des rejets provenant du rinçage)		
Utilisation habituelle d'anodes de plomb, qui se décomposent avec le temps, formant ainsi des chromates de plomb (toxiques) qui se détachent des anodes et s'accumulent dans le réservoir, rendant ainsi nécessaire leur filtration et leur élimination		
Le Cr(VI) est un puissant oxydant et attaque l'équipement utilisé pour son contrôle, tel que les gaines d'air en plastique, etc., provoquant de la corrosion dans l'atmosphère de travail et la détérioration de l'installation et de l'équipement Les électrolytes de Cr(VI) secs sont connus pour provoquer des incendies dans les ateliers de revêtement métallique		
Les solutions de chromage hexavalent nécessitent une régénération ou une mise au rebut particulière pour récupérer le métal dans la solution résiduaire		

Inconvénients du chromage trivalent (Cr(III)) (à la fois à base de chlorure et de sulfate)		
Inconvénient	**Commentaires**	**Contre-commentaires**
Les réactions de la solution limitent l'épaisseur, et donc ne peuvent êtres'accumuler jusqu'à atteindre le niveau exigé pour les applications de chromage dur	Les solutions de Cr(III) ne permettent pas d'obtenir actuellement des couches épaisses. Un procédé breveté destiné à surmonter ces problèmes est en période d'essai avant fabrication. Pour information, se référer aux techniques émergente s, section 6.2	
La stabilité à la corrosion, la dureté et la résistance à l'usure sont inférieures au chromage hexavalent	Les chiffres qui ont été rapportés en ce qui concerne la dureté mesurée sont similaires aux solutions de chrome hexavalent. Actuellement, il n'est pas possible de réaliser des revêtements épais pour des applications techniques. La corrosion peut être due à la porosité du revêtement ou à l'absence d'effet de passivation (voir les ligne ci-dessous). Lorsqu'une haute résistance à la corrosion n'est pas nécessaire (par exemple pour les applications d'intérieur), le revêtement de Cr(III) aura une durée de vie plus longue que la durée de vie des pièces. Le Cr(III) a été considérablement utilisé pendant environ sept ans par les principaux fabricants de cuisinières, dont les pièces sont exposées à la chaleur solutions, l'humidité, les agent de nettoyage abrasifs et fortement acides ou alcalins et des matériaux de nettoyage abrasifs, sans qu'aucun problème n'ait été rapporté	
La solution de Cr(III) ne se passive pas dans les zones où elle ne se dépose pas de façon électrolytique. Ceci peut provoquer de la corrosion sur des pièces ayant d'importantes zones invisibles, telles que des tubes	Les pièces ayant des zones invisibles devraient être rapidement rincées puis passivées avec une solution de passivation au Cr(VI), au phosphate ou organique	
La dissolution du substrat dissous provenant des zones invisibles (le Cu, le Zn provenant du laiton) peut donner lieu à une augmentation de la quantité de contaminants et d'autres contaminants apportés par entraînement (le Ni provenant d'une précédente étape de dépôt électrolytique) peuvent affecter la couleur du revêtement métallique, provoquant ainsi un noircissement et une diminution du rendement en courant	Il est essentiel de contrôler cette dissolution grâce à l'entretien réalisé au moyen d'un échange d'ions ou des précipitants suivi d'une étape de filtration. La filtration avec du charbon actif est essentielle pour éliminer les produits de décomposition organique	
La couleur est différente de celle des revêtements décoratifs au Cr(VI) . La couleur annoncée pour le chlorure de chrome trivalent est foncé/brillante ou jaune/brillante et blanche/brillante pour le sulfate de chrome trivalent à comparer la couleur	1. La couleur est affectée par l'accumulation de contaminants (voir la ligne ci-dessus) 2. Les différences de couleurs peuvent être égalisées par l'addition de	

bleu/brillante du chrome hexavalent	fer (ou d'autres additifs). Le dépôt conjoint de fer et de quelques autres ions permet d'améliorer les propriétés du revêtement métallique. Si l'égalisation de couleur est cruciale, il se pourrait alors qu'il faille produire les pièces au moyen des mêmes procédés	
Le chrome trivalent requiert des électrodes à membrane coûteuses qui sont sensibles à l'endommagement et à l'empoisonnement	Les électrodes à membrane peuvent être utilisées, mais sont maintenant largement remplacées par des anodes composites et des graphites plus solides et de meilleur marché. Des additifs organiques empêchent l'oxydation du Cr(III) au niveau de l'anode. Les anodes de plomb protégées et les anodes catalytiques insolubles sont maintenues à un niveau de potentiel d'électrode permettant d'empêcher l'oxydation du Cr(III)	
Les solutions de Cr(III) contiennent des agents complexants qui interfèrent avec un autre traitement des eaux résiduaires	Cela est possible hypothétiquement, mais aucun problème n'a jusqu'à présent été observé ou rapporté. Dans une étude de cas, le chromage trivalent avec récupération électrolytique du Cr permet d'atteindre des niveaux de métaux suffisamment bas pour éviter un traitement ultérieur des effluents	
Les solutions de Cr(III) contiennent du chlorure et libèrent du chlore. L'oxydation des autres matériaux par le chlore peut entraîner la production de composés organohalogénés absorbables extractibles dans les effluents. La libération de chlore entraîne la production d'un nombre important de petites bulles dans la solution et sont une source de corrosion par piqûres dans le revêtement métallique	Ce problème concerne uniquement les solutions à base de chlorure, et non les solutions à base de sulfate. Il a été résolu il y a de cela 20 ans par des additions empêchant la libération de chlore. Le choix des additifs et l'entretien régulier habituel grâce à une filtration par charbon actif permettront d'empêcher la libération de composés organohalogénés absorbables extractibles. Aucun problème n'a été observé lors des visites de site ou rapporté par des études de cas ou des opérateur Aucun problème de corrosion par piqûre n'a été rapporté par des études de cas ou des visites de site, qui établissent qu'une production de meilleure qualité obtenue grâce au Cr(III) constitue un avantage majeur. Un grand nombre de cuves d'hydrogène sont également produites dans les solutions de chrome	

