

Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour la fabrication du ciment et de la chaux

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 la fabrication du ciment et de la chaux fournissent des renseignements utiles pour les projets de fabrication de ces produits. L'extraction des matériaux de construction, qui est une activité couramment associée aux projets de production de ciment, est couverte par les Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction.

L'annexe A présente une description complète de la branche

d'activités concernée. 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

Cette section résume les questions d'ordre environnemental, sanitaire et sécuritaire liées à la fabrication du ciment et de la chaux qui se posent au cours de la phase d'exploitation, et elle présente des recommandations sur la manière de les gérer. Les recommandations relatives à la gestion des questions EHS communes à la plupart des projets de grande envergure aux cours de leurs phases de construction et de fermeture figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.1 Environnement

Les questions environnementales liées aux projets de fabrication de ciment et de chaux portent principalement sur les aspects suivants :

- Emissions atmosphériques
- Consommation d'énergie et combustibles
- Eaux usées
- Production de déchets solides
- Bruit

Émissions atmosphériques

Les émissions atmosphériques issues de la fabrication du ciment et de la chaux sont générées par la manutention et le

stockage des matériaux intermédiaires et finaux, et par l'exploitation des systèmes de fours, des refroidisseurs à clinker et des broyeurs. Plusieurs types de fours sont actuellement utilisés pour la fabrication du ciment (four de préchauffage/précalcination, four de préchauffage, four long par voie sèche, par voie semi-sèche et par voie humide). Les fours de préchauffage/précalcination sont généralement préférés en termes de performance environnementale. Bien que les fours verticaux soient encore utilisés, ils sont généralement économiquement viables pour les usines de petite taille uniquement, mais sont progressivement abandonnés au fur et à mesure que les installations se renouvellent.

Pour la fabrication de la chaux, 4 principaux types de fours sont utilisés pour produire différents types (réactivité) de chaux vive : rotatif, droit (plus de 10 types), à grille roulante et à calcination avec mise en suspension par le gaz.

Les gaz d'échappement

Dans cette branche d'activité, les sources de combustion qui peuvent servir à produire de l'électricité sont nombreuses. Les directives concernant la gestion des émissions produites par les opérations de combustion des petites centrales ayant une puissance installée ne dépassant pas 50 mégawatts thermiques (mwth), y compris les normes d'émission relatives aux gaz d'échappement, figurent dans les **Directives EHS générales**. Les directives relatives aux émissions des centrales ayant une puissance installée supérieure à 50 MWth figurent dans les **Directives EHS pour l'électricité thermique**.

Les matières particulaires

Les émissions de matières particulaires (MP) comptent parmi les impacts les plus importants engendrés par la fabrication de ciment et de chaux. Les principales sources d'émissions de MP et les méthodes de prévention et de maîtrise préconisées pour chacune d'entre elles sont indiquées ci-après.

Pour les émissions de MP associées à la manutention et au stockage des matériaux intermédiaires et finaux (y compris le concassage et le broyage des matières premières), à la manutention et le stockage des combustibles solides, au transport des matériaux (p. ex., par camions ou bandes transporteuses), et aux activités d'ensachage, les techniques de prévention et de dépollution recommandées consistent, notamment, à :

- définir une configuration simple et linéaire pour les opérations de manutention des matériaux, afin de limiter le nombre de points de transfert ;
- utiliser des bandes transporteuses fermées pour le transport des matériaux, et des dispositifs de contrôle des émissions aux points de transbordement ;
- nettoyer les bandes de retour des systèmes de bandes transporteuses ;
- stocker les matières premières concassées et qui ont subi un mélange préalable dans des **baies** couvertes ou fermées ;
- stocker le charbon et le coke de pétrole pulvérisés dans des silos ;
- emmagasiner les combustibles issus de déchets dans des aires protégées du vent et des autres éléments météorologiques ;
- entreposer le clinker dans des baies couvertes/fermées, ou dans des silos munis de systèmes automatiques d'extraction de la poussière ;
- stocker les ciments dans des silos équipés de systèmes automatiques pour prélever le matériau en vrac à partir du stock et le charger dans les camions-citernes ;
- placer les particules de chaux vive qui ont été passées au crible dans des **trémies** ou des silos, et conserver les poudres fines de chaux hydratée dans des silos scellés ;
- mettre en application des mesures pour assurer que des activités de maintenance et un bon entretien ménager

s'effectuent régulièrement dans l'usine, afin de pouvoir limiter au minimum les fuites d'air et les déversements à petite échelle ;

- manipuler les matériaux (p. ex., dans le cadre des opérations de concassage et de broyage des matières premières et pour la mouture du clinker) dans des systèmes fermés maintenus sous une pression négative par des ventilateurs aspirants. Collecter l'air de ventilation et retirer la poussière en utilisant des cyclones et des filtres à sac ;
- recourir à des systèmes automatiques de remplissage et de manipulation des sacs, si possible, en prévoyant notamment de :
 - utiliser une machine rotative de remplissage des sacs, munie d'un dispositif automatique d'alimentation en sacs en papier et de maîtrise des émissions fugitives ;
 - disposer d'un système automatique de contrôle du poids de chaque sac déchargé ;
 - se servir de bandes transporteuses pour acheminer les sacs vers la machine de palettisation ;
 - installer les palettes terminées dans des baies couvertes, pour leur expédition ultérieure.

Pour les émissions de matières particulaires associées à l'exploitation des systèmes de fours, des refroidisseurs de clinker et des broyeurs, et également aux activités de brûlage du clinker et du calcaire, les techniques de prévention de la pollution et de dépollution recommandées, qui s'ajoutent à la nécessité d'assurer la bonne marche des fours,² consistent, notamment, à :

- capturer les poussières des fours et des refroidisseurs en utilisant des filtres, et recycler les particules récupérées dans le flux d'alimentation du four et dans le clinker, respectivement ;

² La bonne marche des fours implique que les conditions de fonctionnement des fours sont maintenues à un niveau optimum de manière régulière.

- utiliser des précipitateurs électrostatiques (PES) ou des systèmes de filtres en tissu (filtres à sac) pour collecter et maîtriser les MP ;³
- diriger les gaz des refroidisseurs vers des cyclones dans un premier temps, pour en retirer les grosses particules, puis dans des filtres en tissu ;
- récupérer la poussière des broyeurs en utilisant des filtres en tissu⁴, et la recycler à l'intérieur des broyeurs.

