

DENI DE RESPONSABILITE DU GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE

Les Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires (EHS) ont pour but de présenter des exemples de bonnes pratiques internationales (BPI) de portée générale ou concernant une branche d'activité particulière, telles que décrites dans les Normes de performance en matière de durabilité environnementale et sociale d'IFC, le Cadre environnemental et social de la Banque mondiale et les Directives EHS, ainsi que des informations sur diverses questions d'ordre environnemental, sanitaire et sécuritaire. Lorsqu'une ou plusieurs institutions membres du Groupe de la Banque mondiale participent à un projet, les Directives EHS s'appliquent conformément à leurs politiques et normes respectives.

Les Directives EHS générales présentent des informations sur des questions d'ordre environnemental, sanitaire et sécuritaire communes à toutes les branches d'activité. Les directives EHS relatives aux différentes branches d'activité — Directives qui, avec les Directives EHS générales, forment les Directives EHS — sont destinées à être utilisées conjointement avec les Directives EHS générales. Les projets complexes peuvent exiger l'application de plusieurs directives couvrant des branches d'activité différentes. La liste complète des Directives EHS figure à l'adresse : <https://www.ifc.org/ehsguidelines>. Pour chaque projet, le champ d'application des Directives EHS est adapté aux aléas et aux risques établis pour ledit projet sur la base des résultats d'une évaluation environnementale, sanitaire et sécuritaire dans laquelle des variables spécifiques au site considéré, telles que le contexte du pays d'accueil, la capacité d'assimilation de l'environnement et d'autres facteurs liés au projet, sont prises en compte.

Bien que des efforts raisonnables aient été déployés pour s'assurer que les informations contenues dans les Directives EHS sont exactes, complètes et à jour, le Groupe de la Banque mondiale ne garantit pas l'exactitude, l'exhaustivité, l'actualité, l'efficacité ou la fiabilité des informations qu'elles contiennent. Le Groupe de la Banque mondiale n'assume aucune responsabilité en cas d'erreurs, d'omissions ou de divergences dans les informations présentées dans les Directives EHS, et n'assume aucune responsabilité en cas d'utilisation ou de non-utilisation des informations, des méthodes, des processus, des recommandations, des conclusions ou des jugements contenus dans les présentes Directives. Le Groupe de la Banque mondiale ne fait aucune déclaration quant à l'alignement ou à la conformité des Directives EHS avec les exigences juridiques internationales, nationales ou infranationales de toute juridiction ou de toute norme industrielle. Le Groupe de la Banque mondiale décline expressément toute responsabilité pour les dommages de toute nature, y compris les dommages spéciaux, indirects, accessoires, consécutifs ou compensatoires, découlant de l'utilisation des Directives EHS ou des informations qu'elles contiennent ou s'y rapportant.

En publiant et en mettant à disposition les Directives EHS, aucune institution membre du Groupe de la Banque mondiale ne rend de services professionnels ou autres à une personne ou à une entité, ou en son nom, et aucune institution membre du Groupe de la Banque mondiale n'accepte de s'acquitter d'une obligation due par une personne ou entité à une autre. Il convient de demander l'avis de personnes ayant les qualifications et l'expérience nécessaires avant de s'engager (ou de s'abstenir de s'engager) dans une activité de projet.

Certaines parties des présentes Directives EHS peuvent contenir des liens vers des sites Internet tiers. Ces derniers ne sont pas contrôlés par le Groupe de la Banque mondiale, qui n'est pas responsable du contenu des sites Internet tiers ou des liens contenus dans ces sites Internet. Le Groupe de la Banque mondiale ne se porte pas garant de l'exactitude ou de la fiabilité de ces sites Internet ou de leur contenu et ne fait aucune autre déclaration à ce sujet.

Le Groupe de la Banque mondiale comprend la BIRD (Banque internationale pour la reconstruction et le développement), l'IDA (Association internationale de développement), IFC (Société financière internationale), la MIGA (Agence multilatérale de garantie des investissements) et le CIRDI (Centre international pour le règlement des différends relatifs aux investissements). Aux fins du présent déni de responsabilité, le Groupe de la Banque mondiale désigne l'une ou l'autre ou l'ensemble de ces institutions membres, selon le contexte.

Aucune disposition des Directives EHS ne constitue une renonciation aux privilèges et immunités des institutions membres du Groupe de la Banque mondiale, qui sont spécifiquement réservés, ni ne peut être considérée comme une limitation de ces privilèges et immunités.

DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES, SANITAIRES ET SECURITAIRES POUR LA FABRICATION DU CIMENT ET DE LA CHAUX

INTRODUCTION

1. Les Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires (Directives EHS) sont des documents de référence techniques qui présentent des exemples de bonnes pratiques internationales (BPI)¹, 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. Ces lignes directrices sectorielles sont à utiliser conjointement avec les **Directives EHS générales**, qui fournissent des orientations aux utilisateurs sur les questions d'ordre environnemental, sanitaire et sécuritaire communes applicables à toutes les branches d'activité. Les projets complexes peuvent exiger l'application de plusieurs directives couvrant des branches d'activité différentes. La liste complète des Directives applicables aux différentes branches d'activité figure à l'adresse : www.ifc.org/ehsguidelines.
2. Les Directives EHS indiquent les mesures et les niveaux de performances qui sont généralement considérés comme 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 d'objectifs spécifiques aux sites et l'établissement d'un calendrier adapté pour atteindre ces objectifs.
3. 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.
4. Si les seuils et normes stipulés dans les réglementations du pays d'accueil diffèrent de ceux indiqués dans les Directives EHS, les plus rigoureux seront retenus pour les projets menés dans ce pays. Si des niveaux moins contraignants que ceux des Directives EHS peuvent être retenus pour des raisons particulières au contexte du projet, une justification complète et détaillée pour chacune de ces alternatives doit être présentée dans le cadre de l'évaluation environnementale du site considéré. Cette justification

¹ Les BPI sont 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.

devra montrer que les niveaux de performance proposés permettent de protéger la santé de la population humaine et l'environnement.

CHAMP D'APPLICATION

5. Les **Directives EHS pour la fabrication du ciment et de la chaux** comportent des informations relatives aux procédés de fabrication du ciment et de la chaux. L'extraction de matières premières, une activité courante associée aux procédés de fabrication du ciment, est couverte par les **Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction**². Ces Directives EHS ne couvrent pas la production d'amiante-ciment, qui est actuellement soumise aux restrictions de la Société financière internationale (IFI). L'annexe A contient une description complète des activités de cette branche d'activité. Le présent document est organisé comme suit : [exclusion](#) de la Société financière internationale (IFI). L'annexe A contient une description complète des activités de cette branche d'activité. Le présent document est organisé comme suit :

1. Description et gestion des impacts propres à la branche

d'activité..... 5

1.1 Environnement 5

1.2 Santé et sécurité au travail 22

1.3 Santé et sécurité de la communauté 29

2. Indicateurs de performance et suivi 29

2.1 Environnement 29

2.2 Santé et sécurité au travail 35

3. Références et sources complémentaires..... 36

Annexe A. Description Générale des activités du secteur 37

² La chimie, l'hydrologie, la géologie et les microclimats associés au calcaire peuvent entraîner l'évolution d'une biodiversité unique et des services écosystémiques associés. Il est important d'évaluer et, le cas échéant, d'atténuer les impacts potentiels d'un projet sur la biodiversité limitée aux calcaires, y compris les espèces associées, leurs habitats et les services écosystémiques qu'ils fournissent. Pour plus d'informations, voir Birdlife International et al, *Extraction and Biodiversity in Limestone Areas* (2014), <https://www.birdlife.org/sites/default/files/Extraction-and-Biodiversity-in-Limestone-Areas.pdf> ; Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), *Biodiversity Management in the Cement and Aggregates Sector: Biodiversity Indicator and Reporting System* (Gland, Suisse : UICN, 2014), <https://www.iucn.org/content/biodiversity-management-cement-and-aggregates-sector-biodiversity-indicator-and-reporting-system-birs> ; Global Cement and Concrete Association (GCCA), *Sustainability Guidelines for Quarry Rehabilitation and Biodiversity Management* (Londres : GCCA, 2020), https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2020/05/GCCA_Guidelines_Sustainability_Biodiversity_Quarry_Rehabilitation_May_2020-1.pdf.

1. DESCRIPTION ET GESTION DES IMPACTS PROPRES A LA BRANCHE D'ACTIVITE

6. La section 1 résume les questions d'ordre environnemental, sanitaire et sécuritaire qui peuvent se poser au cours de la phase opérationnelle de la fabrication du ciment et de la chaux, ainsi que des recommandations sur leur gestion. Les recommandations relatives à la gestion des questions EHS communes à la plupart des installations industrielles de grande envergure qui se posent pendant les phases de construction et de démantèlement figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.1 Environnement

7. Les problèmes environnementaux rencontrés dans les projets de fabrication de ciment et de chaux concernent principalement les domaines suivants :

- consommation d'énergie ;
- gaz à effet de serre (GES) ;
- émissions atmosphériques ;
- bruits et vibrations ;
- eaux usées ;
- déchets solides.

Consommation d'énergie

8. La fabrication du ciment et de la chaux est un secteur énergivore. Outre les recommandations en matière d'économie d'énergie fournies dans les **Directives EHS générales**, les sections suivantes offrent des conseils d'efficacité énergétique spécifiques à la branche d'activité pour la consommation d'énergie thermique et électrique.

Fours à ciment et à chaux

9. Plusieurs types de fours sont actuellement utilisés dans la fabrication du ciment, notamment les fours à préchauffeur-précalcinateur (PHP), les fours à préchauffeur (PH) et les fours longs à voie sèche (LD), ainsi que les fours semi-secs, les fours semi-humides (Lepol), les fours à voie humide et les fours à cuve³.

³ Les fours LD ont une consommation de chaleur beaucoup plus élevée que les fours à PHP et présentent généralement des problèmes d'entretien importants et des coûts connexes. Les fours semi-secs et semi-humides (Lepol) ont une consommation de chaleur intermédiaire en raison de la teneur en humidité de l'alimentation granulée du four. Les fours semi-humides ont une consommation d'électricité et des coûts d'entretien plus élevés en raison des filtres-presses, et sont généralement considérés comme obsolètes. Le four à voie humide, aujourd'hui largement tombé en désuétude, est la plus ancienne technologie de four rotatif, avec la consommation de chaleur la plus élevée.

Les fours à PHP sont les fours les plus couramment utilisés dans le secteur de la fabrication du ciment^{4,5}. Ils sont les moins demandeurs d'énergie thermique (en raison du taux élevé de récupération de la chaleur des gaz du four dans les cyclones et de l'utilisation de la chaleur résiduelle récupérée dans le précalcinateur) et n'ont pas d'eau à évaporer (contrairement à un four semi-humide ou humide dont la matière première est sous forme humide ou de boue), tout en offrant la capacité de production la plus élevée. La demande spécifique d'énergie thermique des fours à PH est généralement supérieure de 5 à 15 % à celle des fours à PHP⁶. Pour les nouvelles cimenteries et les modernisations importantes, les BPI pour la production de clinker impliquent donc l'utilisation d'un four à voie sèche équipé d'un PHP à plusieurs étages (généralement cinq ou six étages, en fonction de la teneur en humidité du combustible et des matières premières)⁷.

10. Outre le choix de la technologie des fours à ciment, il est possible de réaliser d'autres économies d'énergie thermique en optimisant la conception et le fonctionnement de l'usine. Il s'agit notamment de l'utilisation à haute capacité l'optimisation du rapport longueur/diamètre, de l'optimisation de la conception du four, de l'optimisation des systèmes de cuisson au four, de conditions de fonctionnement uniformes et stables, de l'optimisation des contrôles de processus, de la fourniture de conduits d'air tertiaire (pour le précalcinateur), du maintien de conditions de four proches de la stœchiométrie mais oxydantes, de l'utilisation de minéralisateurs, de la réduction des fuites d'air et du maintien des spécifications des

⁴ Comme indiqué dans *Getting the Numbers Right*, une base de données gérée par la GCCA, dont les membres déclarants couvraient 22 % de la production mondiale de clinker en 2019, les fours à PHP représentaient environ 65 % de la production mondiale de clinker des membres de la GCCA en 2019 ; les fours à PH et LD représentaient environ 20 % et environ 2 %, respectivement ; et les fours semi-secs, semi-humides (Lepol), à voie humide et à cuve représentaient collectivement environ 13 %. Voir GCCA, dataset 8TGK%, « Total Production Volumes of Clinker by Kiln Type (%) » in « Getting the Numbers Right », *Global Cement Database on CO₂ and Energy Information* (Londres : GCCA, 2019), <https://gccassociation.org/gnr/>.

⁵ En 2013, la Chine a produit 60 % du total mondial de ciment. En 2011, 86 % de la production chinoise utilisait la technologie des fours à PHP (contre 10 % en 2000). Voir Jing Ke et al., « Estimation of CO₂ Emissions from China's Cement Production: Methodologies and Uncertainties », *Energy Policy* 57 (2013): 172-181, https://china.lbl.gov/sites/all/files/6329_ep_cement_co2.pdf. En Inde, deuxième producteur mondial de ciment en 2013, la quasi-totalité de la capacité installée utilise la fabrication par voie sèche, et environ 50 % de la capacité a été construite au cours des dix dernières années. La technologie des fours à PHP a été utilisée pour 40 % de la production de ciment en 2013. Voir Agence internationale de l'énergie (AIE) et WBCSD, *Technology Roadmap: Low-Carbon Technology for the Indian Cement Industry* (Paris : AIE, 2013), https://docs.wbcsd.org/2013/02/Low_Carbon_Technology_for_the_Indian_Cement_Industry_IEA_WBCSD_Feb_2013.pdf.