	hexavalent	
Les solutions de chrome trivalent nécessitent davantage de contrôle et un équipement plus coûteux pour les préserver	Les contrôles supplémentaires ne sont pas plus importants que ceux nécessaires pour exploiter les solutions de nickel qui précèdent l'étape de chromage dans le revêtement métallique décoratif L'équipement supplémentaire (échangeur d'ions, filtration par charbon actif) est similaire à l'équipement nécessaire pour le chromage hexavalent en boucle fermée	
Plus la chimiométrie plus complexe nécessite davantage de produits chimiques. Plus coûteux à mettre en œuvre	Cela est exact mais des études de cas rapportent que les importantes économies globales réalisées constituent une raison principale du changement. Se référer également au bénéfice global, dans la table relative aux avantages.	
Le chromage trivalent ne peut pas être mis en œuvre en boucle fermée du fait qu'il est basé sur une réaction d'échange de ligands qui ne peut pas être annulée par un procédé de chauffage ou d'autres procédés		
L'accumulation de solutions de Cr(III) peut être supérieure à ce qui est normalement perdu par évaporation et par entraînement. L'évaporation du bain de traitement en masse est un procédé permettant de revenir au volume d'origine		

8.11 Exemple de calculs d'optimisation d'installation

Cette installation de référence est une chaîne de traitement au tonneau automatisée réalisant le zingage et la passivation. Le logiciel comporte également un module de simulation d'une installation de traitement sur supports (montages) dans le logiciel, le fait de cliquer sur un réservoir de traitement spécifique renvoie directement à la page appropriée (représentée dans la page suivante)

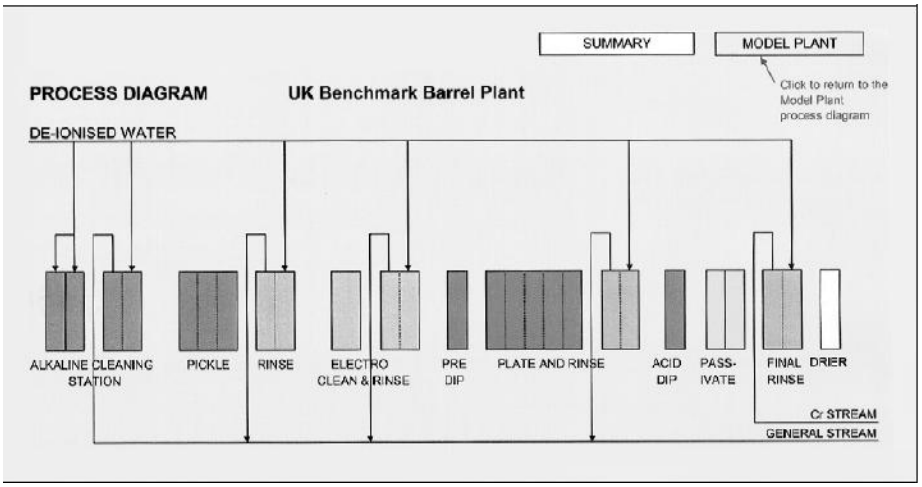


Figure 8.22 : Schéma d'une installation classique dans l'industrie Britannique

Remarque : "Installation Britannique de référence" signifie ici qu'il s'agit d'une installation de type classique avant que des améliorations ne soient appliquées. Cette expression ne signifie <u>en aucun cas</u> qu'il s'agit d'une "installation de référence associée à une MTD".

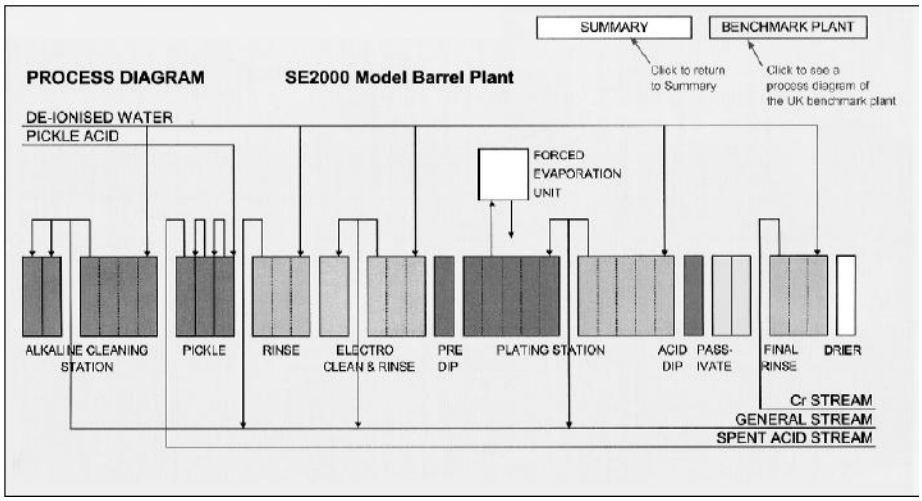


Figure 8.23 : Installation obéissant aux "règles de l'art" optimisée pour l'industrie, SE2000
Remarque : Cette installation utilise certaines techniques intégrées au traitement mentionnées dans les chapitres 4 et 5

RÉSUMÉ DES AMELIORATIONS – Installation de traitement au tonneau

Traitement	Etapes de rinçage		Eau utilisée		Coûts d'investissement	Economies d'échelle £/an
	Installation d'origine	Installation modifiée	Installation d'origine M^3/an	Installation modifiée		
Poste de nettoyage alcalin	2	4	2 748	411	1 950	5 551
Configuration du traitement de décapage	Discontinu	En cascade	-	-	500	13 531
Rinçage après décapage	2	3	2 748	774	1 300	2 171
Nettoyage et rinçage électrolytique	3	4	774	411	1 300	985
Pré-adhérisage	-	-	-	-	-	-
Poste de revêtement métallique avec rinçage	3	5	886	305	16 950	14 581
Bain acide	-	-	-	-	-	-
Passivation	-	-	-	-	-	-
Rinçage après passivation	2	3	4 344	1 051	1 300	3 623
Dispositif de séchage	-	-	-	-	-	-
	Quantité totale d'eau utilisée, m^3/an :		11 500	2 951		
Total des coûts et des économies spécifiques ci-dessus					23 300	40 441
Plus coûts d'infrastructure commune – modifications apportées aux services/bâtiments, etc.…					0	
Coût total					23 300	
Période de retour sur investissement, au taux d'intérêt			10 %		0,6	ans