Oxydes d'azote

Les émissions d'oxyde d'azote (NO_x)⁵ sont générées au cours des processus de combustion à haute température qui se déroulent dans les fours à ciment. Les techniques suivantes de prévention et de maîtrise des émissions de NO_x, qui s'ajoutent à la nécessité d'assurer la bonne marche des fours, sont recommandées :

- maintenir une distribution d'air secondaire aussi minime que possible (p. ex., réduction de l'oxygène) ;
- refroidir la flamme en ajoutant de l'eau au combustible, ou directement sur la flamme (p. ex., diminution de la température et augmentation de la concentration de radical hydroxyle). La pratique du refroidissement de la flamme peut avoir un impact négatif sur la consommation de combustible, qu'elle risque d'accroître dans une proportion comprise entre 2 et 3 %, entraînant un accroissement proportionnel des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) ;
- utiliser des brûleurs à faible émission de NO_x pour éviter des points chauds d'émissions localisés ;

³ Bien que les PES soient fiables dans des conditions d'exploitation normales, il existe des risques d'explosion lorsque les concentrations de monoxyde de carbone (CO) dans le gaz brûlés du four sont supérieures à 0,5 %. Pour empêcher ces risques, les opérateurs doivent assurer la gestion et le contrôle appropriés et constants des processus de combustion, y compris la surveillance continue des niveaux de CO, particulièrement au cours du démarrage du four, afin de pouvoir couper automatiquement l'électricité en cas de besoin.

⁴ Les PES ne sont pas appropriés pour le dépolluage des broyeurs.

⁵ L'oxyde nitrique représente plus de 90 % des émissions de NO_x.

- élaborer un processus de combustion étagée⁶, tel qu'il est applicable dans les fours de préchauffage/précalcination et les fours de préchauffage ;
- Fabrication de la chaux : La production d'oxyde d'azote (NO_x) est généralement plus faible dans le cadre de la fabrication de la chaux, que pour la fabrication du ciment. Étant donné que le calcaire brûle habituellement à des températures inférieures, les émissions de NO_x à partir de cette source sont plus faibles et peuvent être maîtrisées en utilisant des brûleurs à faible émission de NO_x.

Dioxydes de soufre

Les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) issues de la fabrication du ciment sont principalement associées à la teneur en soufre volatil ou réactif des matières premières⁷ et, certes dans une moindre mesure, à la qualité des combustibles utilisés pour produire de l'énergie. Les techniques de prévention et de maîtrise des émissions de SO₂, qui s'ajoutent à la nécessité d'assurer la bonne marche des fours, consistent, notamment, à :

- utiliser des broyeurs verticaux, et y faire transiter les gaz pour récupérer l'énergie et réduire la teneur en soufre du gaz. Dans le broyeur, le gaz contenant de l'oxyde de soufre se mélange avec le carbonate de calcium (CaCO₃) de l'agrégat brut et produit du sulfate de calcium (gypse) ;
- choisir une source de combustible dont la teneur en soufre est faible ;
- injecter des absorbants comme de la chaux hydratée (Ca(OH)₂), de l'oxyde de calcium (CaO) ou des cendres volantes à haute teneur en CaO dans les gaz brûlés avant de les acheminer vers les filtres ;

⁷ Les matières premières qui ont une teneur élevée en soufre organique ou pyrite (FeS) produisent des émissions élevées de SO₂.

- mettre en place des épurateurs par voie humide ou sèche.⁸

La production de chaux génère généralement des niveaux d'émissions de SO₂ plus faibles que pour la fabrication du ciment, car les matières premières renferment moins de soufre. Les techniques destinées à limiter les émissions de SO₂ consistent, notamment, à :

- choisir des matériaux de carrière qui ont une faible teneur en soufre volatil ;
- injecter de la chaux hydratée ou du bicarbonate dans les flux de gaz brûlés, avant qu'ils ne pénètrent dans les filtres ;
- injecter de la chaux vive ou hydratée finement divisée dans la chambre de combustion du four.

Les gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre, particulièrement le dioxyde de carbone (CO₂),⁹ sont principalement associées à la combustion du combustible et à la décarbonisation du calcaire qui, sous sa forme pure, est composé de 44 % de CO₂ en poids. Les techniques de prévention et de maîtrise des émissions de CO₂ recommandées, qui s'ajoutent à la nécessité d'assurer la bonne marche des fours, consistent, notamment, à :

- produire des ciments mélangés, qui ont le potentiel de réduire de manière significative la consommation de combustible et les émissions de CO₂ subséquentes par tonne de produit fini ;

⁸ L'épuration par voie sèche est une technique plus coûteuse et moins fréquente que l'épuration par voie humide, et on y a généralement recours lorsque les émissions de SO₂ ont le potentiel d'être supérieures à 1 500 mg/Nm³.

⁹ Le gaz à effet de serre N₂O n'est pas susceptible d'être émis par les usines de ciment et de chaux, en raison de l'existence de températures élevées et de conditions oxydantes dans ces usines. L'unique source potentielle de N₂O serait des libérations directes, provenant des matières premières, qui se produiraient dans le broyeur des matières premières.

- procéder à des choix et à une exploitation qui favorisent l'efficacité énergétique (four de préchauffage/précalcination par voie sèche) ;
- choisir un combustible pour lequel le rapport teneur en carbone/valeur calorifique est faible (p. ex., gaz naturel, huile combustible ou combustible provenant de déchets) ;
- opter pour des matières premières qui renferment peu de matière organique.

Le monoxyde de carbone (CO) contribue, dans une proportion mineure, aux émissions des gaz à effet de serre (moins de 0,5 à 1 % de l'ensemble des émissions gazeuses).¹⁰ Ces émissions sont généralement liées à la teneur en matière organique des matières premières. Les **Directives EHS générales** contiennent d'autres recommandations relatives à la gestion des gaz à effet de serre

Métaux lourds et autres polluants atmosphériques

La génération d'émissions de métaux lourds (p. ex., plomb, cadmium et mercure) peut être importante dans le cadre de la fabrication du ciment et provient de l'utilisation des matières premières, des combustibles fossiles et des combustibles issus de déchets. Les métaux non volatils sont principalement liés à la matière particulaire. Les émissions de métaux volatils, comme le mercure¹¹, sont habituellement issues des matières premières et des combustibles provenant de déchets, et ne peuvent pas être maîtrisées en utilisant des filtres.

Les techniques recommandées pour limiter les émissions de métaux lourds consistent, notamment, à :

¹⁰ Le CO est un indicateur des conditions du processus industriel. Les lectures élevées de CO sont habituellement un signe indicatif que le processus de fabrication ne fonctionne pas correctement (impliquant potentiellement une consommation de combustible plus élevée). Le monoxyde de carbone doit être surveillé en permanence. En outre, lorsque des PES sont utilisés, il existe un risque d'explosion lié à des concentrations de CO supérieures à une plage comprise entre 0,5 et 1 %.

