

Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour la fusion et l'affinage des métaux de base

Introduction

Les Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires (Directives EHS) sont des documents de références techniques qui présentent des exemples de bonnes pratiques internationales¹, de portée générale ou concernant une branche d'activité particulière. Lorsqu'un ou plusieurs États membres participent à un projet du Groupe de la Banque mondiale, les Directives EHS doivent être suivies conformément aux politiques et normes de ces pays. Les Directives EHS établies pour les différentes branches d'activité sont conçues pour être utilisées conjointement avec les **Directives EHS générales**, qui présentent des principes directeurs environnementaux, sanitaires et sécuritaires applicables dans tous les domaines. Les projets complexes peuvent exiger l'application de plusieurs directives couvrant des branches d'activité différentes. La liste complète de ces directives figure à l'adresse suivante :

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Les Directives EHS indiquent les mesures et les niveaux de performances qui sont généralement considérés réalisables dans de nouvelles installations avec les technologies existantes à un coût raisonnable. L'application des Directives EHS dans des installations existantes peut nécessiter la définition

¹ C'est-à-dire les pratiques que l'on peut raisonnablement attendre de professionnels qualifiés et chevronnés faisant preuve de compétence professionnelle, de diligence, de prudence et de prévoyance dans le cadre de la poursuite d'activités du même type dans des circonstances identiques ou similaires partout dans le monde. Les circonstances que des professionnels qualifiés et chevronnés peuvent rencontrer lorsqu'ils évaluent toute la gamme des techniques de prévention de la pollution et de dépollution applicables dans le cadre d'un projet peuvent inclure, sans toutefois s'y limiter, divers degrés de dégradation environnementale et de capacité d'assimilation de l'environnement ainsi que différents niveaux de faisabilité financière et technique.

d'objectifs spécifiques et l'établissement d'un calendrier adapté pour atteindre ces objectifs. Le champ d'application des Directives EHS doit être fonction des aléas et des risques identifiés pour chaque projet sur la base des résultats d'une évaluation environnementale qui prend en compte des éléments spécifiques au projet, comme les conditions en vigueur dans le pays dans lequel le projet est réalisé, la capacité d'assimilation de l'environnement, et d'autres facteurs propres au projet. La mise en œuvre de recommandations techniques particulières doit être établie sur base de l'opinion professionnelle des personnes ayant les qualifications et l'expérience nécessaires. Si les seuils et normes stipulés dans les réglementations du pays d'accueil diffèrent de ceux indiqués dans les Directives EHS, les plus rigoureuses seront retenues pour les projets menés dans ce pays. Si des niveaux moins contraignants que ceux des Directives EHS peuvent être retenus pour des raisons particulières dans le contexte du projet, une justification détaillée pour chacune de ces alternatives doit être présentée dans le cadre de l'évaluation environnementale du site considéré. Cette justification devra montrer que les niveaux de performance proposés permettent de protéger la santé de la population humaine et l'environnement.

Champ d'application

Ces Directives EHS portent sur la fusion et l'affinage des métaux de base, notamment le plomb, le zinc, le cuivre, le nickel et l'aluminium, et fournissent des orientations sur la question. Elles ne couvrent pas l'extraction et la concentration des matières premières qui sont traitées dans les Directives EHS pour l'exploitation minière. L'annexe A présente une description des activités de ce secteur.

Ce document se compose des sections suivantes:

- Section 1.0 — Description et gestion des impacts propres aux activités considérées
- Section 2.0 — Indicateurs de performance et suivi des résultats
- Section 3.0 — Bibliographie
- Annexe A — Description générale des activités

1.0 Description et gestion des impacts propres aux activités considérées

Cette section résume les questions d'ordre environnemental, sanitaire et sécuritaire qui peuvent se poser en général durant la phase d'exploitation, et elle présente des recommandations sur la manière de les gérer. Les recommandations relatives à la gestion des questions communes à la plupart des grandes installations industrielles aux cours des phases de construction, d'exploitation et de fermeture figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.1 Environnement

En phase d'exploitation, les problèmes environnementaux importants liés à la fusion et à l'affinage des métaux de base concernent les :

- Émissions atmosphériques
- Eaux Usées
- Matières dangereuses
- Résidus et déchets
- Bruit

Émissions atmosphériques

Matières particulaires²

Des émissions de matières particulaires (pouvant contenir des métaux) peuvent s'échapper de sources fugitives et ponctuelles, en particulier les aires de réception, de conditionnement, de manutention, de transport (par exemple les convoyeurs, les zones de roulage) et de stockage (par exemple les réserves extérieures) des minerais, de concentrés et de matières secondaires ; les gaz chauds libérés pendant le traitement pyrométallurgique (notamment aux étapes de frittage, fusion, grillage et convertissage) ; la lixiviation (par exemple manutention des matériaux secs, filtration, stockage des résidus de lixiviation) ; l'affinage pyrométallurgique (par exemple traitement au four et transfert des matériaux chauds) ; le retrait et le transport du contenu des systèmes antipollution (par exemple les dépoussiéreurs à sacs filtrants) ; et la fonte et le moulage (par exemple manutention du métal liquide et des écumages). Les émissions fugitives peuvent être plus importantes que celles collectées et maîtrisées ; il est donc particulièrement important de lutte contre les émissions fugitives.

Les mesures recommandées pour prévenir ou maîtriser les émissions de matières particulaires consistent, notamment, à :

- caractériser toutes les charges d'alimentation en termes de potentiel de réduction des risques ;
- entreposer les matériaux générant des poussières dans des bâtiments ou des conteneurs clos, et assurer leur transfert par des systèmes de convoyage pneumatique ou clos. Les véhicules de transport doivent être fermés ;

² Les particules (poussières) sont classées en tant que matières particulaires totales avec une granulométrie maximale de 100 µm (TPM), matières particulaires de moins de 10 µm (PM10), et matières particulaires de moins de 2,5 µm (PM2,5). L'impact des particules est fonction de leur taille, de leur nature (ainsi, les PM2,5 sont plus respirables), de leur solubilité, ainsi que de la concentration et de la toxicité des substances qu'elles contiennent.

- réduire le volume des matériaux transportés ainsi que les distances à couvrir en veillant à la conception et à l'agencement efficaces de l'usine ;
- réduire le volume des gaz d'échappement dans toute la mesure du possible (par exemple en optant pour la fusion à l'oxygène) ;
- dans la mesure du possible, prévoir une exploitation en continu, et s'assurer que les systèmes de régulation de la pollution intérieure offrent des conditions optimales pour une exploitation régulière et ininterrompue.³
- utiliser des fours et des réacteurs étanches basse pression, ou moderniser les fours en place pour assurer un maximum d'étanchéité (par exemple en pratiquant un « quatrième trou » dans le plafond d'un four électrique à arc pour faciliter un soutirage optimal des gaz de procédé) ;
- clore ou confiner les cuves de traitement, les points d'alimentation et de décharge et les systèmes de convoyage, ou les équiper de hottes aspirantes pour capter les émissions ;
- mettre en place des systèmes qui maintiennent l'étanchéité ou l'action des hottes pendant le transfert des matériaux, par exemple par ajout d'électrodes, de tuyères ou de lances, et en équipant les systèmes d'alimentation de solides robinets rotatifs ;
- utiliser des commandes de registre permettant de modifier automatiquement les points de soutirage aux différents stades du procédé pour effectuer les soutirages à la source des fumées, et réduire au maximum la consommation d'énergie. L'extracteur de toiture ne doit être utilisé qu'en dernier recours pour soutirer les fumées en raison de sa forte consommation énergétique et d'une moindre efficacité de captage ;
- contrôler les émissions de particules au moyen d'électrofiltres, de filtres à manche, d'épurateurs-laveurs ou d'hydrocyclones adaptés aux caractéristiques du flux d'échappement (par exemple sa température et la granulométrie des particules)⁴ ;
- assurer le bon entretien des hottes, des buses et du système de filtration afin que le taux de captage ou de soutirage soit maintenu au niveau théorique ;
- couvrir tous les véhicules de transport, et conserver le matériel de stockage et de transformation dans des espaces clos ;
- appliquer un programme d'arrosage pour réduire au minimum les émissions atmosphériques de particules provenant des routes, des réserves et d'autres sources sur le site ;

⁴ Les mentions suivantes s'inspirent d'informations provenant des textes de la Commission européenne (2001). Document de référence sur les meilleures techniques disponibles pour l'industrie des métaux non ferreux : Les systèmes à filtres tissu sont communément utilisés dans ce secteur en raison de leur réel pouvoir de rétention des particules fines générées par les opérations de fonte. Du fait de leur tendance à aveugler et de leur sensibilité au feu, ils ne sont pas adaptés à toutes les applications/situations. Des chambres de dépôt et de refroidissement et des chaudières de récupération de l'énergie résiduelle sont utilisées avant les dépoussiéreurs à sacs filtrants pour réduire les risques d'incendie, conditionner les particules et récupérer la chaleur des gaz d'échappement avant le dépoussiérage. Des électrofiltres sont aussi communément utilisés dans ce secteur ; ils peuvent fonctionner dans des conditions très différentes de température, de pression et de teneur en poussière. Ils ne sont guère sensibles à la taille des particules, et collectent les poussières dans des conditions sèches et humides. Ils sont conçus pour résister à la corrosion et à l'abrasion. Toutefois, les électrofiltres ne permettent généralement pas une concentration finale aussi bonne que celle obtenue avec un filtre à poches. Il faut employer des électrofiltres humides pour épurer les gaz humides saturés présentant une forte teneur en particules (par exemple les gaz d'échappement issus de la production de zinc et de cuivre de première fusion contiennent des poussières et du dioxyde de soufre, et sont nettoyés dans un épurateur-laveur et un électrofiltre humide). Les électrofiltres humides sont également utilisés pour éliminer le brouillard de godron des gaz de combustion émanant des fours à calciner des électrodes. Des épurateurs-laveurs à cascades sont souvent utilisés pour dépoussiérer les gaz d'échappement riches en CO émanant des fours électriques à arc étanches ; ces gaz sont réutilisés en raison de leur forte puissance calorifique. On les emploie aussi pour épurer les gaz provenant des fours de frittage à bande d'acier où la poussière est très abrasive mais aisément humidifiée, tandis que les épurateurs-laveurs permettent de refroidir les gaz et d'éliminer les poussières simultanément. Les hydrocyclones ne permettent généralement pas de maîtriser les émissions directement générés par les procédés industriels de ce secteur. En effet, ils ne captent pas les fines émanant des fours. L'expérience acquise en phase opérationnelle a montré qu'ils sont insuffisants pour normes modernes de captage des émissions. Les hydrocyclones sont en revanche très efficaces comme collecteurs de poussières primaires quand ils sont employés en association avec une autre technique, en particulier dans les grandes installations où le débit peut varier.