Figure 8.24 : Résumé des améliorations apportées aux règles de l'art pour une installation classique (de référence)

Cette page résume l'ensemble des calculs et des résultats présentés dans les exemples des pages suivantes, pour une installation automatisée de traitement au tonneau fonctionnant 24 heures sur 24, 5 jours par semaine, 48 semaines par an et ayant les caractéristiques suivantes :

- zingage alcalin et passivation au chrome ;
- augmentation du nombre de rinçages après nettoyage alcalin, de deux à quatre rinçages à contre-courant ;
- modification du procédé de décapage acide : d'un procédé en réservoir de traitement discontinu à un procédé en cascade à contre-courant à trois étapes ;
- augmentation du nombre de rinçages après nettoyage alcalin, de deux à trois rinçages à contre-courant ;
- ajout d'un réservoir de rinçage économique ;
- augmentation du nombre de rinçages après dépôt électrolytique : de deux à cinq rinçages à contre-courant ;
- augmentation du nombre de rinçages après dépôt électrolytique : de deux à trois rinçages à contre-courant.

Les coûts liés à la consommation d'eau, d'énergie et de produits chimiques ont été annexés sur les coûts moyens pour l'année 2000.

Avec un taux d'intérêt de 10 % et une inflation de 0 %, les périodes de retour sur investissement pour les modifications sont :

- coût des modifications d'installation : 23 300 gBP (livre sterling) avec une période de retour sur investissement de 0,6 ans ;
- si un coût estimé de modification des infrastructures de 50 000 gBP est entré dans le programme, alors la période de retour sur investissement passe à 1,8 ans.

Chaque coût peut être modifié en fonction des particularités, telles que les périodes d'exploitation, la taille des installations, l'inflation, les valeurs des taux d'intérêt, les coûts liés à la consommation en eau, en électricité, en chauffage, en produits chimiques, etc.…

Cette page est utilisée pour modifier les données principales de base pour l'ensemble de l'installation.

NORMES		
Ces chiffres sont utilisés durant toute l'application	Valeur de réglage de l'utilisateur	Valeur normale
Nombre d'heures d'exploitation par jour	16,0 heures	16 heures
Nombre de jours d'exploitation par semaine	5 jours	5 jours
Nombre de semaines d'exploitation par an	48 semaines	48 semaines
Disponibilité	80 %	80 %
Nombre d'heures d'exploitation réelles par an	3 072 h/an	h/an
Coût de la consommation en eau	0,70 £/m	0,70 £/m
Coût de la commercialisation des rejets d'effluents	0,40 £/m	0,40 £/m
Dimension nominale du baril	1100 mm	760, 1300 ou 1200 mm
Longueur du réservoir (le long de la ligne de placage)	900 mm	
Largeur du réservoir	1800 mm	
Hauteur du réservoir	900 mm	
Coûts d'investissement par Réservoir inflation comprise	1300 £	£ 1500, 1300 ou 1100
Inflation depuis Janvier 2000	0 %	0 %
Taux d'intérêt	10 %	10 %
Coût de l'électricité	0,040 £/kWh	0,040 £/kWh
Coût du chauffage à eau chaude	0,010 £/kWh	0,010 £/kWh

Figure 8.25 : Page montrant la répartition des facteurs de norme pour le calcul

Cette page permet de faire varier le taux de perte par entraînement en fonction des conditions spécifiques à l'installation, ou les valeurs par défaut peuvent être utilisées.

NORMES Ces chiffres sont utilisés durant toute l'application	Valeur de réglage de l'utilisateur	Valeur normale
Perte par entraînement par baril	2,0 litres/baril	1,5 litres*
Production de l'installation, en nombre de barils par heure	10 par heure	10 par heure
Taux de pertes par entraînement	20,00 litres/heure	
	* chiffre habituel pour un baril d'une taille de 1 100 mm tel qu'il est actuellement choisi	

Figure 8.26 : Page déterminant les taux de pertes par entraînement

Cette page permet de déterminer les donnés pour une installation spécifique destinée au nettoyage alcalin, et une comparaison par rapport à l'installation modifiée destinée à montrer les coûts des modifications apportées à ce procédé et à la période de retour sur investissement.

STATION DE NETTOYAGE ALCALIN	**INSTALLATION D'ORIGINE**		(l'utilisateur entre ses propres données et ses propres options)	**INSTALLATION MODIFIEE**
Prix de l'agent de nettoyage	1,10	£/kg	1,10	£/kg
Concentration en agent de nettoyage dans le réservoir	80	g/litre	80	g/litre
Température dans le réservoir de trempage, deg °C	80	deg °C	80	deg °C
pertes par évaporation	49,3	litre/h	19,3	litre/h
+ pertes par entraînement*	20,0	litre/h	20,0	litre/h
= eau d'appoint nécessaire	69,3	litre/h	69,3	litre/h
Nombre de réservoirs de rinçage	2		4	
Taux de rinçage nécessaire	2 000		2 000	
Débit de rinçage minimum nécessaire	894,4	litre/h	133,7	litre/h
Débit de rinçage réel	894,4	litre/h	133,7	litre/h
Débit de rinçage à éliminer	825,1	Litre/h	64,4	litre:h
Coût de la consommation en eau	1 923	£/an	288	£/an
Coût de l'agent de nettoyage perdu par entraînement	4 988	£/an	2 603	£/an
Coût du traitement des effluents	1 247	£/an	651	£/an
Coût de la commercialisation des rejets d'effluents*	1 014	£/an	79	£/an
Coûts annuels totaux de fonctionnement	9 172	£/an	3 621	£/an
Economies annuelles			**5 551**	£/an
Coûts d'investissement pour le ou les réservoir(s) supplémentaire(s)*			**1 950**	£
Période de retour sur investissement, au taux d'intérêt		10 %	**0,4**	ans

** les taux et les coûts peuvent être modifiés sur les pages "Normes" ou Pertes par Entraînement"*
(les autres valeurs sont automatiquement calculées)

Figure 8.27 : Station de nettoyage alcalin

Cette page permet de déterminer les données pour une installation spécifique de décapage, et d'effectuer une comparaison par rapport à l'installation modifiée afin de montrer les coûts des modifications de ce procédé et la période de retour sur investissement.