- mettre en application des mesures d'atténuation efficaces de la poussière/MP, tel que cela est examiné précédemment, pour capturer les métaux liés. Pour les concentrations élevées de métaux lourds volatils (particulièrement le mercure), le recours à l'absorption sur du charbon actif risque de s'imposer. Les déchets solides qui en résultent doivent être gérés en tant que déchets dangereux, selon les instructions qui figurent dans les **Directives EHS générales** ;
- surveiller et contrôler la teneur en métaux lourds volatils des matériaux et combustibles issus de déchets qui entrent dans le processus industriel, en mettant en application des pratiques sélectives pour l'utilisation des matériaux. En fonction du type de métaux volatils présents dans les gaz de combustion, les options de maîtrise des émissions de métaux lourds peuvent englober des épurateurs par voie humide et une adsorption sur charbon actif ;
- faire fonctionner les fours de manière contrôlée et régulière, pour éviter des arrêts d'urgence des précipitateurs électrostatiques (s'il en existe dans l'établissement) ;
- les combustibles issus de déchets ne doivent pas être utilisés au cours de la phase de démarrage ou de fermeture.

Combustibles issus de déchets

En raison de leurs atmosphères fortement alcalines et des températures élevées des flammes (2 000°C), les fours à ciment ont la capacité d'utiliser des combustibles issus de déchets à haute valeur calorifique (p. ex., des solvants usés, de l'huile usagée, des pneus de rebut, des déchets de plastiques et des déchets chimiques organiques dont les biphényles

¹¹ Le mercure est principalement introduit dans le four avec les matières premières (environ 90 %), une quantité minime (environ 10 %) provenant des

polychlorés [BPC], les pesticides organochlorés désuets, et d'autres matériaux chlorés). L'utilisation de combustibles provenant de déchets peut résulter en des émissions de composés organiques volatils (COV), de dibenzodioxines polychlorés (PCDD) et de dibenzofurannes polychlorés (PCDF), de fluorure d'hydrogène (HF), de chlorure d'hydrogène (HCl), et de métaux toxiques et leurs composés, si ces combustibles ne sont pas utilisés et contrôlés de manière adéquate.

Pour pouvoir utiliser des combustibles issus de déchets ou de matières premières pour fabriquer du ciment, il est nécessaire d'obtenir un permis spécial de la part des autorités locales. Le permis doit spécifier les montants et les types de déchets qui peuvent être utilisés en tant que combustibles ou matières premières, et il doit également inclure des normes qualitatives telles que la valeur calorifique minimale et les niveaux de concentration maximums d'agents polluants spécifiques comme le PCB, le chlore, le PAH, le mercure et d'autres métaux lourds.

Les techniques de prévention et de maîtrise recommandées pour ces types de polluants atmosphériques consistent, notamment, à :

- mettre en application des techniques d'atténuation des MP pour réduire les émissions de métaux lourds non volatils, et gérer les déchets de matériaux capturés en tant que déchets dangereux, en suivant les conseils donnés dans les **Directives EHS générales** ;
- déployer des mesures de surveillance et de maîtrise de la teneur en métal lourd volatil des matériaux entrants et des combustibles provenant de déchets, en sélectionnant les matériaux utilisés. En fonction du type de métaux volatils présents dans les gaz de combustion, les options de maîtrise peuvent englober des épurateurs par voie humide et une adsorption sur charbon actif ;

combustibles.

- placer les combustibles qui ont des métaux volatils ou des concentrations élevées de COV directement dans le brûleur principal, plutôt que par le biais des brûleurs secondaires ;
- éviter d'utiliser des combustibles qui ont une teneur élevée d'halogènes au cours de la combustion secondaire et pendant les phases de démarrage et de fermeture ;
- maintenir les temps de refroidissement des gaz des fours (entre 500 et 200°C) à un minimum, pour éviter ou minimiser la reformation de PCDD et PCDF déjà détruits^{12,13,14} ;
- instaurer des pratiques de stockage et de manutention adéquates pour les déchets dangereux et non dangereux destinés à être utilisés en tant que combustible ou matières premières issus de déchets, tel que cela est décrit dans les **Directives EHS générales**.
- Les combustibles issus de déchets et les matières premières provenant de déchets sont rarement utilisés pour la fabrication de la chaux, en raison des exigences de qualité du produit.¹⁵

¹² Les PCDD et les PCDF sont détruits dans les flammes et les gaz à haute température, mais si la marge de température fléchit (à un niveau comprise entre 250 et 500°C), ils peuvent se synthétiser de nouveau. Des temps de refroidissement courts inférieurs à 200°C sont habituellement possibles dans les fours de préchauffage/précalcination et les fours de préchauffage, dans lesquels le débit des cyclones est rapide, mais cela est beaucoup plus difficile à obtenir dans d'autres types de fours.

¹³ L'utilisation du charbon actif dans l'industrie du ciment pour adsorber les traces de métaux volatils (p. ex., le mercure), les COV ou les PCDD-PCDF est encore à un stade pilote, principalement en raison de la composition des différents gaz. De bonnes conditions d'exploitation et une sélection soignée des matériaux entrants peuvent éviter d'être obligé d'utiliser du charbon actif.

¹⁴ Des informations supplémentaires sur la prévention et le contrôle des émissions de PCDD et de PCDF sont disponibles auprès de SINTEF, 2006.

¹⁵ La source de combustible utilisée pour la fabrication de la chaux a un impact significatif sur la qualité de la chaux produite, principalement en raison de la teneur en soufre capturée dans le produit qui décline sa valeur. Différents combustibles peuvent avoir un impact sur la qualité du produit, si la combustion n'est pas complète ; c'est pourquoi, en raison de leurs propriétés combustibles, le gaz naturel et l'huile sont les combustibles les plus communément utilisés pour la fabrication de la chaux. Le charbon (pauvre en soufre), ou le coke de pétrole, peuvent être utilisés lorsque la teneur en soufre du produit fini n'est pas un sujet de préoccupation. Les combustibles issus de déchets et les matières

Consommation d'énergie et de combustibles

Les industries du ciment et de la chaux consomment une grande quantité d'énergie. Les coûts en matière d'énergie électrique et de combustible peuvent représenter entre 40 et 50 % des coûts totaux de production. En plus des recommandations relatives à la conservation de l'énergie fournies dans les **Directives EHS générales**, des mesures spécifiques à cette branche d'activité sont indiquées ci-après.

Fours

Dans le cadre des nouvelles usines et des projets de rénovation de grande envergure, les bonnes pratiques internationales pour la production de clinker font appel à l'utilisation de fours par voie sèche, comprenant un préchauffage/précalcination à plusieurs stades. Les fours de préchauffage/précalcination sont les fours les plus fréquemment utilisés pour la fabrication du ciment. Ils consomment le moins d'énergie (en raison de la quantité importante de chaleur générée par les gaz des fours qui est récupérée dans les cyclones, et des moindres pertes de chaleur qui se produisent dans ce type de four), et ne doivent pas assurer une évaporation d'eau (en comparaison avec les fours par voie humide qui utilise la boue liquide), tout en offrant la capacité de production la plus élevée. Les fours de préchauffage sont également largement utilisés en raison de leur facilité d'exploitation. La consommation de chaleur pour les fours de préchauffage est à peine supérieure à celle des fours de préchauffage/précalcination, cependant, leur capacité de production est nettement plus faible que les fours de préchauffage/précalcination. Les autres types de fours (four long par voie sèche, par voie semi sèche, par voie semi-humide, et par voie humide) sont considérés comme désuets.¹⁶ Pour

premières provenant de déchets sont rarement utilisés pour la fabrication de la chaux, en raison des exigences de qualité du produit.