³ Ainsi, les convertisseurs utilisés dans le procédé de fusion flash/convertissage flash continu de Mitsubishi et d'Outokumpu/Kennecott ne nécessitent pas de coulée en poche, ce qui élimine cette source de fumées secondaires.

- assurer le nettoyage et le bon entretien des lieux et prévoir des aires et des équipements de lavage des véhicules pour empêcher la migration des matières au sein de l'installation industrielle et hors du site.

Métaux

Outre les métaux primaires, les charges d'alimentation peuvent contenir divers autres métaux à l'état de traces (par exemple : aluminium, arsenic, antimoine, bismuth, cadmium, chrome, cuivre, germanium, or, indium, plomb, mercure, nickel, sélénium, argent, thallium, étain et zinc).

Des émissions de composés et de métaux sous diverses formes — mobilisés sous forme de contaminants dans les poussières, brouillards, fumées ou liquides — peuvent être libérées à tous les stades de la production, notamment le traitement pyrométallurgique (d'importants volumes de gaz chauds contenant des particules et des vapeurs métalliques sont générés pendant le frittage, la fusion, le grillage et le convertissage) ; l'affinage pyrométallurgique (ainsi, des particules fines et des fumées métalliques sont libérées pendant le traitement au four et le transfert des matériaux chauds) ; l'électroaffinage (par exemple des émissions de brouillards acides provenant des solutions d'électrolytes) ; et la fonte et le moulage (notamment des émissions de vapeurs métalliques provenant de la manutention du métal liquide et des écumages et des particules des dépoussiéreurs à sacs filtrants). L'impact environnemental de ces métaux est fonction de leur forme, de leur toxicité et de leur concentration⁵.

Les émissions de métaux sont maîtrisées au moyen des mesures de lutte contre les poussières.

Mercure : Les émissions de métaux qui résultent de la fusion et de l'affinage et peuvent libérer du mercure méritent une mention

⁵ Commission européenne (2001). Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux.

particulière. Alors que la plupart des flux d'échappement chargés de métaux sont efficacement maîtrisés au moyen des mesures de lutte contre les matières particulaires, le mercure subsiste sous forme de vapeur aux températures ambiantes, et n'est pas capté par le matériel antipollution. Il est important de bien refroidir les gaz d'admission du matériel d'abaissement des particules pour bien soutirer le mercure, ou d'utiliser un filtre à charbon actif pour l'adsorber.⁶

Dioxyde de soufre

Le dioxyde de soufre (SO₂) résulte de la combustion des combustibles fossiles ainsi que des opérations de grillage, frittage, fusion, convertissage ou d'affinage de concentrés de sulfures de métaux. La concentration de SO₂ dans les gaz d'échappement est une caractéristique importante pour la maîtrise des émissions de SO₂. S'il est présent à des concentrations de 5 à 7 pour cent dans le flux de gaz brut, le SO₂ peut être transformé en acide sulfurique. À des concentrations moins importantes, il faut avoir recours à des matières premières à faible teneur en soufre, ou à un procédé d'épuration pour fixer le soufre, minimiser les émissions de SO₂ dans l'atmosphère et revenir à des concentrations atmosphériques acceptables. Les procédés de fusion à l'oxygène réduisent le volume des gaz d'échappement, et augmentent les concentrations de SO₂, avec pour résultat un meilleur rendement de conversion et une moindre émission de contaminants du fait du volume plus restreint.

Les mesures visant à prévenir et à maîtriser les émissions de dioxyde de soufre consistent notamment à :

- traiter (fixer) le soufre en vue de son stockage dans des conditions de sécurité et/ou l'utiliser sous forme de produit

⁶ Un complément d'informations détaillées sur les techniques et méthodes de lutte contre les émissions de mercure, en plus de la maîtrise des substances résiduelles (par exemple le chlorure mercurique ou calomel des systèmes anti-mercure de Boliden/Norzink et d'Outukumpu) est fourni dans le document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux, Commission européenne (2001). p. 135.

- (par exemple acide sulfurique, dioxyde de soufre liquide, engrais et soufre élémentaire) ;
- faire des choix technologiques permettant de réduire les volumes gazeux et d'accroître la concentration de SO₂⁷;
 - mettre en place des systèmes de contrôle du procédé pour garantir une régularité d'exploitation ;
 - prévoir un lavage des gaz permettant d'éliminer le SO₂ des flux à faible concentration ;
 - conserver le matériel industriel et les cuves de traitement dans des espaces clos pour prévenir les émissions fugitives ;
 - pratiquer un prétraitement (par exemple la flottation) pour éliminer le sulfure indésirable et réduire la quantité de soufre dans les charges d'alimentation ;
 - employer des combustibles et des matières premières à faible teneur en soufre (par exemple du gaz naturel plutôt que du mazout lourd ou du coke) ;

Oxydes d'azote

Les émissions de NO_x proviennent principalement de la combustion des combustibles (par exemple le charbon utilisé dans la fusion et le gaz naturel dans l'affinage pyrométallurgique). Les NO_x peuvent être formés à partir des composés azotés présents dans les combustibles ou concentrés, ou être présents sous forme de NO_x thermiques. Dans la production d'aluminium, des NO_x sont également générés pendant l'électrolyse du fait de la présence d'azote dans l'anode.

- Réduire au minimum la production de NO_x en employant des brûleurs à gaz à faible NO_x et une combustion étagée dans les fours d'affinage pyrométallurgique et les autres installations de combustion.
- Traiter les gaz de grillage pour éliminer les NO_x (par exemple en employant un lavage oxydant) en cas de forte teneur en NO_x pour améliorer la qualité et la facilité d'utilisation de l'acide sulfurique produit par les gaz d'échappement contenant du SO₂.
- Les brûleurs à gaz oxygéné permettent de réduire la formation de NO_x. En cas d'enrichissement en oxygène, on peut envisager d'introduire l'oxygène en aval du brûleur si les températures élevées résultant de l'utilisation d'oxygène pur à la hauteur du brûleur augmentent la production de NO_x.

Dioxines et furanes

Des dibenzodioxines polychlorées (PCDD) et des dibenzofuranes (PCDF) peuvent être générés lors de la production métallurgique (par exemple dans les procédés pyrométallurgiques), notamment à partir de matières secondaires ou dans les procédés nécessitant un chlorage. Les impuretés contenues dans les déchets de fonte peuvent entraîner la formation de PCDD/PCDF en cas de combustion incomplète ou de synthèse de novo⁸.

Diverses mesures permettent de prévenir et de maîtriser les dioxines et les furanes, notamment :

⁷ Il existe essentiellement deux procédés de fusion, la fusion en bain et la fusion flash ou fusion éclair. Le procédé de fusion flash utilise l'enrichissement à l'oxygène en vue d'une exploitation autothermique (autogénique) ou quasi-autothermique. La fusion en bain nécessite généralement un moindre enrichissement à l'oxygène. L'oxygène produit en outre des concentrations supérieures de dioxyde de soufre permettant un meilleur captage des gaz au moyen de l'un des systèmes de récupération de l'anhydride sulfureux (généralement la production d'acide sulfurique ou de dioxyde de soufre liquide). Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux, Commission européenne (2001).

⁸ La présence d'huiles et d'autres matières organiques sur les déchets de fonte ou d'autres sources de carbone (combustibles et réducteurs partiellement brûlés, comme le coke) peut générer de fines particules de carbone qui réagissent avec les chlorures inorganiques ou le chlore organiquement complexé à des températures de l'ordre de 250 à 500 °C et produisent des dioxines. Ce processus est appelé synthèse de novo et il est catalysé par la présence de métaux tels que le cuivre ou le fer. Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux, Commission européenne (2001).

- trier la ferraille pour éliminer les matières organiques ou les réduire au minimum (par exemple les plastiques et le bois) avant toute combustion et/ou chauffage ;
- mettre en place des procédures d'exploitation et d'entretien du matériel visant une combustion efficace, aux températures et aux temps de résidence prévus, pour garantir la destruction des dioxines, et éviter qu'elles se reforment à mesure que les gaz refroidissent ;
- Envisager d'utiliser du charbon actif sur lit fixe ou réacteur à lit mobile, ou par injection dans le flux gazeux, avec soutirage ultérieur sous forme de poussière de filtrage.

Composés organiques volatils

Des composés organiques volatils (COV) sont produits en cas de combustion incomplète et pendant diverses opérations comme le dégraissage des composants, l'extraction par solvants et la ventilation des cuves de stockage des solvants et des combustibles. Des COV peuvent aussi être libérés pendant la fusion et l'affinage des métaux secondaires si la charge d'alimentation contient des matières organiques.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les rejets de COV, consistent, notamment, à :

- utiliser de préférence des solvants à base d'eau, ou les solvants les moins toxiques parmi ceux adaptés à l'application ;
- confiner les émissions (par exemple au moyen de matériel étanche ou équipé de hottes) ;
- employer des mélangeurs-décanteurs qui minimisent les contacts avec l'air pour réduire au minimum l'évaporation des COV ;
- maîtriser les émissions de COV au moyen de dispositifs de postcombustion, d'épurateurs, de biofiltres ou de bioréacteurs, de pièges au charbon actif ou de systèmes

de refroidissement/condensation en fonction, par exemple, de la composition du flux gazeux ;

- prévoir un réseau de ventilation secondaire des gaz acheminés vers les véhicules de livraison pour le remplissage des cuves à solvants ou des réservoirs de carburant, ainsi que des dispositifs de fermeture automatique des raccords de refoulement pour éviter les déversements.

Brouillard chimique et arsine

L'extraction électrolytique et d'autres procédés tels que la lixiviation sous pression et la production d'acide sulfurique peuvent générer des brouillards chimiques contenant des métaux solubles. Des brouillards chimiques peuvent également être produits lors du broyage des batteries d'accumulateurs au plomb. De l'hydrogène arsénié peut être libéré en cas de mélange d'acide et de certains métaux à l'état de traces (par exemple pendant la lixiviation). Les réactions à l'intérieur des cellules d'extraction électrolytique génèrent des brouillards chimiques, tout comme l'aération, le mélange vigoureux, les réactions chimiques dans les procédés secondaires et/ou la manutention des flux liquides au point de goutte en milieu ouvert.