DECAPAGE	**INSTALLATION D'ORIGINE**			**INSTALLATION MODIFIEE**
	(l'utilisateur entre ses propres données et ses propres options)			
Agencement du réservoir	3 réservoirs, en régime discontinu		3 réservoirs en cascade	
Coût de l'acide par an	£ 8 300	£/an	£ 5 534	£/an
Renouvellement de l'installation	£ 1 660 000	£/an	£ 1 660 000	£/an
Taux de rejets, %	3,0	%	2,5	%
Proportion de rejets dus à un décapage médiocre	20	%	2,0	%
Valeur des rejets dus à un décapage médiocre	£ 9 960	£/an	£ 817	£/an
Economies d'échelle réalisées grâce à un décapage amélioré	825,1		£ 9 143	£/an
Economies d'échelle réalisées sur l'acide			£2 766	£/an
Temps d'exploitation économisé grâce à l'élimination des changements d'acide en régime discontinu (3 h)			£ 1 621	£/an
Economies annuelles			**£ 13 530**	£/an
Coûts d'investissement pour la modification			**£ 500**	£
Taux d'intérêt*			10	%
Période de retour sur investissement			**0,0**	ans

** les taux et les coûts peuvent être modifiés sur les pages "Normes" ou Pertes par Entraînement"*

Figure 8.28 : Station de décapage

Cette page permet de déterminer les données pour une installation spécifique de rinçage après décapage, et d'effectuer une comparaison par rapport à l'installation modifiée afin de montrer les coûts des modifications apportées à ce procédé et la période de retour sur investissement. Le taux de rinçage nécessaire peut être déterminé.

2ème RINCAGE APRES DACAPAGE	**INSTALLATION D'ORIGINE**			**INSTALLATION MODIFIEE**
Nombre d'heures d'exploitation par an*	3 072	h/an	3 072	h/an
Taux de perte d'acide par entraînement*	20,0	litre/h	20,0	litre/h
		(l'utilisateur entre ses propres données et ses propres options)		
Nombre de réservoirs de rinçage	2	%	3	
Taux de rinçage nécessaire (minimum)	2 000		2 000	
Consommation en eau*	894,4	litre/h	252,0	litre/h
Coûts de la consommation en eau*	1 923	£/an	542	£/an
Coûts de la commercialisation des rejets d'effluents*	1 099	£/an	310	£/an
Coûts d'exploitation annuels totaux	3 022	£/an	852	£/an
Economies annuelles			**2 170**	£/a,
Coûts d'investissement pour un ou des réservoir(s) supplémentaire(s)*			1 300	£
Période de retour sur investissement, au taux d'intérêt*	10	%	**0,6**	ans

** les taux et les coûts peuvent être modifiés sur les pages "Normes" ou Pertes par Entraînement"*

Figure 8.29 : Rinçage après décapage ; comparaison des coûts d'exploitation pour les installations moyennes et de référence et la période de retour sur investissement.

Cette page permet de déterminer les données pour une installation spécifique destinée au nettoyage électrolytique, et d'effectuer une comparaison par rapport à une installation modifiée afin de montrer les coûts des modifications de ce procédé et la période de retour sur investissement. Le taux de rinçage nécessaire peut être déterminé.

STATION DE NETTOYAGE ELECTROLYTIQUE	**INSTALLATION D'ORIGINE**			**INSTALLATION MODIFIEE**
	(l'utilisateur entre ses propres données et ses propres options)			
Prix de l'agent de nettoyage	1,10	£/kg	1,10	£/kg
Concentration en agent de nettoyage dans le réservoir	80	g/litre	80	g/litre
Température du réservoir de trempage, deg °C	80	deg °C	80	deg °C
pertes par évaporation	24,7	litre/h	24,7	litre/h
Nombre de réservoirs de rinçage	3		4	
Taux de rinçage nécessaire (minimum)	2 000		2 000	£/an
Débit de rinçage minimum nécessaire	252,0	litre/h	133,7	litre/h
				£/an
Débit de rinçage réel	252,0	litre/h	133,7	litre/h
Débit de rinçage à éliminer	227,0	litre/h	109,1	litre/h
Coût de la consommation en eau*	542	£/an	288	£/an
Coût de l'agent de nettoyage perdu par entraînement	4 877	£/an	4 409	£/an
Coûts du traitement des effluents	1 219	£/an	1 102	£/an
Coûts de la commercialisation des rejets d'effluents*	279	£/an	134	£/an
Coûts d'exploitation annuels totaux	6 917	£/an	5 933	£/an
Economies annuelles			**984**	
Coûts d'investissement pour un ou des réservoir(s) supplémentaire(s)*			1 300	£
Période de retour sur investissement, au taux d'intérêt		10 %	**1,5**	ans

** les taux et les coûts peuvent être modifiés sur les pages "Normes" ou Pertes par Entraînement"*

Figure 8.30 : Station de nettoyage électrolytique

Cette page permet de déterminer les données pour une installation spécifique destinée à l'électrodéposition, et d'effectuer une comparaison par rapport à l'installation modifiée pour montrer les coûts des modifications de ce procédé et la période de retour sur investissement. Le taux de rinçage nécessaire peut être déterminé.