¹⁶ Les fours qui utilisent des procédés par voie sèche produisent près de 80 % du ciment fabriqué en Europe. Les fours qui ne fonctionnent pas par voie sèche doivent être convertis pour utiliser la voie sèche lorsqu'ils sont modernisés ou agrandis. Les fours longs par voie sèche consomment une quantité de chaleur nettement supérieure, et présentent généralement des problèmes de

améliorer l'efficacité énergétique, la chaleur du refroidisseur doit être utilisée comme air industriel chaud, en installant par exemple un conduit d'air tertiaire dans le four de précalcination.

Pour la fabrication de chaux, les fours droits annulaires, les fours régénérateurs à courant parallèle, et les autres fours verticaux consomment peu d'énergie et permettent une plus grande flexibilité en matière de choix de combustibles. La consommation moyenne de chaleur et d'électricité dans les différents fours utilisables est indiquée dans la section intitulée « Utilisation de ressources et production de déchets » ci-dessous.

Refroidisseurs

Un seul type de refroidisseur de clinker est désormais installé, le « refroidisseur à grille », qui se présente sous diverses formes. L'objectif du refroidisseur est d'abaisser la température du clinker aussi rapidement que possible, et chauffer l'air secondaire pour atteindre la température la plus élevée possible, afin de réduire la consommation de combustible.

Combustibles

Le combustible le plus communément utilisé dans l'industrie du ciment est le charbon pulvérisé (houille et lignite) ; cependant, en raison de son coût moins élevé, le coke de pétrole fait l'objet d'une utilisation accrue. Le charbon et le coke de pétrole produisent une plus grande quantité d'émissions de gaz à effet de serre (GHG), en comparaison avec l'huile combustible et le gaz naturel (p. ex., des émissions qui sont approximativement

maintenance et des coûts associés importants. Les fours par voie semi-sèche et semi-humide (Lepol) consomment une quantité d'énergie intermédiaire, en raison de la teneur en humidité des matériaux d'alimentation en granulés. Les fours qui sont exploités par voie semi-humide consomment une quantité d'énergie électrique supérieure, et leurs coûts de maintenance sont plus élevés, en raison des filtres presses. Les fours fonctionnant par voie humide (maintenant largement abandonnés) représentent la technologie du four vertical la plus ancienne, et se caractérisent par la consommation de chaleur la plus élevée et la capacité de production la plus faible, vs les autres fours. Les fours verticaux ne sont plus considérés comme étant une technologie appropriée pour la production du ciment.

65 % plus élevées qu'avec le gaz).¹⁷ En outre, la teneur élevée en soufre du combustible (caractéristique du coke de pétrole) peut poser des problèmes qui consistent principalement en une accumulation de soufre sous forme d'anneaux dans le four. L'utilisation de combustibles issus de déchets comme alternative au combustible traditionnel est de plus en plus fréquente dans l'industrie du ciment ; il ne faut cependant pas perdre de vue les préoccupations susmentionnées que soulève cette utilisation en matière d'émissions atmosphériques associées.¹⁸

Des mesures d'atténuation de la pollution risquent d'être nécessaires pour assurer que la combustion des déchets dans les fours à ciment n'est source d'aucune émission toxique. Il convient d'assurer une surveillance adéquate (selon les indications données dans la section 2 ci-après), lorsque des combustibles issus de déchets sont brûlés dans les usines de ciment.

Eaux usées

Traitement des eaux usées industrielles

Les eaux usées sont principalement générées par les activités à caractère utilitaire qui ont pour but de procéder à des refroidissements au cours des diverses phases du processus industriel (p. ex. roulements cercles de tourailles). Certaines opérations peuvent générer des eaux usées industrielles qui ont un pH élevé et contiennent des solides en suspension. Différentes techniques sont utilisées pour traiter les eaux industrielles dans cette branche d'activité, qui consistent

¹⁷ L'huile combustible et le gaz naturel représentent moins de 6 % de la consommation totale en combustibles à l'échelon de l'Europe parce qu'ils coûtent plus chers que le coke de pétrole et le charbon.

¹⁸ L'utilisation des déchets en tant que combustibles alternatifs est devenue une pratique courante dans les pays industriels. Le taux moyen dans l'Union européenne (UE) est déclaré être de 12 %. Les combustibles alternatifs englobent les résidus de combustibles, les matériaux absorbants, les déchets déchetés (p. ex., les plastiques, le caoutchouc), les plastiques à faible teneur en chlore, les pneus, les textiles, les boues des eaux d'égout et les filtres usés.

notamment à régulariser le flux et la charge des eaux par rectification du pH ; à réduire la quantité de matières solides en suspension par sédimentation dans des bassins de décantation ou des clarificateurs ; et à filtrer l'eau sur plusieurs milieux pour réduire la quantité de matières solides non décantables. 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**. Les écoulements d'eau contaminée doivent être acheminés de manière à passer par le système de traitement des eaux usées industrielles.

Les eaux pluviales qui s'écoulent au travers du coke de pétrole, du charbon et des déchets de matériaux stockés en plein air risquent d'être contaminées. Par conséquent, il faut empêcher que les eaux pluviales n'entrent en contact avec les matériaux stockés, en couvrant ou en renfermant les stocks de réserve, et en installant des systèmes d'auto-contrôle. Les techniques de prévention de la pollution recommandées pour les émissions de poussière provenant des matières premières, du clinker, du charbon et des déchets entreposés (indiquées précédemment) peuvent également contribuer à minimiser la contamination des eaux pluviales. Si les eaux pluviales entrent en contact avec les stocks de réserve, il est impératif de protéger le sol et les eaux souterraines d'une contamination potentielle, ce qui implique de : paver l'aire concernée ou installer un revêtement à la base

des stocks de réserve ; entourer les stocks de réserve de dispositifs de contrôle des eaux de ruissellement ; collecter les eaux pluviales dans un bassin dont le fond est recouvert d'un revêtement pour permettre à la matière particulaire de décanter, avant d'entamer les opérations de séparation, de contrôle, de recyclage ou de rejet. Des recommandations supplémentaires sur la gestion des eaux pluviales contaminées sont données dans les **Directives EHS générales**.

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**.