Les mesures visant à prévenir et maîtriser les brouillards chimiques et les émissions d'arsine consistent notamment à :

- surveiller les paramètres de contrôle du procédé pour réduire et/ou éliminer les conditions de perturbation ;
- équiper les réservoirs de hottes, maintenir une couche de mousse suffisante à la surface de la solution d'électrolyte, et traiter les brouillards et les gaz d'échappement au moyen du matériel antipollution (par exemple des épurateurs) ;

- utiliser des filtres à cheminées et à bougies pour maîtriser les émissions de brouillard chimique dans les usines d'acide sulfurique ;
- capter et traiter les brouillards chimiques (par exemple au moyen de dépoussiéreurs par voie humide ou de filtres pour brouillard) générés lors du broyage des batteries.

Monoxyde de carbone

Certains procédés pyrométallurgiques (par exemple la production carbothermique de ferroalliages dans des fours électriques à arc submergés) libèrent des gaz chargés de monoxyde de carbone. La quantité de CO varie considérablement en fonction du métal et du procédé industriel. Les mesures visant à maîtriser et à minimiser les émissions de CO consistent notamment à soutirer et épurer les gaz chargés de CO (par exemple au moyen d'un dépoussiéreur par voie humide à cascades), et à réutiliser ou vendre ce gaz comme carburant. Du CO peut également être produit en cas de combustion incomplète ainsi que dans la fusion et l'affinage des charges d'alimentation secondaires contenant des matières organiques. Les mesures de contrôle du CO provenant de ces sources sont analogues à celles décrites ci-dessus pour les COV.

Gaz à effet de serre

Dioxyde de carbone (CO₂) : des volumes importants de dioxyde de carbone sont produits pendant les opérations de fusion et d'affinage.⁹ Parmi les principales sources, citons la fusion de concentrés, la combustion directe des combustibles fossiles pour la production d'électricité et de chaleur et les émissions indirectes dégagées par les combustibles fossiles utilisés pour produire l'énergie électrique nécessaire aux opérations

⁹ Dans la production d'aluminium, du dioxyde de carbone est également formé au cours de l'électrolyse du fait de la réaction entre l'anode de carbone et l'oxygène formée par électrolyse et de la réaction secondaire avec l'air. Cette émission est toutefois très inférieure aux émissions de CO₂ résultant de la combustion des combustibles fossiles servant à produire l'électricité nécessaires à l'électrolyse.

industrielles (par exemple pour l'électrolyse dans la fusion d'aluminium). Les autres émissions indirectes de gaz à effet de serre produites dans ce secteur sont dues à l'utilisation de réactifs chimiques qui libèrent d'importantes quantités de gaz à effet de serre au cours des opérations de fabrication hors site. Les possibilités de réduction des gaz à effet de serre sont étroitement liées aux mesures visant à accroître le rendement énergétique et à réduire la consommation d'énergie, deux sujets traités à la section « Consommation d'énergie et rendement énergétique » ci-après. Des recommandations complémentaires sur la lutte contre les gaz à effet de serre sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Perfluorocarbones (aluminium seulement)^{10,11} : Dans la production d'aluminium, deux perfluorocarbones (PFC), le tétrafluorométhane (CF₄) et le l'hexafluoroéthane (C₂F₆), sont formés pendant les phases d'effet d'anode (déséquilibre temporaire du taux d'alimentation en matières premières et du taux de production d'aluminium) et, une fois formés, il n'existe actuellement aucune technique pour les éliminer du flux gazeux.

L'effet d'anode se produit lorsque la teneur de l'électrolyte en alumine chute à moins de 1 à 2 pour cent, ce qui a pour effet de former une pellicule de gaz sur l'électrode. La formation de ce

¹⁰ Sur les six gaz à effet de serre faisant l'objet du Protocole de Kyoto, deux perfluorocarbones (PFC), à savoir le tétrafluorométhane (CF₄) et l'hexafluoroéthane (C₂F₆), sont des sous-produits de la production d'aluminium. Le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) est une mesure permettant de déterminer la contribution relative de chaque gaz à effet de serre au réchauffement atmosphérique. Un PRP peut être calculé pour des horizons de temps donnés (allant par exemple de 20 à 500 ans) et pour des concentrations gazeuses données (par exemple la concentration actuelle). Cette mesure tient compte des effets directs et indirects. Les effets indirects comprennent les changements de la chimie atmosphérique tels que la formation d'ozone et les changements de la vapeur d'eau stratosphérique. On a attribué au CO₂ un PRP de 1 auquel tous les gaz à effet de serre sont comparés. Le PRP du tétrafluorométhane (CF₄) est 6 500 fois supérieur à celui du CO₂ (pour un horizon de temps de 100 ans), et celui de l'hexafluoroéthane (C₂F₆) est 9 200 fois supérieur à celui du CO₂ (toujours pour un horizon de 100 ans). Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

¹¹ International Aluminum Institute. Greenhouse Gas Protocol : Greenhouse gas emission monitoring and reporting by the aluminum industry, October, 2006. Disponible à l'adresse suivante : www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf

film sur l'anode interrompt la production de métal et augmente le voltage des cellules qui passe de 4 à 5 volts, à une fourchette de 8 à 50 volts. La formation de PFC dépend de la fréquence et de la durée de l'effet d'anode.¹²

Les mesures visant à lutter contre les perfluorocarbones (et à réduire les émissions globales de gaz à effet de serre) consistent notamment à¹³ :

- utiliser davantage d'aluminium recyclé (ce qui exige beaucoup moins d'énergie que la production primaire) ;
- augmenter le rendement de conversion électrique ;
- réduire les effets d'anode à l'origine de la production de PFS :
 - contrôler les effets d'anode en ajustant le voltage des cellules et l'apport d'alumine ;
 - associer une alimentation semi-continue en alumine et des mesures de contrôle du procédé ;
- modifier la technique de réduction pour réduire au minimum l'utilisation de carbone fossile¹⁴.

Consommation d'énergie et rendement énergétique : les fonderies et les affineries consomment énormément d'énergie, en particulier celle générée par les combustibles fossiles servant au séchage, au chauffage, à la fusion, à la scorification, à la fonte et au transport, et l'électricité utilisée dans l'électrolyse et les commodités/matériels électriques. Les **Directives EHS générales** fournissent des indications permettant d'améliorer le rendement énergétique. Les recommandations suivantes sont spécifiques à ce secteur :

- évaluer les nouvelles techniques de fusion et de transformation permettant d'optimiser l'énergie (ainsi, la fusion flash requiert la moitié environ de l'énergie consommée par un haut fourneau classique, tandis que l'emploi d'aluminium recyclé exige généralement beaucoup moins d'énergie que la production primaire) ;
- Recourir à des techniques de récupération de la chaleur et de l'énergie afin d'optimiser le rendement énergétique (par exemple au moyen de chaudières de récupération de chaleur, d'échangeurs thermiques et de transmissions à vapeur)¹⁵, par exemple des gaz générés par les procédés pyrométallurgiques. Les techniques de récupération de chaleur varient d'une usine à l'autre, mais consistent notamment à utiliser un air enrichi en oxygène pour réduire la consommation d'énergie ; des chaudières de production de vapeur pour soutirer les gaz chauds produits pendant la fusion ou le grillage ; et la chaleur générée durant les phases de fusion et d'affinage pour fondre les matières secondaires.

Nickel carbonyle (nickel seulement)

La production de nickel carbonyle est une étape intermédiaire dans la production de nickel purifié. En fonction du procédé, d'autres carbonyles tels que le cobalt carbonyle et le fer carbonyle peuvent également être formés. Les flux gazeux chargés de carbonyle doivent être incinérés pour transformer le métal-carbonyle en oxydes de métaux de base et en dioxyde de carbone. Des systèmes de lutte antipollution doivent être mis en place pour capter les oxydes de métaux de base et le dioxyde de carbone provenant de l'incinération des flux gazeux chargés de carbonyle.

¹² Commission européenne (2001). Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux

¹³ International Aluminum Institute. "PFC Emissions : A Decade of Progress". <http://www.world-aluminium.org/environment/climate/index.html>

¹⁴ Le développement des techniques de réduction ne reposant pas sur le carbone en est encore au stade pilote.

¹⁵ Des indications détaillées sur le rendement énergétique dans les opérations de fusion sont fournis dans le document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux, Commission européenne (2001).

Fluorures (aluminium seulement)

Les creusets utilisés pendant l'électrolyse constituent la principale source de fluorures gazeux. La plupart des fluorures gazeux prennent la forme de fluorure d'hydrogène, produit de la réaction du fluorure d'aluminium et de la cryolithe à l'hydrogène. Les émissions de fluorure peuvent être maîtrisées par captage des fumées. Les fumées (en règle générale plus de 98 pour cent des fumées totales) peuvent être épurées en injectant de l'alumine dans les gaz dégagés afin d'absorber le fluorure, puis au moyen de dépoussiéreurs à sac filtrant (la poussière est renvoyée vers les creusets) ou de dépoussiéreurs par voie humide (avec une efficacité de l'ordre de 99,5 à 99,9 pour cent).

Goudrons et hydrocarbures aromatiques polycycliques (aluminium seulement)

Des goudrons et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) peuvent être libérés (principalement par les usines de cuisson d'anodes). Les mesures visant à prévenir et à réduire ces émissions consistent notamment à :

- améliorer le rendement de combustion ;
- utiliser un autre type d'anodes ;
- éliminer les goudrons et les hydrocarbures aromatiques polycycliques au moyen de dépoussiéreurs d'alumine et de séparateurs à couche filtrante ;
- utiliser de la pâte d'anodes sèche et maintenir les têtes d'anode à basse température pour réduire les émissions de HAP.

Préparation des anodes (aluminium seulement)

L'électrolyse de l'alumine pour la production d'aluminium a pour effet de consommer l'anode, étape pendant laquelle l'oxygène libéré consomme le carbone. Ces anodes sont habituellement préparées sur place dans une installation de cuisson des anodes où les matières contenant du carbone (notamment le brai de pétrole) sont fixées à un noyau métallique avant l'étape

de cuisson qui augmente leur solidité. La cuisson libère des hydrocarbures volatiles ainsi que d'autres contaminants comme du soufre provenant des matières premières. Dans la mesure du possible, la puissance calorifique des émissions de COV peut être utilisée par combustion de ces substances dans le four de cuisson. Les gaz dégagés doivent être traités par lavage ou absorption, puis par filtration dans des unités intégrées à l'usine d'aluminium primaire où les hydrocarbures sont renvoyés dans le processus de production ; à défaut, on peut avoir recours à des dispositifs de postcombustion et des électrofiltres humides en fonction du site et de l'ampleur de la production.

