

Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour les fonderies

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

Les Directives EHS pour les fonderies présentent des informations relatives aux projets et aux usines qui produisent des moulages en métaux ferreux (fer et acier) et non ferreux (principalement aluminium, cuivre, zinc, plomb, étain, nickel, magnésium et titane). Les métaux non ferreux sont coulés en alliages qui peuvent combiner différents métaux mais aussi inclure plus de quarante autres éléments, de sorte qu'il est

possible de fabriquer une vaste gamme d'alliages non ferreux. Les présentes directives se rapportent aux produits moulés en sable, notamment la préparation et la régénération du sable de moulage, et la coulée de l'aluminium, du zinc et du magnésium sous haute et basse pression. Elles couvrent aussi la technologie Disamatic (DISA). En revanche, elles ne couvrent pas les processus supplémentaires auxquels les produits semi-finis sont soumis. Ce document se compose des sections ci-après :

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

On trouvera dans la section ci-dessous un résumé des problèmes environnementaux, sanitaires et sécuritaires posés par les fonderies durant la phase opérationnelle, ainsi que des recommandations quant à leur gestion. Les recommandations relatives à la gestion des questions communes à la plupart des projets de grande envergure figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.1 Environnement

Les questions environnementales qui se posent dans cette branche d'activités rentrent principalement dans les catégories suivantes :

- Émissions atmosphériques
- Déchets solides
- Eaux Usées
- Bruit

Émissions atmosphériques

Poussières et matières particulaires

Des poussières et des matières particulaires sont générées à chaque stade des processus, et contiennent des niveaux variables d'oxydes minéraux, de métaux (principalement le manganèse et le plomb) et d'oxydes métalliques. Les émissions de poussière proviennent des processus thermiques (p. ex., les fours de fusion) et chimiques/physiques (p. ex., le moulage et la production de noyaux), et des actions mécaniques (p. ex., la manipulation des matières premières, en particulier le sable, et les processus de démoulage et de finition).

Les mesures de prévention et de maîtrise des émissions fugitives de poussières recommandées consistent, notamment, à :

- utiliser des systèmes de transport pneumatiques, en particulier pour transférer et ajouter les additifs dans l'aire de transformation ;
- utiliser des transporteurs fermés munis de dispositifs de piégeage des poussières aux points de transfert, surtout pour le transfert du sable dans l'atelier de moulage ;
- nettoyer les bandes de retour des convoyeurs pour enlever les particules de poussière libres ;
- conserver les stocks de matériaux à l'intérieur d'un bâtiment couvert ou, si cela n'est pas possible, utiliser un système d'aspersion d'eau, des dépoussiérants, des brise-vent, et d'autres techniques de gestion des stocks ;
- entreposer les matériaux pulvérulents en vrac dans des silos fermés ;
- assurer un entretien et un nettoyage réguliers des installations pour réduire au minimum les petites fuites et les déversements.

Au stade de la fusion, les émissions de matières particulaires (MP) sous forme de poussières, de matériaux métalliques, et de vapeurs d'oxyde métallique dépendent du type de four, du combustible, du métal qui doit être fondu et des caractéristiques de fusion. Ce sont les cubilots qui produisent le plus de matières particulaires (tels que coke, cendres volantes, silice, rouille et carbonate de calcium). Les fours à arc électrique (FAE) génèrent aussi d'importantes quantités de matières particulaires aux stades de l'enfournement, du début de fusion, de l'injection d'oxygène, et de la décarburation. D'autres types de fours de fusion, en particulier les fours à induction, affichent des taux d'émissions moins élevés. Les émissions par charge de la fusion des métaux vont de valeurs insignifiantes pour certains métaux non ferreux à plus de 10 kilogrammes la tonne (kg/t) pour la fonte fondue dans un cubilot².

Les techniques recommandées pour prévenir la pollution consistent, notamment, à :

- Utiliser des fours à induction dans la mesure du possible ;
- Éviter l'emploi de fours à sole pour fondre l'acier car cette utilisation n'est plus considérée comme une bonne pratique ;
- Éviter d'employer la technologie habituelle du cubilot. Si des cubilots doivent être utilisés, il importe d'adopter des techniques améliorées pour accroître le rendement énergétique du four et réduire la charge de coke, en particulier :
 - recourir à l'injection d'oxygène ou d'air enrichi ;
 - surchauffer l'air soufflé dans les cubilots à vent chaud ;
 - utiliser un cubilot sans coke là où la charge de métal est chauffée par la combustion de gaz naturel.

- Adopter des technologies qui permettent de diminuer la consommation d'énergie dans les fours de fusion (p. ex., installation de brûleurs à oxygène/combustible, pratique du laitier moussant dans les fours à arc électrique, ou injection d'oxygène, le cas échéant) ;
- Installer des hottes pour capter les gaz d'échappement des cubilots et des hottes fermées pour les fours à arc électrique (FAE) ; couvrir les extractions des fours à induction afin de réduire les émissions fugitives. L'installation d'un système de hottes adapté au niveau des fours peut permettre de capter jusqu'à 98 % des poussières qu'ils émettent³ ;
- Recourir à des techniques de dépoussiérage, qui donnent généralement lieu à l'installation de filtres à sac et de cyclones pour maîtriser les émissions produites par les processus de fusion. Il est possible d'utiliser des dépoussiéreurs par voie humide pour capter les composés solubles dans l'eau (comme le dioxyde de soufre (SO₂) et les chlorures). L'adoption de cyclones pour un prétraitement et l'emploi de filtres à sac permettent généralement de ramener les niveaux d'émission à 10 mg/Nm³ ou moins⁴.

Le sable, qui est utilisé en grande quantité pour les coulées en moule perdu, génère de la poussière aux différentes étapes de moulage, et produit des particules non métalliques, des particules d'oxyde métallique et du fer métallique. Les particules non métalliques sont émises aux stades du moulage, du démoulage et des opérations de finition.

Les techniques recommandées pour la prévention et le maîtrise des émissions de matières particulaires lors de la coulée et du moulage consistent, notamment, à :

² Commission européenne. 2005. Prévention et contrôle intégrés de la pollution (IPPC). Document de référence sur les MTD (BREF) dans le secteur des forges et fonderies

³ CE BREF (2005)

⁴ Ibid.

- Faire appel à des techniques de captage de la poussière par voie sèche (p. ex., des filtres à sac et des cyclones), plutôt qu'à des dépoussiéreurs par voie humide, en particulier dans les usines de préparation de sable vert. Les techniques par voie sèche permettent également de facilement collecter, transporter et remettre la poussière dans le processus de mélange du sable ; ce système évite de générer des effluents, ce qui n'est pas le cas pour les dépoussiéreurs par voie humide ;
- Équiper de filtres les dispositifs d'aspiration, en particulier dans les ateliers de coulée et de finition ;
- Procéder au nettoyage par aspiration dans l'atelier de moulage et de coulée ;
- Installer des unités de dépoussiérage fermées dans les aires de travail.

Oxydes d'azote

Les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) sont causées par la température élevée des fours et l'oxydation de l'azote. Les techniques visant à empêcher et à maîtriser la génération de NO_x figurent dans les **Directives EHS générales**. Il est possible de réduire les émissions en modifiant les processus primaires et en adoptant des techniques secondaires de réduction des émissions aux points de rejet. Les mesures de prévention et de maîtrise de la pollution consistent à :

- Réduire le plus possible le rapport air/combustible dans le processus de combustion ;
- Procéder à l'enrichissement à l'oxygène dans le processus de combustion ;
- Installer des brûleurs à faible NO_x dans les fours à combustible, dans la mesure du possible ;
- Mettre en place des contrôles secondaires (principalement pour les cubilots, les fours à arc électrique et les fours

rotatifs), un incinérateur catalytique, par exemple, si nécessaire⁵.

Oxydes de soufre

La présence d'oxydes de soufre (SO_x) dans les gaz résiduaux qui proviennent des fours de fusion dépend de la teneur en soufre du combustible et du coke résultant des opérations de transformation. Les émissions d'oxyde de soufre (SO₂) proviennent des gaz résiduaux dans les cubilots et les fours rotatifs. Les autres sources d'émission sont, notamment, les processus de durcissement au gaz lors de la fabrication des moules et des noyaux avec du sable lié chimiquement et de la fusion au magnésium (Mg).

Les techniques de prévention et de maîtrise de la pollution ayant pour objet de réduire les émissions de SO₂ consistent, notamment, à :

- Choisir des stocks d'alimentation et des ferrailles à faible teneur en soufre ;
- Utiliser un combustible à faible teneur en soufre, comme le gaz naturel ;
- Installer des systèmes d'épuration des gaz par voie humide en amont des épurateurs par voie sèche pour avoir un système spécial de système de captage et de dépoussiérage.

Monoxyde de carbone

Les sources les plus significatives de monoxyde de carbone (CO) sont les effluents gazeux des cubilots et des fours à arc électrique. La présence de CO dans les effluents gazeux des cubilots est due au processus de fusion en cubilot lui-même. Dans les fours à arc électrique, le monoxyde de carbone provient de l'oxydation des électrodes de graphite et du carbone du bain de métal durant les phases de fusion et d'affinage. Des

⁵ Ibid.

émissions de monoxyde de carbone se produisent également lorsque les moules en sable et les noyaux entrent en contact avec le métal liquide pendant la coulée du métal.