⁶ Cette fourchette de consommation d'énergie thermique pour les fours à PH et à PHP est basée sur les données de Frauke Schorcht et al., *Best Available Techniques: Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU* (Bruxelles : Commission européenne (UE), 2013), sec. 1.3.3, tableau 1.18, 47, https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CLM_Published_def_0.pdf ; et GCCA, base de données « Getting the Numbers Right ».

⁷ Schorcht et al., *Best Available Techniques*, sec. 4.2.3.2, Technique C, 343.

réfractaires du four⁸. Dans des conditions optimisées, la consommation spécifique d'énergie thermique d'un four à PHP à plusieurs étages devrait se situer entre 2,9 et 3,3 gigajoules (GJ)/tonne de clinker⁹.

11. Pour la fabrication de la chaux, différents types de fours — tels que les fours rotatifs longs (LRK), les fours rotatifs avec préchauffeur (PRK), les fours régénératifs à flux parallèle (PFRK), les fours à cuve annulaire (ASK) — sont utilisés. Les fours à cuve à alimentation mixte tels que les ASK, les PFRK et d'autres fours verticaux ou à cuve ont une consommation d'énergie thermique nettement inférieure (3-5 GJ/tonne de chaux) et une plus grande flexibilité en matière de combustible que les applications de fours rotatifs, qui se situent dans la plage de 5-8 GJ/tonne¹⁰. Outre les considérations relatives à la consommation d'énergie, d'autres facteurs clés influencent le choix du four, notamment les caractéristiques du calcaire — par exemple, les fours PRFK ne peuvent généralement pas traiter des grains de calcaire de très petite taille —, la disponibilité et les propriétés du combustible, ainsi que les propriétés du produit de chaux exigées par les clients. Lorsque les volumes de produits de chaux et les considérations de qualité le permettent, l'utilisation de fours verticaux est considérée comme une BPI en raison de leurs performances supérieures sur le plan environnemental et en matière d'efficacité énergétique. (Parmi les fours verticaux, la technologie PRFK est la plus efficace sur le plan énergétique)¹¹.

12. L'efficacité énergétique thermique des fours à chaux peut être optimisée par : i) la gestion de la consommation d'énergie et les contrôles de processus, y compris l'optimisation de la qualité du combustible (haut pouvoir calorifique/faible humidité), des débits et des conditions de combustion ; ii) la sélection de la taille optimale des grains de calcaire ; iii) la limitation de l'excès d'air dans les fours LRK et PRK ; iv) l'entretien régulier des équipements, y compris la garantie de l'intégrité du revêtement réfractaire ou isolant du four ; et v) l'utilisation d'autres techniques spécifiques aux différents types de fours de production de chaux¹².

Refroidisseurs de clinker

13. L'objectif du refroidisseur est d'abaisser la température du clinker aussi rapidement que possible afin de contrôler la qualité du produit et de générer des températures de clinker adaptées aux étapes finales de broyage ou de mélange. L'air chaud récupéré dans le refroidisseur fournit de l'air de combustion à la flamme du brûleur principal du four et au PHP, ou peut être utilisé à d'autres fins de séchage, réduisant ainsi la consommation de combustible. Le seul type de refroidisseur de clinker actuellement installé est le

⁸ Des techniques supplémentaires pour optimiser l'efficacité thermique du calcinateur et du PH sont abordées dans Schorcht et al., *Best Available Techniques*, sec. 1.4.2.1.1, 100.

⁹ Schorcht et al., *Best Available Techniques*, sec. 1.4.2.1.1, 100-101. En fonction de la teneur en calories et en humidité, l'utilisation de combustibles alternatifs augmentera la consommation d'énergie au-delà de cette fourchette. L'utilisation d'une dérivation de gaz augmente également la consommation d'énergie.

¹⁰ Schorcht et al., *Best Available Techniques*, tableau 2.23, 223.

¹¹ Association européenne de la chaux (EULA), *A Competitive and Efficient Lime Industry, Cornerstone for a Sustainable Europe (Lime Roadmap)* (Bruxelles : EULA, 2014), sec. 3, 14, <https://www.eula.eu/a-competitive-and-efficient-lime-industry-cornerstone-for-a-sustainable-europe-lime-roadmap-summary/>.

¹² D'autres techniques d'optimisation énergétique pour divers types de fours à chaux sont examinées dans Schorcht et al., *Best Available Techniques*, sec. 2.4.1, tableau 2.34, 252.

refroidisseur à grilles, qui est produit dans de nombreuses versions, principalement en raison de sa capacité élevée et de son efficacité de récupération de chaleur supérieure à celle des autres types de refroidisseurs. (Les refroidisseurs à grilles de dernière génération ont généralement des taux de récupération de chaleur de 65 à 75 %) ¹³. Les BPI impliquent l'utilisation de refroidisseurs à grilles à haut rendement — par exemple, la grille préliminaire stationnaire — et de techniques d'optimisation thermique. Ces techniques comprennent l'utilisation de plaques de grilles de refroidissement qui offrent une plus grande résistance à l'écoulement afin de fournir une distribution plus uniforme de l'air de refroidissement, le contrôle de l'alimentation en air de refroidissement des différentes sections de grilles et l'utilisation de variateurs de vitesse pour les ventilateurs du refroidisseur ¹⁴.

Autres mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique ¹⁵

14. La consommation d'énergie électrique varie entre 80 et 120 kilowattheures (kWh)/tonne de ciment ^{16,17,18}. Les moteurs utilisés pour alimenter les ventilateurs et autres équipements, en particulier pour le broyage, représentent une part importante de l'énergie électrique totale utilisée dans une cimenterie (une cimenterie typique compte plus de 500 moteurs) ¹⁹. Les différentes étapes du processus de production du ciment requièrent différentes demandes d'énergie électrique : le broyage et l'homogénéisation des matières premières (environ 30 % de la consommation totale d'énergie électrique), la production de clinker (environ 25 %) et la production de ciment, y compris le broyage de finition, le mélange, l'emballage et le transport (environ 45 %) ²⁰.

15. La consommation d'énergie électrique dans la fabrication du ciment peut être réduite grâce à l'utilisation d'équipements à haut rendement et de techniques économes en énergie. Il s'agit notamment d'utiliser : i) des commandes automatisées de procédés pour les broyeurs et les séparateurs ou

¹³ Institute for Industrial Productivity (IIP), « Conversion to High-Efficiency Grate Coolers », *Energy Efficiency Technology Database* (n.d.), <http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/conversion-high-efficiency-grate-coolers.html>.

¹⁴ Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 1.4.2.1.1, 100.

¹⁵ D'autres informations utiles sont disponibles dans EC, *Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency* (Bruxelles : EC, 2009), https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf.

¹⁶ Wang, Yufei, Zhengping Hao et Samuel Höller, « Analysis of CO₂ Mitigation Policies in the Chinese Cement Industry » *ECEEE 2012 Summer Study on Energy Efficiency in Industry* (Wuppertal, Germany: Wuppertal Institute, 2012), http://epub.wupperinst.org/files/4635/4635_Wang.pdf.

¹⁷ GCCA, « Getting the Numbers Right », dataset 33AGW.

¹⁸ Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 1.3.3.2, 49.

¹⁹ Voir IIP, « High Efficiency Motors & Drives » (n.d.), <http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/high-efficiency-motors-drives.html>.

²⁰ Association européenne du ciment (CEMBUREAU), « Electrical Energy Efficiency », in *The Role of Cement in the 2050 Low Carbon Economy* (Bruxelles : CEMBUREAU, 2013), 39-41, <https://lowcarboneyconomy.cembureau.eu/wp-content/uploads/2018/09/cembureau-full-report.pdf>. Comme indiqué dans l'introduction de cette Directive, les éléments EHS de l'extraction des matières premières sont couverts par les **Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction** d'IFC.

classificateurs dans le cadre du broyage ou de la préparation des matières premières, de la gestion des combustibles et du broyage de finition ; ii) des systèmes de gestion de l'énergie ; iii) des équipements économes en énergie tels que les systèmes de transport mécanique des matériaux (moins de consommation d'énergie que les systèmes pneumatiques) et les systèmes de silos de mélange ou d'homogénéisation par gravité (moins de consommation d'énergie que les systèmes à lit fluidisé par air) ; iv) des systèmes de broyage verticaux et horizontaux — les broyeurs à cylindres et les systèmes de broyage de presse à rouleaux ou à haute pression sont souvent 50 % plus efficaces que les broyeurs à boulets — et des séparateurs ou classificateurs de troisième génération à haut rendement pour la préparation de la farine crue et des combustibles et le broyage du ciment²¹ ; v) des cyclones de préchauffage à haut rendement et à faible perte de charge (pour réduire la consommation d'énergie dans le système de gaz d'échappement du four) ; vi) des moteurs à haut rendement et bien entretenus pour le transport, le broyage et les opérations liées au four ; et vii) des variateurs de vitesse pour les moteurs et les ventilateurs du four, du refroidisseur, du préchauffeur, du séparateur et des broyeurs, entre autres. Ensemble, ces techniques permettent de réaliser des économies d'énergie électrique avec des périodes de retours sur investissement favorables ^{22,23}.

16. La consommation d'énergie électrique dans la fabrication de la chaux représente une petite partie (environ 10 %) de la consommation d'énergie, généralement de l'ordre de 60 kWh par tonne de chaux. Les possibilités d'améliorer l'efficacité de la consommation de l'énergie électrique sont principalement liées : i) à l'utilisation de contrôles de gestion des processus et de l'énergie ; ii) à l'amélioration des rendements des moteurs ; et iii) à l'optimisation des processus de refroidissement et de concassage ou de broyage par l'utilisation d'équipements à haut rendement²⁴. Ces mesures peuvent permettre de réaliser d'importantes économies d'énergie ; par exemple, l'amélioration des rendements des moteurs peut être de l'ordre de 10 %²⁵.

Gaz à effet de serre

17. Les émissions de GES dans le secteur du ciment, en particulier les émissions de dioxyde de carbone (CO₂)²⁶, sont principalement associées à la calcination du calcaire lors de la production de clinker (environ

²¹ IIP, « Vertical Roller Mills for Finish Grinding » (n.d.), <http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/vertical-roller-mills-finish-grinding.html>.

²² Ibid, « Cement » (n.d.).

²³ Worrell, Ernst, Katerina Kermeli et Christina Galitsky, *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making—An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers* (Washington : Environmental Protection Agency (EPA), 2013), 19–82, http://www.energystar.gov/sites/default/files/tools/ENERGY%20STAR%20Guide%20for%20the%20Cement%20Industry%2027_08_2013_Rev%20js%20reformat%2011192014.pdf.

²⁴ EULA, *A Competitive and Efficient Lime Industry, Cornerstone for a Sustainable Europe (Lime Roadmap)*, sec. 5.1.1, 27–36.

²⁵ Ibid., 14.

²⁶ Le puissant GES qu'est le protoxyde d'azote (N₂O) n'est pas susceptible d'être émis par les usines de ciment et de chaux en raison des températures élevées et des conditions d'oxydation. La seule source potentielle de N₂O serait les rejets directs de la matière première dans l'usine.

55 % des émissions totales de CO₂), au combustible utilisé pour chauffer le four (environ 35 % des émissions de CO₂ généralement dues à l'utilisation de combustibles à forte teneur en carbone, notamment le charbon et le coke de pétrole), ainsi qu'à la consommation d'électricité et au transport (environ 10 % des émissions totales de CO₂, en fonction de la source d'électricité)²⁷. L'intensité des émissions de GES pendant la production du ciment varie en fonction : i) de la composition des matières premières pour le four ; ii) du type de combustible utilisé pour la combustion ; iii) du niveau général d'efficacité énergétique de l'installation et du choix de la technologie du four ; iv) du rapport clinker/ciment ; et v) de l'intensité en carbone de l'approvisionnement en électricité²⁸. Alors que les combustibles fossiles conventionnels restent la source de combustible dominante dans les principaux pays producteurs de ciment²⁹ — y compris la Chine et l'Inde, classées respectivement première et deuxième dans la production mondiale de ciment en 2015³⁰ —, le remplacement des combustibles fossiles par des combustibles résiduels³¹ et la biomasse est en augmentation dans le monde entier³².

18. La décarbonation du calcaire et les émissions de CO₂ liées aux combustibles dans le processus de production de la chaux sont similaires à celles de la fabrication du ciment. Toutefois, la consommation d'électricité et les émissions de CO₂ liées à la fabrication de la chaux sont généralement moins importantes que celles liées à la fabrication du ciment. La production de chaux est également dominée par l'utilisation

²⁷ WBCSD, *CO₂ and Climate Protection* (Genève : WBCSD, n.d.), <https://www.wbcsd.org/Programs/Climate-and-Energy>.

²⁸ Les options d'énergie renouvelable — y compris l'énergie éolienne, l'énergie solaire photovoltaïque, l'énergie solaire thermique et la production de petites centrales hydroélectriques — peuvent être utilisées pour la production du ciment. Le déploiement de ces technologies dépend de facteurs tels que la disponibilité des sources d'énergie renouvelables, les prix de l'électricité et la taille des installations. Voir AIE, *Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry* (Paris : AIE, 2018), 37, <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry>. Le secteur EHS a peu recours à la production d'énergie renouvelable captive.