Eaux usées

Eaux de procédé industriel

Les eaux usées produites dans le secteur de la fusion et de l'affinage viennent essentiellement des procédés hydrométallurgiques (notamment l'épuration des gaz par grillage, la lixiviation, la purification et l'électrolyse) ; de l'épuration par voie humide des gaz d'échappement ; de la granulation des scories ; du refroidissement de l'eau ; et des ruissellements des eaux de surface et eaux pluviales. En règle générale, les eaux usées contiennent des composés métalliques solubles et non solubles, des huiles et des matières organiques. Les eaux de refroidissement en contact direct avec les matières transformées (par exemple dans certaines opérations de moulage) peuvent présenter des teneurs importantes en métaux et en solides en suspension, et doivent être acheminées vers le système de traitement des eaux usées de l'usine.

Traitement des eaux industrielles

Parmi les différentes méthodes de traitement des eaux industrielles dans cette branche d'activité, on peut citer : le confinement des sources d'eaux usées et le prétraitement des flux concentrés d'eaux usées en vue de réduire leur teneur en métaux lourds, notamment par précipitation chimique,

coagulation et floculation. Le traitement des eaux usées donne généralement recours à : des séparateurs huile/eau ou à des systèmes par flottation à l'air dissous qui permettent de séparer les huiles des solides flottables, des systèmes de filtration permettant de récupérer les solides filtrables, des systèmes de répartition des flux et des charges, la sédimentation des solides en suspension dans des clarificateurs, la déshumidification et l'élimination des résidus dans des décharges destinées spécifiquement aux déchets dangereux. Des mesures de contrôle d'ingénierie supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires pour : i) utiliser des systèmes de pointe d'enlèvement des métaux par des processus de filtration sur membrane, par électrolyse ou d'autres technologies de traitement physiques/chimiques ; ii) éliminer les composés organiques récalcitrants à l'aide de charbon actif ou par oxydation chimique avancée ; et iii) réduire la toxicité des effluents à l'aide de technologies adaptées (osmose inversée, échange d'ions, charbon actif, etc.).

La gestion des eaux usées industrielles et les différentes méthodes de traitement envisageables sont décrites dans les **Directives EHS générales**. Grâce à l'utilisation de ces techniques et à l'application de bonnes pratiques de gestion des eaux usées, les unités de fabrication devraient satisfaire aux critères définis par les valeurs de référence indiquées au tableau correspondant de la section 2 du présent document pour cette branche d'activité.

Autres eaux usées et consommation d'eau

Les directives sur la gestion des eaux usées non contaminées provenant des équipements sanitaires, des eaux de pluies non contaminées et des eaux d'égout sont présentées dans les **Directives EHS générales**. Si l'eau de refroidissement utilisée pour la fusion et l'affinage n'entre pas en contact direct avec les matières transformées, un circuit à passe unique est suffisant ; on peut aussi employer un système de recirculation équipé de

tours de refroidissement par évaporation. L'eau provenant d'un circuit à passe unique est généralement évacuée dans les eaux de surface, sachant qu'il faut parfois en réduire la température pour préserver le plan d'eau récepteur. Les eaux pluviales peuvent être contaminées par contact avec les réserves de matériaux et par dépôt des contaminants atmosphériques à leur surface. De plus amples informations sur la gestion des eaux pluviales figurent dans les **Directives EHS générales**. Les écoulements d'eau contaminée doivent être acheminés de manière à passer par le système de traitement des eaux usées industrielles. Des recommandations pour réduire la consommation d'eau, en particulier dans les sites où les ressources naturelles en eau sont limitées, sont fournies dans les **Directives EHS Générales**.

Matières dangereuses

De nombreux acides, alcalis et réactifs chimiques sont employés dans l'industrie de la fusion et de l'affinage (pour la lixiviation et la précipitation des métaux et dans les systèmes de lutte antipollution) ; de nombreux gaz sont aussi libérés par le procédé industriel (notamment oxygène, dioxyde de carbone, argon, azote, chlore, hydrogène et autres). On trouvera dans les **Directives EHS générales** des indications pour l'entreposage, le transport et l'utilisation en toute sécurité des matières dangereuses.

Résidus et déchets

Les résidus et déchets dangereux et non dangereux produits durant la fusion et l'affinage comprennent les scories, les écumages, les mattes et les matières flottantes provenant des procédés pyrométallurgiques ; les garnissages et matériaux réfractaires usagés des fours ; les déchets des systèmes antipollution (par exemple les poussières de fours, les boues et les matières épuisées des filtres) ; les boues issues du traitement des eaux usées (notamment celles provenant des dépoussiéreurs par voie humide et du traitement des eaux de

procédé qui peuvent contenir du gypse [CaSO₄] ainsi que des hydroxydes de métal et des sulfures) ; et les boues de lixiviation, de purification et d'électrolyse.

Il faut exploiter toutes les possibilités de recyclage des sous-produits et des déchets générés lors des opérations de fusion et d'affinage¹⁶ pour les réintroduire dans le procédé (notamment les écummings, les mattes, les matières flottantes, les garnissages de creusets et de fours et les matières de récupération). Les scories produites en grandes quantités à la fusion peuvent être recyclées (par exemple par scorification pour récupérer les résidus de métaux) afin d'obtenir un matériau granuleux inerte qui peut être vendu pour différents usages industriels tels que la fabrication de ciment ou de produits isolants. Selon le degré d'intégration du procédé industriel, les déchets des systèmes antipollution et les boues de lixiviation et de traitement des eaux usées peuvent être recyclés dans le procédé pyrométallurgique. Les boues provenant des anodes et du fond des cuves peuvent aussi être recyclées pour récupérer les résidus de métaux. Les principes directeurs pour la gestion et l'élimination sécuritaire des déchets industriels dangereux et des déchets industriels non dangereux sont indiqués dans les **Directives EHS générales**. La production et la maîtrise de certains déchets spécifiques aux métaux non ferreux utilisés dans la fusion et l'affinage sont traitées dans les paragraphes suivants.

Cathodes épuisées (aluminium seulement)

Les cathodes épuisées, également appelées revêtements épuisés de cuves, sont la principale source de déchets dans la fabrication d'aluminium de première fusion. Une cathode épuisée comporte une portion de carbone qui constituait préalablement la cathode de la cellule d'électrolyse ainsi qu'un

matériau réfractaire qui est composé de plusieurs types de matériaux isolants. Les revêtements de cuves épuisés contiennent des fluorures et des cyanures solubles, et peuvent produire des lixiviats alcalins s'ils sont mouillés. Ils doivent donc être traités et réutilisés dans toute la mesure du possible (par exemple dans les fours pyrométallurgiques, pour la production de cryolite, pour la fabrication de ciment ou comme combustible), ou évacués conformément aux procédures de gestion des déchets dangereux énoncées dans les **Directives EHS générales**.

Boue rouge (aluminium seulement)

L'extraction d'aluminium de la bauxite produit une boue rouge alcaline exigeant un entreposage sous contrôle, en règle générale dans des bassins étanches (revêtus), permettant de minimiser le risque de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines. Le surplus d'eau de la boue rouge est réintroduit dans le procédé.

Bruit

Les opérations de fusion et d'affinage sont nécessairement bruyantes en raison des nombreux équipements mécaniques, des véhicules de transport, des activités matérielles et de l'utilisation énergétique, principalement les fours et la vapeur. Le transport et la manutention des matériaux et des produits sont des sources importantes de bruit, tout comme le procédé pyrométallurgique, les opérations de broyage et de concassage, le fonctionnement des pompes et des ventilateurs, les dégagements de vapeur et les alarmes automatiques. Les principes directeurs pour la gestion du bruit sont présentés dans les **Directives EHS générales**.

1.2 Hygiène et sécurité au travail

Les questions d'hygiène et de sécurité au travail doivent être examinées dans le contexte d'une évaluation complète des dangers et des risques, y compris, par exemple, une étude

¹⁶ Des indications détaillées sur les possibilités de réduction, de réutilisation et de recyclage des déchets sont fournies dans le document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux, Commission européenne (2001).

d'identification des risques (hazard identification study [HAZID], une étude des risques et opérabilité (hazard and operability study [HAZOP]), ou d'autres études d'évaluation des risques. Les résultats doivent être utilisés à des fins de planification de la gestion de l'hygiène et de la sécurité, dans le cadre de la conception de l'établissement et des systèmes de travail sécuritaires et de la préparation et de la communication des procédures de travail sécuritaires.

Les mesures à caractère général liées à la conception et à l'exploitation des établissements et aux activités de suivi visant à gérer les risques principaux en matière d'hygiène et de sécurité au travail sont examinées dans les **Directives EHS générales**. Des principes directeurs généraux qui s'appliquent plus particulièrement aux activités de construction et de démantèlement sont également présentées ainsi que des conseils sur la formation à assurer en matière d'hygiène et de sécurité, l'équipement de protection individuelle (EPI) et la gestion des risques physiques, chimiques, biologiques et radiologiques, qui sont valables pour toutes les industries.

D'autres questions d'hygiène et de sécurité au travail doivent être examinées plus en détail dans le contexte des opérations de fusion et d'affinage des métaux de base, notamment :

- Exposition à des substances chimiques
- Dangers corporels
- Bruit
- Radiation
- Espaces confinés

Exposition à des substances chimiques

De nombreuses matières dangereuses, en particulier des acides, des alcalis et des réactifs chimiques sont employés dans l'industrie de la fusion et de l'affinage (pour la lixiviation et la précipitation des métaux et dans les systèmes de lutte antipollution) ; de nombreux gaz sont aussi libérés par le

procédé industriel (notamment oxygène, dioxyde de carbone, argon, azote, chlore, hydrogène et autres). Les ouvriers peuvent être exposés aux matières dangereuses contenues dans les poussières, vapeurs, gaz, brouillards et fumées organiques et inorganiques libérés au cours des opérations et/ou des tâches effectuées à toutes les étapes de production et de maintenance.

Les matières inorganiques dangereuses comprennent notamment les métaux de base solubles et insolubles (par exemple le nickel, le cuivre, les contaminants à l'état de traces comme l'arsenic, l'antimoine, le thallium, le mercure, le cadmium et d'autres). Les contaminants à l'état de traces et les métaux qu'ils contiennent dépendent de la nature du minerai traité et du procédé utilisé. Une exposition à des brouillards chimiques peut se produire pendant la lixiviation et/ou l'électroaffinage. L'exposition à des matières organiques peut-être liée à des dioxines et des furanes, à des résidus de solvants organiques utilisés comme réactifs et à des composés aromatiques polycycliques associés aux poussières et au fumées de brai (dans la fabrication des électrodes en carbone et les procédés de production d'aluminium au moyen de cellules de réduction électrolytique). Les risques d'exposition aux gaz concernent notamment le dioxyde de soufre, l'hydroxyde d'ammonium, le monoxyde de carbone, l'oxygène, l'arsine, le chlore et le fluorure. Certains gaz sont naturellement métalliques comme les carbonyles de cobalt, de fer et de nickel.