Les techniques de prévention et de maîtrise de la pollution recommandées pour réduire les émissions de monoxyde de carbone consistent, notamment, à :

- Installer des fours à induction ;
- Améliorer le rendement thermique du processus (p. ex., en injectant de l'oxygène ou en utilisant des brûleurs à oxygène/combustible dans les cubilots) ;
- Adopter des pratiques qui permettent d'obtenir un laitier moussant dans le procédé du four à arc électrique ;
- Prévoir une chambre de postcombustion dans les unités de dépoussiérage des gaz résiduaux pour les cubilots et les fours à arc électrique ;
- Entourer les lignes de coulée du métal d'extracteurs.

Chlorures et Fluorures

De petites quantités de chlorures et de fluorures sont présentes dans les gaz résiduaux des fours de fusion et sont générées par le fondant. Des mesures doivent être prises pour prévenir et maîtriser les émissions de chlorure et de fluorure dans le cadre des processus de dépoussiérage par voie sèche ou d'épuration par voie humide adoptés pour maîtriser les émissions de matières particulaires et d'oxyde de soufre.

Composés organiques volatils (COV) et autres polluants atmosphériques dangereux

Les émissions de composés organiques volatils, qui comprennent principalement des solvants (p. ex., le BTEX - benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes) et d'autres produits organiques (p. ex., les phénols et le formaldéhyde) proviennent principalement de l'utilisation des résines, des solvants organiques, ou des revêtements à base organique,

durant la fabrication des moules et des noyaux. Des émissions de polluants atmosphériques dangereux (PAD) organiques peuvent être également libérées au cours de la coulée, du refroidissement, et du démoulage des moules en sable vert ou des moules qui ont servi dans les procédés de durcissement à froid ; elles résultent de la décomposition thermique des composés organiques (additifs carbonés contenus dans les moules en sable vert et divers liants) au cours de la coulée du métal.⁶

Les systèmes en boîte froide qui mettent à contribution des solvants organiques peuvent générer des émissions de COV lors de la production et du stockage des noyaux. Les émissions d'amines sont les plus importantes et peuvent poser un risque parce qu'elles ont un seuil de détection olfactive très faible et que leur valeur limite d'exposition est relativement faible. Des polluants atmosphériques potentiellement dangereux sont émis lorsque des systèmes de liant chimique sont utilisés au cours des opérations de durcissement, de revêtement et de séchage, y compris le formaldéhyde, le méthylène diphenyl disocyanate (MDI), l'alcool isopropylique, le phénol, les amines (p. ex., le triéthylamine), le méthanol, le benzène, le toluène, le crésol/l'acide crésylique, la naphthaline, ainsi que d'autres produits organiques polycycliques et des composés du cyanure.

Pour empêcher et maîtriser la pollution due aux composés organiques volatils et aux autres émissions de polluants atmosphériques dangereux, il convient de⁷ :

- Réduire le plus possible l'utilisation de liants et de résines en optimisant le déroulement des processus et la manipulation des matériaux au cours des opérations de mélange et en contrôlant la température ;
- Optimiser le contrôle de la température durant la fabrication des noyaux ;

⁶ CE BREF (2005)

⁷ Ibid.

- Remplacer les revêtements à base d'alcool (p. ex., l'alcool isopropylique) par des revêtements à base d'eau ;
- Employer des solvants non aromatiques (p. ex., des esters méthyliques d'huile végétale ou des esters méthyliques) dans la production des boîtes à noyaux ;
- Minimiser le gaz de séchage utilisé pour les « liants en boîte froide » ;
- Enclorre les machines de moulage ou de noyautage et les aires d'entreposage temporaire ;
- Mettre en œuvre des systèmes à boîte froide (p. ex., adsorption sur charbon actif, incinération, lavage chimique ou biofiltration) pour traiter les amines épuisées ;
- Recourir à des systèmes de collecte (p. ex. des hottes fermées) pour capter les composés organiques volatils qui résultent de la préparation du sable lié chimiquement, en plus des activités de coulée, de refroidissement et de démoulage. Procéder à l'adsorption sur charbon actif, l'oxydation catalytique, ou la biofiltration, selon les besoins.

*Dioxines et furannes*⁸

Des émissions de dibenzo-p-dioxines et de dibenzofurannes polychlorés (dioxines et furannes, ou PCDD/F) peuvent résulter des processus de fusion. Dans les fonderies de métaux ferreux, les dioxines peuvent être générées dans les cubilots, les fours à arc électrique et les fours rotatifs. Des PCDD/F peuvent être produits si des ions chlorure, des composés chlorés, du charbon organique, des catalyseurs, de l'oxygène et certains niveaux de température sont présents simultanément dans le processus métallurgique. Le risque de formation de dioxines dans les fonderies de métaux non ferreux est très faible.

Les principales techniques de prévention des émissions de dioxines au cours de la phase de fusion consistent à procéder à la postcombustion des gaz d'échappement du four à une température supérieure à 1 200°C, et à maximiser la durée du

traitement à cette température. Le processus doit s'achever par une trempe rapide afin de réduire le plus possible le temps passé aux températures favorables à la reformation de dioxines. Il est également recommandé de :

- Utiliser des ferrailles propres pour la fusion ;
- Injecter des poudres additives (p. ex. des charbons actifs) dans le flux de gaz pour adsorber les dioxines, et retirer la poussière en la filtrant au moyen de filtres en tissu ;
- Installer des filtres en tissu comportant un système d'oxydation catalytique.

Métaux

Les émissions de métaux doivent être maîtrisées durant le processus de fusion et de coulée. Des émissions de métaux peuvent être occasionnées par la volatilisation et la condensation des métaux au cours de la coulée du métal liquide dans les moules. Les particules présentes dans les fonderies de métaux ferreux peuvent contenir des métaux lourds tels que le zinc (principalement lorsque des ferrailles d'acier galvanisé sont utilisées), le cadmium, le plomb (p. ex., en provenance des ferrailles peintes), le nickel et le chrome (ces deux derniers dans le cadre de la production d'acier moulé allié), selon la nuance d'acier produite et les ferrailles utilisées.

Les particules associées à la production de métaux non ferreux peuvent contenir du cuivre, de l'aluminium, du plomb, de l'étain et du zinc. La présence de métal dans les émissions de particules peut être particulièrement significative au cours des activités d'alliage et pendant l'introduction d'additifs. Par exemple, l'addition de magnésium à du métal liquide pour produire de la fonte ductile peut produire une réaction qui libère des oxydes de magnésium et des émanations métalliques.

Des techniques de réduction de la poussière hautement efficaces (qui sont examinées dans la section « Poussière et matières particulaires » de la présente directive) doivent être

⁸ CE BREF (2005)

appliquées pour maîtriser les émissions de particules métalliques. Les émissions métalliques gazeuses doivent être maîtrisées par des purificateurs par voie sèche et semi-sèche, et des techniques de réduction de la poussière.

Gaz à effet de serre (GES)

Le processus de fonderie est un gros consommateur d'énergie et un émetteur de quantités notables de bioxyde de carbone (CO₂), principalement associé à la combustion de carburant. Le processus de fusion est celui qui utilise la plus grande partie de l'énergie (entre 40 et 60 % de tout l'apport énergétique). L'apport d'énergie pour la fusion est compris entre une charge de métal de 500 à 1 200 kilowatt heures par tonne (kWh/t) pour les métaux ferreux, et une charge de métal de 400 à 1 200 kWh/t pour l'aluminium.

Les méthodes recommandées pour prévenir et maîtriser les émissions de bioxyde de carbone (CO₂)⁹ consistent, notamment, à :

- Remplacer les cubilots conventionnels par des cubilots à induction, sans coke, ou par des fours de type cubilot à injection d'oxygène. Utiliser des fours à induction à moyenne fréquence ;
- Limiter la consommation d'énergie et augmenter le rendement énergétique en prenant en premier lieu des mesures qui consistent, sans s'y limiter, à :
 - assurer un isolement adéquat des surfaces pour limiter la dispersion de la chaleur ;
 - veiller à maintenir le ratio air/combustible correct pour diminuer l'excès de CO₂ ;
 - mettre en place des systèmes de récupération de la chaleur ;
 - utiliser des propriétés thermiques des gaz résiduaux, par le biais d'un échangeur de chaleur adéquat pour

produire de l'eau chaude, de l'air chaud et/ou de la vapeur.

- Appliquer les meilleures technologies de combustion disponibles (p. ex., enrichissement à l'oxygène de l'air de soufflage, préchauffage de la charge et contrôle automatique des paramètres de combustion) ;
- Établir des procédures d'exploitation et d'entretien des équipements, et éviter les charges partielles de matériaux ;
- Préchauffer les ferrailles avant leur utilisation ;
- Réduire la consommation de combustible aux stades du chauffage des poches et du traitement thermique du métal liquide, en procédant à la récupération des gaz de combustion et/ou en contrôlant le processus de combustion ;
- Choisir un combustible dont la teneur en carbone est faible par rapport à sa valeur calorifique (comme le gaz naturel [CH₄]). Les émissions de bioxyde de carbone qui proviennent de la combustion du gaz naturel sont inférieures d'environ 60 % aux émissions générées par le charbon ou le coke de pétrole ;
- Des informations supplémentaires sur la gestion des gaz à effet de serre sont données dans les **Directives EHS générales**.

Déchets solides

Les déchets solides comprennent les déchets de sable, les scories qui proviennent de la désulfuration et de la fusion, les poussières collectées à l'intérieur des systèmes de maîtrise des émissions, les déchets réfractaires, et les liqueurs et boues d'épuration (voir la section sur « Les eaux usées » de la présente directive).