Déchets solides

Parmi les déchets solides qui proviennent de la fabrication du ciment et de la chaux figurent les déchets issus de la production de clinker, principalement composés de matériaux de déblai pierreux, qui sont retirés des matières premières lors de la préparation de l'agrégat brut. La poussière extraite du régulateur du débit de dérivation et de la cheminée représente un autre flux potentiel de déchets, si elle n'est pas recyclée dans le processus industriel.

Des quantités limitées de déchets sont générées par les activités de maintenance de l'usine (p. ex., huile usée et déchets de métaux). Les autres déchets de matériaux peuvent englober les alcalis ou le chlorure/fluorure contenant une accumulation de poussière provenant du four.¹⁹ Dans le cadre de la production de la chaux, la poussière, la chaux vive hors spécifications et la chaux hydratée sont réutilisées/recyclées à d'autres fins commerciales (p. ex., en tant que chaux destinée à la construction, chaux utilisée pour stabiliser les sols, chaux hydratée, et chaux pour produits palettisés).

¹⁹ Les établissements plus anciens qui continuent à utiliser des procédés par voie semi-humide largement abandonnés risquent de générer également des filtrats alcalins provenant des filtres presses.

Des recommandations pour la gestion des déchets dangereux et non dangereux sont présentées dans les **Directives EHS générales**.

Bruit

La pollution issue du bruit est liée à plusieurs stades de la fabrication du ciment et de la chaux, y compris l'extraction des matières premières (examinée dans les **Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction**) ; le broyage et le stockage ; la manutention et le transport des matières premières et des produits intermédiaires et finaux ; et le fonctionnement des ventilateurs aspirants. Les **Directives EHS générales** indiquent des niveaux de référence recommandés pour les mesures d'atténuation du bruit et pour le bruit ambiant.

1.2 Hygiène et sécurité au travail

Les risques les plus significatifs en matière d'hygiène et de sécurité au travail sont associés à l'exploitation des projets de fabrication de ciment et de chaux et rentrent dans les catégories suivantes :

- Poussière
- Chaleur
- Bruit et vibrations
- Risques corporels
- Radiation
- Risques chimiques et autres questions en matière d'hygiène industrielle

Poussière

L'exposition à de fines particules est associée aux activités liées à la plupart des stades qui impliquent une génération de poussière au cours de la fabrication du ciment et de la chaux ; elle est cependant plus notable dans le cadre de l'exploitation

des carrières (voir les **Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction**), de la manutention des matières premières et du broyage du clinker/ciment. L'exposition à de la poussière de silice (cristalline) active (SiO₂), lorsqu'elle est présente dans les matières premières, est un risque potentiel certain dans le secteur de la fabrication du ciment et de la chaux. Les techniques recommandées pour prévenir et maîtriser les expositions à la poussière consistent, notamment, à²⁰ :²¹

- contrôler la poussière en mettant en oeuvre de bonnes pratiques d'entretien ménager et de maintenance ;
- utiliser des cabines fermées et climatisées ;
- mettre en oeuvre des systèmes d'extraction et de recyclage de la poussière pour retirer la poussière des lieux de travail, particulièrement des broyeurs ;
- installer des circuits de ventilation de l'air (aspiration) dans les aires d'ensachage du ciment ;
- avoir recours à un EPI, en tant que de besoin (p. ex., masques et respirateurs), pour remédier aux expositions résiduelles qui subsistent après l'adoption des mesures de contrôle industriel et technique susmentionnées ;
- employer des systèmes mobiles de nettoyage par le vide pour empêcher l'accumulation de poussière dans les espaces pavés.

Chaleur

Les principales expositions à la chaleur dans cette branche d'activité ont lieu au cours des activités d'exploitation et de maintenance des fours, des tourailles ou d'autres équipements

²⁰ De plus amples informations sur la prévention et la maîtrise des risques d'inhalation de silice sont disponibles auprès de U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Silica eTool, et peuvent être consultées à : <http://www.osha.gov/SLTC/etools/silica/index.html>

²¹ De plus amples informations sur la prévention et la maîtrise des risques d'inhalation de silice sont disponibles auprès de U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Silica eTool, et peuvent être consultées à : <http://www.osha.gov/SLTC/etools/silica/index.html>

chauds, ainsi que par le biais des réactions exothermiques qui se produisent au cours du processus d'hydratation de la chaux. Les mesures recommandées pour prévenir ou lutter contre ce phénomène consistent, notamment, à :

- installer des revêtements de protection sur les surfaces chaudes à proximité desquelles les ouvriers travaillent et utiliser un équipement de protection individuel (EPI) si nécessaire, notamment des gants et des chaussures thermo-isolants ;
- minimiser le temps de travail qui doit s'effectuer dans les environnements où les températures sont élevées, en alternant plus souvent les équipes de travail affectées à ces emplacements ;
- fournir et utiliser, si nécessaire, des respirateurs alimentés en air ou en oxygène ;
- mettre en application des procédures de protection individuelle spécifiques pour la sécurité du personnel, dans le cadre du processus d'hydratation de la chaux, pour éviter une exposition potentielle aux réactions exothermiques.

Bruit et vibrations

Les ventilateurs aspirants et les broyeurs sont les principales sources de bruit et de vibrations dans les usines de ciment et de chaux. Parmi les dispositifs qui peuvent être utilisés pour maîtriser les émissions de bruit, on peut citer l'utilisation de silencieux pour les ventilateurs, des enceintes dans les salles d'opération des broyeurs, des écrans anti-bruit et, au cas où il n'est pas possible d'atteindre des niveaux de bruit acceptables, une protection de l'ouïe personnelle, comme indiqué dans les **Directives EHS générales**.

Risques corporels

Les blessures au cours des opérations de fabrication du ciment et de la chaux sont généralement causées par des glissements, des trébuchements et des chutes ; le contact avec des objets qui tombent/se déplacent ; et le levage/surcroît d'effort. D'autres blessures risquent de se produire lors de contact avec des machines qui se déplacent (p. ex., des camions-bennes, des chargeuses frontales, des chariots élévateurs à fourche). Les activités liées à la maintenance du matériel, notamment des concasseurs, broyeurs, les broyeurs séparateurs, ventilateurs, refroidisseurs et bandes transporteuses représentent une source significative d'exposition aux risques corporels. La gestion des expositions aux autres risques corporels et chimiques est décrite dans les **Directives EHS générales**.²²

Radiation

Un poste de contrôle radiographique par rayons X est parfois employé pour contrôler continuellement le mélange de matières premières qui se déplace sur la bande transporteuse en direction du broyeur de matières premières. Les opérateurs de ces équipements doivent être protégés contre la radiation ionisante, en prenant les mesures de protection décrites dans les **Directives EHS générales**.