Des indications sur la gestion des expositions aux substances chimiques et autres matières dangereuses, y compris l'utilisation d'équipement de protection individuelle (EPI), sont fournies dans les **Directives EHS générales**. Les mesures recommandées pour prévenir, réduire au minimum et maîtriser les expositions aux substances chimiques consistent, notamment, à :

- confiner et isoler dans toute la mesure du possible les sources potentielles d'émissions atmosphériques ;

- prévoir une surveillance continue dans les zones où des dangers peuvent survenir de manière soudaine et inattendue (par exemple là des dégagements d'arsine ou d'acide cyanhydrique peuvent se produire) ;
- assurer le suivi des risques d'exposition au moyen d'appareils individuels de prélèvement d'échantillons pour l'hygiène industrielle ;
- dispenser des formations, encourager une bonne hygiène personnelle et interdire la consommation de tabac et de nourriture sur le lieu de travail ;
- automatiser autant que possible les processus et la manutention des matériaux et prévoir des périmètres de sécurité pour les opérateurs ;
- prévoir des dispositifs locaux de ventilation aspirante pour limiter l'exposition au dioxyde de soufre, au monoxyde de carbone et au brouillard de soufre par exemple.

Dangers corporels

Des dangers physiques, notamment l'exposition à la chaleur des fours et au métal liquide et les stress ergonomiques, peuvent entraîner des lésions corporelles provoquées par l'opération des machines, des brûlures et des explosions associées aux tâches impliquant des métaux chauds (par exemple pendant le traitement pyrométallurgique), des acides, des produits caustiques, des solvants, des lixiviats et des solutions utilisées dans l'électroaffinage. Les directives concernant la gestion des risques corporels figurent dans les **Directives EHS générales**. Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les risques d'exposition à la chaleur consistent notamment à :

- installer des paravents à eau ou des rideaux d'air à l'avant des fours ;
- prévoir un refroidissement localisé si nécessaire ;
- installer des cabines fermées et climatisées pour les opérateurs ;

- fournir des vêtements de protection contre la chaleur et des combinaisons refroidies à l'air ;
- prévoir des périodes suffisamment longues d'acclimatation aux environnements chauds et /ou des pauses dans des endroits frais, et fournir des boissons en quantité suffisante pour que les ouvriers puissent boire fréquemment.

Bruit

Les ouvriers travaillant dans les usines de fusion et d'affinage peuvent être exposés à des niveaux de bruit importants du fait de l'opération des équipements lourds et des fours. Comme il n'est pas possible d'éliminer la plupart de ces sources de bruit, les mesures prises pour maîtriser leurs effets doivent comprendre le port de dispositifs personnels de protection acoustique et l'instauration de programmes de rotation du travail pour réduire une exposition cumulative au bruit. Des recommandations supplémentaires sur la gestion du bruit dans les activités professionnelles sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Radiation

Les ouvriers peuvent être exposés aux rayonnements radioactifs produits par certains équipements utilisés dans le procédé (par exemple les cellules de chargement et les dispositifs de surveillance des particules) et le matériel de laboratoire. Des recommandations sur la gestion de l'exposition à la radiation sont données dans les **Directives EHS générales**.

Espaces confinés

Les usines de fusion et d'affinage exigent l'utilisation d'équipements et la réalisation de tâches impliquant de pénétrer dans des espaces confinés. Les responsables des installations doivent élaborer et mettre en place des procédures d'entrée dans les espaces confinés, comme indiqué dans les **Directives EHS générales**.

Champs électriques et champs magnétiques

Les champs électromagnétiques sont des lignes invisibles de la force qui est émise par tout appareil électrique et qui entoure celui-ci. Les champs électriques sont produits par le voltage et, plus le voltage est élevé et plus le champ qui en résulte est intense. Les champs magnétiques résultent de la circulation du courant électrique et leur intensité est d'autant plus élevée que le courant est élevé. Le matériau qui conduit l'électricité ainsi que d'autres obstacles tels que les matériaux de construction et les arbres contribuent à la protection contre les champs électriques. Les champs magnétiques traversent la plupart des matériaux et il est difficile de s'en protéger. L'intensité des champs électriques et magnétiques baisse rapidement avec la distance. Les cellules de réduction électrolytique sont directement alimentées en électricité, et les champs magnétiques générés dans les cuves d'électrolyse sont essentiellement statiques ou permanents. Par comparaison avec les champs électromagnétiques basses fréquences, ces champs ont encore moins d'effets biologiques réguliers ou reproductibles. Les niveaux de flux des champs magnétiques mesurés dans les cuves d'électrolyse sont souvent inférieurs aux valeurs maximales définies pour les champs magnétiques statiques, les sous radiofréquences et les champs électriques statiques. Une exposition à des champs électromagnétiques ultra basses fréquences peut se produire dans les installations de réduction, en particulier à proximité des postes de redressement. Les niveaux de flux mesurés dans les halls d'électrolyse sont minimes et inférieurs aux normes actuelles¹⁷. Une exposition aux champs électromagnétiques peut également se produire avec les fours électriques à arc et d'autres équipements électriques¹⁸.

¹⁷ Organisation internationale du travail, Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Fourth Edition, Volume 3, Part XIII, Chapter 82. Consulter <http://www.ilo/encyclopedia/>.

¹⁸ Les personnes portant des stimulateurs cardiaques ne doivent pas être employées dans les opérations de réduction en raison des risques de dysrythmie provoqués par les champs magnétiques.

1.3 Santé et sécurité de la population

Les usines de fusion et d'affinage libèrent une quantité considérable de substances polluantes pouvant donner lieu à des problèmes de santé et de sécurité pour les populations avoisinantes. La contamination cumulative des terres et des habitations avoisinantes par de fines particules de métal ainsi que l'exposition et les risques de santé qui en découlent pour les habitats et l'écosystème constituent un risque majeur. Les dépôts de métaux (par exemple cadmium, cuivre, plomb, zinc, et manganèse) et d'autres polluants peuvent en outre avoir une incidence préjudiciable sur les cultures et l'élevage et la qualité des produits agricoles cultivés dans la zone. Les mesures de lutte contre les émissions décrites à la Section 1.1 permettent de réduire ces impacts au minimum.

Les usines de fusion et d'affinage doivent élaborer et mettre en place un programme complet pour la protection de l'environnement, la santé et la sécurité au moyen d'un processus de coopération impliquant l'ensemble des parties concernées, y compris les résidents de la zone. Le programme doit couvrir les aspects suivants :

- éducation et sensibilisation des communautés à l'égard des risques sanitaires liés aux opérations de fusion ;
- évaluation sanitaire de base, s'il y a lieu ;
- investigation des problèmes environnementaux générés dans les sites contaminés, en particulier les stratégies d'évaluation et d'assainissement ;
- formulation d'un plan de préparation et d'intervention en cas d'urgence, avec la participation des communautés affectées et des organismes de réglementation compétents ;
- les **Directives EHS générales** donnent d'autres indications en rapport avec ces questions et d'autres problèmes de santé et de sécurité de la population.

2.0 Indicateurs de performance et suivi des résultats

2.1 Environnement

Directives pour les émissions et les effluents

Les tableaux 1 et 2 présentent des directives destinées aux projets de fusion et d'affinage au sujet des émissions et des concentrations d'effluents. Les valeurs indiquées pour les émissions et les effluents industriels dans cette branche d'activité correspondent aux bonnes pratiques internationales dans ce domaine, telles qu'exprimées par les normes pertinentes des pays qui ont des cadres réglementaires reconnus. Ces directives sont supposées être réalisables, sous des conditions d'exploitation normales, dans les établissements conçus et exploités de manière appropriée, c'est-à-dire en appliquant les techniques de prévention et de contrôle de la pollution examinées dans les sections précédentes du présent document. Les valeurs indiquées au tableau 1 doivent être relevées, pour des effluents non dilués, pendant au moins 95 % du temps d'exploitation de l'usine ou de l'unité considérée, calculé sur la base du nombre annuel d'heures d'exploitation. Tout écart par rapport à ces valeurs limites qui tiendrait à des conditions locales propres au projet considéré doit être justifié dans l'évaluation environnementale.

Les directives relatives aux émissions s'appliquent aux émissions inhérentes au processus de production. Les directives concernant les émissions produites par les opérations de combustion associées aux activités de cogénération de centrales ayant une puissance installée ne dépassant pas 50 MW figurent dans les **Directives EHS générales** ; les émissions des centrales électriques de plus grande taille sont présentées dans les **Directives EHS pour l'électricité thermique**. Des informations sur les conditions ambiantes basées sur la charge totale des émissions sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Les valeurs de référence relatives aux effluents s'appliquent aux effluents traités directement rejetés dans les eaux de surface destinées à un usage général. Les niveaux de rejets propres à un site donné peuvent être établis lorsqu'il existe des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées gérés par le secteur public, selon les conditions dans lesquelles ils sont utilisés, ou dans le cas de rejets directs dans les eaux de surface, selon la classification de l'utilisation des eaux réceptrices telle qu'elle est décrite dans les **Directives EHS générales**. Ces niveaux doivent être atteints, sans dilution, au moins 95% du temps pendant lequel l'usine ou l'unité fonctionne, à calculer en tant que proportion des heures annuelles d'exploitation. L'écart par rapport à ces niveaux pour tenir compte de conditions spécifiques et locales d'un projet doit être justifié dans l'évaluation environnementale.

Utilisation des ressources

Le tableau 3 donne un exemple de la consommation d'eau et d'énergie entrant dans certains procédés de fusion et d'affinage ; il peut être pris comme indicateur de l'efficacité du secteur et permet de suivre l'évolution des performances dans le temps.

Suivi des impacts environnementaux

Des programmes de suivi des impacts environnementaux doivent être mis en place de manière à couvrir toutes les activités susceptibles d'avoir des impacts environnementaux importants dans des conditions normales ou anormales d'exploitation. Les activités de suivi des impacts environnementaux doivent être basées sur des indicateurs directs ou indirects d'émissions, d'effluents et d'utilisation des ressources applicables au projet considéré.