²⁹ Le combustible le plus couramment utilisé dans le secteur du ciment est le charbon pulvérisé (charbon noir et lignite). Toutefois, le coût inférieur du coke de pétrole a entraîné une augmentation de son utilisation. Le charbon et le coke de pétrole génèrent des émissions de gaz à effet de serre plus importantes que les combustibles à moindre intensité de carbone — environ 65 % d'émissions unitaires de plus que le gaz naturel, par exemple. En outre, la teneur élevée en soufre du combustible (caractéristique du coke de pétrole) peut poser des problèmes, notamment l'accumulation de soufre sur les anneaux présents dans le four.

³⁰ CEMBUREAU, *Cement and Concrete: Key Facts and Figures* (Bruxelles : EC, 2020), <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures>.

³¹ Les combustibles résiduels typiques utilisés dans l'industrie du ciment peuvent inclure des déchets dangereux et non dangereux avec des niveaux variables de pouvoir calorifique. La liste des combustibles résiduels couramment utilisés figure dans Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 1.2.4.3.1, 22. Il peut s'agir de combustibles résiduels tels que les solvants usés, les huiles usées, les pneus usés, les combustibles dérivés des déchets et les déchets plastiques.

³² Les combustibles fossiles conventionnels représentaient environ 85 % de l'utilisation mondiale de combustibles pour la fabrication du ciment (en pourcentage de l'énergie totale), suivis par les combustibles mixtes fossiles/résiduels (environ 10 %) et les biocarburants (environ 5 %). Les valeurs correspondantes en 2000 étaient d'environ 95 % pour les combustibles fossiles conventionnels, d'environ 4 % pour les combustibles mixtes fossiles/résiduels et d'environ 1 % pour les biocarburants. Voir GCCA, *Getting the Numbers Right*, dataset 25aAGFC, pour « Monde » and « États membres de l'UE à 28 ».

de combustibles fossiles conventionnels chez les principaux producteurs.

19. Les émissions de GES associées aux projets de fabrication de ciment ou de chaux, et à la production d'énergie thermique associée, doivent être quantifiées chaque année conformément aux méthodologies et aux bonnes pratiques reconnues au niveau international.

20. Des recommandations pour la gestion des émissions de GES sont fournies dans les **Directives EHS générales**. Outre les mesures d'efficacité énergétique examinées dans les sections précédentes de la présente directive, les techniques spécifiques au secteur pour minimiser les émissions de CO₂ dans la fabrication du ciment comprennent³³ :

- la production de ciments composés — dans lesquels le clinker est partiellement remplacé par des cendres volantes, du laitier de haut fourneau, des matériaux volcaniques naturels, de l'argile calcinée et/ou du calcaire broyé — ou de nouveaux matériaux cimentaires qui consomment moins d'énergie et émettent moins de GES que le clinker par unité de produit final, ce qui entraîne une réduction significative de la consommation de combustibles et des émissions de CO₂ qui en découlent^{34,35,36} ;
- la substitution ou la combustion des combustibles conventionnels (charbon ou coke de pétrole) avec des combustibles alternatifs qui ont un ratio plus faible entre la teneur en carbone et le pouvoir calorifique, y compris le passage à un combustible à moindre intensité de carbone (par exemple, le gaz naturel, ou, si ce n'est pas faisable, le fioul), la sélection de combustibles résiduels — comme indiqué dans la section « Émissions atmosphériques » et la sous-section « Combustibles résiduels, déchets et émissions atmosphériques associées » ci-dessous —, de combustibles issus de la biomasse tels que le riz, les coques de café, les coques de palmiste, les

³³ Les technologies de piégeage et de stockage ou de réutilisation du carbone dans le secteur du ciment devraient être envisagées à mesure que leur viabilité technique et commerciale sera plus clairement démontrée à l'avenir. Des informations complémentaires sont disponibles dans International Energy Agency Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG), *Deployment of CCS in the Cement Industry* (2013), https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/2013-19.pdf.

³⁴ Par exemple, pour le ciment contenant 30 à 70 % de laitier granulé de haut fourneau (GBFS), les émissions de CO₂ peuvent être réduites de 100 à 430 kg pour chaque tonne de ciment, par rapport aux émissions typiques de 750 kg de CO₂ par tonne de ciment. L'utilisation accrue des ciments composés dépend de la disponibilité, des propriétés et des prix des matériaux de substitution, des normes nationales et des considérations de marché telles que l'application prévue du produit cimentaire. Voir IIP, *Blended Cement Alternatives* (n.d.), <http://www.iipinetwork.org/wp-content/letd/content/blended-cement-alternatives.html>.

³⁵ Les ratios clinker/ciment varient d'un grand producteur de ciment à l'autre. Le ratio en Chine en 2011 était de 63 % (73 % en 2005) ; en Inde de 70,5 % en 2013 (77,8 % en 2005) ; dans l'Union européenne de 73,6 % en 2013 (75,8 % en 2005) ; et aux États-Unis de 83,5 % en 2013 (83,7 % en 2005). Pour les ratios ciment/clinker pour la Chine, voir Ke et al, « Estimation of CO₂ Emissions », 7. Pour des informations sur l'Inde, l'UE et les États-Unis, voir GCCA, « Getting the Numbers Right », dataset 92AGW. Pour « Inde », « États membres de l'UE à 28 » et « États-Unis ».

³⁶ AIE et WBCSD (2018), « *Low-Carbon Transition in the Cement Industry* », 32-35.

déchets de bois, etc., ou les combustibles dérivés des déchets (lorsque ces combustibles alternatifs sont disponibles en quantité suffisante à un coût économique)³⁷ ;

- le remplacement partiel de la matière première calcaire par des sources non carbonatées d'oxyde de calcium ou de chaux vive (CaO) — telles que le laitier de haut fourneau, les cendres de lignite, les cendres de charbon, le sable de concassage du béton, etc., afin de réduire les émissions de CO₂ liées au processus et les émissions de CO₂ des combustibles liées à la calcination^{38,39} ;
- les gaz résiduels rejetés par le four, le système de refroidissement du clinker et le système de préchauffage du four contiennent tous de l'énergie utile qui peut être utilisée pour le séchage des matières premières et des combustibles, et/ou pour la production d'électricité. Bien que la fabrication du ciment n'ait généralement pas d'importants besoins de chauffage à basse température, la chaleur restante après la récupération de la chaleur industrielle peut être récupérée dans des chaudières de récupération de chaleur pour être utilisée dans un cycle de production d'électricité autonome, ou pour compléter la vapeur produite par la combustion de combustibles pour la production d'électricité captive sur le site. La quantité de chaleur résiduelle disponible pour la production d'électricité par récupération de chaleur dépend de la conception et de la production du système de four, de la teneur en humidité des matières premières et de la quantité de chaleur nécessaire au séchage dans le système de broyage des matières premières, le système de combustible solide et le broyeur à ciment. La production d'électricité à partir de la récupération de la chaleur perdue peut couvrir jusqu'à 30 % des besoins globaux en électricité d'une cimenterie grâce à différents types de systèmes basés sur le cycle de Rankine, en particulier le cycle de Rankine à vapeur, qui représente la grande majorité des systèmes de récupération de la chaleur perdue. D'autres systèmes comprennent le cycle organique de Rankine et le cycle de Kalina⁴⁰.

³⁷ IFC, *Increasing the Use of Alternative Fuels at Cement Plants: International Best Practice* (Washington : IFC, 2017), https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/33180042-b8c1-4797-ac82-cd5167689d39/Alternative_Fuels_08+04.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IT3Bm3Z.

³⁸ Voir Worrell, Kermeli et Galitsky, *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Cement Making-An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers*, 76-80 ; et IIP, *Alternative Raw Materials* (n.d.). La mesure dans laquelle des matières premières alternatives peuvent être utilisées dépend de la composition des matières premières conventionnelles disponibles (par exemple, le calcaire) et de la disponibilité, du coût et de la composition des matières premières alternatives telles que la silice, l'alumine, la magnésie et la teneur en soufre.

³⁹ Sélection de matières premières à faible teneur en matières organiques pour éviter de générer des émissions supplémentaires de CO₂ et des émissions mineures de monoxyde de carbone (CO), qui représentent généralement moins de 0,5 à 1 % du total des gaz émis lors de la combustion du clinker. Le CO représente un indicateur des conditions du processus. Un taux de CO élevé est généralement un signe d'alerte indiquant que le processus de fabrication ne fonctionne pas correctement (ce qui peut entraîner une augmentation de la consommation de carburant). Le CO doit être contrôlé en permanence. En outre, lorsque des précipitateurs électrostatiques (ESP) sont utilisés, il existe un risque d'explosion lié à des concentrations de CO supérieures à 0,5-1 %.

⁴⁰ Des orientations sur la récupération de la chaleur perdue sont disponibles dans le rapport IFC et IIP, *Waste Heat Recovery for the Cement Sector: Market and Supplier Analysis* (Washington : IFC et IIP, 2014), https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/report_waste_heat_recovery_for_the_cement_sector_market_and_supplier_analysis.

21. Pour la fabrication de la chaux, les émissions de GES peuvent être minimisées par : i) l'utilisation de fours verticaux plus efficaces (en fonction du volume de production et des spécifications du produit de chaux) et l'optimisation des fours, comme indiqué dans la section « Consommation d'énergie » ci-dessus ; ii) la récupération de la chaleur résiduelle du four et pendant l'hydratation de la chaux (la chaleur résiduelle peut être utilisée pour le séchage et le broyage des matières premières) ; et iii) le passage à des combustibles à moindre intensité de GES, y compris les combustibles résiduels, le gaz naturel (ou, si ce n'est pas possible, le mazout) et la biomasse, sous réserve de contraintes techniques⁴¹.

Émissions atmosphériques

22. Les émissions atmosphériques ponctuelles dans la fabrication du ciment et de la chaux sont générées par le fonctionnement des fours, des refroidisseurs de clinker et des broyeurs, ainsi que par la manutention et le stockage des matériaux et produits intermédiaires et finaux. Des émissions de poussières provenant de sources non ponctuelles peuvent également se produire.

23. Les sources de combustion pour la production d'énergie sont prédominantes dans ce secteur industriel. Les **Directives EHS générales** fournissent des orientations pour la gestion des émissions des petites sources de combustion d'une capacité d'apport de chaleur thermique allant jusqu'à 50 mégawatts thermiques (MWth), y compris les normes d'émissions atmosphériques pour les émissions de gaz d'échappement. Les **Directives EHS pour les centrales thermiques** présentent des orientations applicables aux sources d'émissions supérieures à 50 MWth.

Particules

24. Les émissions de particules sont un impact potentiellement important de la fabrication du ciment et de la chaux. Les principales sources d'émissions de particules et les méthodes de prévention et de contrôle recommandées sont résumées dans les paragraphes suivants.

25. Pour les émissions de particules associées au fonctionnement des systèmes de fours et des refroidisseurs de clinker, y compris la combustion du clinker et du calcaire, les techniques suivantes de prévention et de contrôle de la pollution sont recommandées, en plus d'un lissage adéquat des opérations du four⁴² :

- capture des poussières du four et du refroidisseur de clinker à l'aide de filtres et recyclage des particules récupérées dans l'alimentation du four et dans le clinker, respectivement ;

⁴¹ EULA, *Competitive and Efficient Lime Industry*, sec. 5, 27–42.

⁴² Le lissage des opérations du four consiste à maintenir le four dans des conditions de fonctionnement toujours optimales.

- utilisation de systèmes de filtres en tissu⁴³ comme option de contrôle privilégiée, avec des électrofiltres (ESP) comme option alternative⁴⁴ pour collecter et contrôler les émissions de particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5}) dans les gaz d'échappement des fours et les poussières de gaz de dérivation, ainsi que dans l'air d'échappement des refroidisseurs.

26. Pour les émissions de particules associées au fonctionnement des broyeurs, la technique de contrôle recommandée consiste à recueillir les poussières du broyeur à l'aide de filtres en tissu⁴⁵ et à les recycler à l'intérieur du broyeur.

27. Pour les émissions de particules et les poussières fugitives provenant de la manutention et du stockage de matériaux intermédiaires et finaux (y compris le concassage et le broyage de matières premières), de la manutention et du stockage de combustibles solides, du transport de matériaux (par exemple, par camions ou bandes transporteuses) et des activités d'ensachage, les techniques de prévention et de contrôle de la pollution recommandées sont les suivantes :

- utilisation de systèmes fermés pour la manutention des matériaux (par exemple, opérations de concassage, de broyage de matières premières et de clinker) maintenus sous pression négative par des ventilateurs d'extraction, avec dépoussiérage de l'air de ventilation à l'aide de filtres en tissu⁴⁶ ;
- utilisation de convoyeurs à bande fermés pour le transport de matériaux et contrôle des émissions aux points de transfert, y compris les systèmes de nettoyage des bandes de retour ;
- conception d'un stockage couvert suffisamment grand pour le clinker et les combustibles solides afin d'éviter la nécessité d'une double manutention fréquente en provenance et à destination de stocks extérieurs. Par exemple, les installations maintiennent généralement une capacité de stockage couvert ou de silo de clinker d'environ 15 à 30 jours de production afin de minimiser les transferts de clinker et de permettre la poursuite de la production de ciment pendant la période annuelle d'arrêt pour entretien des fours ;
- mise en œuvre, dans la mesure du possible, de systèmes automatiques de remplissage et de manutention des sacs, y compris l'utilisation : i) d'une machine rotative de remplissage des sacs

⁴³ Les filtres en tissu sont également appelés filtres « à manches » ou filtres « à sacs ». Dans le présent document, nous utilisons le terme « filtre en tissu ».