Risques chimiques et autres questions d'hygiène industrielle

Les travailleurs qui manipulent le ciment sont susceptibles de développer des dermatites de contact allergiques qui peuvent être dues au chrome.²³ Entre plus des mesures de prévention et

²² De plus amples informations sont disponibles dans World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Cement Sustainability Initiative (CSI), Health and Safety in the Cement Industry: Examples of Good Practice (2004) et peuvent être consultées à : http://www.wbcscement.org/pdf/tf3/tf3_guidelines.pdf

²³ Les tests effectués sur le ciment américain indiquent qu'ils renferment entre 5 et 124 parts ppm de chrome, tandis que les ciments européens en contiennent entre 32 et 176 ppm. L'UE régule la quantité de chrome soluble (Cr VI) qui peut être présente dans le ciment, et fixe un seuil de 0,0002 % du poids sec total du ciment, pour empêcher la dermatite de contact allergique.

de maîtrise de ce risque potentiel, il convient de réduire la proportion de chrome soluble dans les mélanges de ciment et faire usage d'un équipement de protection individuelle (EPI) adéquat pour empêcher le contact dermique, tel que cela est décrit dans les **Directives EHS générales**.

Le contact potentiel accidentel entre du CaO/CaOH et la peau/yeux/muqueuses est un risque propre aux usines de production de chaux ; ce risque doit être évalué, maîtrisé et atténué en ayant recours à des procédures et un équipement d'urgence. La présence d'humidité risque de provoquer des brûlures. Des installations permettant un lavage immédiat de la surface du corps atteinte doivent être mises à disposition, y compris des postes de lavage des yeux qui permettent de gérer les problèmes causés par la chaux vive. Les espaces de manutention doivent être couverts et enclos, si possible, pour éviter de générer un risque d'apparition de poussière. Des conseils supplémentaires sur la gestion des risques chimiques figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.3 Santé et sécurité de la population

Les questions concernant la santé et la sécurité de la population durant la construction, l'exploitation et le démantèlement des fabriques de ciment et de chaux sont semblables à celles qui se posent dans la majorité des branches d'activité et sont traitées 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, 2 et 3 indiquent les valeurs de référence applicables aux émissions et aux effluents dans ce secteur. 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 valeurs s'entendent pour des conditions d'exploitation normales et dans des installations conçues et utilisées de manière appropriée, conformément aux principes de prévention et de lutte antipollution décrits dans les précédentes sections de ce 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.

Tableau 1. Niveaux des émissions atmosphériques pour la fabrication du ciment*

Polluants	Unités	Valeur selon les directives
Matières particulaires (nouveau système de four)	mg/Nm ³	30 ^a
Matières particulaires (fours existants)	mg/Nm ³	100
Poussière (autres sources ponctuelles dont le refroidissement du clinker, le broyage du ciment)	mg/Nm ³	50
SO ₂	mg/Nm ³	400
NOX	mg/Nm ³	600
HCl	mg/Nm ³	10 ^b
Fluorure d'hydrogène	mg/Nm ³	1 ^b
Carbone organique total	mg/Nm ³	10
Dioxines/ Furannes	mg TEQ/Nm ³	0,1 ^b
Cadmium et thallium (Cd+Tl)	mg/Nm ³	0,05 ^b
mercure (Hg)	mg/Nm ³	0,05 ^b
Métaux totaux^c	mg/Nm ³	0,5

NOTES :
* Émissions de la cheminée du four, sauf indication contraire. Valeurs moyennes journalières corrigées à 273 K, 101,3 kPa, 10 % de O₂, et gaz sec, sauf indication contraire.
^a 10 mg/Nm³ si plus de 40 % de la libération de chaleur résultante provient de déchets dangereux
^b Si plus de 40 % de la libération de chaleur résultante provient de déchets dangereux, valeurs moyennes sur la période d'échantillonnage de 30 minutes minimum et 8 heures maximum.
^c Métaux totaux = Arsenic (As), plomb (Pb), cobalt (Co), chrome (Cr), cuivre (Cu), manganèse (Mn), nickel (Ni), vanadium (V) et antimoine (Sb)

Les directives relatives aux effluents s'appliquent aux effluents traités et rejetés directement dans les eaux de surface destinées à une utilisation générale. 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**.

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**.

Tableau 2. Niveaux des émissions atmosphériques : fabrication de la chaux

Polluants	Unités	Valeur selon les directives a
Poussière	mg/Nm ³	50
SO₂	mg/Nm ³	400
NOX	mg/Nm ³	500
HCl	mg/Nm ³	10

NOTES :
^a Valeurs moyennes journalières corrigées à 273°K, 101,3 kPa, 10 % O₂ et gaz sec, sauf indication contraire

Tableau 3. Niveaux des effluents : fabrication du ciment et de la chaux

Polluants	Unités	Valeur selon les directives
ph	S.U.	6-9
Nombre total de matières solides en suspension	mg/L	50
Augmentation de la température	°C	<3a

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

Utilisation des ressources et production de déchets

Les tableaux de 4 à 7 fournissent des exemples relatifs à l'utilisation des ressources et à la production de déchets dans cette branche d'activité ; ils peuvent être considérés comme indicateurs d'efficacité et utilisés pour se tenir au courant des changements de performance qui interviennent au fil du temps.

Tableau 4. Consommation de ressources et d'électricité		
Entrants par unité de produit	Unité	Référence de l'industrie
Combustible - ciment	GJ/t de clinker	3,0-4,2 ^{a,b,c,d,g}
Électricité – ciment	kWh/t d'équivalent ciment	90-150 ^{a,b,c}
Électricité– broyage du clinker	kWh/t	40-45
Combustible - chaux	GJ/t de chaux	4-4,7 fours verticaux à alimentation mixte ^b 3,6-6 fours verticaux perfectionnés et fours rotatifs ^b
Électricité– chaux	kWh/t d'équivalent chaux	5-15 fours verticaux à alimentation mixte ^b 20-40 fours verticaux perfectionnés et fours rotatifs ^b
Matériaux Matières premières de substitution utilisées pour la production de clinker	%	2-10 ^{a,f,h}
Matières premières de substitution utilisées pour la production de ciment	%	0-70/80 avec laitier de haut fourneau ≥0-30 avec cendres volantes
NOTES : Se reporter au Tableau 5 pour les notes et les sources.		

Tableau 5. volume d'émission et production de déchets		
Extrants par unité de produit	Unité	Référence de l'industrie
Déchets	kg/t	0,25-0,6 ^a
Emissions		
Poussière	g/t d'équivalent ciment	20-50 ^a
NOX	g/t d'équivalent ciment	600-800 ^b
SOX	kg/t	0,1-2,0 ^{a,h}
CO ₂		
Provenant de la décarbonisation du combustilbe ⁱ	kg/t kg/t d'équivalent ciment	400-525 ^{a,e,f,h,k} 150-350 ^{a,e,f,h}
^a Buzzi-Unicem (2004). ^b IPPC (2001). ^c Ernest Orlando Lawrence, Berkeley National Laboratory (2004). ^d NRCan (2001). ^e CIF (2003). ^f Italcementi Group (2005). ^g Environment Canada (2004). ^h Lafarge (2004). ⁱ Influencé par les quantités variables de cendres volantes et d'autres additifs utilisés ^j Les émissions de CO ₂ produites par l'incinération des déchets (provenant au moins de la partie biodégradable) sont considérées comme neutres dans plusieurs pays. ^k World Business Council on Sustainable Development, Cement Sustainability Initiative, 2002.		