ELECTRODEPOSITION	**INSTALLATION D'ORIGINE**		**INSTALLATION MODIFIEE**	
Un évaporateur est-il installé	Non		Oui	
Nombre d'étages de rinçage	3		5	
Taux de rinçage nécessaire (minimum)	3 000		3 000	
Débit de rinçage nécessaire	288,4	litre/h	99,2	litre/h
Débit de l'évaporateur			99,2	Litre/
Débit des effluents	288,4	litre/h	0,0	litre/h
Coûts d'exploitation : produits chimiques	10 721	£ pa	0	£ pa
consommation en eau	620	£ pa	213	£ pa
traitement des effluents	2 680	£ pa	0	£ pa
commercialisation des rejets d'effluents	354	£ pa	0	£ pa
l'exploitation du refroidisseur/de l'évaporateur	1 769	£ pa	1 352	£ pa
Coûts de fonctionnement totaux	**16 144**	**£ pa**	**1 565**	**£ pa**
Economies annuelles			**14 579**	£ pa
Coûts d'investissement pour un ou des réservoir(s) et un évaporateur supplémentaire			16 950	£
Taux d'intérêt*			10	%
Période de retour sur investissement			1,3	ans

** les taux peuvent être modifié : se référer à la page relative aux Normes*

Figure 8.31 : Station d'électrodéposition et de rinçage

Cette page permet de calculer les besoins des refroidisseurs, et des données spécifiques peuvent être intégrées. Le logiciel calcule automatiquement les coûts et calcule également le coût de l'option consistant à utiliser un évaporateur pour équilibrer le rendement du rinçage.

Bilan thermique des réservoirs de dépôt catalytique – avec refroidisseur (l'utilisateur entre ses propres données)			**Balance thermique (calculé au moyen d'un tableur)**	
Tension du dépôt électrocatalytique	12	Volt en courant continu		
Courant de dépôt catalytique par étape	1 500	A/étage		
Nombre d'étapes de dépôt catalytique	5			
Coefficient d'utilisation	80	%		
Chaleur provenant de l'opération de dépôt catalytique				
Pertes de chaleur naturelles	50	% de dépôt catalytique	**72 kW**	
Quantité restante à éliminer au moyen d'un refroidisseur			**-36 kW**	
			36 kW	
Coefficient de refroidissement	40	%	KW	
Puissance de l'équipement auxiliaire	14			Coûts de fonctionnement annuels* : 1 769 £/an
			(coûts annuels du courant de dépôt catalytique : 9 830 £/an	
Bilan thermique des réservoirs de dépôt catalytique – avec évaporateur				
Vitesse de base de l'évaporateur	99	litre/h		
Caractéristique de l'évaporation	0,7	kW/litre/h		
Perte de chaleur par évaporation			**-69 kW**	
Gain de chaleur grâce au dépôt catalytique (voir ci-dessus)			**72 kW**	
Pertes de chaleur naturelles (voir ci-dessus)			**-36 kW**	
Quantité restante fournie par des serpentins d'eau chaude	kW		**-33 kW**	
Chauffage de l'eau chaude nécessaire	33			

Figure 8.32 : Besoins d'un refroidisseur d'une station de dépôt catalytique

A nouveau, ceci permet d'entrer le nombre de rinçages et le taux de rinçage pour une installation spécifique et d'effectuer une comparaison avec une installation optimisée.

RINCAGE 4 - APRES PASSIVATION	**INSTALLATION D'ORIGINE**			**INSTALLATION MODIFIEE**
Nombre d'heures d'exploitation par an*	3 072	h/an	3 072	h/an
Taux de perte d'acide par entraînement*	20,0	litre/h	20,0	litre/h
		(l'utilisateur entre ses propres données et ses propres options)		
Nombre de réservoirs de rinçage	2	%	3	
Taux de rinçage nécessaire (minimum)	5 000		5 000	
Consommation en eau*	1414?	litre/h	342?	litre/h
Coûts de la consommation en eau*	3 041	£/an	735	£
Coûts de la commercialisation des rejets d'effluents*	1 738	£/an	420	£
Coûts d'exploitation annuels totaux	3 779	£/an	1 155	£
Economies annuelles			**3 624**	£
Coûts d'investissement pour un ou des réservoir(s) supplémentaire(s)*			1 300	£
Période de retour sur investissement, au taux d'intérêt*		10 %	**0,4**	ans

** les taux et les coûts peuvent être modifiés sur les pages "Normes" ou Pertes par Entraînement"*

Figure 8.33 Rinçage après passivation

8.12 Exemple de calcul du ratio coûts-bénéfices de la réduction des émissions de NO_x provenant de l'avivage de l'aluminium

Description
L'installation de référence avec avivage automatique/semi-automatique de l'aluminium avant anodisation. La ligne de traitement est constituée d'un nettoyage/dégraissage par un agent d'imprégnation alcalin ; d'un agent d'avivage ; du retrait de dépôt chaud ; de l'anodisation, avec des rinçages entre :

- 6 à 7 % de solution d'avivage pour 70 % d'acide nitrique (tel qu'il est fourni) ;
- 15 % d'acide sulfurique (fourni à 96 %) ;
- 78 à 79 % d'acide phosphorique (fourni à 50 %).

L'air est extrait à travers un épurateur à un débit de 30 000 m^3/h. La majeure partie du NO_2 est absorbée, laissant ainsi principalement le NO qui est plus difficile à absorber.

Bénéfices environnementaux atteints
Les valeurs industrielles habituelles d'émission de NO_x après épuration sont de l'ordre de 60 à 70 mg/m^3.

L'avant projet de guide provisoire (2001) de l'Agence de l'Environnement pour l'Angleterre et le Pays de Galles détermine une valeur repère de 20 mg/m^3 pour le NO_x. Pour abaisser les niveaux d'émission jusqu'à la valeur repère proposée, il est nécessaire d'opérer une réduction de 50 mg/m^3.

30 000 m^3 x 50 mg = 1 500 g par heure.

Pour une exploitation 24 heures sur 24, 360 jours par an (en supposant un changement d'équipe de travail ou la nécessité de maintenir une réduction catalytique sélective tandis que les réservoirs sont chauds) :
= 12 960 kg/an ≈ 13 tonnes de NO_x/an

Pour une exploitation 8 heures par jour, 5 jours par semaine, 28 semaines par an :
= 12 kg/j = 60 kg/sem = 2 880 kg/an ≈ approximativement 3 de tonnes NO_x/an.

Effets multimilieux
Consommation d'énergie.
Matériaux et produits chimiques utilisés dans le traitement, en particulier les catalyseurs.

Données d'exploitation
Voir ci-dessus.