⁴⁴ Bien que les ESP soient fiables dans des conditions de fonctionnement normales, il existe un risque d'explosion lorsque les concentrations de CO dans les gaz d'échappement du four dépassent 0,5 %. Pour éviter cela, les exploitants doivent assurer une gestion et un contrôle appropriés et continus des processus de cuisson, y compris une surveillance continue des niveaux de CO, en particulier pendant le démarrage du four, afin de couper automatiquement l'électricité si nécessaire. Les ESP doivent également être correctement dimensionnés pour absorber les grandes perturbations du four, au cours desquelles de grandes quantités de clinker chaud et non cuit sont poussées à travers les gaz d'échappement du refroidisseur.

⁴⁵ Les ESP ne sont pas adaptés au dépoussiérage des broyeurs en raison des coûts d'investissement et de l'inefficacité (émissions relativement élevées) lors des démarrages et des arrêts.

⁴⁶ Pour les activités d'hydratation de la chaux, les épurateurs humides peuvent être efficaces lorsque l'utilisation de filtres en tissu est limitée par l'humidité élevée et la basse température des gaz de combustion. Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 4.6.3.2, 361.

dotée d'une alimentation automatique en sacs de papier et d'un système de contrôle des émissions fugitives ; ii) d'un contrôle automatique du poids de chaque sac lors du déchargement ; iii) de bandes transporteuses pour l'acheminement des sacs vers une machine de palettisation et d'emballage ; et iv) du stockage des palettes finies dans des baies couvertes en vue d'une expédition ultérieure ;

- réduction des poussières diffuses ou fugitives provenant des stocks de matériaux et de combustibles grâce à des pratiques de stockage telles que l'utilisation : i) de baies couvertes ou fermées pour les matières premières broyées et prémélangées ; ii) de silos pour les combustibles conventionnels tels que le charbon pulvérisé et le coke de pétrole ; iii) de zones protégées du vent et des précipitations pour les combustibles dérivés de déchets ; iv) des baies ou des silos couverts ou fermés pour le clinker avec extraction ou récupération automatique des poussières ; v) des silos avec extraction ou récupération automatique des poussières pour le ciment, reliés à un système de chargement automatisé pour les citernes en vrac ; vi) des trémies ou des silos pour les tailles tamisées de chaux vive ; et vii) des silos scellés pour le stockage des qualités fines de chaux hydratée. Les émissions de particules dans les zones de stockage peuvent également être réduites par l'utilisation de pulvérisateurs d'eau et de dépoussiéreurs chimiques, y compris des techniques d'humidification, aux points de chargement et de déchargement des matériaux ;
- entretien courant de l'usine et maintien d'un bon niveau d'hygiène afin de réduire au minimum les petites fuites d'air et les déversements, et utilisation de systèmes d'aspiration mobiles et fixes pour les opérations de routine et les perturbations ;
- utilisation d'agencements simples et linéaires pour les opérations de manutention afin de réduire la nécessité de points de transfert multiples, y compris le pavage et les routines de mouillage et de nettoyage pour les zones de transport routier.

28. Des recommandations supplémentaires pour la gestion des émissions de particules provenant d'autres sources diffuses, y compris les poussières créées par les véhicules circulant à l'intérieur ou à proximité de l'installation de fabrication du ciment ou de la chaux, sont disponibles dans les **Directives EHS générales**.

Oxydes d'azote

29. Les émissions d'oxyde d'azote (NO_x) sont générées par le processus de combustion à haute température du four à ciment⁴⁷. Outre le lissage des opérations de cuisson, les techniques de prévention et de contrôle suivantes sont recommandées :

- utilisation de brûleurs à faible émission de NO_x (dans le four principal, ainsi que dans le précalcinateur, le cas échéant) pour éviter les points chauds de flamme localisés qui favorisent la formation de NO_x⁴⁸ ;

⁴⁷ Le monoxyde d'azote représente plus de 90 % des émissions de NO_x.

⁴⁸ En ce qui concerne l'utilisation de brûleurs à faibles émissions de NO_x avec un précalcinateur, voir Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 4.2.6.1, 349. Pour ce qui est du brûleur, si le brûleur initial fonctionne avec un faible

- utilisation d'un calcinateur à faibles émissions de NO_x ;
- utilisation de combustibles à teneur réduite en azote ;
- mise en place d'un processus de combustion en plusieurs étapes, le cas échéant, dans les fours à PHP et à PH ;
- optimisation des flux d'air primaire et secondaire pour assurer des conditions de combustion appropriées avec un contrôle étroit de l'excès d'oxygène, minimisant ainsi la formation et les émissions de NO_x ;
- refroidissement de la flamme⁴⁹ en ajoutant de l'eau au combustible ou directement à la flamme afin de réduire la température et d'augmenter la concentration des radicaux hydroxyles.

30. Outre les techniques de contrôle primaire susmentionnées pour la réduction de NO_x, des techniques secondaires telles que la réduction non catalytique sélective (SNCR) peuvent également être utilisées si nécessaire⁵⁰.

31. En raison des températures de combustion plus basses du calcaire, les émissions de NO_x sont généralement plus faibles dans la fabrication de la chaux que dans celle du ciment. Outre le lissage des conditions de fonctionnement des fours, le contrôle des émissions de NO_x peut être réalisé en utilisant des brûleurs optimisés à faibles émissions de NO_x⁵¹.

Composés organiques totaux

32. Dans les processus thermiques (combustion) en général, l'apparition de composés organiques totaux (COT) ou de composés organiques volatils (COV) est souvent associée à une combustion incomplète. Dans les fours, les émissions seront faibles dans des conditions normales d'état stationnaire. Les

pourcentage d'air primaire, un brûleur à faible émission de NO_x aura un effet marginal sur les niveaux de NO_x. L'utilisation du refroidissement de la flamme peut avoir un impact négatif sur la consommation de combustible, pouvant entraîner une augmentation de 2 à 3 % de la consommation de combustible et donc une augmentation des émissions de CO₂. Voir Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 1.4.5.1.2, 130.

⁴⁹ Pour une description plus détaillée des techniques de refroidissement de la flamme, voir Gujarat Cleaner Production Centre (GCPC), *Cleaner Production Opportunities in Cement Manufacturing Sector* (n.d.), <http://www.gcpcenviis.nic.in/Experts/Cement%20sector.pdf>.

⁵⁰ Pour plus d'informations sur la SNCR et les agents réducteurs et leurs applications, voir Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 1.4.5.1.7, 134-139.

⁵¹ Des brûleurs à faibles émissions de NO_x ont été installés sur des fours rotatifs et peuvent également être appliqués à des fours à cuve annulaire dans certaines conditions spécifiques (air primaire élevé). Le transfert direct de la technique de brûleurs à faibles émissions de NO_x des fours à ciment aux fours à chaux n'est pas simple. Dans les fours à ciment, les températures de flamme sont plus élevées et des brûleurs à faibles émissions de NO_x ont été mis au point pour réduire les niveaux initiaux élevés de « No_x thermique ». Dans la plupart des fours à chaux, les niveaux de NO_x sont plus faibles et le « No_x thermique » est moins important. La technique de brûleurs doit être adaptée aux combustibles utilisés, c'est-à-dire aux combustibles fossiles conventionnels ou aux combustibles résiduels. Les fours régénératifs à flux parallèle ont une combustion sans flamme, ce qui rend les brûleurs à faibles émissions de NO_x inapplicables à ce type de four. Voir Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sections 2.4.6.1.3, 274.

concentrations peuvent augmenter au cours du démarrage ou dans des conditions de fonctionnement anormales (perturbations). Ces événements peuvent se produire à une fréquence variable, par exemple une ou deux fois par semaine à une fois tous les deux ou trois mois. Les émissions de COT peuvent se produire lors des étapes primaires du processus (dans le préchauffeur et le précalcinateur), lorsque la matière organique présente dans la farine crue est volatilisée à mesure que la charge est chauffée. La matière organique est libérée entre 400 et 600°C.

33. Dans des circonstances normales, les émissions de COT sont généralement faibles, mais elles peuvent être plus élevées en raison de la teneur en matières organiques volatiles des matières premières utilisées dans l'usine. Les matières premières naturelles ou résiduelles à forte teneur en composés organiques volatils ne doivent pas, si le choix est possible, être introduits dans le système du four par la voie d'alimentation en matières premières, et les combustibles à forte teneur en halogènes ne doivent pas être utilisés dans une cuisson secondaire. L'optimisation du processus, comme le lissage et l'optimisation du fonctionnement de l'usine, le processus de cuisson et/ou l'homogénéisation de l'alimentation en combustible et en matières premières, peut être appliquée pour maintenir les émissions de COT à un faible niveau. En cas de concentrations élevées de COT, l'adsorption sur charbon actif peut être envisagée comme dans d'autres secteurs⁵².

Dioxyde de soufre

34. Les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) dans la fabrication du ciment sont associées principalement à la teneur en soufre volatil ou réactif des matières premières et, dans une moindre mesure, à la qualité des combustibles utilisés dans le four⁵³. Les techniques de contrôle de la pollution recommandées pour réduire les émissions de SO₂ sont les suivantes :

- sélection de matières premières et de combustibles à faible teneur en soufre volatil ;
- optimisation du processus de combustion du clinker à l'aide de techniques qui comprennent le lissage des opérations du four, la distribution uniforme de la farine chaude dans la colonne montante du four et la prévention des conditions réductrices dans le processus de combustion. L'optimisation de la concentration en oxygène dans la zone d'entrée du four favorisera la capture du SO₂ dans la charge du four, mais cela doit être équilibré avec les impacts sur les émissions de NOx et de CO ;
- utilisation d'un broyeur vertical pour matières premières, avec des gaz traversant le broyeur pour récupérer de l'énergie et réduire la teneur en soufre du gaz (dans le broyeur, le gaz contenant de l'oxyde de soufre (SOx) se mélange au carbonate de calcium (CaCO₃) de la farine crue et produit du sulfate de calcium (gypse)) ;

⁵² Voir Schorcht et al., *Best Available Techniques*.

⁵³ Les matières premières à forte teneur en soufre organique ou en pyrite (FeS) entraînent des émissions élevées de SO₂. Le soufre introduit dans le système du four avec les combustibles est oxydé en SO₂ et n'entraîne pas d'émissions significatives de SO₂, en raison de la nature fortement alcaline de la zone de frittage, de la zone de calcination et de la phase inférieure du PH. Voir Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 1.3.4.3, 66 et sec. 1.4.3.2, 111.

- injection d'absorbants tels que l'hydroxyde de calcium ou la chaux hydratée ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), le CaO ou des cendres volantes à forte teneur en CaO dans les gaz d'échappement avant les filtres ;
- utilisation d'épurateurs humides ou secs⁵⁴.

35. Les émissions de SO_2 dans la fabrication de la chaux sont liées à la teneur en soufre du combustible et des matières premières, à la conception ou au type de four et aux exigences du produit. Les fours à cuve, y compris les fours PFR, ont généralement des émissions de SO_2 inférieures à celles des fours rotatifs ou des fours rotatifs équipés de PH. La sélection de combustibles et de matières premières à faible teneur en soufre peut réduire les émissions de SO_2 ⁵⁵.

Métaux lourds

36. Les émissions de métaux lourds — tels que le plomb, le cadmium et le mercure — lors de la fabrication du ciment et de la chaux peuvent être importantes en fonction de la présence de métaux lourds dans les matières premières et les combustibles fossiles et résiduaux.

37. Les métaux non volatils sont principalement liés aux particules et peuvent être contrôlés à l'aide de mesures contre les poussières et les particules, comme indiqué dans la section précédente. Les déchets recueillis doivent être traités comme des déchets dangereux, tel que décrit dans les **Directives EHS générales**.

38. Les métaux volatils tels que le mercure ne sont que partiellement adsorbés par la poussière de gaz brut, en fonction de la température des gaz résiduaux. Les techniques recommandées pour limiter les émissions de métaux lourds volatils sont les suivantes :

- mise en œuvre de contrôles de la teneur en métaux lourds volatils dans les matières premières et les combustibles résiduaux par le biais d'une surveillance et d'une sélection des matériaux (y compris des techniques d'extraction sélectives afin d'éviter les matériaux présentant des niveaux élevés de concentration en métaux) ;
- pour des concentrations élevées de métaux lourds volatils (en particulier le mercure), le transfert sélectif de poussières ou la « purge » de poussières de four enrichies en mercure, combiné à l'injection de sorbant, peut être utilisé pour limiter l'accumulation de mercure dans les poussières de four⁵⁶. Les déchets solides qui en résultent doivent être traités comme des déchets dangereux,

⁵⁴ Bien que les émissions de SO_2 ne soient généralement pas un problème important dans la fabrication du ciment, des épurateurs secs et humides peuvent être utilisés pour contrôler ces émissions. L'épuration à sec est une technique plus coûteuse et donc moins courante que l'épuration par voie humide. Elle est généralement utilisée lorsque les émissions de SO_2 risquent d'être supérieures à 1 500 milligrammes par mètre cube normal (mg/Nm^3).

⁵⁵ Pour plus d'informations sur le contrôle des émissions de SO_2 dans la fabrication de la chaux, voir Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 2.4.6.2, 279.

⁵⁶ Cette technique de transfert de poussière ou de « purge » est plus efficace en mode « arrêt du broyeur de cru », où le four fonctionne seul par opposition au fonctionnement en ligne avec le broyeur de cru afin d'utiliser les gaz du four pour sécher la matière première dans le broyeur de cru, car la poussière provient du préchauffeur, qui présente

tel que décrit dans les **Directives EHS générales**. Les mesures de contrôle des multipolluants, telles que les épurateurs humides et l'adsorption sur charbon actif, peuvent également être efficaces pour contrôler les concentrations élevées de métaux lourds volatils⁵⁷.