Tableau 6. Consommation de chaleur et capacité de production pour les fours de fabrication du ciment

Type de four	Consommation d'énergie (MJ/t de clinker)	Capacité de production maximale (t/jour)
Four de préchauffage/précalcination 3–6 stades	3 000–3 800 ^a	12 000
Four de préchauffage	3 100–4 200	4 000
Four long par voie sèche	≤5 000	3 800
Four long par voie semi-sèche – semi-humide (Lepol)	3 300–4 500	2 500
Processus par voie humide	5 000–6 000	1 500–2 000

NOTES :
^aUn four de préchauffage/précalcination en six stades peut atteindre 2 900 MJ/t de clinker dans des conditions optimales.
Source : IPCC (2001).

Tableau 7. Consommation moyenne de chaleur et d'électricité pour quatre types de fours à chaux

Type de four ²⁴	Consommation de chaleur (MJ/t de chaux)	Consommation électrique (kWh/t de chaux)
Fours verticaux	3600–4500	5–45
Fours rotatifs	4600–5400	18–40
Four à grille roulante	3700–4800	31–38
Four de préchauffage avec mise en suspension par le gaz ²⁵	4600–5400	20–25

Source : IPCC (2001).

²⁴ La chaux vive de calcium réactive implique une consommation supérieure.

²⁵ Une seule usine signalée, exploitée en Norvège depuis 1986.

Suivi des impacts environnementaux

Des programmes de suivi des impacts environnementaux doivent être mis en place de manière à couvrir toutes les activités qui peuvent 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 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)²⁶, Pocket Guide to Chemical Hazards publié par United States National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH)²⁷, les valeurs plafonds autorisées (PELs) publiées par Occupational Safety and Health Administration of the United States (OSHA)²⁸, les valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif publiées par les États membres²⁹ de l'Union européenne, et autres sources similaires.

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).³⁰

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 agréés³¹ 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

²⁶ Consulter: <http://www.acgih.org/tlv/> et <http://www.acgih.org/store/>

²⁷ Consulter: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

²⁸ Consulter :

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

²⁹ Consulter: http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

³⁰ Disponible à: <http://www.bls.gov/iif/> and <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm> and www.wbcscd.ch and <http://www.wbcscdcement.org/>

³¹ 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 de l'environnement (AEE). 2005. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Copenhagen: EEA. Disponible à <http://reports.eea.europa.eu/EMEP/CORINAIR4/en/page002.html>
- Cembureau (European Cement Association). 1999. Best Available Techniques for the Cement Industry. A Contribution from the European Cement Industry to the Exchange of Information and Preparation of the IPPC BAT Reference for the Cement Industry. Bruxelles: Cembureau. Disponible à <http://www.cembureau.be/>
- Cement Industry Federation (CIF). 2003. Cement Industry Environment Report. Manuka, ACT: CIF. Disponible à <http://www.cement.org.au/>
- Cement Sustainability Initiative, World Business Council on Sustainable Development (WBCSD). 2002. Our Agenda for Action. Genève: WBCSD. Disponible à <http://www.wbcscement.org/agenda.asp>
- Commission européenne. 2000. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. Bruxelles: CE. Disponible à http://europa.eu.int/eur-lex/en/consleg/pdf/2000/en_2000L0076_do_001.pdf
- Commission européenne. 2001. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques (BREF) for Cement and Lime Production. Séville: EICCPB. Disponible à <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>
- Commission européenne. 2004. Directorate-General Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies (IPTS). Promoting Environmental Technologies: Sectoral Analyses, Barriers and Measures. Bruxelles: CE. Disponible à <http://www.jrc.es/>
- CSI. 2004. Formation and Release of POPs in the Cement Industry. Second edition 2006. Genève: WBCSD. Disponible à http://www.wbcscement.org/pdf/formation_release_pops_second_edition.pdf
- CSI. 2005. CO₂ Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. Cement CO₂ Protocol, July. Geneva: WBCSD. Disponible à <http://www.wbcscement.org/climate.asp>
- CSI. 2005. Environmental and Social Assessment Guidelines. Disponible à: http://www.wbcscement.org/web/publications/cement_esia_guidelines.pdf
- CSI. 2005. Progress Report, Juin 2005. Genève: WBCSD. Disponible à http://www.wbcscement.org/pdf/csi_progress_report_2005.pdf
- CSI. Guidelines on the Responsible Use of Fuel and Materials. 2005. Disponible à: <http://www.wbcscement.org/DocRoot/Vjft3qGjo1v6HREH7JM6/ft2-guidelines.pdf>
- Environment Canada. 2004. Foundation Report on the Cement Manufacturing Sector. Draft No. 1, Juin. Gatineau, Québec: Environment Canada. Disponible à <http://www.ec.gc.ca/>
- GTZ-Holcim Public Private Partnership. Guidelines on co-processing Waste Materials in Cement Production. Disponible à: http://www.holcim.com/gc/CORP/uploads/GuidelinesCOPROCEM_web.pdf
- Marlowe, I., et D. Mansfield. 2002. Substudy 10: Environment, Health and Safety Performance Improvement, Toward a Sustainable Cement Industry. Independent Report commissioned by the World Business Council for Sustainable Development. AEA Technology. Geneva: WBCSD. Disponible à http://www.wbcscement.org/pdf/final_report10.pdf
- National Safety Council. Radon Radioactivity and the Fly Ash Market. Itasca, IL: National Safety Council. Disponible à http://www.nsc.org/ech/radon/rad_faqs.htm
- Natural Resources Canada (NRC). 2001. Office of Energy Efficiency. Energy Consumption Benchmark Guide: Cement Clinker Production. Disponible à http://oe.nrcan.gc.ca/publications/industrial/BenchmCement_e.pdf
- US EPA. United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 1999. Code of Federal Regulation Title 40, Part 63. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories; Portland Cement Manufacturing Industry. Washington : US EPA. Disponible à <http://www.epa.gov/EPA-AIR/1999/June/Day-14/a12893.htm>
- US EPA. 2003. 40 CFR Part 411. Cement Manufacturing Point Source Category. Effluent Limitations Guidelines, Cement Manufacturing Point Source Category. Washington : US EPA. Disponible à http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_03/40cfr411_03.html
- US EPA. 2004. Code of Federal Regulation Title 40, Part 63. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories; Lime Manufacturing Plants. Washington : US EPA. Disponible à <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2004/January/Day-05/a23057.htm>
- US EPA. 2005. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants: Final Standards for Hazardous Air Pollutants for Hazardous Waste Combustors (Phase I Final Replacement Standards and Phase II). 40 CFR Parts 9, 63, 260 et al. Washington : US EPA. Disponible à <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/2005/December/Day-19/a24198.htm>
- US National Library of Medicine, National Institutes of Health. Haz-Map—Occupational Exposure to Hazardous Agents. Disponible à <http://hazmap.nlm.nih.gov/index.html>
- World Business Council for Sustainable Development and the Foundation for Industrial and Scientific Research of Norway. 2006. Formation and Release of POPs in the Cement Industry, Second Edition. Disponible à http://www.wbcscement.org/pdf/formation_release_pops_second_edition.pdf
- Worrell, E et C. Galitsky. 2004. Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making. An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Sponsored by the US Environmental Protection Agency. Berkeley, LA: University of California, Berkeley. Disponible à http://www.energystar.gov/ia/business/industry/Cement_Energy_Guide.pdf
- Wulf-Schnabel, J., et J. Lohse. 1999. Economic Evaluation of Dust Abatement Techniques in the European Cement Industry. Okopol: Institute for Environmental Strategies.