Les techniques générales de gestion des déchets générés par les fonderies comprennent la sélection, la conception et la construction d'aires de stockage pour les métaux, les déchets de poussière des filtres, les déchets réfractaires, les scories et

⁹ Ibid.

les déchets de sable, compte dûment tenu des conditions géologiques et hydrogéologiques du site pour prévenir toute contamination par lixiviation de métaux lourds. Les points de transbordement et les aires de stockage des produits chimiques (p. ex. pour les résines et les liants) doivent être conçus de manière à minimiser les risques de déversement. Des recommandations supplémentaires sur la gestion des déchets solides et dangereux, et des matériaux dangereux figurent dans les **Directives EHS générales**.

Déchets de sable

Les déchets de sable dans les fonderies qui utilisent des moules en sable sont importants en volume. Le moulage et le sable à noyau constituent entre 65 à 80 % de l'ensemble des déchets des fonderies de métaux ferreux.¹⁰ Le sable lié chimiquement utilisé pour fabriquer des noyaux ou des coquilles de moulage est plus difficile à réutiliser efficacement et peut devenir un déchet après un seul emploi. Les déchets de sable qui proviennent des fonderies de cuivre et de bronze sont souvent dangereux et doivent être éliminés en conséquence.

Les mesures recommandées pour la prévention et la dépollution des déchets de sable consistent, notamment, à¹¹:

- Réutiliser le sable dans la fonderie, dans toute la mesure du possible ;
 - il importe d'envisager de réutiliser le sable en dehors de la fonderie (p. ex., en tant que matériau pour le béton et le pavage, et pour la fabrication de briques, de matériau de remblayage en béton et de remblais pour les constructions) ;
 - le sable vert de fonderie doit être réutilisé une fois retiré de la pièce de métal et régénéré. Les méthodes de récupération du sable consistent à procéder à une

régénération primaire (p. ex., vibration, tambour rotatif ou grenailage) et à une régénération secondaire (p. ex., transformation du sable pour enlever les liants résiduels, traitements mécaniques et thermiques à froid, ou épuration par voie humide. Le sable lié chimiquement est régénéré dans des unités de traitement thermique).

Poussières provenant des équipements de réduction de la poussière

Les poussières retenues par les dispositifs de maîtrise des émissions peuvent contenir du zinc, du plomb, du nickel, du cadmium, du cuivre, de l'aluminium, de l'étain, du chrome et d'autres métaux, et peuvent être considérées comme des déchets dangereux. Dans les fonderies de métaux non ferreux, ces poussières contiennent souvent des niveaux suffisants de métaux pour rendre la récupération des métaux faisable d'un point de vue économique. Les poussières des filtres doivent être recyclées dans les fours, dans toute la mesure du possible. Ce recyclage permet de récupérer les métaux en retransformant les poussières et, par conséquent, de minimiser les déchets qui sont mis en décharge.

Scories

Les scories ont souvent une composition chimique complexe et contiennent une variété de contaminants qui proviennent des métaux des ferrailles. Elles peuvent constituer environ 25 % des déchets solides produits par une fonderie. Les composants des scories sont généralement des oxydes métalliques, des réfractaires fondus, du sable et des cendres de coke (le cas échéant). Des fondants peuvent être également ajoutés pour faciliter le retrait des scories du four. Les scories peuvent être dangereuses si elles contiennent du plomb, du cadmium ou du

¹⁰ US EPA Office of Compliance. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry

¹¹ Ibid.

chrome provenant de la fusion de l'acier ou de métaux non ferreux.¹²

Les scories doivent faire l'objet des mesures de prévention et de maîtrise de la pollution suivantes :

- La production de scories doit être réduite le plus possible par des mesures d'optimisation des processus qui consistent à :
 - trier les ferrailles pour améliorer la qualité des métaux et réduire le potentiel d'émissions et de génération de scories contaminées. Les ferrailles qui ont pour origine des produits électroniques, les ferrailles peintes, et les ferrailles en provenance des véhicules usagés sont des sources potentielles de contamination et doivent être examinées et triées soigneusement ;
 - abaisser les températures de fusion des métaux ;
 - optimiser l'utilisation des fondants et des revêtements réfractaires.
- Les scories doivent être réutilisées et les métaux de valeur extraits. En fonction de leurs caractéristiques, les scories peuvent servir à fabriquer des blocs, à construire la couche de base des routes et être utilisés comme granulats grossiers.

Traitement des boues

Les boues issues du traitement des eaux usées peuvent contenir des métaux lourds (p. ex., du chrome, du plomb, du zinc et du nickel), de l'huile et de la graisse. Une petite partie desdites boues peut être recyclée dans la fonderie mais la majeure partie doit être mise en décharge. Le potentiel de lixiviation des métaux est significatif et doit être évalué compte tenu des possibilités de réutilisation et d'évacuation dans des

décharges équipées de membranes d'étanchéité pour décharges contrôlées. La réutilisation des boues peut nécessiter une étape de prétraitement qui donne généralement lieu à des opérations de pressage, de séchage et de granulation. Des recommandations pour la gestion des boues dangereuses sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Déclassement des déchets

Les questions environnementales propres aux activités concernées soulevées lors du déclassement se rapportent à la manipulation et à l'élimination des matériaux d'isolement contenant de l'amiante et à la contamination des sols/des eaux souterraines, notamment au niveau des aires de stockage du charbon et des matières premières. Il importe de prévenir l'apparition de problèmes en appliquant de saines pratiques environnementales, telles qu'elles sont décrites dans les présentes directives. Des recommandations sur la manière de gérer les conséquences de problèmes éventuels de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Eaux Usées

Effluents industriels

Dans les fonderies, l'eau est principalement utilisée par les systèmes de refroidissement des fours électriques (à induction ou à arc) et des cubilots, et par les systèmes de dépoussiérage par voie humide. La plupart des fonderies gèrent les ressources en eau en réinjectant l'eau dans les circuits de l'usine, et elles ne génèrent donc qu'un faible volume d'eaux résiduelles. Les techniques de dépoussiérage par voie humide peuvent accroître la consommation d'eau dont le rejet doit donc être géré. Au stade de la fabrication des noyaux, lorsque des épurateurs sont utilisés, les solutions d'épuration provenant du noyautage en boîte froide et en boîte chaude contiennent des amines et des phénols biodégradables. La coulée sous haute pression produit un courant d'eaux usées qu'il faut traiter pour en retirer les

¹² US EPA Office of Compliance. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry

composés organiques (p. ex., le phénol, l'huile) avant de les rejeter. Les eaux usées résultant du refroidissement des moules à l'eau peuvent contenir des métaux et des solides en suspension. Des eaux usées contenant des solides en suspension et dissous et ayant un pH faible peuvent également résulter de l'emploi de noyaux de sel solubles. Certaines opérations de finition telles que la trempe et l'ébavurage peuvent aussi produire des eaux usées contenant des niveaux élevés d'huile et de solides en suspension.¹³

Les techniques de prévention recommandées pour les effluents d'eaux usées des fonderies consistent, notamment, à :

- Mettre en place des circuits fermés pour refroidir l'eau afin de réduire la consommation et le rejet d'eau ;
- Recycler l'eau récupérée des tonneaux rotatifs par sédimentation ou la centrifugation, suivie d'une filtration ;
- Stocker les ferrailles et les autres matériaux (p. ex., le charbon et le coke) en les couvrant et/ou dans des aires dotées d'un système de confinement pour limiter la contamination des eaux de pluie et faciliter la collecte des eaux de drainage.

Traitement des eaux usées industrielles

Les techniques de traitement des eaux usées industrielles pour la branche d'activité concernée comprennent, entre autres, 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 bacs à graisses, des écrémeurs ou 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 ; iii) l'élimination des nutriments biologiques en vue de la réduction des quantités d'azote ; et iv) 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 installations devraient satisfaire aux critères définis par les valeurs des décharges des eaux usées portées dans le tableau pertinent de la section 2 du 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**. 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**.

Les eaux de ruissellement provenant des aires de stockage du charbon risquent d'être contaminées par des lixivats hautement acides contenant des hydrocarbures aromatiques polycycliques

¹³ US EPA Office of Compliance. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry

(HAP) et des métaux lourds. Les mesures recommandées pour cette branche d'activité consistent, notamment, à :

- Paver les aires de transformation, tenir séparées les eaux de pluie contaminées et celles non contaminées, et mettre en œuvre des procédures d'intervention en cas de déversements. Faire passer les eaux de pluie provenant des aires de transformation dans le système de traitement des eaux usées ;
- Concevoir le système de collecte des lixiviats et l'emplacement des installations de stockage du charbon de manière à éviter les impacts sur les sols et les ressources en eau. Les aires de stockage du charbon doivent être pavées pour confiner les eaux de pluie potentiellement contaminées qui doivent être prétraitées et traitées dans le système de traitement des eaux usées.

Bruit

Les processus des fonderies génèrent du bruit au niveau de diverses opérations, comme la manipulation des ferrailles, l'alimentation des fours et la fusion dans les fours à arc électrique, les brûleurs à combustibles, le démoulage et le moulage par injection/les machines à tirer les noyaux, et les systèmes de transport et de ventilation. Les mesures recommandées pour gérer le bruit consistent, notamment, à :

- Fermer et/ou isoler les bâtiments dans lesquels se trouvent les aires de transformation ;
- Couvrir et fermer les aires de stockage et de manipulation des ferrailles, ainsi que les espaces consacrés aux opérations de démoulage et de piquage ;
- Confiner les ventilateurs, isoler les tuyaux de ventilation et utiliser des régulateurs ;
- Adopter des mesures de gestion imposant, en particulier, des restrictions aux activités de manipulation et de transport des ferrailles pendant la nuit.