Combustibles résiduels, déchets et émissions atmosphériques associées

39. Les fours à ciment, en raison de leurs atmosphères fortement alcalines et de leurs températures de flamme élevées (jusqu'à 2000°C), sont capables d'utiliser des combustibles résiduels à haut pouvoir calorifique, par exemple des solvants usés, des huiles usées, des pneus usés, des combustibles dérivés de déchets et des déchets plastiques. Dans des cas exceptionnels, les fours à ciment peuvent également être utilisés pour éliminer les déchets qui ont un faible pouvoir calorifique ou minéral et qui ne contribuent pas au processus de production de clinker. Ce cotraitement de déchets dangereux (y compris les polychlorobiphényles (PCB), les pesticides organochlorés périmés et d'autres matériaux chlorés) ne doit être envisagé que si certaines conditions (examinées ci-dessous) sont remplies en ce qui concerne le contrôle du processus, le contrôle des émissions et le contrôle des intrants (par exemple, le contrôle de la teneur en métaux lourds, du pouvoir calorifique, de la teneur en cendres et de la teneur en chlore). Bien que l'utilisation de combustibles résiduels puisse permettre de remplacer les combustibles fossiles, en fonction de leur composition, l'utilisation de combustibles résiduels et le cotraitement de déchets dangereux, s'ils ne sont pas correctement exploités et contrôlés, peuvent entraîner l'émission de composés organiques volatils (COV), de polluants organiques persistants tels que les dibenzodioxines polychlorées (PCDD) et les dibenzofuranes (PCDF), ainsi que du fluorure d'hydrogène (HF), du chlorure d'hydrogène (HCl) (qui pourrait également être généré par les COV à partir de matières premières contenant du chlorure), et des métaux toxiques et leurs composés.

40. Les installations qui utilisent des combustibles résiduels ou qui cotraient des déchets dangereux dans la fabrication du ciment doivent documenter les quantités et les types de déchets utilisés, ainsi que les normes de qualité, telles que le pouvoir calorifique minimum et les niveaux de concentration maximum de certains polluants tels que les PCB, le chlore, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le mercure et d'autres métaux lourds. Une surveillance adéquate des émissions (abordée dans la [section 2 des présentes Directives](#)) devrait être effectuée lorsque des déchets sont brûlés dans des cimenteries, soit

des concentrations de mercure plus élevées, car elle n'est pas « diluée » à l'intérieur du broyeur de cru. La température des gaz de combustion doit être aussi basse que possible, de préférence inférieure à 130°C, afin d'obtenir un taux élevé d'efficacité d'adsorption. Voir Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), « Cement Clinker Production Facilities » in *Guidance on Best Available Techniques and Best Environmental Practices* (New York : PNUE, 2016), sections 3.2.1 et 3.2.2, 10-12, http://mercuryconvention.org/Portals/11/documents/publications/BAT_BEP_E_interactif.pdf.

⁵⁷ Les épurateurs humides sont plus efficaces dans les cas où les émissions dominantes de mercure sont sous forme d'oxyde. Si les niveaux de mercure élémentaire sont élevés, les épurateurs humides ne sont pas aussi efficaces, à moins que des additifs ne soient utilisés pour oxyder le mercure. Les filtres à charbon actif sont constitués d'un lit garni avec un dimensionnement modulaire du filtre pour s'adapter à différents niveaux de débit de gaz et de capacité du four. Voir PNUE, « Cement Clinker Production Facilities », sections 3.3.1 et 3.3.3.

comme combustible alternatif, soit dans le but de détruire ces déchets. Les techniques de prévention et de contrôle recommandées pour ces polluants atmosphériques sont les suivantes⁵⁸ :

- la surveillance et le contrôle de la teneur en métaux lourds volatils dans les matières premières et les combustibles résiduels par la sélection des matériaux et les mesures de contrôle décrites dans la section [Métaux lourds](#). Les métaux non volatils doivent être gérés conformément aux recommandations contenues dans la section [Particules](#) ;
- l'application de pratiques de stockage et de manutention appropriées pour les déchets dangereux et non dangereux devant être utilisés comme combustible ou matière première, comme décrit dans les **Directives EHS générales** ;
- l'injection directe de combustibles contenant des métaux volatils ou des concentrations élevées de COV dans le brûleur principal plutôt que par l'intermédiaire des brûleurs secondaires ;
- la non-utilisation de combustibles à forte teneur en halogènes pendant la combustion secondaire et pendant les phases de démarrage et d'arrêt ;
- le refroidissement rapide des gaz d'échappement du four à une température inférieure à 200°C dans les fours longs à voie humide et les fours longs à voie sèche sans préchauffage⁵⁹.

41. Dans la fabrication de la chaux, les combustibles et les matières premières résiduelles sont rarement utilisés en raison des exigences de qualité des produits⁶⁰.

⁵⁸ La GCCA fournit des orientations supplémentaires sur la gestion des combustibles et matériaux résiduels dans GCCA, *Guidelines for Co-Processing Fuels and Raw Materials in Cement Manufacturing* (Londres : GCCA, 2019b), https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2019/10/GCCA_Guidelines_FuelsRawMaterials_v04_AMEND.pdf.

⁵⁹ Les PCDD et les PCDF sont détruits par la flamme et les gaz à haute température, mais à une plage de température plus basse (250-500°C), ils peuvent se resynthétiser. Des temps de refroidissement courts, inférieurs à 200°C, sont possibles dans les fours à PHP et à PH, où le flux dans les cyclones est rapide, mais cela est plus difficile à obtenir dans d'autres types de fours. L'utilisation du charbon actif pour adsorber les traces de métaux volatils (par exemple, le mercure), les COV ou les PCDD-PCDF en est encore au stade d'expérimentation en raison de la composition différente des gaz. De bonnes conditions de fonctionnement et une sélection rigoureuse des matières premières peuvent permettre d'éviter l'utilisation de charbon actif. Des informations sur la prévention et le contrôle des émissions de PCDD et de PCDF sont disponibles dans WBCSD, *Formation and Release of POPs in the Cement Industry*, 2^e éd. (Genève : WBCSD, 2006), <http://docs.wbcsd.org/2006/01/FormationAndReleaseOfPOPsInCementIndustry.pdf>.

⁶⁰ 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, qui est capturé dans le produit et en diminue la valeur. Différents combustibles peuvent avoir une incidence différente sur la qualité du produit si la combustion n'est pas complète. Par conséquent, en raison de leurs propriétés de combustion, le gaz naturel et le pétrole sont les combustibles les plus couramment utilisés dans la fabrication de la chaux. Le charbon (à faible teneur en soufre) ou le coke de pétrole peuvent être utilisés lorsque la teneur en soufre du produit n'est pas un problème.

Bruits et vibrations

42. De nombreuses phases de fabrication du ciment et de la chaux sont des sources de niveaux sonores élevés. Il s'agit notamment de l'extraction des matières premières (comme indiqué dans les **Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction**), du broyage et du stockage, de la manutention et du transport des matières premières ou des produits intermédiaires et finaux, et de l'utilisation des ventilateurs d'extraction. Le contrôle des émissions sonores peut inclure l'utilisation de silencieux pour les ventilateurs, d'enceintes pour les opérateurs de l'usine, de barrières acoustiques, de déflecteurs sonores et de l'isolation. Les **Directives EHS générales** fournissent des niveaux pour les mesures recommandées de réduction du bruit et les niveaux de bruit ambiant et sur le lieu de travail.

Eaux usées

Traitement des eaux usées des procédés industriels

43. Les eaux usées proviennent principalement des installations de refroidissement dans les différentes phases du processus (par exemple, les roulements et les anneaux du four). Les techniques de traitement des eaux usées industrielles comprennent l'égalisation du débit et de la charge avec ajustement du pH, la sédimentation pour la réduction des solides en suspension à l'aide de bassins de décantation ou de clarificateurs, et la filtration multimédia pour la réduction des solides en suspension non décantables. La gestion des eaux usées industrielles et des exemples d'approches de traitement sont abordés dans les **Directives EHS générales**.

Autres flux d'eaux usées et consommation d'eau

44. Des orientations sur la gestion des eaux usées non contaminées provenant des activités des services publics, des eaux pluviales non contaminées et des eaux usées sanitaires sont fournies dans les **Directives EHS générales**. Les flux contaminés doivent être acheminés vers le système de traitement des eaux usées industrielles.

45. Les eaux pluviales qui s'écoulent à travers les stocks de coke de pétrole, de charbon et de déchets peuvent être contaminées. Il convient d'empêcher les eaux pluviales d'entrer en contact avec les stocks en les couvrant ou en les entourant d'une clôture étanche et en installant des dispositifs de contrôle des eaux de ruissellement. Les techniques recommandées de prévention de la pollution par les émissions de poussières provenant des stocks de matières premières, de clinker, de charbon et de déchets peuvent également contribuer à minimiser la contamination des eaux de ruissellement. Si les eaux pluviales entrent en contact avec les stocks, le sol et les eaux souterraines doivent être protégés de toute contamination potentielle par le pavage ou le revêtement de la base des stocks, l'installation de dispositifs de contrôle des eaux de ruissellement autour de ceux-ci et la collecte des eaux pluviales dans un bassin revêtu afin de permettre aux particules de se déposer avant d'être séparées, contrôlées et recyclées ou rejetées. Les **Directives EHS générales** fournissent des recommandations supplémentaires sur la gestion des eaux pluviales contaminées.

46. Bien que la fabrication du ciment ne soit pas grande consommatrice d'eau, elle peut contribuer au stress hydrique dans les régions saisonnièrement arides. Des recommandations visant à réduire la

consommation d'eau, en particulier lorsqu'il s'agit d'une ressource naturelle limitée, sont fournies dans les **Directives EHS générales**. Outre les mesures d'entretien, les cimentiers ont réussi à économiser l'eau en adoptant des systèmes de refroidissement à sec plutôt que par évaporation, par exemple dans les condenseurs des cycles de production d'électricité.

Déchets solides

47. Les sources de déchets solides dans la fabrication du ciment et de la chaux comprennent les déchets de production de clinker (composés principalement de déblais, qui sont séparés dans la carrière ou retirés des matières premières lors de la préparation du cru), ainsi que les déchets de clinker hors spécifications. Un autre flux de déchets potentiel, qui peut être considéré comme un déchet dangereux, concerne la poussière de four retirée du flux de dérivation et de la cheminée, si elle n'est pas recyclée dans le processus ou dans le produit final. L'entretien de l'usine génère également quelques déchets limités, par exemple des huiles usées et de la ferraille, ainsi que des matériaux réfractaires de four pouvant contenir des métaux lourds. D'autres déchets peuvent inclure de l'alcali, du chlorure ou du fluorure contenus dans les poussières accumulées dans le four⁶¹.

48. Dans la production de chaux, la poussière, la chaux vive hors spécifications et la chaux hydratée sont souvent réutilisées ou recyclées pour fabriquer des produits commerciaux sélectionnés, par exemple pour produire de la chaux pour la construction, de la chaux pour la stabilisation des sols, de la chaux hydratée et des produits granulés.

49. Des orientations sur la gestion des déchets dangereux et non dangereux figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.2 Santé et sécurité au travail

50. Les impacts les plus importants en matière de santé et de sécurité au travail se produisent au cours de la phase opérationnelle des projets de fabrication de ciment et de chaux, et comprennent principalement les éléments suivants⁶² :

- poussières dangereuses ;
- explosions et incendies ;
- énergies dangereuses ;
- risques électriques ;
- espaces confinés ;

⁶¹ Les installations plus anciennes qui utilisent encore des procédés semi-humides largement abandonnés peuvent également générer des filtrats alcalins à partir des filtres-presses.

⁶² Des informations plus détaillées relatives aux impacts sur la santé et la sécurité au travail peuvent être obtenues en consultant les normes en matière de bonnes pratiques internationales de santé et de sécurité au travail telles que Occupational Safety and Health Administration (US OSHA), 1910—General Industry, UK Health and Safety Executive (HSE) regulations and Codes of Practice et Australian and New Zealand guidelines and Codes of Practice.

- levage complexe et critique ;
- soudage, découpage et brasage (travaux à chaud) ;
- chaleur ;
- bruits et vibrations ;
- risques physiques ;
- rayonnements ;
- risques chimiques et autres problèmes d'hygiène industrielle.

Poussières dangereuses

51. L'exposition aux particules fines est associée aux travaux menés dans la plupart des étapes de la fabrication du ciment et de la chaux qui génèrent des poussières, mais surtout pendant l'extraction en carrière (voir **Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction**), la manutention des matières premières et le broyage du clinker ou du ciment. En particulier, l'exposition à la fraction respirable de la poussière de silice (SiO_2) active (cristalline) et à l'amiante lorsqu'elle est présente dans les matières premières et les produits (par exemple, la poussière de ciment) constitue un risque important dans le secteur de la fabrication du ciment et de la chaux, et des normes spécifiques de santé et de sécurité doivent être respectées pour maîtriser ces risques⁶³. Les méthodes de prévention et de contrôle de l'exposition à la poussière sont les suivantes :

- contrôle de la poussière par un bon nettoyage et un bon entretien, notamment l'utilisation de systèmes mobiles de nettoyage par aspiration pour empêcher l'accumulation de poussière sur les zones pavées ;
- utilisation de cabines fermées et climatisées ;
- utilisation de convoyeurs et élévateurs fermés dotés de dispositifs de contrôle des émissions aux points de transfert pour les émissions de poussières fugitives ;
- utilisation de systèmes d'extraction et de recyclage des poussières pour éliminer les poussières des zones de travail, en particulier dans les broyeurs ;

⁶³ Des informations sur la prévention et le contrôle des dangers liés à l'inhalation de silice peuvent être obtenues de plusieurs sources, notamment Health and Safety Ontario, *Silica in the Workplace* (2011) ; OSHA, *OSHA's Respirable Crystalline Silica Standard for General Industry and Maritime* (2018) ; American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), *2021 Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs)* ; US OSHA, *Occupational and Safety Health Standards, 1910.1053 Subpart Z, Toxic and Hazardous Substances, Respirable Crystalline Silica*, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1053> et *1910.1001 Subpart Z, Asbestos*, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1001> ; ASTM International, *ASTM E1132 13e1: Standard Practice for Health Requirements Relating to Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica* (West Conshohocken, PA, 2013), <https://www.astm.org/Standards/E1132.htm> ; UK HSE, *Control of Substances Hazardous to Health, Regulations 2002: Approved Code of Practice and Guidance*, L5 6th ed. (2013), <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/l5.pdf> ; and Cecala, Andrew B. et al., *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing*, Report no. RI9701, 2^e éd. (Cincinnati : NIOSH Publications, 2019), <https://www.cdc.gov/niosh/mining/UserFiles/works/pdfs/2019-124.pdf>.