Annexe A — Description générale des activités

Les processus de production du ciment et de la chaux sont similaires. Tous les deux impliquent l'exploitation de carrières et de mines, et le broyage et l'homogénéisation des matières premières qui sont illustrés dans la figure A.1. Pour minimiser les coûts de transport et pouvoir utiliser des bandes transporteuses, les usines de fabrication du ciment et de la chaux sont généralement situées à côté des sources de matières premières et à proximité des marchés de vente des produits. La livraison du ciment peut se faire de manière économique, par camion et dans un périmètre relativement limité (dans un rayon compris entre 100 et 150 km environ à partir de l'usine) ; si l'usine est installée sur un plan d'eau, le transport peut s'effectuer par péniche ou bateau. Une chaîne de production unique compacte (four de préchauffage/précalcination, four de préchauffage avec une capacité de production de clinker de 3 000 tonnes/jour) nécessite généralement environ 400 000 m² de surface plane, et une aire supplémentaire [par exemple, 250 000 m²] pour une expansion future. Généralement, la durée de vie d'un établissement est de 40 à 50 ans, au minimum. La dimension de l'usine est un facteur important, étant donné que les différences d'échelle en matière de production ont un impact significatif sur les coûts de production et, par conséquent, sur les coûts d'investissement pour les technologies d'atténuation et de maîtrise de la pollution. Le même niveau de performance environnementale peut être réalisé par les usines de petite dimension, mais à un coût plus élevé par unité de production de ciment que dans le cadre d'usines de plus grande envergure.

Fabrication du ciment

La fabrication du ciment nécessite l'utilisation d'énergie pour pouvoir transformer les matières premières, principalement composées de calcaire (carbonate de calcium, CaCO₃), d'argile (silicates d'aluminium), de sable (oxyde de silice) et de minerai

de fer, en clinker, qui est moulu avec du gypse, du calcaire, etc. pour produire du ciment.

Après un stade initial de mélange préalable, les matières premières sont à nouveau mélangées ensemble et moulées pour former un groupe homogène qui comporte les caractéristiques chimiques requises (l'agrégat brut). La finesse et la distribution granulométrique de l'agrégat brut sont des aspects importants pour le processus de combustion. Une fois ce mélange effectué, le processus industriel se poursuit dans un four rotatif et consiste à calciner l'agrégat brut (p. ex., en décomposant le CaCO₃ à environ 900°C), en libérant le dioxyde de carbone (CO₂) et en préservant le CaO. Cette étape est suivie par le processus de clinkérisation, au cours duquel le CaO réagit à une température élevée (entre 1 400°C et 1 500°C) avec de la silice, de l'alumine et des oxydes ferreux. D'autres constituants peuvent être ajoutés dans le mélange de matières premières pour répondre aux exigences de la composition (p. ex., sable de silice, sable de fonderie, oxyde de fer, résidus d'alumine, laitier de haut fourneau et résidus de gypse). La température de la flamme et des gaz produits avoisine 2 000°C. Le clinker chaud tombe du four dans le refroidisseur, et doit être refroidi aussi rapidement que possible pour obtenir une excellente qualité de clinker et récupérer l'énergie en chauffant de l'air secondaire. Les refroidisseurs à grille sont généralement employés dans ce but (par opposition à l'utilisation des refroidisseurs satellites). Le clinker refroidi est ensuite soit moulu avec du gypse et du calcaire pour produire du ciment portland, ou moulu avec d'autres constituants supplémentaires pour produire des ciments composites ou mélangés. Le ciment est ensuite stocké dans des silos ou des sacs. Les constituants du mélange sont des matériaux qui ont des propriétés hydrauliques (p. ex., pouzzolane naturelle, cendres volantes, laitier de haut fourneau et,

occasionnellement, cendres de grille). Il est impératif que les cendres volantes et les cendres de grille soient dépourvues de résidus de carbone (qui proviennent généralement des centrales thermiques au charbon). Du CaCO_3 est parfois ajouté, en petites quantités, comme matériau de remplissage.

Fabrication de la chaux

La chaux est produite en brûlant du CaCO_3 ou (moins fréquemment) de la dolomie (calcium et carbonate de magnésium), et en fournissant suffisamment de chaleur pour atteindre des températures supérieures à 800°C et causer la décarbonisation de la matière première pour produire de l'oxyde de calcium (CaO , connu sous le nom de chaux vive). La chaux vive est ensuite maintenue à des températures comprises entre $1\ 200$ et $1\ 300^\circ\text{C}$, pour ajuster la réactivité. La chaux brûlée peut être livrée à l'utilisateur final sous la forme de chaux vive (fortement, moyennement et légèrement calcinée, en fonction de sa réactivité). La chaux légèrement calcinée est la plus réactive et communément employée par les producteurs d'acier. Alternativement, la chaux vive peut être transférée dans une usine de production d'hydrate de chaux où, par le biais d'une puissante réaction exothermique, elle réagit avec de l'eau pour produire de la chaux éteinte (hydroxyde de calcium, $\text{Ca}(\text{OH})_2$). La chaux éteinte peut se présenter sous deux formes : sèche (poudre) ou comme lait de chaux (liquide). Le processus de production de la chaux éteinte consiste à procéder à une séparation granulométrique, à hydrater et à stocker le matériau dans des silos (sèche) pour la vente en gros ou dans des sacs, ou dans des réservoirs (lait). Des précautions particulières doivent être prises pour assurer pour qu'il n'y ait pas d'eau dans la chaux vive (en plus du contrôle de l'humidité de l'air), parce qu'elle causerait une hydratation, libérant la chaleur et provoquant une expansion, ce qui présenterait des risques sécuritaires.

Figure A.1 : Processus de fabrication