Aspects économiques et applicabilité
Facteur d'échelle (provenant du premier avant projet de document de référence sur la MTD en matière d'effets économique et multimilieux) c'est-à-dire la mise à l'échelle des coûts à partir d'une installation réelle, grâce à la technique :

$$Cy = Cx\ (y/x)^e$$

Où Cy = coût de l'installation y
Cx = coût de l'installation x
y = échelle de l'installation y (dimension ou débit)
x = échelle de l'installation x (dimension ou débit)
e = facteur approximatif, 0,6 étant considéré comme à peu près correct lorsque l'on utilise le débit comme paramètre de mise à l'échelle

dans ce cas :
$Cy = Cx(30\ 000/110\ 000)^{0,6}\ Cx(0.273)^{0.6}$ = EUR 459 000 ~ EUR 500 000

	Installation à l'acide nitrique	Avivage de l'aluminium	
Investissement, catalyseur non compris	92 5000	500 000	750 000
Coût par an sur15 ans	95 400	51 500	76 500
Entretien et usure (2 % du capital)	18 500	10 000	14 250
Energie supplémentaire	3 710	1 830	2 720
Coûts de la réduction catalytique (SCR) par an	8 300	3 000?	5 000?
Ammoniaque liquide	35 000	2000?	3 000?
Coûts de fonctionnement annuels totaux	65 510	14 800	20 970
Coûts totaux annuels	(sic) 164 400	78 130	114 440
Coûts par tonne de NOX réduit	593	5 275 à 22 783	7 805 à 33 823
Coûts fictifs de NOX par tonne		1 500 à 7 100	
Moyenne des 15 pays membres de l'EU		4 200	
Remarque : ? = estimation à la place de données réelles			

Tableau 8.47 : Réduction catalytique sélective (SCR) du NOX : Coût en EUR (2001) Données provenant du document
[24, UBA-Autriche, 2001]

Viabilité économique

La part du bénéfice brut en 1996 dans la production Européenne était d'environ 9 %, elle est actuellement <5 % et le restera pendant 2 à 4 ans.

Chiffre d'affaire de PME : 7 million EUR, bénéfice brut à t 5 % = 350 000 EUR
La plupart des PME de ce secteur déclarent cependant un chiffre d'affaire d'environ 1,5 million, EUR, avec un taux de capitalisation par société d'environ 1,5 million EUR, et un bénéfice brut à 5 % = 75 000 EUR.

Conclusions pour cet exemple

Pour plus de 90 % des PME, même pour les plus grandes et les plus rentables, le coût de l'installation est disproportionné. Pour la plupart des PME, le coût n'est pas supportable.
Le coût de la réduction par tonne de NOX représente au mieux 1,2 fois le coût fictif européen du NOX, 5 fois en moyenne, et au pire 8 fois le coût fictif européen du NOX.

Élément moteur de la mise en œuvre

Émission importante de NOX
Problèmes environnementaux liés à la qualité de l'air au niveau local

Références

[29, EA, 2001-3] [24, UBA-Autriche, 2001] [88, Bureau Européen IPPC].
Données sur l'avivage de l'aluminium, communications personnelles, David Hemsley, CETS.
Note de calcul des émissions de NOX provenant de l'avivage de l'aluminium [153, Tempany, 2003].

8.13 Minimisation des eaux résiduaires et électrodéposition exempte d'eau résiduaire en Allemagne

L'eau est une matière première indispensable à la production industrielle. En Allemagne, comme dans de nombreux autres pays, l'eau douce et la purification et les rejets d'eaux résiduaires constituent un facteur coût important pour de nombreuses branches. La réduction des coûts a été la raison principale de l'introduction des techniques permettant d'économiser l'eau dans presque toutes les industries en Allemagne.

Le coût total de l'utilisation de l'eau dans l'industrie intègre les coûts suivants :

- le coût lié à l'achat d'eau douce ;
- le coût lié au traitement de l'eau douce, si nécessaire ;
- le coût lié à l'épuration des eaux résiduaires ;
- le coût lié aux frais d'évacuation des eaux résiduaires ;
- le coût lié au contrôle (prélèvement d'échantillons, surveillance) ;
- le coût lié à l'élimination des déchets produits par l'épuration des eaux résiduaires.

Les facteurs qui affectent les coûts de l'eau diffèrent fortement, en fonction du type d'utilisation, de l'alimentation régionale en eau et des normes juridique. En Allemagne, les coûts totaux de l'utilisation industrielle de l'eau peuvent s'élever à 50 EUR/m^3. Le traitement des eaux résiduaires représente habituellement le facteur coût le plus important. Le coût du traitement des eaux résiduaires est déterminé d'un côté par la nature et la quantité de polluant et d'un autre côté par les règlements administratifs différenciés en fonction de la qualité des eaux résiduaires. Les conditions requises pour l'évacuation des eaux résiduaires à drainer ont été normalisées au sein de l'Union Européenne et les normes internationales peuvent être consultées en Annexe 8.3.

Base de la technologie exempte d'eaux résiduaires
Une condition préalable importante à l'introduction d'une technologie exempte d'eaux résiduaires est l'installation d'une unité de purification destinée à retrouver la qualité d'origine de l'eau. Les coûts d'une telle étape de purification sont habituellement élevés, mais d'un autre côté, les coûts liés à l'utilisation classique de l'eau ne sont pas alourdis. Afin d'évaluer si la rupture du cycle de l'eau est économiquement favorable ou non, les conditions suivantes doivent être prises en considération :

- la quantité totale d'eau résiduaire ;
- les conditions requises concernant la qualité de l'eau redirigée ;
- la nature et la quantité des polluants ;
- les pertes par évacuation et évaporation au cours du cycle.

En pratique, il existe différents types de polluants des eaux résiduaires plus ou moins faciles à éliminer suivant les cas de figure.

Les polluants faciles à éliminer sont :

- les composés organiques biodégradables ;
- les ions métalliques qui peuvent être précipités ;
- les matières solides faciles à filtrer ;

- les composés inorganiques pouvant être facilement détruits (cyanure, nitrate, ammoniaque).