- utilisation de la ventilation d'air (aspiration) dans les zones d'ensachage du ciment ;
- mesure de l'exposition des travailleurs aux poussières dangereuses ;
- utilisation d'équipements de protection individuelle (par exemple, des masques et des respirateurs) pour gérer l'exposition résiduelle après l'adoption des procédés et des contrôles techniques susmentionnés⁶⁴ ;
- mise en œuvre d'un programme de protection respiratoire. Un programme écrit de protection respiratoire doit préciser les procédures opérationnelles standard mises en place pour protéger tous les travailleurs contre les risques respiratoires. Il doit inclure un administrateur du programme, la sélection du respirateur, l'évaluation médicale, la procédure d'essai d'ajustement, les procédures d'utilisation, d'entretien et de qualité de l'air (respirateurs à adduction d'air), l'évaluation du programme et du lieu de travail, et la formation⁶⁵.

Explosions et incendies

52. Les incendies et les explosions peuvent résulter de nombreux processus différents et des combustibles utilisés dans l'industrie du ciment. En moyenne, 0,2 à 0,3 tonne de charbon est consommée dans un four par kilogramme de clinker produit, ce qui fait du stockage, de la manutention et du transport du charbon l'un des risques d'incendie les plus courants dans l'industrie du ciment. Parmi les autres risques d'incendie majeurs, citons les centrales électriques sur site, les composants électriques tels que les transformateurs et les appareillages de commutation, ainsi que le stockage de sacs vides.

53. Les risques d'explosion les plus courants dans les cimenteries sont liés à la poussière de charbon (explosion de poussière). Le charbon est pulvérisé en particules plus petites avant d'être utilisé dans un four, ce qui augmente considérablement le risque d'incendie ou d'explosion. Les filtres à manches utilisés dans les broyeurs à charbon peuvent exploser spontanément ou sous l'effet de l'électricité statique. En outre, l'accumulation de mélanges explosifs, tels que la poussière de charbon finement dispersée dans l'air ou le monoxyde de carbone présent dans l'air, peut entraîner un risque d'explosion dans les précipitateurs électrostatiques.

⁶⁴ Pour plus d'informations, consultez UK HSE, *Respiratory Protective Equipment at Work, A Practical Guide*, HSG53 4th ed. (2013), <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg53.pdf>; ASTM International, *ASTM F3387-19: Standard Practice for Respiratory Protection* (West Conshohocken, PA, 2019), doi: [10.1520/F3387-19](https://doi.org/10.1520/F3387-19), <https://www.astm.org/Standards/F3387.htm>; et/ou Nancy J. Bollinger et Robert H. Schultz, *NIOSH Guide to Industrial Respiratory Protection*, DHHS Publication Number 87-116 (1987), <https://www.cdc.gov/niosh/docs/87-116/pdfs/87-116.pdf?id=10.26616/NIOSH-PUB87116>.

⁶⁵ Pour plus d'informations, consultez US OSHA, *Occupational and Safety Health Standards, 1910.134(c) Subpart I, Respiratory Protection Program*, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.134> ou ASTM, *Standard Practice for Respiratory Protection*, <https://www.astm.org/Standards/F3387.htm>.

54. Pour prendre connaissance des pratiques recommandées, consulter les **Directives EHS générales** et les normes de BPI appropriées⁶⁶.

Sources d'énergie dangereuses

55. Les sources d'énergie — électriques, mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, chimiques, thermiques ou autres — présentes dans les machines et les équipements peuvent être dangereuses pour le personnel. Lors de l'entretien des machines et des équipements, le démarrage inattendu ou la libération de l'énergie stockée peut entraîner des blessures graves, voire mortelles, pour les travailleurs. Pour prendre connaissance des pratiques recommandées, consulter les **Directives EHS générales** et les normes de BPI appropriées en matière de santé et de sécurité au travail⁶⁷.

Risques électriques

56. La fabrication du ciment consomme beaucoup d'énergie et les cimenteries disposent d'équipements électriques lourds installés pour le contrôle, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique. Très souvent, les cimenteries sont équipées d'unités de production d'électricité dédiées. Le fonctionnement et l'entretien des circuits électriques et des machines, outils et équipements alimentés sont une source courante de risques électriques tels que les électrocutions, les arcs électriques, les brûlures, les incendies

⁶⁶ Voir US OSHA, 1910 Subpart H, Hazardous Materials, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartH> ; Subpart L, Fire Protection, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartL> ; Subpart S, Electrical, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartS> ;

National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 68-2002: Guide for Venting of Deflagrations, 2002 edition, in vol. 13, the 2004/2005 National Fire Codes, <https://webstore.ansi.org/standards/nfpa-fire/nfpa682002>; NFPA 69: Standard on Explosion Prevention Systems, <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=69>; NFPA 70: National Electric Code (2020) [https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/detail?code=70](https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70); NFPA 77: Recommended Practice on Static Electricity (2019), <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=77>; NFPA 85: Boiler and Combustion Systems Hazards Code (2019), <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=85>; NFPA 86: Standard for Ovens and Furnaces (2019), <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=86>; NFPA 499: Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installations in Chemical Process Areas (2021), <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=499>; NFPA 654: Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids (2020), <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=654> et American Society of Mechanical Engineers (ASME), Boiler and Pressure Vessel Code (2021), <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-complete-code-boiler-pressure-vessel-code-complete-set>.

⁶⁷ Parmi les exemples, citons US OSHA, 1910 Subpart J, General Environmental Controls, 1910.147: The Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout) <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.147>; US OSHA, 1910 Subpart S, Electrical, 1910.333 Selection and Use of Work Practices, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.333>; American Society of Safety Professionals (ASSP), ANSI/ASSP Z244.1-2016 (R2020) The Control of Hazardous Energy: Lockout, Tagout and Alternative Methods, <https://webstore.ansi.org/standards/asse/ansiasspz2442016r2020> et UK HSE, HSG253, The Safe Isolation of Plant and Equipment (2006), <https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg253.htm>.

et les explosions. Pour prendre connaissance des pratiques recommandées, consulter les **Directives EHS générales** et les normes de BPI appropriées en matière de santé et de sécurité au travail⁶⁸.

Espaces confinés

57. Dans une cimenterie, les travailleurs doivent régulièrement, dans le cadre de leur activité, pénétrer dans des espaces confinés tels que les fourneaux, les filtres à manches, les bacs, les concasseurs, les goulottes, les silos et les broyeurs. Des décès et des blessures graves en espace confiné se produisent encore, souvent en raison d'un manque d'identification et de contrôle des risques, et/ou de formation à propos de ces risques. Pour prendre connaissance des pratiques recommandées, consulter les **Directives EHS générales** et les normes de BPI appropriées en matière de santé et de sécurité au travail⁶⁹.

Levage complexe et critique

58. Les cimenteries sont dotées de gros équipements lourds qui doivent souvent être remplacés ou enlevés pour l'entretien. Cela peut nécessiter des opérations de levage impliquant des situations complexes et critiques, notamment le levage de personnel ou de matériaux dangereux, des approches ou des voies d'évacuation obstruées, des opérations de levage dépassant 75 % de la capacité nominale des équipements, un dégagement de la flèche inférieur à 3 pieds, des risques de proximité tels que le passage à moins de 20 pieds d'une ligne sous tension, et des levages en tandem ou à l'aide de grues multiples. Pour prendre connaissance des pratiques recommandées, consulter les **Directives EHS générales** et les normes de BPI appropriées en matière de santé et de sécurité au travail⁷⁰.

Soudage, découpage et brasage (travaux à chaud)

59. Les cimenteries dépendent fortement de structures et d'équipements métalliques qui s'usent avec le temps et nécessitent un entretien continu. Pour la division responsable de l'entretien d'une cimenterie, le soudage et le découpage sont des activités quotidiennes qui sont souvent associées à d'autres risques tels

⁶⁸ Voir US OSHA, 1910 Subpart S, *Electrical*; ANSI/NEC et HSE, *HSG85 Electricity at Work: Safe Working Practices* (2013), <https://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg85.htm>.

⁶⁹ US OSHA, 1910 Subpart J, *General Environmental Controls* 1910.146, *Permit-Required Confined Spaces*, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.146>; ASTM D4276-02: *Standard Practice for Confined Area Entry* (2020), <https://www.astm.org/Standards/D4276.htm> et Standards Australia, AS 2865-2009, *Confined Spaces*, <https://www.standards.org.au/standards-catalogue/sa-snz/publicsafety/sf-037/as-2865-2009>.

⁷⁰ ASME, ASME B30.19-2016, *Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings*, https://webstore.ansi.org/Standards/ASME/ASMEB30192016?source=blog&_ga=2.74808987.801118766.1632709424-2025001869.1632150268; US OSHA, 1910 Subpart N, *Materials Handling and Storage*, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartN> et US OSHA, *Safety and Health Regulations for Construction*, 1926 Subpart CC, *Cranes and Derricks in Construction*, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926SubpartCC>.

que le travail en hauteur ou l'entrée dans des espaces confinés. Pour prendre connaissance des pratiques recommandées, consulter les **Directives EHS générales** et les normes de BPI appropriées⁷¹.

Chaleur

60. Les risques liés à la chaleur dans une cimenterie peuvent se présenter sous deux formes différentes : le contact direct avec des surfaces et des matériaux chauffés, ou le stress et la contrainte thermiques résultant d'un travail prolongé à des températures élevées.

61. Les lésions dues à la chaleur peuvent survenir lors du fonctionnement et de l'entretien des fours, des tours de préchauffage, des précipitateurs électrostatiques ou d'autres équipements chauds, par contact direct avec du ciment chaud, du clinker chaud, des poussières de dérivation provenant des précipitateurs ou d'autres matériaux, et/ou par des réactions exothermiques dans le processus d'hydratation de la chaux. De même, le stress et la contrainte thermiques peuvent résulter d'un travail prolongé à l'extérieur sous des températures élevées ou à l'intérieur dans des zones à haute température, en particulier pour les travailleurs des fours. Pour prendre connaissance des pratiques recommandées, consulter les **Directives EHS générales** et les normes de BPI appropriées⁷².

Bruits et vibrations

62. De nombreuses phases de la fabrication du ciment et de la chaux peuvent exposer les travailleurs au bruit. Il s'agit notamment de l'extraction des matières premières (comme indiqué dans les **Directives EHS pour l'extraction des matériaux de construction**), du broyage et du stockage, de la manutention et du transport des matières premières ou des produits intermédiaires et finaux, et de l'utilisation des ventilateurs d'extraction. Les **Directives EHS générales** fournissent des niveaux pour les mesures recommandées de réduction du bruit et les niveaux de bruit ambiant et sur le lieu de travail.

63. Les principales sources de bruit et de vibrations dans les usines de ciment et de chaux sont les opérations de concassage et de broyage, les broyeurs, les goulottes et les trémies, les équipements mobiles, les ventilateurs d'extraction et les soufflantes. Le contrôle des émissions sonores peut inclure l'utilisation de silencieux pour les ventilateurs, d'enceintes pour les opérateurs de l'usine, de barrières acoustiques, de déflecteurs sonores, de l'isolation et, si le bruit ne peut être réduit à des niveaux acceptables, d'une protection auditive personnelle, comme décrit dans les **Directives EHS générales**.

⁷¹ US OSHA, 1910 Subpart Q, *Welding, Cutting and Brazing*, <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910SubpartQ> ; UK HSE, *Health and Safety Welding Resources*, <https://www.hse.gov.uk/welding/publications.htm> ; Safe Work Australia, *Model Code of Practice: Welding Processes*, <https://www.safeworkaustralia.gov.au/doc/model-code-practice-welding-processes> et NIOSH, Publication No. DHHS-NIOSH-88-110, *Criteria for a Recommended Standard: Welding, Brazing, and Thermal Cutting* (1988), <https://www.cdc.gov/niosh/docs/88-110/default.html>.

⁷² Voir la section sur le stress et la contrainte thermiques d'ACGIH, 2016 *TLVs and BEIs: Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices* (Cincinnati: ACGIH, 2016) ; NIOSH, *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments*, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/default.html> et la page Web du NIOSH sur le stress thermique, <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/default.html>.

Risques physiques

64. Les accidents survenant au cours des opérations de fabrication du ciment et de la chaux sont généralement liés à des glissades, des trébuchements et des chutes, à des contacts avec des objets en chute ou en mouvement, ainsi qu'au levage et à des efforts excessifs. D'autres blessures peuvent survenir à la suite d'accidents de la circulation liés au contact avec ou à l'emprisonnement dans des machines en mouvement — par exemple, des camions-bennes, des chargeuses frontales, des chariots élévateurs et machines d'ensachage. Les activités liées à l'entretien des équipements — y compris les concasseurs, les broyeurs, les séparateurs de broyeurs, les ventilateurs, les refroidisseurs et les convoyeurs à bande — sont des sources importantes d'exposition aux risques physiques. Les **Directives EHS générales** décrivent les moyens de gérer ces risques⁷³.