Les mesures visant à réduire le bruit doivent permettre d'atteindre les niveaux de bruit ambiant qui figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.2 Hygiène et sécurité au travail

Les questions relatives à l'hygiène et à la sécurité au travail durant la construction, l'exploitation, la maintenance et la fermeture des installations de fonderie sont communes aux établissements industriels de grande envergure et leur prévention et leur maîtrise sont examinées dans les **Directives EHS générales**.

D'autres questions liées à l'hygiène et à la sécurité au travail peuvent se poser dans le cadre des activités de fonderie, qui concernent les domaines suivants :

- Risques corporels
- Exposition à des matières radioactives
- Risques respiratoires
- Risques dus à l'électricité
- Bruit
- Risque d'ensevelissement
- Incendies et explosions

Risques corporels

Les recommandations pour la prévention et la gestion des risques corporels sont présentées dans les **Directives EHS générales**. Les risques corporels propres à cette branche d'activité sont examinés ci-après.

Les risques corporels dans les fonderie peuvent résulter de la manipulation de matières premières et de produits de grande dimension, lourds et brûlants (p. ex., alimentation des fours) ; d'accidents faisant intervenir des engins mécaniques de transport lourds (p. ex., trains, camions et chariots élévateurs à fourche) ; de blessures causées lors des opérations de broyage

et de découpage (p. ex., contact avec des matériaux de ferraille éjectés par les machines-outils) ; et de chutes d'une position élevée (p. ex., plateformes surélevées, échelles et escaliers).

Soulèvement / déplacement de charges lourdes

Le soulèvement et le déplacement de charges lourdes à une certaine hauteur au moyen de plateformes hydrauliques et de grues présentent un risque important au travail. Les mesures recommandées pour prévenir et gérer les blessures auxquelles sont exposés les travailleurs consistent, notamment, à :

- Poser des panneaux de signalisation bien en évidence dans tous les couloirs de transport et les aires de travail ;
- Concevoir et aménager les installations pour éviter les déplacements croisés dans le cadre des différentes activités et des processus de transformation ;
- Établir des procédures spécifiques pour la manipulation et le soulèvement de charges lourdes, notamment :
 - Description des charges à lever (dimensions, poids, position du centre de gravité) ;
 - Systèmes des élingues de levage des charges et connaissance des paramètres de résistance ;
- Assurer au personnel une formation portant sur la manipulation du matériel de levage et la conduite des systèmes de transport mécaniques ;
- Veiller à ce que les opérations des équipements de manutention fixes (p. ex., les grues, les plateformes élevées) ne se déroulent jamais au dessus des aires de travail et de pré-assemblage ;
- Manipuler les liquides chauds et les pièces métalliques de manière adéquate et utiliser des écrans de protection adaptés ;
- Ne procéder aux opérations de manutention de matériaux et de produits que dans des aires supervisées dont l'entrée

n'est autorisée qu'à certaines personnes, en prêtant une attention particulière à la proximité des câbles/des équipements électriques ;

- Entretien et réparer régulièrement les équipements de levage et de transport et les matériels électriques.

Manutention des produits

Les mesures de prévention et de gestion des blessures liées aux activités de manutention, de broyage et de découpage, et à l'utilisation des ferrailles consistent, notamment, à :

- Installer les machines-outils suffisamment loin des autres aires de travail et des voies de passage. Prévoir des postes de travail individuels fermés pour éviter les accidents lors du piquage ou de l'utilisation des broyeurs ;
- Inspecter et réparer régulièrement les machines-outils et en particulier, les écrans/barrières de protection et les dispositifs/ matériels de sécurité ;
- Installer des barrières le long de la plaque de transfert avec des grilles munies d'un dispositif de verrouillage qui ne permet aux barrières de s'ouvrir que lorsque la machine n'est pas en état de marche ;
- Fournir la formation nécessaire aux employés pour qu'ils emploient les machines-outils correctement et pour qu'ils se servent d'un équipement de protection individuel (EPI) adéquat.

Chaleur et éclaboussures de liquide chaud

Les températures élevées et le rayonnement infrarouge direct sont des sources de risque courantes dans les fonderies. Les températures élevées peuvent être cause de fatigue et de déshydratation. Le rayonnement infrarouge direct représente également un risque pour la vue. Le contact avec des métaux chauds ou de l'eau chaude peut provoquer des brûlures graves. Les mesures recommandées pour prévenir et gérer l'exposition

à la chaleur ainsi qu'aux liquides/matériaux chauds consistant, notamment, à :

- Installer des revêtements et des écrans de protection sur les surfaces chaudes à proximité desquelles les ouvriers travaillent et où se trouvent des matériaux chauds et des éclaboussures peuvent survenir (p. ex., les cubilots, les fours à arc électrique, les poches de métaux mis en fusion par induction, et la coulée) ;
- Définir des zones tampons de sécurité pour isoler les aires où des matériaux et des éléments chauds sont manipulés ou stockés temporairement. Installer des garde-corps autour de ces aires, dotées de grilles munies d'un dispositif de verrouillage pour contrôler l'accès à ces endroits durant le déroulement des opérations ;
- Utiliser un EPI approprié (p. ex., des chaussures et des gants isolants, des lunettes de protection contre le rayonnement infrarouge direct et ultraviolet, et des vêtements de protection contre l'exposition à la chaleur) ;
- Réduire le temps de travail dans les environnements à haute température. Prévoir des pauses régulières et un accès à de l'eau potable aux travailleurs qui travaillent dans des espaces chauds ;
- Assurer une circulation d'air refroidi adéquate pour éviter une température excessive.

Exposition aux rayonnements

Les travailleurs risquent d'être exposés à des rayons gamma et aux rayonnements ionisants correspondants. Les dispositions suivantes peuvent être mises en place pour limiter le risque d'exposition des travailleurs :

- Les tests aux rayons gamma doivent être effectués dans une aire supervisée dont l'entrée est limitée à certaines personnes, au moyen d'un collimateur équipé d'un écran

de protection. Aucune autre activité ne doit avoir lieu dans l'aire où les tests sont réalisés ;

- Toutes les ferrailles arrivant à la fonderie doivent être assujetties à un test de radioactivité avant de pouvoir être utilisées dans les fours ;
- Si l'aire des essais est proche de la périphérie de l'usine, il convient d'envisager la possibilité de procéder aux essais par une méthode aux ultrasons au lieu d'utiliser des rayons gamma ;
- Les équipements utilisés pour les essais, y compris les écrans de protection, doivent être entretenus et réparés régulièrement.

Risques respiratoires

Matériaux d'isolation

Les fonderies utilisent des matériaux d'isolation de manière généralisée ; la manutention de ces matériaux durant les activités de construction et de maintenance peut libérer des fibres et présente donc un risque pour l'hygiène au travail. L'amiante et d'autres fibres minérales largement utilisées dans les usines construites il y a un certain temps peuvent exposer les ouvriers au risque d'inhalation de substances cancérigènes. Afin de limiter les émissions, il est nécessaire d'adopter des pratiques de travail adaptées compte tenu des matériaux considérés.

Poussière et gaz

Les poussières générées dans les fonderies se composent de poussières ferreuses et métalliques, présentes dans les ateliers de fusion, de coulée et de finition ; et de poussières de bois et de sable, dans les ateliers de moulage. Dans le premier cas, les travailleurs sont exposés aux poussières d'oxyde de fer et de silice qui peuvent être contaminées par des métaux lourds tels que le chrome (Cr), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le manganèse (Mn). Les poussières présentes dans les ateliers de

fusion et de coulée proviennent des opérations à haute température ; la petitesse des particules et les émanations métallurgiques qui peuvent se produire crée un grave risque d'inhalation. Dans les ateliers de moulage, les travailleurs sont exposés à la poussière de sable, qui peut contenir des métaux lourds, et à la faine de bois, qui peut avoir des propriétés carcinogènes, en particulier s'il s'agit de bois dur.

Les mesures recommandées pour prévenir une exposition au gaz et à la poussière consistent, notamment, à :

- Isoler et confiner les sources de poussière et de gaz ;
- Installer un système de ventilation qui maximise la circulation de l'air. L'air doit être filtré aux points de sortie avant d'être rejeté dans l'atmosphère ;
- Installer des dispositifs locaux de ventilation aspirante aux importantes sources d'émissions ponctuelles de poussière et de gaz, en particulier dans l'atelier de fusion ;
- Automatiser autant que possible les processus, en particulier le processus de piquage ;
- Installer une cabine fermée et climatisée équipée d'un filtre à air si la présence d'un opérateur est nécessaire ;
- Installer les aires de repas dans des zones distinctes et les équiper de sanitaires ;
- Installer des vestiaires pour permettre aux travailleurs de changer de vêtements et de prendre des douches /de se laver avant de prendre leur repas et à la fin de la journée de travail ;
- Établir un programme de visites médicales périodiques pour les membres du personnel ;
- Mettre en place des moyens technologiques de lutte contre les risques respiratoires lorsqu'une exposition est inévitable par d'autres moyens, par exemple dans le cadre de la fabrication de moules en sable, d'opérations manuelles comme le broyage ou l'utilisation de machines-

outils non confinées, et d'opérations de maintenance et réparation particulières.