Les activités de suivi doivent être suffisamment fréquentes pour fournir des données représentatives sur les paramètres considérés. Elles doivent être menées par des personnes ayant

reçu la formation nécessaire à cet effet, suivant des procédures de suivi et de tenue des statistiques et utilisant des instruments correctement calibrés et entretenus. Les données ainsi fournies doivent être analysées et examinées à intervalles réguliers pour être comparées aux normes d'exploitation afin de permettre l'adoption de toute mesure corrective nécessaire. De plus amples informations sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des émissions et des effluents applicables figurent dans les **Directives EHS générales**.

Tableau 1. Émissions atmosphériques dans les opérations de fusion et d'affinage de nickel, cuivre, plomb, zinc et aluminium *

Polluant	Sources d'émission (par type de métal/procédé de fusion)	Unités	Valeur données dans les directives
SO ₂	<p>Cuivre : première fusion et convertissage Plomb et zinc : première fusion, grillage et frittage Nickel : Grillage et fusion des concentrés de sulfure et des produits intermédiaires</p>	<p>Rendement de conversion >99,1% (pour des gaz à ~ 1 à 4 % SO₂) Rendement de conversion >99,7 % (pour des gaz à >5 % SO₂)</p>	
NOX	<p>Cuivre : deuxième fusion et convertissage ; premier et deuxième affinage au feu ; nettoyage des scories au four électrique et fonte Aluminium : dégazage par attente du métal liquide dans la production primaire et secondaire d'aluminium Plomb et zinc : prétraitement des matériaux ; deuxième fusion ; affinage thermique ; fonte ; scorification et opération des fours Waelz Cuivre : deuxième fusion et convertissage ; premier et deuxième affinage au feu ; nettoyage des scories au four électrique et fonte Aluminium : dégazage par attente du métal liquide dans la production primaire et secondaire d'aluminium, prétraitement des matériaux, fonte et production aluminium de deuxième fusion Plomb et zinc : Fonte des matières propres, production d'alliages et de poussière de zinc ; prétraitement des matériaux ; deuxième fusion ; affinage thermique ; fonte ; scorification et opération des fours Waelz Nickel : lixiviation, extraction chimique et affinage, électroaffinage et extraction de solvants ; prétraitement des matériaux, incinération ou postcombustion, grillage, fusion, affinage thermique et fonte.</p>	<p>mg/Nm³</p> <p>mg/Nm³</p>	<p><50 – 200^{1,2,3}</p> <p>100 – 300^{4,5,6}</p>
Brouillard chimique / Gaz	<p>Cuivre : procédés hydrométallurgiques et électroaffinage Plomb et zinc : affinage chimique, électroaffinage et extraction de solvants Nickel : lixiviation, extraction chimique et affinage, électroaffinage et extraction de solvants</p>	<p>mg/Nm³</p>	<p>50^{1,7}</p>
COV / solvants (C)	<p>Cuivre : procédés hydrométallurgiques et électroaffinage Plomb et zinc : affinage chimique, électroaffinage et extraction de solvants Nickel : lixiviation, extraction chimique et affinage, électroaffinage et extraction de solvants</p>	<p>mg/Nm³</p>	<p>5 – 15⁹</p>
Poussière ²²	<p>Cuivre : deuxième fusion et convertissage ; premier et deuxième affinage au feu ; nettoyage des scories au four électrique et fonte, système secondaire de soufrage des fumées et séchage. Aluminium : production d'aluminium de première fusion par électrolyse ; dégazage par attente du métal liquide dans la production primaire et secondaire d'aluminium, prétraitement des matériaux ; fonte et production d'aluminium de deuxième fusion Plomb et zinc : Fonte des matières propres, production d'alliages et de poussière de zinc ; prétraitement des matériaux ; deuxième fusion ; affinage thermique ; fonte ; scorification et opération des fours Waelz Nickel : prétraitement des matériaux, incinération ou postcombustion, grillage, fusion, affinage thermique et fonte.</p>	<p>mg/Nm³</p>	<p>1 – 5^{3,10,11}</p>
TOC (C)	<p>Cuivre : deuxième fusion et convertissage ; premier et deuxième affinage au feu ; nettoyage des scories au four électrique et fonte Aluminium : prétraitement des matériaux ; fonte et production d'aluminium de deuxième fusion Plomb et zinc : Fonte des matières propres, production d'alliages et de poussière de zinc ; prétraitement des matériaux ; deuxième fusion ; affinage thermique ; fonte ; scorification et opération des fours Waelz Nickel : prétraitement des matériaux, incinération ou postcombustion, grillage, fusion, affinage thermique et fonte.</p>	<p>mg/Nm³</p>	<p>5 – 50^{12,13}</p>
Dioxines	<p>Cuivre : deuxième fusion et convertissage ; premier et deuxième affinage au feu ; nettoyage des scories au four électrique et fonte, système secondaire de soufrage des fumées et séchage. Aluminium : prétraitement des matériaux ; fonte et production d'aluminium de deuxième fusion Plomb et zinc : Fonte des matières propres, production d'alliages et de poussière de zinc ; prétraitement des matériaux ; deuxième fusion ; affinage thermique ; fonte ; scorification et opération des fours Waelz Nickel : prétraitement des matériaux, incinération ou postcombustion, grillage, fusion, affinage thermique et fonte.</p>	<p>ngTEQ/m³</p>	<p>0,1 – 0,5^{3,10,14,15,16}</p>

Tableau 1. Émissions atmosphériques dans les opérations de fusion et d'affinage de nickel, cuivre, plomb, zinc et aluminium (Suite) *

Polluant	Sources d'émission (par type de métal/procédé de fusion)	Unités	Valeur données dans les directives
Ammoniacque		mg/Nm ³	5 ¹⁷
Chlore	Nickel : lixiviation, extraction chimique et affinage, électroaffinage et extraction de solvants	mg/Nm ³	0,5 ^{2,18}
CO et carbonyles		mg/Nm ³	5 ¹⁹
Arsine	Plomb et zinc : affinage chimique, électroaffinage et extraction de solvants	mg/Nm ³	0,5 ⁶
Mercuré	Tous les types de métaux/procédés de fusion	mg/Nm ³	0,02
Chlorure d'hydrogène	Aluminium : dégazage par attente du métal liquide dans la production primaire et secondaire d'aluminium, prétraitement des matériaux, fonte et production d'aluminium de deuxième fusion	mg/Nm ³	5 ¹
Fluorure d'hydrogène	Aluminium : production d'aluminium de première fusion par électrolyse ; prétraitement des matériaux ; fonte et production d'aluminium de deuxième fusion	mg/Nm ³	0,5 ^{10,20}
Total fluorures	Aluminium : production d'aluminium de première fusion par électrolyse	mg/Nm ³	0,8 ^{10,22}
Hydrocarbures polyfluorés		(effets d'anode/cellule/jour)	0,1
	<ol style="list-style-type: none"> Laveur alcalin (filtre semi-humide et séparateur à couche filtrante, dépoussiéreur par voie humide ou lavage avec double alcali à l'aide de chaux, hydroxyde de magnésium et hydroxyde de sodium). Association de sodium ou d'alumine/sulfate d'aluminium et de chaux. Pour la fusion du cuivre, on peut obtenir une concentration de SO₂ de 500 mg/m³ dans les émissions au moyen d'un séparateur à couche filtrante avec injection de chaux. Brûleur bas-NOx Brûleur à oxygène Laveur oxydant Extracteur de brouillard Fusion d'aluminium exceptée. Confinement, condenseur, filtre au charbon et biofiltre Séparateur à couche filtrante Contrôle des températures Postcombustion Combustion optimisée Postcombustion suivie d'un refroidissement Absorption par charbon actif Catalyseur d'oxydation Laveur acide Captage et réutilisation Contrôle du procédé et réacteur étanche Laveur pour alumine Fusion de l'aluminium exceptée Les émissions de métaux sont fonction de la composition des poussières générées par le procédé industriel. Cette composition est variable, et elle est influencée par la source des poussières et par les matières premières traitées. 		

Source : Partiellement basé sur le document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non-ferreux, Commission européenne (2001). *Les émissions atmosphériques sont indiquées en moyennes journalières sur la base d'une surveillance continue et des conditions de type de 273 K, 101,3 kPa, teneur mesurée en oxygène et gaz sec sans dilution dans l'air. Lorsqu'une surveillance ne peut être assurée en continu, la moyenne des valeurs doit être calculée sur la période d'échantillonnage. Si des systèmes de pyrolyse et de nettoyage thermique (par exemple séchage de tourneurs et décapement) sont utilisés pour détruire les produits de combustion (par exemple les COV et les dioxines), la teneur en oxygène sec doit être de 6 %.

Tableau 2. Niveaux d'effluents dans la fusion et l'affinage du nickel, cuivre, plomb, zinc et aluminium

Polluant	Type de fusion	Unités	Valeur données dans les directives
pH	Tous	S.U.	6 - 9
Total matières en suspension	Tous	mg/l	20
DCO	Tous	mg/l	50
Fluorures	Aluminium	mg/l	5
Hydrocarbures	Aluminium	mg/l	5
Aluminium	Aluminium	mg/l	0,2
Cuivre (Cu)	Cuivre	mg/l	0,1
Plomb (Pb)	Cuivre, plomb & zinc	mg/l	0,1
Arsenic (As)	Cuivre, plomb & zinc	mg/l	0,05
Nickel (Ni)	Nickel, cuivre	mg/l	0,1
Cadmium (Cd)	Cuivre, plomb & zinc	mg/l	0,05
Zinc (Zn)	Cuivre, plomb & zinc	mg/l	0,2
Mercure (Hg)	Tous	mg/l	0,01
Augmentation de la température	Tous	°C	< 3 ^a
Toxicité	À déterminer au cas par cas		
Source : basé sur le document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux, Commission européenne (2001). À la limite d'une zone de mélange établie scientifiquement qui tient compte de la qualité de l'eau ambiante, de l'utilisation des eaux réceptrices, des récepteurs potentiels et de la capacité d'assimilation			