Les polluants difficiles à éliminer sont :

- les sels ;
- les dispersions fines de matières solides (colloïdes) ;
- les composés organiques et inorganiques stables.

Toutes ces variables doivent être prises en considération lorsque l'on calcule le coût de la production sans production d'eau résiduaire. La décision visant à déterminer si un procédé sans eau résiduaire devrait ou non être mis en place est dominée par les ratios coût-bénéfice, où :

- l'achat de l'eau douce, la purification des eaux résiduaires, les frais d'évacuation des eaux résiduaires, et des contrôles.

est supérieur aux

- coûts du système de redirection de l'eau.

En Europe, tout particulièrement, le fonctionnement des systèmes sans eau résiduaire dans les ateliers de galvanisation est économiquement viable sous certaines conditions spécifiques uniquement, tel que le montrent les exemples ci-dessous.

Les eaux résiduaires contiennent des substances, en particulier des sels, difficiles à éliminer des eaux résiduaires; la seule technique disponible est un procédé d'évaporation. Etant donné que l'évaporation de l'eau est un procédé coûteux, cette technologie est uniquement utilisée de façon exceptionnelle.

Pour tous les exemples présentés ci-après, on doit prendre en considération le fait que ces exemples reflètent des paramètres spécifiques à l'Allemagne. Les coûts liés à l'achat d'eau douce, à l'évacuation des eaux résiduaires et aux règlements en matière d'environnement sont importants :

- eau douce 1 à 2 EUR/m3
- évacuation des eaux résiduaires 2 à 4 EUR/m3
- élimination des déchets 100 à 200 EUR/t
- contrôles (prélèvement d'échantillon et analyses) 5 000 à 10 000 EUR/an.

Les règlements (par exemple, l'ordonnance Allemande sur les eaux résiduaires, Directive IPPC)

- exigent une utilisation économique de l'eau ;
- sont conformes aux valeurs limites pour l'évacuation des eaux résiduaires.

Les solutions techniques qui sont économiquement viables en Allemagne ne le sont pas nécessairement dans des conditions différentes dans d'autres pays.

Technologie classique avec minimisation des eaux résiduaires
En raison des coûts élevés de l'eau douce et des eaux résiduaires (3 à 8 EUR/m^3), et des normes juridiques exigeant une utilisation économique de l'eau, la consommation en eau dans l'industrie Allemande de la galvanisation a chuté de manière spectaculaire ces 10 dernières années. Les grands ateliers de galvanisation de métal, par exemple, ont réduit leurs émissions totales d'eaux résiduaires de 30 000 à 50 000 m^3/an à quelques 1 000 m^3/an.

Installation A
Dans la première phase de conception de cette installation, la réflexion portait sur la mise en œuvre d'un procédé de production exempt d'eau résiduaire. Bien qu'il soit possible de lancer des étapes de traitement individuelles sans presque aucune production d'eau résiduaire, il est devenu évident, au cours du procédé de planification, que la construction d'une installation de production complètement exempte d'eau résiduaire ne serait pas compatible avec les impératifs d'un procédé optimisé du point de vue énergétique, surtout si aucune chaleur excédentaire provenant d'autres procédés de production ne pouvait être utilisée. Les calculs ont également démontré que l'option de ne pas produire du tout d'eau résiduaire serait trop coûteuse par rapport à une technique de réduction de la production d'eau résiduaire. En conséquence, le projet a été modifié de façon à minimiser la production d'eau résiduaire. La nouvelle installation ayant une capacité de galvanisation de 400 000 m^2/an ne produit que 1 215 m^3 d'eau résiduaire par an (c'est-à-dire une consommation d'eau de rinçage spécifique de 3 L/m^2).

La condition fondamentale pour q'une technologie permette d'économiser l'eau a été l'installation d'un système de rinçage optimal. Lorsque cela était techniquement possible, des unités de rinçage en trois étapes ont été installées. L'eau de rinçage provenant de la ligne de passivation est purifiée par des échangeurs d'ions et réintroduite dans l'unité de rinçage. La seule eau résiduaire de la ligne de passivation provient de la régénération de l'échangeur d'ions. L'eau de rinçage provenant du procédé de galvanisation est concentrée par une unité d'évaporation et complètement redirigée dans le procédé, tandis que le distillat est à nouveau utilisé pour le rinçage. L'agencement de l'unité de traitement et le coût important d'une unité de traitement des eaux résiduaires qui doit être conforme aux strictes normes Allemandes peut être sensiblement réduit, ce qui permet de compenser des coûts supplémentaires liés à la technique permettant d'économiser l'eau.

Étapes de traitement exemptes d'eau résiduaire
Tel que cela a été mentionné précédemment, le fonctionnement de d'une installation ne produisant pas d'eau résiduaire du tout n'est généralement pas rentable du point de vue financier. Cependant, dans certaines circonstances, il peut être avantageux que certaines étapes de traitement fonctionnent sans produire d'eau résiduaire. Cela requiert que les eaux résiduaires provenant des étapes de traitement soient collectées et traitées séparément.

Installation B
L'installation B était un projet soutenu par le Ministre Allemand de l'Environnement destiné à mettre à niveau une installation de chromage vieille de 15 ans avec une technologie exempte de déchets et d'eau résiduaire. L'ancienne installation était équipée d'une unité de rinçage standard à trois étapes, et les systèmes de refroidissement électriques ont été utilisés pour éliminer la chaleur provenant du traitement. Sur les 60 tonnes d'acide chromique utilisées

annuellement dans cette installation, environ 23 tonnes sont ressorties sous forme d'eaux résiduaires, entraînant une production d'environ 500 tonnes de boues d'électrodéposition.

Le concept de la nouvelle installation est basé sur l'utilisation de la chaleur d'évaporation pour obtenir le refroidissement nécessaire de l'électrolyte. Dans ce but, l'eau de la première unité de rinçage statique est introduite dans un vaporisateur, qui sert également à déshumidifier l'air d'échappement provenant du bain de traitement. La vaporisation de l'eau entraîne le refroidissement et la concentration de l'électrolyte diluée de sorte qu'il peut être renvoyé dans le bain de traitement. La technique de rinçage pour le procédé, un système de rinçage à 5 étages par immersion et aspersion combinées, est conçue de telle sorte que la quantité nécessaire d'eau de rinçage est exactement la même que la quantité vaporisée. Cela signifie que le cycle de l'électrolyte et le cycle de l'eau sont fermés et qu'aucun déchet ni aucune eau résiduaire n'est généré par l'installation pendant son fonctionnement normal.