Les mesures recommandées pour assurer la protection des voies respiratoires consistent, notamment, à :

- Porter des respirateurs à filtre dans les zones où les quantités de poussière produites sont très importantes (p. ex., les activités de piquage) ;
- Pour les poussières et gaz métalliques légers, utiliser des respirateurs alimentés en air frais. Sinon, des masques à gaz recouvrant tout le visage (ou des casques à air comprimé), avec un système de ventilation électrique, peuvent être utilisés ;
- Installer des équipements de détection monoxyde de carbone (CO) pour alerter les salles de contrôle et le personnel se trouvant à proximité. En cas d'intervention d'urgence dans les aires affichant des niveaux élevés de monoxyde de carbone, les travailleurs doivent être équipés de détecteurs de CO portables et de respirateurs à air frais.

Bruit

La manutention des matières premières et des pièces (p. ex, déchets métalliques, plaques, barres), le compactage du sable, la fabrication de modèles en bois, et les activités de piquage et de finition peuvent faire du bruit. Les mesures recommandées pour prévenir et maîtriser les émissions sonores sont examinées dans les **Directives EHS générales**.

Risques dus à l'électricité

Les travailleurs peuvent être exposés à des risques électriques en raison de l'omniprésence d'équipements électriques lourds dans les établissements de fonderie. Les **Directives EHS générales** fournissent des indications sur la prévention des risques corporels associés à l'électricité et sur la maîtrise de ces risques.

Risque d'ensevelissement

Les travailleurs qui confectionnent les moules en sable peuvent être ensevelis par suite d'un effondrement des piles de sable dans les aires de stockage et durant les opérations de maintenance. Les mesures de prévention d'ensevelissement sous le sable consistent, notamment, à respecter les normes de stockage des matériaux présentées dans les **Directives EHS générales**.

Explosions et incendies

La manutention du métal liquide peut provoquer un risque d'explosion, de déversement de métaux en fusion et de brûlures, en particulier si de l'air humide se trouve bloqué dans des espaces fermés et entre au contact avec le métal liquide. D'autres risques existent, par exemple le démarrage d'incendies causés par le métal fondu, et la présence de combustibles liquide et d'autres produits chimiques inflammables. Les scories des fonderies de fer peuvent aussi être hautement réactives si le fer est désulfuré au moyen de carbure de calcium.

Pour prévenir et gérer les explosions et incendies, les mesures recommandées consistent, notamment, à :

- Aménager les installations de manière à ce que les conduites de gaz inflammable et d'oxygène, et les réservoirs de stockage soient suffisamment éloignées des sources de chaleur ;
- Isoler les matériaux et liquides combustibles des aires où la température est élevée et des sources d'inflammation (comme les panneaux électriques);
- Protéger les conduites et les réservoirs de gaz inflammable et d'oxygène durant les activités de maintenance donnant lieu à un travail à haute température ;
- Des recommandations sur les mesures et les interventions d'urgence sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

1.3 Santé et sécurité de la population

Les impacts sur la santé et la sécurité de la population durant la construction, l'exploitation et la fermeture des fonderies sont communs à la plupart des établissements industriels et sont présentés, accompagnés de recommandations en matière de gestion, dans les **Directives EHS générales**.

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 relatives aux effluents et émissions dans la branche d'activité concernée. 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 réalisables, dans le cadre de conditions d'exploitation normales, dans les établissements conçus et exploités de manière appropriée qui appliquent les techniques de prévention et de contrôle de la pollution examinées dans les sections précédentes de ce document. Les directives concernant les émissions s'appliquent aux émissions industrielles. 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 MWth 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. Des niveaux de rejet propres à chaque site peuvent être définis en fonction des conditions d'utilisation des systèmes publics de collecte et de traitement des eaux d'égout, le cas échéant, ou, dans le cas des effluents rejetés directement dans les eaux de surface, sur la base de la classification des usages des ressources en eau décrites dans les **Directives EHS générales**. 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.

Suivi des impacts environnementaux

Des programmes de suivi des impacts environnementaux dans cette branche d'activité 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

Tableau 1 - Niveaux de référence des effluents des fonderies

Polluant	Unité	Valeur recommandée
pH	-	6-9
Solides suspendus totaux	mg/L	35
Huile et graisse	mg/L	10
Augmentation de la température	°C	3 ^a
DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGÈNE (DCO)	mg/L	125
Phénol	mg/L	1
Cadmium	mg/L	0,01
Chrome (total)	mg/L	0,5
Cuivre	mg/L	0,5
Plomb	mg/L	0,2
Nickel	mg/L	0,5
Zinc	mg/L	0,5
Étain	mg/L	2
Ammoniac	mg/L (en tant que N)	5
Fluorure	mg/L (en tant que F)	5
Fer	mg/L	5
Aluminium	kg/t	0,02 ^b
NOTES :		
a 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		
b Fusion et moulage de l'aluminium		

Tableau 2 – Niveaux des émissions atmosphériques pour les fonderies⁽¹⁾

Polluant	Unité	Valeur recommandée
Matières particulaires	mg/Nm ³	20 ⁽²⁾
		50 ⁽³⁾
Aérosol/nuage d'huile	mg/Nm ³	5
NO _x	mg/Nm ³	400 ⁽⁴⁾
		120 ⁽⁵⁾
		150 ⁽⁶⁾
SO ₂	mg/Nm ³	400 ⁽⁸⁾
		50 ⁽⁹⁾
		120 ⁽⁷⁾
COV	mg/Nm ³	20 ⁽¹⁰⁾
		30
PCDD/F	ng TEQ/ Nm ³	150 ⁽¹¹⁾
		0,1
CO	mg/Nm ³	200 ⁽¹²⁾
		150 ⁽¹³⁾
Amines	mg/Nm ³	5 ⁽¹⁴⁾
Chlore	mg/Nm ³	5 ⁽¹⁵⁾
Pb, Cd et leurs composés	mg/Nm ³	1-2 ⁽¹⁶⁾
Ni, Co, Cr, Sn et leurs composés	mg/Nm ³	5
Cu et leurs composés	mg/Nm ³	5-20 ⁽¹⁷⁾
Chlorure	mg/Nm ³	5 ⁽¹⁸⁾
Fluorure	mg/Nm ³	5 ⁽¹⁹⁾
H ₂ S	ppm v/v	5

NOTES :

- Conditions dans lesquelles les valeurs limites sont établies, pour référence : pour les gaz de combustion : conditions sèches, température 273K (0°C), pression 101,3 kPa (1 atmosphère), teneur en oxygène 3% dans des conditions sèches pour les carburants liquides et gazeux, 6% dans des conditions sèches pour les carburants solides. Pour les gaz non destinés à la combustion : pas de correction à la teneur en vapeur d'eau ou en oxygène, température 273K (0°C), pression 101,3 kPa (1 atmosphère).
- Émissions de matières particulaires là où des métaux toxiques sont présents
- Émissions de matières particulaires là où des métaux toxiques ne sont pas présents
- Fusion des métaux ferreux. Niveau maximum des émissions dans le cadre des meilleures techniques disponibles (MTD) basé sur l'utilisation d'un cubilot sans coke
- Fusion de métaux non ferreux (fours à cuve)
- En provenance des systèmes de récupération/unités de régénération thermiques du sable
- Niveau maximum des émissions dans le cadre des meilleures techniques disponibles (MTD) basé sur l'utilisation d'un cubilot à vent froid
- Fusion de métaux non ferreux (fours à cuve)
- Fusion de métaux ferreux (cubilots)
- Fusion de métaux non ferreux (fours à cuve)
- Fusion de métaux ferreux (fours à arc électrique [FAE]). Les cubilots peuvent avoir des niveaux d'émissions plus élevés (à hauteur de 1,000 mg/N₃)
- Fusion de métaux non ferreux (fours à cuve)
- Atelier de moulage en boîte froide et de fabrication des noyaux
- Fusion de métaux non ferreux aluminium
- Systèmes de récupération thermique du sable et opérations de revêtement, de moulage en carapace et de solidification de l'industrie de la fonderie à base de solvants et selon le procédé du moulage à moule perdu
- Valeur supérieure applicable aux fonderies de métaux non ferreux à partir de ferrailles
- Valeur supérieure applicable au cuivre et aux processus de production d'alliages de cuivre
- Émissions des fours là où des fondants à base de chlorure sont utilisés
- Émissions des fours là où des fondants à base de fluorure sont utilisés

de suivi et de tenue des statistiques et utilisant des instruments bien calibrés et entretenus. Les données produites par les activités de suivi doivent être analysées et examinées à intervalles réguliers et 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**

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 référence à des directives relatives 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)¹⁴ pocket guide to chemical hazards publié par united states national institute for occupational health and safety (NIOSH)¹⁵ les valeurs plafonds autorisées (PEL) publiées par occupational safety and health administration of the united states (OSHA)¹⁶ les valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif publiées par les états membres de l'union européenne¹⁷ et autres sources similaires.

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**.

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 d'installations de pays développés opérant dans la même branche d'activité présentés dans des publications statistiques (par exemple US Bureau of Labor Statistics et UK Health and Safety Executive)¹⁸.

Suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail

Il est nécessaire d'assurer le suivi des risques professionnels posés par les conditions de travail dans le cadre du projet considéré. Ces activités doivent être conçues et poursuivies par des experts agréés¹⁹ 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

¹⁴ Consulter : <http://www.acgih.org/tlv/> et <http://www.acgih.org/store/>

¹⁵ Consulter : <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

¹⁶ Consulter : http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARD&p_id=9992

¹⁷ Consulter : http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oe/

¹⁸ Consulter : <http://www.bls.gov/iif/> et <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

¹⁹ 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

Australian Government, Department of the Environment and Heritage. 2004. National Pollutant Inventory (NPI), Emission Estimation Technique Manual for Ferrous Foundries, Version 1.2. 3 septembre 2004. Canberra: Commonwealth of Australia. Disponible à http://www.npi.gov.au/handbooks/approved_handbooks/f2ferr.html

Commission européenne. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). 2005. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Best Available Technique Reference (BREF) Document on the Smitheries and Foundries Industry. Séville: EIPPCB. Disponible à <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining the Federal Immission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin: BMU. Disponible à http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php

Government of India Ministry of Environment & Forests, Central Pollution Control Board (CPCB). 2005. Annual Report 2004 - 2005. Delhi: CPCB. Disponible à <http://www.cpcb.nic.in/annualreport04-05/ar2004-ch10.htm>

Irish Environmental Protection Agency (EPA). 1996. BATNEEC Guidance Note Class 3.3 Ferrous Metals Foundries (Draft 3). Dublin: EPA Irlande. Disponible à <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>

Irish Environmental Protection Agency. 1996. BATNEEC Guidance Note Class 3.4 Recovery or Processing of Non Ferrous Metals (Draft 3). Dublin: EPA Irlande. Disponible à <http://www.epa.ie/Licensing/BATGuidanceNotes/>

North Carolina Department of Environment and Natural Resources (DPPEA). Primary Metals Ferrous and Non Ferrous Foundry. Disponible à <http://www.p2pays.org/ref/01/text/00778/chapter3.htm>

UK DEFRA. 2004. Secretary's State Guidance for Electrical, Crucible and Reverberatory Furnaces. Process Guidance Note 2/3 (04). Londres: DEFRA. Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

UK DEFRA. 2004. Secretary's State Guidance for Furnaces for the Extraction of Non Ferrous Metal from Scrap. Process Guidance Note 2/1 (04). Londres: DEFRA. Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

UK DEFRA. 2004. Secretary's State Guidance for Hot and Cold Blast Cupolas and Rotary Furnaces. Process Guidance Note 2/5 (04). Londres: DEFRA. Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

UK DEFRA. 2004. Secretary's State Guidance for Iron, Steel and Non Ferrous Metal Process. Process Guidance Note 2/4 (04). Londres: DEFRA. Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

UK DEFRA. 2004. Secretary's State Guidance for Metal Decontamination Processes. Process Guidance Note 2/9 (04). Londres: DEFRA. Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

UK DEFRA. 2004. Secretary's State Guidance for Processes Melting and Producing Aluminium and its Alloys. Process Guidance Note 2/6a (04). Londres: DEFRA. Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

UK DEFRA. 2004. Secretary's State Guidance for Zinc and Zinc Alloy Processes. Process Guidance Note 2/7 (04). Londres: DEFRA. Available at Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

UK Department of Trade and Industry (DTI) and Department of the Environment. Environmental Technology Best Practice Programme. Environmental Management Systems in Foundries. Londres: Administrations publiques du Royaume-Uni.

UK Department of Trade and Industry (DTI) and Department of the Environment. Environmental Technology Best Practice Programme. 1998. Optimising Sand Use in Foundries. Londres: Administrations publiques du Royaume-Uni.

UK Environment Agency. 2002. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Technical Guidance for Non Ferrous Metals and the Production of Carbon and Graphite. Version 1: Janvier 2002. Sector Guidance Note IPPC S2.03. Bristol: Environment Agency. Disponible à <http://www.environment-agency.gov.uk/business/444304/444369/673298/nfm/?version=1&lang=e>

UK Environmental Agency. 2001. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Interim Guidance for the Ferrous Foundries Sector. Sector Guidance Note IPPC S2.03. Bristol: Environment Agency.

United Kingdom (UK) Department for Environmental Food and Rural Affairs (DEFRA). 2004. Secretary's State Guidance for Copper and Copper Alloy Processes. Process Guidance Note 2/8 (04). Londres: DEFRA. Disponible à <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/LAPC/pgnotes/>

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 1995. Profile of the Nonferrous Metals Industry. EPA Office of Compliance Sector Note Book Project. EPA/310-R-95-010. Washington : US EPA. Disponible à <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notes/nonferrous.html>

US EPA. 2002. Beneficial Reuse of Foundry Sand: A Review of State Practices and Regulations. Sector Strategies Division, Office of Policy, Economics and Innovation in partnership with the American Foundry Society and the Association of State and Territorial Solid Waste Management Officials. Washington : US EPA. Disponible à <http://www.epa.gov/ispd/metalcasting/reuse.pdf>

US EPA. 1998. Profile of the Metal Casting Industry. EPA Office of Compliance Sector Note Book Project. EPA/310-R-97-004. Washington : US EPA. Disponible à <http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notes/casting.html>

US EPA. 1998. Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories and Emissions Factors. AP 42, Fifth Edition, Vol. 1 Chapter 12: Metallurgical Industry. Disponible à <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/ch12/index.html>

US EPA. 2004. Code of Federal Regulations (CFR) Title 40: Protection of the Environment. Part 63. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Iron and Steel Foundries. Washington, Office of the Federal Register. Disponible à http://epa.gov/ttncaaa1/t3/fr_notices/8287founddirin.pdf

US EPA. 2004. Environmental Management Systems (EMS) Implementation Guide for the Foundry Industry. Sector Strategies Division, Office of Policy, Economics and Innovation, in partnership with the American Foundry Society and Indiana Cast Metals Association. Washington : US EPA. Disponible à http://www.epa.gov/sectors/metalcasting/foundry_complete.pdf

Annexe A - Description générale des activités

Les fonderies produisent des fontes de métaux ferreux et non ferreux. Les fontes de métaux ferreux contiennent du fer et de l'acier, tandis que les fontes de métaux non ferreux sont principalement constituées d'aluminium, de cuivre, de zinc, de plomb, d'étain, de nickel, de magnésium et de titane. Les fontes sont produites par la fusion des métaux ferreux et non ferreux qui sont ensuite coulés dans des moules pour former des moulages. De nombreuses fonderies moulent les deux types de matériaux.

Les moulages de métaux ferreux comprennent généralement :

- La fonte grise, qui a de bonnes caractéristiques d'amortissement et d'usinabilité, mais une durabilité faible ;
- La fonte malléable, qui contient de petites quantités de charbon, de silicium, de manganèse, de phosphore, de soufre et d'alliages métalliques ;
- La fonte à graphite sphéroïdal (GS), obtenue en retirant le soufre de la coulée de fonte ;
- L'acier moulé au carbone (à teneur faible, moyenne, élevée en carbone), qui a une résistance mécanique, une ductilité, une résistance à la chaleur et une soudabilité supérieures à celles de la fonte.

La fonte de métaux non ferreux a pour objet de générer des produits présentant des propriétés déterminées, notamment des propriétés mécaniques, de résistance à la corrosion, d'usinabilité, de légèreté et de conductivité thermique et électrique déterminées.

Les fontes non ferreuses comprennent de nombreux composés non ferreux tels que : l'aluminium et les alliages d'aluminium ; le cuivre et les alliages de cuivre ; le zinc et les alliages de zinc ; le magnésium et les alliages de magnésium ; les alliages à base de cobalt ; le nickel et les alliages de nickel ; le titane et les

alliages de titane ; le zirconium et les alliages de zirconium ; et les composites à matrice métallique moulés.

Les alliages non ferreux courants comprennent : les alliages de cuivre et de zinc (laiton) ; les alliages de cuivre et d'étain (bronze) ; les alliages de nickel et de cuivre (monel/cupronickel) ; les alliages de nickel, de chrome et de fer (acier inoxydable) ; les alliages d'aluminium et de cuivre ; les alliages d'aluminium et de silicium ; les alliages d'aluminium et de magnésium ; et les alliages de titane.

Le procédé de fonderie

Différentes techniques de moulage peuvent être adoptées.

Toutes impliquent la construction d'un contenant (moule) dans lequel le métal en fusion est versé.

Le moulage compte deux principaux sous-groupes : le moulage dans des moules permanents et le moulage dans des moules non permanents. Le moulage dans des moules non permanents, qui utilise des « moules perdus » (comme les moules en sable) est caractéristique des fonderies de métaux ferreux mais est aussi utilisé pour le moulage de métaux non ferreux. Le moulage dans des moules permanents, qui est caractéristique des fonderies de métaux non ferreux, emploie des coquilles (pour un moulage sous pression, par exemple). Les moules perdus sont séparés du moulage et détruits au cours de la phase de démoulage, tandis que les moules permanents sont réutilisés. Pour chacun de ces deux types de coulée en moule, plusieurs options techniques peuvent être retenues, qui sont fonction des systèmes de mise en fusion, de moulage et de fabrication des noyaux, du système de coulée et des techniques de finition utilisées.

Le déroulement type des opérations de fonderie, qui est présenté dans la figure A.1, comporte les activités principales suivantes : mise en fusion et traitement des métaux dans

l'atelier de mise en fusion ; préparation des moules et des noyaux dans l'atelier de moulage ; coulée des métaux en fusion dans les moules, refroidissement pour solidification et retrait des produits moulés des moules dans l'atelier de coulée ; et finition du produit moulé à l'état brut dans l'atelier de finition.

Atelier de fusion

Différents types de fours de fusion et de traitement des métaux sont utilisés pour produire des matériaux ferreux et non ferreux, en fonction du type de métal concerné.