Tableau 3. Consommation d'énergie et d'eau

Type d'installation industrielle	Consommation d'énergie (GJ/t) ^a
Cuivre : production à partir de concentrés	14 – 20
Cuivre : électroaffinage	1.1 – 1.4
Production d'alumine	8 – 13.5
Production d'aluminium de première fusion (électrolyse, y compris production d'anodes)	53 - 61
Plomb : production primaire en four vertical	6.8 – 10.3 ^b
Plomb : production secondaire en four vertical	4.4 – 5.5 ^b
Plomb : four rotatif, production secondaire avec système CX et production de Na ₂ SO ₄	4.0 – 4.7 ^b
Plomb : procédé QSL	2.3 – 3.5 ^b
Plomb : procédé Kivcet	4.9 ^b
Plomb : convertisseur rotatif à soufflage par le haut	4.0 – 4.4 ^b
Zinc : électrolyse	15
Zinc : procédé imperial smelting & distillation en colonne New Jersey	44 ^b
Zinc : four Waelz	26 ^{b,c}
Zinc : scorification	7.7 ^{b,d}
Nickel : production de mattes à partir de minerais sulfurés contenant 4 à 15% Ni	25 – 65
Nickel : affinage	17 - 20
Type d'installation industrielle	Consommation d'eau (kg/t)
Productions d'alumine	1000 – 6000
Production d'aluminium de première fusion (électrolyse, y compris production d'anodes)	200 - 12000
Sources : Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie des métaux non ferreux, Commission européenne (2001). Notes : a Gigajoules (10 ⁹ Joules) par tonne métrique b Calculé d'après les volumes de coke, charbon, gaz naturel et énergie électrique utilisés et la puissance calorifique type des combustibles à base de pétrole. c par tonne d'oxyde produite par lixiviation dans un four Waelz d par tonne de scories	

2.2 Hygiène et sécurité au travail

Directives sur l'hygiène et la sécurité au travail

Les résultats obtenus dans le domaine de l'hygiène et de la sécurité au travail doivent être évalués par rapport aux valeurs limites d'exposition professionnelle publiées à l'échelle internationale, comme les directives sur les valeurs limites d'exposition (TLV®) et les indices d'exposition à des agents biologiques (BEIs®) publiés par American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)¹⁹, *Pocket Guide to Chemical Hazards* publié par United States National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH)²⁰ ²¹, les valeurs plafonds autorisées (PEL) publiées par Occupational Safety and Health Administration of the United States (OSHA)²², les valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif publiées par les États membres de l'Union européenne²³, ou d'autres sources similaires.

Fréquence des accidents mortels et non mortels

Il faut s'efforcer de ramener à zéro le nombre d'accidents du travail dont peuvent être victimes les travailleurs (employés et sous-traitants) dans le cadre d'un projet, en particulier les accidents qui peuvent entraîner des jours de travail perdus, des lésions d'une gravité plus ou moins grande, ou qui peuvent être mortels. Il est possible de comparer les chiffres enregistrés pour les installations des projets à ceux des pays développés opérant dans la même branche d'activité. Ces chiffres sont présentés dans des publications statistiques (par exemple US Bureau of Labor Statistics et UK Health and Safety Executive)²⁴.

Suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail

Il est nécessaire d'assurer le suivi des risques professionnels liés aux conditions de travail dans le cadre du projet considéré. Ces activités doivent être conçues et poursuivies par des experts agréés²⁵ dans le contexte d'un programme de suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail. Les installations doivent par ailleurs tenir un registre des accidents du travail, des maladies, des événements dangereux et autres incidents. De plus amples informations sur les programmes de suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail sont données dans les **Directives EHS générales**.

¹⁹ Disponible à l'adresse : <http://www.acgih.org/TLV/> et <http://www.acgih.org/store/>

²⁰ Disponible à l'adresse : <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

²¹ Consulter : <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

²² Disponible à l'adresse suivante : http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARD_DS&p_id=9992

²³ Consulter : http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

²⁴ Consulter : <http://www.bls.gov/iif/> et <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

²⁵ Les experts agréés peuvent être des hygiénistes industriels diplômés, des hygiénistes du travail diplômés, des professionnels de la sécurité brevetés ou tout titulaire de qualifications équivalentes.

3.0 Bibliographie et sources d'information supplémentaires

Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (OSHA). Occupational Exposure Limits. Disponible à : http://osha.europa.eu/good_practice/risks/ds/oel/

American Council of Government Industrial Hygienists (ACGIH). 2006. Threshold Limit Values (TLV) and Biological Exposure Indices (BEI). Cincinnati, OH. Disponible à : <http://www.acgih.org/TLV>

Ayres, R. U., L.W. Ayres et I. Rade. 2002. The Life Cycle of Copper, its Co-Products and By-Products. Mining, Minerals and Sustainable Development Report, International Institute for Environment and Development (IIED). Londres IIED. Disponible à : http://www.iied.org/mmsd/mmsd_pdfs/ayres_lca_main.pdf

Bergsdahl, H., A.H. Stomman, E.G. Hertwich. 2004. The Aluminum Industry. Environment Technology and Production. Disponible à : http://www.indecol.ntnu.no/indecolwebnew/publications/reports/rapport04/rapport8_04web.pdf

Commission européenne. 2001. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Non-Ferrous Metals Industries. Séville : EIPPCB. Disponible à : <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Environnement Canada. 2006. Environmental Code of Practice. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Base Metals Smelters and Refineries. Document EPS 1/MM/11E. Gatineau, Québec : Environment Canada. Disponible à <http://199.212.18.76/ceparegistry/documents/code/smelters/toc.cfm>

Indian Central Pollution Control Board (CPCB). National Air Quality Monitoring Programme (NAMP), National Ambient Air Quality Standards. Delhi : CPCB. Disponible à : <http://www.cpcb.nic.in/as.htm>

Organisation internationale de normalisation (ISO). ISO 14001 Environmental Management Systems Standards Disponible à : <http://www.iso.org/iso/en/stdsdevelopment/whowhenhow/how.html>

Price, L. Worrell, J.S., Sinton, J et J. Yun. 2001. Industrial energy efficiency policy in China. The Proceedings of the 2001 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Disponible à : <http://ies.lbl.gov/iespubs/50452.pdf>

Ressources naturelles Canada. 2006. Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries. In Partnership with the Canadian Foundry Association. Disponible à : <http://oe.nrcan.gc.ca/cipec/ieep/newscentre/foundry/index.cfm?attr=24>

Société financière internationale (IFC) - Groupe de la Banque mondiale. 2006a. Draft General Environmental Health and Safety Guidelines. Disponible à : http://www.ifc.org/ifcext/policyreview.nsf/Content/EHSGuidelinesUpdate_Comments

The Nickel Institute. 2003. Lifecycle Assessment Data. Overall Inventories and Potential Impacts : Ferronickel, Nickel Oxide, and Class I Nickel. Dernière révision 31 octobre 2003. Disponible à : http://www.nickelinstitute.org/index.cfm?ci_id/317.htm

U.S. National Institute of Environmental Health Sciences. 2002. EMF Questions and Answers. EMF Rapid. Electric and Magnetic Fields Research and Public Information and Dissemination Program. Disponible en ligne à : <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/booklet>.

Indian Central Pollution Control Board, Environmental Standards, Inorganic Chemical Industry, Wastewater Standard. Disponible à : <http://www.cpcb.nic.in/index.php>

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2005. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. NIOSH Publication No. 2005-149. Disponible à : <http://www.cdc.gov/niosh/npgl/>

Norgate, T. E. & Rankin, W. J., 2002. 'An Environmental Assessment of Plomb and Zinc Production Processes', Proceedings, Green Processing 2002, International Conference on the Sustainable Processing of Minerals, mai 2002, pp 177-184. Disponible à : http://www.minerals.csiro.au/sd/CSIRO_Paper_LCA_PbZn.pdf

Occupational Health and Safety Administration (OHSA). 2006. Standards – 29 CFR TABLE Z-1 Limits for Air Contaminants. - 1910.1000 TABLE Z-1 Permissible Exposure Limits. Disponible à : http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

Occupational Health and Safety Administration (OHSA). Occupational Health and Safety Administration System 18001 Occupational Health and Safety Management System. Disponible à : <http://www.ohsas-18001-occupational-health-and-safety.com>

OMS - Organisation mondiale de la santé. 2005. Air Quality Guidelines Global Update. Genève : WHO. Disponible à : <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>

OMS. 2000. Air Quality Guidelines for Europe. 2nd Edition. Genève : OMS. <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>

UK Health and Safety Executive. 2006a. Health and Safety Commission. Health and Safety Statistics 2005/06. Disponible en ligne à : <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

UK Health and Safety Executive. 2006b. Health and Safety Commission. Statistics of Fatal Injuries 2005/06. Disponible à : <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

Union européenne. 1999. Directory of Community Legislation. EurLex. EU Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for dioxyde de soufre, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and plomb in ambient air. Brussels : EU. Disponible à : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0030:EN:HTML>

United Kingdom (UK) Department of Environment Food and Rural Affairs. 2000. The Air Quality Strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland. January 2000. Working Together for Clean Air. Disponible à : <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/strategy/strategy.htm>

United States (US) Department of Labor. 2003. Bureau of Statistics. Injuries, Illness and Fatalities Program. Table R8. Incidence rates for nonfatal occupational injuries and illnesses involving days away from work per 10,000 full-time workers by industry and selected events or exposures plumbing to injury or illness, 2003. Disponible à : <http://www.bls.gov/iif/oshwc/osh/case/ostb1386.pdf>

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 2006a. Air Toxics. Final Rules. Emission Standards for Hazardous Air Pollutants. Washington : US EPA. Disponible à : <http://www.epa.gov/ttn/atw/macfnlalph.html>

US EPA. 1999. Final Rule. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants Primary Lead Smelting. Washington : US EPA. Disponible à : <http://www.epa.gov/ttn/atw/plombp/plombppg.html>

US EPA. 2000. Federal Register Effluent Limitations Guidelines 40 CFR 125.30 - 125.32. Effluent Limitations Guidelines, Pretreatment Standards, and New Source Performance Standards for the Commercial Hazardous Waste Combustor Subcategory of the Waste Combustors Point Source Category. Washington : US EPA. Disponible à : <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WATER/2000/January/Day-27/w2019.htm>

US EPA. 2002. Final Rule. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting-Final rule. Washington : US EPA. Disponible à : <http://www.epa.gov/ttn/atw/copper/copperpg.html>

US EPA. 2005. Final Rule National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Aluminum Reduction Plants : Final rule ; amendments. Washington : US EPA. Disponible à <http://www.epa.gov/ttn/atw/alum/alumpg.html>

US EPA. 2006b. Proposed National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources : Polyvinyl Chloride & Copolymers Production, Primary Copper Smelting, Secondary Copper Smelting, & Primary Nonferrous Metals Zinc, Cadmium and Beryllium. Washington : US EPA. Disponible à : <http://www.epa.gov/ttn/atw/mactfnlalph.html>

Annexe A — Description générale des activités

Fusion et affinage des métaux de base

Les différentes étapes de la fusion et de l'affinage des métaux de base (cuivre, plomb/zinc et nickel)²⁶ sont similaires, et sont illustrées à la Figure A.1. Le procédé de fusion de l'aluminium est décrit plus loin dans cette annexe. Selon le type de minerai et sa teneur (par exemple les minerais sulfurés ou latéritiques), différents résidus de métal peuvent être présents, notamment l'or, l'argent, le cadmium, l'arsenic, le sélénium, etc., et peuvent faire l'objet d'une coproduction par récupération. Une description succincte de chaque étape du procédé est présentée ci-dessous :

Prétraitement

Les opérations de prétraitement consistent à concentrer le minerai par broyage et séchage des concentrés sous forme de boues, puis à trier/séparer les rebuts qui serviront de charge d'alimentation lors d'un traitement secondaire.