Les électrolytes sont régénérés par électrodialyse. Ici, le chrome trivalent réduit est réoxydé en chrome hexavalent, et des cations, tels que du fer, du cuivre et du zinc, qui affectent négativement le procédé de chromage, sont éliminés de façon sélective. Le procédé d'électrodéposition lui-même est exempt d'eau résiduaire. De petites quantités d'eau résiduaire apparaissent lors des opérations de nettoyage et lors de la régénération des électrolytes. La quantité de déchet généré dans le traitement des eaux résiduaires provenant de ces sources s'élève uniquement à 7 t/an, par opposition aux 500 t minimum générées annuellement avant la remise à niveau de l'installation.

La technologie exempte d'eau résiduaire présente des avantages économiques substantiels par rapport à la technologie classique, comme les chiffre suivants le montrent. Le retour complet de la solution de traitement perdue par entraînement dans le réservoir de traitement permet de supprimer les coûts liés à l'achat des 23 t d'acide chromique par an, et en même temps les coûts liés à l'achat de produits chimiques pour le traitement des eaux résiduaires contenant du chromate selon un montant de 25 000 EUR/an ainsi que les coûts liés à l'élimination de la boue d'électrodéposition (500 t/an) qui s'élevaient à 75 000 EUR/an. La technologie exempte d'eau résiduaire a permis de réaliser des coûts liés à la consommation d'eau d'approximativement 300 000 EUR/an. Les économies réalisées au niveau des coûts d'exploitation ont permis de récupérer l'investissement en l'espace d'une année.

Installation de production exempte d'eau résiduaire
Tel que cela est décrit ci-dessus et dans la section 4.7.11, il peut s'avérer économique de faire fonctionner les étages individuels d'une installation d'électrodéposition sans production d'eau résiduaire. Afin de faire fonctionner toute une installation exempte d'eau résiduaire dans des conditions économiquement viables, plusieurs conditions doivent être satisfaites, tel que l'exemple ci-dessus d'une installation le démontre.

Installation C
L'installation est un atelier de galvanisation interne à l'entreprise avec uniquement quelques étapes de traitement et un spectre uniforme des pièces (vis et écrous). La chaleur excédentaire est fournie par installation de durcissement interne à l'entreprise. L'installation est située dans une zone de captage d'eau potable. En Allemagne, l'exploitation, dans ces zones, d'installations qui utilisent des matériaux à l'origine de la pollution des eaux n'est normalement pas autorisée. La tâche a donc consisté à construire une installation économiquement viable ne produisant pas d'eau résiduaire. L'élément clé pour l'introduction

économiquement viable de cette technologie repose principalement sur une utilisation économique de l'eau. Pour cette raison, les étages de rinçage et le recyclage des liquides perdus par entraînement ont fait l'objet d'une attention particulière.

- tous les étages du traitement ont été équipés d'unités de rinçage en cascade à étage multiple (trois étages au minimum) permettant d'économiser l'eau ;
- une unité de rinçage à six étages, conçue sous la forme d'une unité de rinçage compacte, a été installée au niveau du bain de zingage ;
- des échangeurs d'ions ont été installés après les unités de rinçage dynamiques.

Renvoi des pertes par entraînement :

- renvoi direct de l'eau de rinçage dans l'ensemble des étages fonctionnant à chaud ;
- concentration de l'eau de rinçage provenant d'unité de zingage grâce à un évaporateur sous vide et renvoie des concentrés dans le réservoir de traitement.

Grâce à ces mesures, la consommation en eau a pu être réduite à approximativement 1 200 m^3 par an, ce qui correspond à 1 300 L/h. Cela a nécessité l'évaporation de 200 à 300 L/h au cours de l'opération, laissant ainsi un volume d'eau résiduaire d'approximativement 1 000 L/h. Les eaux résiduaires sont neutralisées avec une solution de soude caustique, précipitant ainsi la plus grande partie des métaux lourds sous forme d'hydroxydes qui peuvent ensuite être éliminés au moyen d'un filtre-presse. Les eaux résiduaires neutralisées sont concentrées dans un évaporateur à faible puissance à compression de vapeur. Le concentré est déshydraté puis envoyé vers une installation de dépôt souterrain.

Les aspects économiques de cette installation sont :

- Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement supplémentaires de 500 000 EUR sont principalement dus à l'évaporateur et au dessiccateur. Des économies d'approximativement 100 000 EUR sont réalisées du fait que l'installation de prétraitement des eaux résiduaires est d'une taille inférieure et qu'une conception plus simple que l'installation de traitement classique.

- Coûts d'exploitation

L'avantage de la technologie exempte d'eau résiduaire tient également aux coûts d'exploitation. Les coûts énergétiques sont maintenus bas puisque l'énergie excédentaire provenant de l'unité de durcissement interne à l'entreprise est utilisée pour faire fonctionner le vaporisateur et le dessiccateur. Des économies s'élevant à 120 000 EUR sont obtenues grâce à la consommation en eau considérablement inférieure, l'absence de frais liés à l'évacuation des eaux résiduaires, les coûts inférieurs des produits chimiques pour le traitement des eaux résiduaires et les coûts d'élimination des déchets considérablement inférieurs. L'investissement supplémentaire pour la mise en œuvre du système exempt d'eau résiduaire sera récupéré en l'espace de quatre années.

Documentation de référence

Les aspects économiques et écologiques de la minimisation de la consommation d'eau dans les ateliers d'électrodéposition et de l'électrodéposition exempte d'eau résiduaire ont été évalués dans les deux projets communs du PMBF : "Conversion of plating shops to a material loss minimised process technology under simultaneous cost reduction" (FKZ 01RK9730/0;

http://www.10galvaniken.de/) et "Closing materials circuits in the field of material removing wet processes" (FKZ 01ZH941B/1).