La fonte est généralement fondue dans des cubilots, des fours à induction (FI), des fours à arc électrique (FAE), ou des fours rotatifs. Les fours à induction (four à induction sans noyau pour la fonte et à induction pour le maintien) sont plus largement employés que les cubilots parce qu'ils sont nettement meilleurs pour l'environnement. Les fours à arc électrique (FAE) sont moins couramment employés.

L'acier coulé est généralement fondu dans des fours à arc électrique ou des fours à induction sans noyau. Le traitement métallique de l'acier coulé comprend des opérations de raffinage (p. ex., retrait du carbone, du silicium, du soufre et du phosphore) et de désoxydation, en fonction de la charge métallique et de la qualité requise pour le produit moulé.

Le métal fondu peut nécessiter des traitements tels que la désulfuration et le décarburage. Pour retirer les impuretés de la coulée, un fondant métallique est ajouté à la charge introduite dans le four ou au métal liquide. Le fondant s'unit aux impuretés pour former du laitier ou des scories qui sont retirés avant la coulée.

Cubilot

Le cubilot est le four généralement employé pour fondre la fonte, et est également le four utilisé de plus longue date par les fonderies. C'est un four à cuve cylindrique revêtu d'un matériau

réfractaire. Le four utilise du coke comme combustible et l'air de combustion. Le fer fondu coule dans le cubilot pendant que les gaz de combustion s'élèvent et s'échappent du four par sa cheminée. Au fur et à mesure que la fusion progresse, des nouveaux matériaux sont ajoutés en haut de la cheminée par une porte de chargement. Le fondant qui est ajouté se combine avec les impuretés non métalliques présentes dans le fer pour former des scories ; les scories sont plus légères que le fer fondu et flottent à la surface du métal fondu en le protégeant de l'oxydation. Le métal liquide est déchargé par un trou de coulée au niveau du lit de sable et collecté dans une poche et/ou un four de maintien. Les scories sont retirées par un orifice situé plus haut. Le coke représente entre 8 et 16 % de la charge totale utilisée pour fournir la chaleur nécessaire à la fonte du métal. Les capacités de fusion des cubilots sont généralement comprises entre 3 et 25 tonnes métriques à l'heure.

Les cubilots ont besoin d'une atmosphère réductrice pour empêcher l'oxydation du fer au fur et à mesure qu'il est fondu. L'oxydation est réduite au minimum par la présence de monoxyde de carbone (CO) dans le gaz de combustion (teneur en CO de 11 à 14 % environ). Il s'ensuit une utilisation inefficace de l'énergie que peut générer le coke, et d'importantes émissions de CO dans l'environnement. D'autres technologies peuvent être employées pour accroître l'efficacité des cubilots et réduire les émissions de CO. Elles consistent, notamment, à préchauffer l'air de combustion jusqu'à 600°C comme dans les cubilots à vent chaud²⁰ ; à enrichir l'air en oxygène ; ou à l'injection supersonique directe d'oxygène pur.

Le processus du cubilot génère également d'importantes émissions de particules. Les systèmes utilisés pour gérer les émissions sont généralement appelés à des épurateurs par voie humide qui consomment beaucoup d'énergie ou des systèmes de filtres à sac par voie sèche (filtre en tissu).

²⁰ BREF CE (2001) dans le secteur des forges et fonderies

Four à arc électrique (FAE)

Le four à arc électrique est un four discontinu souvent employé dans les aciéries de taille importante. Il est moins fréquemment employé pour produire de la fonte. Le FAE a la forme d'une poche. La chaleur nécessaire pour fondre le métal est produite par un arc électrique établi entre des électrodes préalablement placées au-dessus de la charge. Le four est déchargé par basculement, ce qui force le métal fondu à couler par le chenal de coulée. En face du chenal de coulée se trouve une porte qui peut être actionnée pour les opérations de décrassage ou d'échantillonnage.

Four à induction

Le four à induction (FI) est utilisé pour fondre les métaux ferreux et non ferreux. Le processus de fusion a lieu par le biais d'un puissant champ magnétique créé par le passage d'un courant électrique alternatif au travers d'un bobinage qui enveloppe le four et fait ainsi passer un courant électrique à travers le métal. La résistance électrique du métal produit de la chaleur, qui fait fondre le métal. Ce type de four assure un excellent contrôle métallurgique et il pollue relativement peu.

Les émissions atmosphériques les plus notables des fours à induction tiennent au degré de propreté de la charge qui produit des poussières et émanations (organiques ou métalliques). D'autres émissions proviennent des réactions chimiques au cours du maintien ou de l'ajustement de la composition du métal qui provoquent des émanations métallurgiques.²¹

Four à réverbère ou four à sole

Le four à réverbère ou le four à sole est utilisé pour la fusion discontinue des métaux non ferreux. C'est un four statique à chauffage direct, comportant une partie rectangulaire ou circulaire revêtue d'un matériau réfractaire pour les bains de

métaux et chauffée par des brûleurs installés sur les parois ou le toit du four. L'air chaud et les gaz de combustion des brûleurs sont envoyés sur la charge de métal et évacués à l'extérieur du four. Outre les brûleurs alimentés en combustible à base d'huile ou de gaz, des brûleurs à gaz peuvent également servir à accroître le taux de fusion. Ces fours sont généralement employés pour la production de petites quantités car il est difficile de contrôler les émissions.

Four creuset

Le four creuset est principalement employé pour fondre de petites quantités de métaux non ferreux. Le creuset, ou le récipient réfractaire, est chauffé dans un four alimenté au gaz naturel, avec un carburant liquide (p. ex., le propane) ou à l'électricité. Le creuset est incliné manuellement, avec une grue, ou automatiquement, pour verser le métal fondu dans le moule.²²

Four rotatif

Le four rotatif se compose d'un tambour dans lequel la charge métallique est chauffée par un brûleur situé sur un de ses côtés. Les gaz d'échappement quittent le four par le côté opposé. Une fois que le métal est fondu, après vérification et ajustement de sa composition, un trou de coulée est ouvert à l'avant du four et le métal en fusion dans le four est déchargé dans des sacs. Le four rotatif permet de fondre des volumes allant de 2 à 20 tonnes, et a généralement une capacité de production d'1 à 16 tonnes à l'heure. Il est souvent difficile de maîtriser les émissions.

Les fours rotatifs sont utilisés pour la fonte des métaux non ferreux depuis plusieurs années. Dans ce type de four, les brûleurs traditionnels qui fonctionnent à l'huile et à l'air peuvent fournir des températures de fusion relativement peu élevées. La mise au point de brûleurs à huile-air permet de les employer

²¹ BREF CE (2001) dans le secteur des forges et fonderies et US EPA Office of Compliance. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry

²² BREF CE (2001) dans le secteur des forges et fonderies

pour produire de la fonte en utilisant une plus grande quantité de ferrailles d'acier et en utilisant du graphite pour la carburation.

Four à cuve

Le four à cuve sert uniquement à la fonte des métaux non ferreux, principalement l'aluminium. C'est un four vertical simple, comprenant un foyer de récupération (à l'intérieur ou à l'extérieur du four), un système de brûleurs dans la partie inférieure, et un système de chargement des matériaux dans la partie supérieure. Les brûleurs sont généralement alimentés au gaz. Les gaz de combustion sont habituellement extraits et nettoyés. Un dispositif de postcombustion est parfois utilisé pour traiter le monoxyde de carbone, l'huile, les composés organiques volatils (COV) ou les dioxines produites.

Four à voûte radiante

Le four à voûte radiante est principalement utilisé dans les ateliers de coulée sous pression des métaux non ferreux (aluminium) qui possèdent des installations centralisées de mise en fusion. Le four à voûte radiante est un four de maintien à faible consommation d'énergie ; il comporte une boîte extrêmement bien isolée et des rangées de résistances dans un toit à charnière également isolé. Les unités ont généralement des capacités comprises entre 250 et 1 000 kilogrammes (kg).²³

Atelier de moulage

Avant de pouvoir couler le métal, un moule doit être créé dans lequel le métal en fusion est versé et refroidi. Le moule comprend généralement une partie supérieure et une partie inférieure, contenant la cavité dans laquelle le métal en fusion est versé pour produire un produit moulé. Pour obtenir des tunnels ou des trous dans le moule à l'état fini (ou pour mettre en forme l'intérieur du produit moulé ou la partie du produit moulé qui ne peut pas être mise en forme par le modèle), une

insertion en sable ou en métal, que l'on appelle le « noyau », est placée à l'intérieur du moule. Les matériaux employés pour fabriquer les moules dépendent du type de métal qui est coulé, de la forme recherchée pour le produit final, et de la technique de coulée. Les moules peuvent être classés en deux grandes catégories²⁴ :

- *Moules perdus (moules utilisés une seule fois)* : Ces moules sont fabriqués spécialement pour chaque coulée et sont détruits au cours du processus de démoulage. Ces moules sont généralement fabriqués en sable enrobé d'argile ou lié chimiquement, ou sont parfois non liés. Le moulage à modèle perdu (cire perdue) peut être aussi inclus dans cette catégorie ;
- *Moules permanents (moules à usage multiple)* : Ces moules sont utilisés pour la coulée gravitaire et sous faible pression, la coulée sous haute pression et la coulée centrifuge. Les moules permanents sont généralement en métal.