Grillage

Le grillage est un procédé pyrométallurgique lors duquel les concentrés sont chauffés/séchés et oxydés afin d'obtenir une teneur en soufre jugée optimale pour la fusion. On procède à un grillage incomplet pour préparer des sulfures de cuivre et de nickel en vue de la fabrication de mattes ; en effet, le grillage complet qui élimine les sulfures permet de produire des oxydes métalliques en vue 1) d'une réduction au carbone ou au monoxyde de carbone, ou 2) d'une lixiviation à l'acide sulfurique suivi d'un électroaffinage. Le dioxyde de soufre libéré pendant le grillage est récupéré sous forme d'acide sulfurique ou de dioxyde de soufre liquéfié si l'opération est rentable ; à défaut, le

dioxyde de soufre est éliminé par épuration des gaz d'échappement.

Fusion

La fusion est une opération qui consiste à produire du métal fondu et permet de séparer les métaux de valeur des autres métaux moins recherchés et des impuretés au moyen d'un procédé appelé fluxage. Les concentrés de métaux résultant du grillage sont chargés dans un four avec des fondants, des combustibles et de l'oxygène. La combustion et l'oxydation qui se produisent dans le four entraînent la fusion des métaux et leur séparation partielle. La fusion permet de produire des mattes fondues (cuivre, nickel, zinc) ou des lingots (plomb) de métaux concentrés. Les mattes peuvent être coulées en barres, et laissées à refroidir avant un traitement complémentaire. Les gaz libérés par le procédé sont soutirés par les conduites d'évacuation ou la toiture du four, puis traités pour en extraire le dioxyde de soufre, les particules, les fumées, etc. Les scories sont généralement traitées afin de récupérer tout résidu des métaux de valeur.

Convertissage

Le convertissage est une opération visant à éliminer les résidus de soufre et de fer dans les mattes de cuivre et de nickel. Les déchets métalliques à forte teneur peuvent également être traités dans des convertisseurs. Les gaz de procédé sont refroidis, puis purifiés dans des épurateurs pour en extraire les particules. Il existe des convertisseurs continus et discontinus ; les convertisseurs continus assurent un soutirage plus efficace des gaz de procédé et permettent d'utiliser de l'oxygène au lieu d'air, avec pour effet une forte concentration de dioxyde de soufre qui peut être récupéré pour produire de l'acide sulfurique.²⁷ Les mattes (cuivre-sulfure de fer) coulées pendant

²⁶ Environnement Canada – Code de pratique environnementale, Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Fonderies et affineries de métaux de base.

²⁷ Les métaux assez volatils tels que le zinc et le plomb peuvent également être récupérés dans les gaz de procédé.

la fusion sont chargées dans les convertisseurs où le métal fondu s'oxyde en présence de l'air pour éliminer le fer et les impuretés de soufre (scories de convertisseur). Les oxydes forment des scories qui sont écumées. Les scories présentant de fortes concentrations de cuivre/nickel générées pendant le convertissage sont renvoyées à l'étape de fusion pour récupérer le cuivre et le nickel. Avant d'être évacuées, les scories peuvent être traitées dans un four électrique afin de récupérer le nickel.

Affinage au feu ou affinage des anodes

L'affinage au feu permet d'éliminer les impuretés, et de réduire les niveaux de soufre et d'oxygène du cuivre boursoufflé avant l'étape de moulage ou d'électroaffinage. Le cuivre boursoufflé est encore affiné, sous forme de cuivre affiné au feu ou de cuivre anodique (Cuivre pur à 99,5%) en vue d'un nouvel affinage électrolytique. Le cuivre boursoufflé en fusion est chargé dans un four d'affinage au feu, éventuellement avec un fondant, et de l'air est envoyé à travers le mélange en fusion pour éliminer tout résidu de soufre. L'air soufflé laisse un résidu d'oxygène qui est éliminé par ajout de gaz naturel, de propane, d'ammoniaque ou de bois. Le cuivre affiné au feu est moulé en anodes en vue d'un nouvel affinage électrolytique ou coulé sous différentes formes pour être vendu.

Électroaffinage

L'électroaffinage est employé dans l'affinage du cuivre, du nickel et du plomb pour purifier le métal. Une cellule électrolytique dont le métal constitue l'anode est utilisée pour dissoudre le métal dans un électrolyte aqueux acide ou dans du sel fondu. Le métal pur est protégé par une électrodéposition ou disposé sur des plaques qui tiennent lieu de cathodes. Les impuretés métalliques se dissolvent dans l'électrolyte ou sont précipitées formant généralement une boue. La boue générée par le procédé contient des métaux de valeur qui sont récupérés. Les dépôts de cathodes sont moulés en différentes formes. Les solutions électrolytiques impures sont purifiées,

puis renvoyées dans le procédé d'électroaffinage. Les impuretés enlevées sont retraitées pour récupérer les métaux de valeur.

Affinage au carbonyle

L'affinage au carbonyle est utilisé pour affiner l'oxyde de nickel brut. Du monoxyde de carbone est ajouté à l'oxyde de nickel brut, et du nickel carbonyle se forme sous l'effet d'une forte pression. Le nickel carbonyle est hautement volatil, ce qui lui permet de se séparer des impuretés solides, et il est récupéré dans les vapeurs gazeuses. L'augmentation de température libère du monoxyde de carbone, et de la poudre ou des boulettes de nickel pur sont formées. Le monoxyde de carbone contenu dans les gaz dégagés est recyclé dans le procédé.

Lixiviation

La lixiviation, qui intervient avant l'affinage et l'électroextraction, consiste à réduire le métal contenu dans le minerai/concentrés au moyen d'acide ou d'autres solvants. Le métal utilisé pour la lixiviation est généralement oxydé. Les minerais sulfurés sont moins fréquemment traités par lixiviation, car ils exigent diverses conditions favorisant l'oxydation. La solution obtenue, appelée liqueur-mère, subit une extraction par solvants, puis elle est purifiée avant électroextraction et affinage.

Électroextraction

L'électroextraction est un procédé d'affinage du cuivre et du nickel qui consiste à récupérer les métaux dissous dans la liqueur-mère pendant la lixiviation. La solution électrolytique purifiée obtenue par lixiviation est placée dans des cellules électrolytiques contenant des anodes inertes et des cathodes cibles. Un courant électrique est envoyé dans la cellule, entraînant le dépôt des ions métalliques dissous sur la cathode. L'électroextraction génère du gaz, des brouillards chimiques et des électrolytes épuisées (qui sont renvoyées au stade de lixiviation pour être réutilisées). On peut alors les vendre telles quelles, ou en extraire le métal pour le fondre et le mouler.

Coulée

Dans l'étape de coulée, le métal est fondu et transite par un four d'attente avant d'être versé dans une machine de coulée où il est moulé selon diverses formes. La coulée peut être exécutée en continu ou par lots. Dans la coulée stationnaire, on utilise une roue comportant une série de moules refroidis par des jets d'eau. La coulée en continu permet de produire des fils ou barres métalliques. Les tubes sont produits par extrusion dans des billettes chauffées. Les feuillards et gâteaux sont préchauffés et roulés en feuilles et bandes. Les lingots sont produits à l'aide d'un procédé à moules fixes.

Fabrication d'aluminium

La production d'aluminium commence par l'extraction et l'enrichissement de la bauxite. À la mine, la bauxite passe dans un concasseur, le minerai concassé est ensuite trié et stocké en vue de sa livraison à l'usine d'alumine. Dans certains cas, il subit un enrichissement (lavage, classement par tailles, la séparation des liquides et solides) pour éliminer les matières indésirables comme l'argile et la silice.

À l'usine d'alumine, la bauxite est à nouveau broyée et/ou réduite à la granulométrie voulue pour faciliter l'extraction d'alumine par digestion dans une liqueur chaude d'hydroxyde de sodium. Après élimination du mélange d'oxydes de métaux appelé « boue rouge » et des fines contenues dans la liqueur, les cristaux d'hydroxyde d'aluminium sont précipités et calcinés dans des fours rotatifs ou dans des fours de calcination à lit fluidisé pour produire de l'alumine. Certains procédés comportent une étape de purification de la liqueur.

L'aluminium de première fusion est produit par électrolyse de l'alumine. L'alumine fondue est dissoute dans un bain de cryolite (Na_3AlF_6) et un courant électrique est envoyé dans le bain, entraînant la dissociation de l'alumine qui se transforme en aluminium liquide à la cathode et en oxygène à l'anode. L'oxygène réagit ensuite au charbon de l'électrode, produisant

du dioxyde de carbone et du monoxyde de carbone.

L'aluminium fondu s'amasse au fond de creusets ou de cellules individuelles d'où il est ôté par pompage sous vide. Cette électrolyse est reproduite à grande échelle dans de multiples creusets reliés en série et génère un puissant champ magnétique dans l'installation.

La ferraille, les copeaux et les écumages servent à la production d'aluminium de deuxième fusion. Le prétraitement de la ferraille par déchiquetage, tamisage, séparation magnétique, séchage, etc. a pour but d'éliminer les substances indésirables qui ont une incidence sur la qualité de l'aluminium ainsi que sur les émissions atmosphériques. Le principal procédé utilisé pour la production d'aluminium de deuxième fusion est la fusion en four rotatif sous une couche de sel. Il est possible de traiter et de réutiliser les scories de sel. Les autres procédés, comme la fusion dans des fours d'induction et dans des fours à soles, exigent peu, voire pas de sel, avec une demande énergétique moindre. Toutefois, ils ne conviennent que pour la ferraille à forte teneur. En fonction de l'application souhaitée, un affinage supplémentaire peut s'avérer nécessaire

Figure A.1 : Modules de fusion et d'affinage