Le sable est le matériau de moulage le plus couramment utilisé. Les grains de sable sont liés les uns aux autres pour obtenir la forme recherchée. Le système de liant choisi dépend de facteurs tels que la taille du produit moulé, le type de sable employé, le taux de production, le métal coulé et les propriétés de démoulage. En général, les divers systèmes de liant peuvent être classés dans des catégories définissant les sables enrobés d'argile (sable vert) ou les sables liés chimiquement. Les différences qui existent entre les systèmes de liant peuvent avoir un impact sur la quantité et la toxicité des déchets générés et les émissions dans l'environnement.²⁵ Le sable vert, qui est un mélange de sable, d'argile, de matière carbonée et d'eau, est employé pour fabriquer les moules dans 85 % des fonderies. Le sable fournit la structure du moule, l'argile permet de lier le

²³ BREF CE (2001) dans le secteur des forges et fonderies

²⁴ Ibid.

²⁵ US EPA Office of Compliance. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry

sable, et les matières carbonées empêchent l'apparition de rouille. De l'eau est ajoutée pour activer l'argile. Le moule doit être sec, sinon, il crée un risque d'explosion. Le sable vert ne peut pas servir pas à former des noyaux car ces derniers doivent avoir des caractéristiques physiques différentes de celles des moules. Les noyaux doivent être suffisamment solides pour pouvoir résister au métal en fusion et compressibles pour pouvoir être retirés de la pièce de métal après le refroidissement. Les noyaux sont généralement fabriqués au moyen de sable de silice et de liants chimiques puissants placés dans une boîte à noyau. Le durcissement ou séchage du système de liant chimique s'obtient par réactions chimiques ou catalytiques, ou par un procédé thermique. Les noyaux en sable et les moules en sable lié chimiquement sont souvent traités avec un enduit noir, à base d'eau ou d'alcool, pour améliorer les caractéristiques de la surface. Parmi les avantages qu'ont les moules liés chimiquement sur les moules en sable vert, on peut citer : une plus grande durée de conservation pour les moules ; une température de coulée potentiellement moins élevée ; une stabilité dimensionnelle et une finition de surface meilleures pour les moules. Les inconvénients sont le niveau plus élevé des coûts en raison des produits chimiques et de l'énergie utilisés dans les processus ; une récupération du sable usagé plus complexe ; et les questions environnementales et de sécurité au travail posées par les émissions atmosphériques générées par les liants chimiques pendant le séchage et la coulée des métaux.²⁶

Le moulage au sable donne lieu à l'utilisation de grandes quantités de sable, avec des rapports de poids sable-métal liquide généralement compris entre 1 et 20. Après le processus de solidification, le moule est cassé et détaché de la pièce de métal durant le processus dit de « démoulage » qui consiste à secouer le moule pour le détacher des parties en métal. La

majeure partie du sable usagé des moules de sable vert est réutilisée pour fabriquer d'autres moules. Des mélanges de sable usé sont également souvent préparés pour créer des noyaux. Une partie du sable est cependant épuisée après un certain nombre d'utilisations et doit être éliminée. Pour cette raison, la fabrication des moules et des noyaux sont une source importante des déchets produits par les fonderies.

Le moulage à moule perdu, connu également sous le nom de processus à cire perdue, est un des procédés de fabrication les plus anciens. Il sert à fabriquer des pièces aux formes complexes ou des moulages en métal de haute précision. Un moule perdu s'obtient en entourant (en revêtant) un modèle, en cire ou thermoplastique, de boue qui se conforme à la forme du modèle et se fige ensuite pour former le moule perdu. Après avoir été séché, le modèle est brûlé ou fondu et retiré de la cavité du moule qui est alors prêt à être utilisé.

Les moules permanents en métal sont fréquemment employés dans les fonderies qui produisent de nombreux exemplaires d'une pièce donnée. Ils peuvent servir à mouler des métaux ferreux et non ferreux, à condition que le moule en métal ait un point de fusion plus élevé que le métal de moulage. On se sert de moules en métal pour le moulage gravitationnel, le moulage à basse et haute pression, et le moulage centrifuge. Les noyaux des moules permanents peuvent être fabriqués en sable, en plâtre, en métal malléable ou en sels solubles.

Atelier de coulée

La coulée du métal fondu est l'activité la plus notable du processus de moulage. Les systèmes de coulée diffèrent en fonction du moule et du type de métal utilisés pour le moulage. Le moule peut être rempli avec le métal liquide par gravité (moule perdu), ou par injection sous basse ou haute pression (moulage en matrice), ou par la force centrifuge. Un four de coulée est souvent utilisé dans les chaînes de coulée

²⁶ US EPA Office of Compliance. 1998. Sector Note Book Project: Profile of the Metal Casting Industry

automatiques.²⁷ Le four de coulée alimente automatiquement les moules des lignes de moulage et se remplit de métal liquide à intervalles fixes. Des colonnes et chenaux situés à l'intérieur du moule (« système de chenaux de coulée » ou « système d'attaque ») déterminent l'introduction et la distribution correctes du métal versé dans les moules. Le rétrécissement (la différence de volume entre le métal liquide et le métal solide) est compensé par la présence d'un réservoir d'alimentation adéquat (une « masselotte »). Une fois versée, la coulée est refroidie pour lui permettre de se solidifier (premier refroidissement) et elle est ensuite retirée du moule pour un refroidissement supplémentaire contrôlé (second refroidissement). Dans les fonderies qui utilisent le moulage au sable, les moules en sable entrent alors dans la phase de démoulage qui consiste à retirer les moules après la solidification de leur contenu. Pendant le démoulage, la poussière et la fumée sont collectées par des dispositifs de dépoussiérage. Les moules perdus et les coquilles de moulage sont détruites lors du retrait, créant des déchets solides. Lorsque la technique du moule permanent est utilisée, le moule (la matrice) est ouvert et le moulage en est extrait sans que le moule soit détruit après la solidification.²⁸ Certaines fonderies soumettent le sable des moules et des noyaux à un traitement thermique pour retirer les liants et les impuretés organiques, avant de l'acheminer vers les installations de fabrication des moules en vue de son recyclage.

Étant donné que divers additifs sont ajoutés pour fabriquer les moules et les noyaux ainsi que pour lier le sable lors de la coulée du métal, des produits de réaction et de décomposition, qui sont des composés organiques et inorganiques (amines et COV), se forment. Il s'agit. La génération des produits de décomposition (principalement des COV) se poursuit durant les opérations de coulée, de refroidissement et de retrait. Comme ces produits peuvent causer des risques sanitaires et émettre

des odeurs, il est nécessaire de les extraire et de nettoyer les gaz avant de les libérer.

Atelier de finition

Toutes les autres opérations nécessaires à la production des produits finis sont effectuées dans l'atelier de finition. En fonction du processus employé, diverses étapes peuvent être nécessaires telles que le retrait du système de chenaux de coulée et d'attaque, le retrait du sable de moulage résiduel de la surface et des restes de noyau dans les cavités de moulage, l'ébarbage, la réparation des erreurs de coulée, et la préparation du produit moulé pour le post traitement mécanique, le montage, le traitement thermique et l'application du revêtement.²⁹

La pièce de métal est nettoyée au moyen de grenaille d'acier, de grains d'abrasif, ou d'autres nettoyants mécaniques qui permettent d'enlever le sable de moulage et les bavures de métal ou d'oxyde restants. Des dispositifs de coupage à la flamme, et de coupage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air peuvent également être employés à ces fins. En général, le meulage des petites pièces s'effectue par tonnelage, dans un tambour rotatif ou vibrant. Cette opération donne généralement lieu à l'ajout d'eau qui peut contenir des agents de surface. Les matières et les oxydes réfractaires résiduels sont normalement retirés par un procédé de nettoyage au jet de sable ou de grenailles d'acier, qui peut être également utilisé pour donner au produit moulé une apparence de surface uniforme et améliorée. Un travail de soudure peut être nécessaire pour assembler les produits moulés et, également, pour réparer les défauts de moulage. Le nettoyage chimique des produits moulés peut se faire avant les opérations de revêtement, afin d'assurer que le revêtement adhèrera au métal.

²⁷ BREF CE (2001) dans le secteur des forges et fonderies

²⁸ Ibid.

²⁹ Ibid.

La technologie DISA

La technologie Disamatic (DISA) permet de produire des moules en sable vert par un procédé dans le cadre duquel les opérations de fabrication des moules et d'injection du métal s'effectuent automatiquement. Les moules DISA sont fabriqués au moyen d'une presse hydraulique, ce qui améliore la production et la qualité du sable compacté. Le procédé DISA permet de réaliser diverses configurations de moulage, y compris le moulage vertical, le moulage horizontal, et le moulage à plaque-modèle. La configuration du moulage vertical est celle qui est le plus souvent employée car elle permet de fabriquer des produits moulés à tolérances serrées. Dans ce type de processus, la chambre de moulage est mobile et est définie par deux plaques qui fonctionnent en sens opposé (plaque côté piston et plaque pivotante). Cela permet de compacter le sable injecté dans la chambre de moulage puis de l'extraire de la chambre.

La technologie DISA offre un moyen efficace de créer une chaîne de moules en motte (sans cadre en métal rigide ou en bois). Elle est généralement employée pour la production en série de produits moulés en aluminium ou en fer à tolérances serrées. Les questions environnementales soulevées par la technologie DISA sont les mêmes que celles qui se posent pour les autres procédés des fonderies de moulage de produits ferreux dans des moules en sable, mais ils sont normalement maîtrisés et gérés dans le cadre du système automatisé.

Figure A.1: Organigramme des opérations de fonderie