Rayonnements

65. Des stations de rayons X sont parfois utilisées pour contrôler en continu le mélange des matières premières sur le convoyeur à bande alimentant un broyeur de cru. Les opérateurs de stations de rayons X doivent être protégés par des mesures de protection contre les rayonnements ionisants, telles que décrites dans les **Directives EHS générales**.

Risques chimiques et autres problèmes d'hygiène industrielle

66. L'exposition au chrome peut contribuer à la dermatite allergique de contact chez les travailleurs manipulant du ciment⁷⁴. La prévention et le contrôle de ce risque comprennent la réduction de la proportion de chrome soluble dans les mélanges de ciment et l'utilisation d'un équipement de protection individuelle approprié pour éviter le contact cutané, comme décrit dans les **Directives EHS générales**.

67. L'oxyde de calcium (CaO), ou « chaux vive », réagit avec l'eau pour produire de l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂), de la « chaux hydratée », une solution caustique très corrosive. Un contact accidentel d'une durée suffisante avec de la chaux vive ou de la chaux hydratée en poudre sur la peau humide, les yeux ou les muqueuses provoque des brûlures caustiques des tissus. Il s'agit également d'une réaction exothermique fortement explosive qui génère de la vapeur chargée de chaux et des projections d'eau chaude, toutes deux très dangereuses en raison de leur température élevée et de leurs propriétés caustiques. Les zones où ces composés sont manipulés sous forme de poudre, ou les zones où la chaux est éteinte, doivent être couvertes et fermées, si possible, afin d'éviter de générer un risque de poussière. Des installations permettant de laver immédiatement la surface corporelle affectée doivent être disponibles, y compris des douches oculaires lorsque de la chaux vive est manipulée. Des équipements de protection individuelle, tels que des lunettes de sécurité, des gants, des vêtements de protection et des couvre-bottes, doivent être fournis lors du processus d'hydratation de la chaux, et des procédures de sécurité appropriées

⁷³ D'autres orientations sont disponibles dans WBCSD, *Health and Safety in the Cement Industry: Examples of Good Practice* (Geneva: WBCSD, 2004), <http://ficem.org/CIC-descargas/Suiza/CSI/Health-and-Safety-in-the-Cement-Industry-Examples-of-Good-Practice-2004.pdf>.

⁷⁴ Pour prévenir la dermatite allergique de contact, l'UE limite la teneur en chrome soluble dans le ciment à un maximum de 0,0002 % du poids sec total du ciment.

doivent être adoptées. Des orientations supplémentaires sur la gestion des risques chimiques figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.3 Santé et sécurité de la communauté

68. Les incidences sur la santé et la sécurité des communautés pendant la construction, l'exploitation et le démantèlement des installations de fabrication de ciment et de chaux sont communs à ceux de la plupart des installations industrielles et sont abordés dans les **Directives EHS générales**.

69. Parmi ces incidences et risques pour la santé et la sécurité de la communauté, il est important de souligner : i) le trafic et le nombre accru de véhicules stationnés à proximité de l'usine en attente de chargement ; ii) la surcharge des camions ; et iii) l'afflux de travailleurs, en particulier pendant la construction du projet. Dans le premier cas, si elles ne sont pas gérées, ces zones d'attente pourraient se transformer en établissements informels, ce qui pourrait exposer davantage la communauté locale à des risques en matière de santé et de sécurité. Ces zones d'attente doivent être clôturées, surveillées et situées en dehors de la route, et doivent disposer d'installations dédiées avec des vestiaires et des toilettes pour les conducteurs et les autres opérateurs. En ce qui concerne la surcharge des camions, des consignes précises et des instructions de la direction concernant les procédures et les limites de chargement doivent être appliquées dans l'usine afin d'éviter les risques accrus d'accidents de la route. Pour ce qui est de l'afflux de travailleurs, des plans spécifiques de gestion de la main-d'œuvre doivent être mis en place pour préserver la santé et la sécurité des communautés locales.

2. INDICATEURS DE PERFORMANCE ET SUIVI

2.1 Environnement

Directives sur les émissions et les effluents

70. Les tableaux 1, 2 et 3 présentent les directives en matière d'émissions et d'effluents pour cette branche d'activité. Les valeurs guides pour les émissions et les effluents des procédés dans ce secteur sont indicatives des BPI, telles que reflétées dans les normes pertinentes des pays disposant d'un cadre réglementaire reconnu. Ces recommandations sont réalisables dans des conditions d'exploitation normales, dans des installations conçues et exploitées de manière appropriée, grâce à l'application des techniques de prévention et de contrôle de la pollution examinées dans les sections précédentes du présent document. Ces niveaux doivent être atteints, sans dilution, au moins 95 % du temps de fonctionnement de l'usine ou de l'unité, à calculer en proportion de ses heures de fonctionnement annuelles. Tout écart par rapport à ces niveaux dans les conditions locales spécifiques du projet doit être justifié dans l'évaluation environnementale.

71. Les directives en matière d'effluents s'appliquent aux rejets directs d'effluents traités dans les eaux de surface à usage général. Des niveaux de rejet spécifiques au site considéré peuvent être établis en fonction de la disponibilité et des conditions d'utilisation des systèmes publics de collecte et de traitement

des eaux usées ou, en cas de rejet direct dans les eaux de surface, en fonction de la classification de l'utilisation des eaux réceptrices telle que décrite dans les **Directives EHS générales**. Les directives en matière d'émissions s'appliquent aux émissions des procédés. Les directives relatives aux émissions des sources de combustion associées aux activités de production de vapeur et d'électricité à partir de sources d'une capacité égale ou inférieure à 50 MWth sont traitées dans les **Directives EHS générales**. Les émissions des sources d'énergie plus importantes sont traitées dans les **Directives EHS pour les centrales thermiques**. Des orientations sur les considérations ambiantes basées sur la charge totale des émissions sont fournies dans les **Directives EHS générales**.

Utilisation efficace des ressources et déchets

72. Le tableau 4 donne des exemples d'utilisation des ressources et de production de déchets dans cette branche d'activité qui peuvent être considérés comme des indicateurs de BPI pour les nouvelles machines du secteur et peuvent être utilisés pour suivre l'évolution des performances dans le temps⁷⁵.

⁷⁵ Correction des erreurs du tableau 4 datée d'avril 2025 visant à rectifier la référence sectorielle pour le « ratio clinker/ciment », qui devrait être « inférieur à 70–75 % » et non « 30 % », à apporter des précisions sur les additifs cimentaires inclus, et à introduire une nouvelle note de bas de page « f » avec des références. La note de bas de page « e » a été développée pour clarifier l'influence du ratio de clinker sur les émissions de gaz à effet de serre.

**DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES, SANITAIRES ET
SECURITAIRES
FABRICATION DU CIMENT ET DE LA CHAUX**

24 juin 2022 [Correction des erreurs du tableau 4 datée
d'avril 2025]

TABLEAU 1. NIVEAUX D'EMISSIONS ATMOSPHERIQUES POUR LA FABRICATION DU CIMENT		
POLLUANTS	UNITES	VALEUR GUIDE
Particules (nouveau système de four avec nettoyage à sec des gaz de combustion au moyen d'un filtre ESP, d'un filtre en tissu et/ou d'un filtre hybride)	mg/Nm ³	25 ^a
Particules (fours existants)	mg/Nm ³	100
Poussières (autres sources ponctuelles, y compris le refroidissement du clinker, le broyage du ciment)	mg/Nm ³	25
SO₂	mg/Nm ³	400 ^b
NO_x	mg/Nm ³	600 NDA ^c voir note en bas de page pour DA ^c
Dérapage de NH₃ dans les gaz de combustion (lorsque la SNCR est appliquée)	mg/Nm ³	<30–50 ^d
HCl	mg/Nm ³	10 ^e
Fluorure d'hydrogène	mg/Nm ³	1 ^e
Carbone organique total	mg/Nm ³	30 ^f
Dioxines-furannes	ng TEQ/Nm ³	0,1 ^e
Cadmium et thallium (Cd+Tl)	mg/Nm ³	0,05 ^e
Mercure (Hg)	mg/Nm ³	0,05 ^e
Métaux totaux ^g	mg/Nm ³	0,5
Notes : Sauf indication contraire, les émissions proviennent de la cheminée du four. Valeurs moyennes journalières corrigées à 273°K, 101,3 kilopascals (kPa), 10 % O ₂ , et gaz sec, sauf indication contraire. ng TEQ/Nm ³ = nanogrammes d'équivalent toxique de dioxine par mètre cube normal. Voir Van den Berg et al., « The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds », <i>Toxicological Sciences</i> 93, no.2 (octobre 2006): 223-241. doi: 10.1093/toxsci/kfi055 et OMS, <i>International Programme on Chemical Safety guidelines</i> , http://www.who.int/ipcs/assessment/tcf_values.pdf . NDA = bassin atmosphérique non dégradé ; DA = bassin atmosphérique dégradé. Le bassin atmosphérique doit être considéré comme dégradé si les normes pertinentes de qualité de l'air ambiant (telles que définies dans les Directives EHS générales) sont dépassées ; le DA ou le NDA doit être déterminé pour chaque polluant. L'évaluation environnementale (EE) peut justifier des valeurs guides plus strictes ou moins strictes en raison de considérations environnementales, sanitaires, techniques et économiques, tout en ne dépassant pas les limites imposées par la législation nationale. Dans tous les cas, l'EE doit démontrer que les incidences des émissions sur l'environnement sont conformes aux exigences de la section 1.1 des Directives EHS générales .		

DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES, SANITAIRES ET SECURITAIRES

FABRICATION DU CIMENT ET DE LA CHAUX

24 juin 2022 [Correction des erreurs du tableau 4 datée
d'avril 2025]

^a Des niveaux d'émission de particules provenant des gaz de combustion des nouveaux procédés de cuisson des fours de <10-20 mg/Nm³ (valeur moyenne journalière) peuvent être atteints lors de l'application d'un ESP et/ou des filtres en tissu et hybrides. Voir Schorcht et al., *Best Available Techniques*, sec. 4.2.5.3, 348. La directive est de 10 mg/Nm³ si plus de 40 % de la chaleur dégagée provient de déchets dangereux. Voir Commission européenne (CE), *Directive 2010/75/EU* sur l'incinération des déchets.

^b Pour la valeur guide de SO₂, voir Schorcht et al., *Best Available Techniques*, tableau 4.4, 351.

^c La valeur guide de NO_x de 600 mg/Nm³ est dérivée des références de projets d'IFC et devrait être appliquée dans les NDA. Pour les projets situés dans des DA ou des zones écologiquement sensibles, il se peut que les niveaux de NO_x doivent être inférieurs à la valeur guide pour protéger la santé humaine et l'environnement. L'application de la valeur guide de 600 mg/Nm³ doit être justifiée dans l'analyse d'impact du projet, y compris une analyse de faisabilité technique et financière détaillée des mesures nécessaires pour atteindre des valeurs inférieures à la valeur guide. L'utilisation de contrôles secondaires de la pollution, y compris la SNCR, peut s'avérer nécessaire pour atteindre la valeur guide ou une valeur inférieure. L'utilisation de la SNCR doit inclure l'évaluation et l'atténuation des risques associés au transport, au stockage et à l'utilisation des agents réducteurs (par exemple, l'ammoniac, l'urée) conformément aux orientations sur la gestion des matières dangereuses figurant dans les **Directives EHS générales**.

^d Le dérapage de l'ammoniac dépend du niveau initial de NO_x et de l'efficacité de réduction des NO_x.

^e Pour le chlorure d'hydrogène (HCl), le fluorure d'hydrogène (HF), le cadmium et le thallium, le mercure et les métaux totaux, la directive est une valeur moyenne journalière ou une moyenne sur une période d'échantillonnage (mesures ponctuelles, pendant au moins 30 minutes). Voir Schorcht et al., *Best Available Techniques*, sec. 4.2.6.5, 352, pour le HCl et le HF, et sec. 4.2.8 tableau 4.5, 353, pour les métaux. Pour les dioxines-furannes, la directive est la moyenne sur une période d'échantillonnage de 6 à 8 heures. Voir CE, *Reference Document on Best Available Techniques*, section 4.2.7, 353 pour les dioxines-furannes. Si plus de 40 % de la chaleur dégagée provient de déchets dangereux, la directive prévoit des valeurs moyennes sur une période d'échantillonnage de 30 minutes au minimum et de 8 heures au maximum. Voir CE, *Directive 2010/75/EU* sur l'incinération des déchets.

^f Une évaluation détaillée du dépôt doit être effectuée pour déterminer le niveau de carbone organique total dans le dépôt et définir le seuil final de COT à respecter en dessous de la valeur guide indiquée de 30 mg/Nm³.

^g Métaux totaux = Arsenic (As), Plomb (Pb), Cobalt (Co), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Vanadium (V) et Antimoine (Sb). Voir Schorcht et al., *Best Available Techniques*, tableau 4.5, 353.

**DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES, SANITAIRES ET
SECURITAIRES
FABRICATION DU CIMENT ET DE LA CHAUX**

24 juin 2022 [Correction des erreurs du tableau 4 datée d'avril 2025]

TABLEAU 2. NIVEAUX D'EMISSIONS ATMOSPHERIQUES POUR LA FABRICATION DE LA CHAUX		
POLLUANTS	UNITES	VALEUR GUIDE ^a
Poussières	mg/Nm ³	25
SO ₂	mg/Nm ³	200 pour les fours PFRK, ASK, MFSK, OSK et PRK ou 400 pour le four LRK
NO _x	mg/Nm ³	350 pour les fours PFRK, ASK, MFSK, OSK ou 500 pour les fours LRK, PRK
HCl	mg/Nm ³	10
Notes : Pour les valeurs guides de SO ₂ , voir Schorcht et al, <i>Best Available Techniques</i> , tableau 4.10, 365. Pour NO _x , voir ibid, tableau 4.9, 364. ^a Valeurs moyennes journalières corrigées à 273°K, 101,3 kPa, 10 % O ₂ , et gaz sec, sauf indication contraire.		

TABLEAU 3. NIVEAUX D'EFFLUENTS : FABRICATION DU CIMENT ET DE LA CHAUX		
POLLUANTS	UNITES	VALEUR GUIDE
pH	S.U.	6–9
Total des solides en suspension	mg/L	50
Huiles et graisses	mg/L	10
Augmentation de la température	°C	<3 ^a
^a À la limite d'une zone de mélange scientifiquement établie, 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		

DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES, SANITAIRES ET SECURITAIRES FABRICATION DU CIMENT ET DE LA CHAUX

24 juin 2022 [Correction des erreurs du tableau 4 datée d'avril 2025]

TABLEAU 4. CONSOMMATION DE RESSOURCES ET D'ENERGIE		
APPORTS PAR UNITE DE PRODUIT	UNITE	REFERENCE DU SECTEUR
Énergie du combustible : ciment	GJ/t clinker	Four à PHP : 2,9–3,3 ^a
Énergie électrique : ciment	kWh/t ciment	80–105 ^b
Énergie électrique : broyage du clinker	kWh/t ciment	28–45 ^c
Énergie du combustible : chaux	GJ/t chaux	4-4,7 fours à cuve à alimentation mixte ^d 3,6-6 fours à cuve et rotatifs avancés ^d
Énergie électrique : chaux	kWh/t chaux équivalente	5-15 fours à cuve à alimentation mixte ^d 20-40 fours à cuve et rotatifs avancés ^d
Émissions de GES	Émissions de CO ₂ (équivalent) en kg/t ciment	550-700 (y compris les émissions de GES dues à la consommation d'électricité) ^e
Ratio clinker/ciment	%	Teneur en clinker inférieure à 70–75 % (ce qui signifie plus de 25–30 % d'additifs tels que le gypse et de substituts du clinker par des matériaux cimentaires alternatifs comme le laitier de haut fourneau, les cendres volantes, la pouzzolane, la fumée de silice, le schiste calciné, le calcaire et d'autres matériaux tels que l'argile calcinée) ^f

^a Référence d'IFC ; Schorcht et al, *Best Available Techniques* ; et Worrell, Kermeli et Galitsky, *Energy Efficiency Improvement*.
^b Références d'IFC ; GCCA, « Getting the Numbers Right 2018 », dataset 33AGW. Les données les plus récentes de la GCCA doivent être consultées.
^c IIP, n.d., « Vertical Roller Mills for Finish Grinding ».
^d Schorcht et al., *Best Available Techniques*.
^e Les références d'IFC incluent les émissions de GES provenant de l'énergie électrique consommée, qu'elle soit produite sur place ou importée du réseau. Il convient de noter que ces émissions peuvent varier encore davantage que cette fourchette, en fonction du ratio clinker/ciment, lui-même influencé par le portefeuille de produits cimentiers, la source des combustibles utilisés dans les fours, et d'autres facteurs.
^f Il convient de noter que le ratio clinker/ciment varie largement en fonction de la composition des produits cimentiers et des normes applicables à ces produits (par exemple EN 197-6, ASTM C150, C595, IS 269:2015 ou normes locales de qualité du ciment). Les valeurs de référence sont données à titre indicatif ; certaines applications finales exigent un ciment à plus forte teneur en clinker que d'autres, et les valeurs doivent donc être adaptées en conséquence. Toutefois, la tendance actuelle est à la promotion de ciments à plus faible teneur en clinker, qui deviennent de plus en plus courants dans l'industrie.

Surveillance de l'environnement

73. Des programmes de surveillance environnementale pour ce secteur doivent être mis en œuvre pour toutes les activités identifiées comme ayant un impact potentiellement important sur l'environnement, à la fois pendant les opérations normales et pendant les périodes de perturbation. Les activités de surveillance

de l'environnement doivent être basées sur des indicateurs directs ou indirects des émissions, des effluents et de l'utilisation des ressources d'un projet particulier⁷⁶.

74. La fréquence de surveillance doit être suffisante pour fournir des données représentatives du paramètre surveillé. La surveillance doit être effectuée par des personnes formées qui respectent les procédures de surveillance et d'enregistrement et qui utilisent un équipement correctement calibré et entretenu. Les données de surveillance doivent être analysées et examinées à intervalles réguliers et comparées aux normes d'exploitation afin que les mesures correctives nécessaires puissent être prises. Les **Directives EHS générales** fournissent des indications supplémentaires sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse applicables aux émissions et aux effluents.

75. Les installations qui utilisent des combustibles ou des matières premières résiduelles dans la fabrication du ciment doivent documenter les quantités et les types de déchets utilisés, soit comme combustible soit comme matière première, ainsi que les normes de qualité, telles que le pouvoir calorifique minimum et les niveaux de concentration maximum de certains polluants tels que les PCB, le chlore, les hydrocarbures aromatiques polycycliques, le mercure et d'autres métaux lourds.

2.2 Santé et sécurité au travail

Directives sur la santé et la sécurité au travail

76. Les performances en matière de santé et de sécurité au travail doivent être évaluées par rapport aux directives d'exposition publiées au niveau international. Les exemples incluent les valeurs limites de seuil pour l'exposition professionnelle et les indices d'exposition biologique, publiés par l'ACGIH⁷⁷ ; *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*, publié par l'Institut national américain pour la santé et la sécurité au travail (NIOSH)⁷⁸ ; les limites d'exposition admissibles, publiées par l'*Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) des États-Unis⁷⁹ ; et des *Indicative Occupational Exposure Limit Values*, publiées par l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA)⁸⁰.

⁷⁶ Les paramètres et fréquences de surveillance environnementale recommandés sont disponibles dans Schorcht et al, *Best Available Techniques*, sec. 4.2.2, 341 et WBCSD (2012).

⁷⁷ La publication est disponible à l'adresse :
<https://portal.acgih.org/s/store#/store/browse/cat/a0s4W00000g02f8QAA/tiles>.

⁷⁸ Voir Centers for Disease Control and Prevention (CDC), *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*, DHHS Publication Number 2005-149 (Cincinnati : NIOSH Publications, 2007), <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2005-149/pdfs/2005-149.pdf>.

⁷⁹ Voir OSHA, *TABLE Z-1 Limits for Air Contaminants* (n.d.), extrait de
http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

⁸⁰ Voir EU-OSHA, *Directive 2019/1831: Indicative Occupational Exposure Limit Values*, 2019
<https://osha.europa.eu/en/legislation/directive/directive-20191831-indicative-occupational-exposure-limit-values>.

Taux d'accidents et de décès

77. La direction du projet doit s'efforcer de réduire à zéro le nombre d'accidents parmi les travailleurs du projet (qu'ils soient employés directement ou en sous-traitance), en particulier les accidents susceptibles d'entraîner une perte de temps de travail, une invalidité ou, pire encore, des décès. Les taux de mortalité peuvent être comparés aux performances des installations de cette branche d'activité dans les pays développés en consultant des publications faisant autorité, provenant de sources telles que le *US Bureau of Labor Statistics*, la *Mines Safety and Health Administration* (MSHA), la *UK HSE* et la *Cement Sustainability Initiative* du WBCSD/*Global Cement and Concrete Association* (GCCA)⁸¹.

Suivi de la santé et de la sécurité au travail

78. L'environnement de travail doit faire l'objet d'un suivi afin de détecter les risques professionnels liés au projet. Le suivi doit être conçu et mis en œuvre par des professionnels accrédités dans le cadre d'un programme de suivi de la santé et de la sécurité au travail⁸². Les établissements doivent également tenir un registre des accidents du travail, des maladies professionnelles, des situations dangereuses et des autres accidents. L'environnement de travail doit également faire l'objet d'un contrôle des concentrations et de l'exposition à la silice, à l'amiante et à d'autres particules. L'incidence des maladies pulmonaires au sein du personnel doit faire l'objet d'un suivi périodique. Les **Directives EHS générales** fournissent des orientations supplémentaires sur les programmes de suivi de la santé et de la sécurité au travail.

3. REFERENCES ET SOURCES COMPLEMENTAIRES

<https://store.astm.org/c0150-07.html>. https://store.astm.org/c0595_c0595m-24.html. European Norm (EN). 2023. EN-197-6 2023. Cement with Recycled Building Materials, Part 6. [Disponible à l'achat]. IS. 2015. IS 269:2015. ISI Marked Certification for Ordinary Portland Cement.

⁸¹ Disponible aux adresses : <http://www.bls.gov/iif/>, <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm> et <https://www.wbcds.org> ou <https://www.wbcds.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative> ou <https://gccassociation.org/>, respectivement.

⁸² Les professionnels accrédités peuvent être des hygiénistes industriels certifiés, des hygiénistes du travail agréés et des professionnels de la sécurité certifiés, ou leurs équivalents.

ANNEXE A. DESCRIPTION GENERALE DES ACTIVITES DU SECTEUR

79. Les processus de production du ciment et de la chaux sont similaires. Tous deux impliquent l'extraction en carrière et l'exploitation minière, le broyage et l'homogénéisation des matières premières, comme l'illustre la figure A.1. Pour minimiser les coûts de transport et permettre l'utilisation de convoyeurs à bande, les installations de fabrication de ciment et de chaux sont généralement situées à proximité des sources des matières premières et des marchés des produits. La fabrication du ciment et la fabrication de la chaux sont des secteurs à forte intensité énergétique qui nécessitent d'importantes quantités d'énergie thermique et électrique, en fonction du type de procédé de production utilisé et des équipements associés.

Fabrication du ciment

80. Pour fabriquer du ciment, des matières premières — principalement le calcaire (carbonate de calcium), l'argile (silicates d'aluminium), le sable (oxyde de silice) et le minerai de fer — sont transformées pour produire le clinker, qui est broyé avec du gypse, du calcaire et d'autres matériaux. Une ligne de production unique et compacte — four à préchauffeur-précalcinateur (PHP) ou four à préchauffeur (PH) d'une capacité de production de clinker de 3 000 tonnes par jour — nécessite généralement une surface plane d'environ 400 000 mètres carrés (m²) et une surface supplémentaire — généralement 250 000 m² ou plus — pour un agrandissement futur. La durée de vie d'une installation de projet est d'au moins 40 à 50 ans. Les usines traitent généralement entre 2 500 et 12 000 tonnes de ciment par jour. La taille de l'usine est importante, car les différences d'échelle de production peuvent avoir un impact significatif sur les coûts de production et, par conséquent, sur les coûts d'investissement dans les technologies de réduction et de contrôle de la pollution. Le même niveau de performance environnementale peut être atteint par les petites et les grandes usines, mais plus l'usine est petite, plus le coût par unité de production de ciment est élevé.

81. Après une première étape de concassage et de prémélange, les matières premières sont mélangées et broyées pour former un mélange homogène — appelé farine crue — qui présente la composition chimique requise. La finesse et la distribution granulométrique de la farine crue sont des caractéristiques importantes pour le processus de cuisson. Après le mélange, le processus se déroule dans une combinaison de PH, de précalcinateur et d'un four rotatif en calcinant la farine crue, qui décompose le carbonate de calcium à environ 900°C, libérant ainsi du dioxyde de carbone et laissant de l'oxyde de calcium. Cela conduit au processus de clinkérisation, où l'oxyde de calcium réagit à une température de 1 400 à 1 500°C avec la silice, l'alumine et les oxydes ferreux. À ce stade, d'autres constituants — par exemple, du sable siliceux, du sable de fonderie, de l'oxyde de fer, des résidus d'alumine, du laitier de haut fourneau et/ou des résidus de gypse — peuvent être ajoutés au mélange de matières premières pour créer une composition particulière souhaitée. La température de la flamme et des gaz produits est proche de 2 000°C. Le clinker chaud tombe du four sur le refroidisseur, où il doit être refroidi le plus rapidement possible pour améliorer la qualité du clinker et faciliter en même temps la récupération de la chaleur en chauffant l'air de combustion secondaire. Aujourd'hui, des refroidisseurs à grilles sont généralement utilisés à cette fin, plutôt que des refroidisseurs satellites, désormais obsolètes. Le clinker refroidi est ensuite broyé avec du gypse et du calcaire pour produire du ciment Portland, puis broyé avec d'autres composants pour produire des ciments composites ou composés. Le ciment est ensuite stocké dans des silos ou des sacs. Les constituants du mélange — par exemple, les pouzzolanes naturelles, les cendres volantes, le laitier de

haut fourneau et parfois les cendres résiduelles — sont des matériaux qui ont des propriétés hydrauliques. Les cendres volantes et les cendres résiduelles ne doivent pas contenir de résidus de carbone (provenant généralement de centrales électriques à charbon). Du carbonate de calcium est parfois ajouté en petites quantités comme agent de remplissage.

Fabrication de la chaux

82. La chaux est produite en brûlant du CaCO_3 — ou moins fréquemment de la dolomite, qui est un mélange de carbonate de calcium et de magnésium — à des températures supérieures à 800°C pour provoquer la décarbonatation de la matière première et produire de la chaux vive (oxyde de calcium). La chaux vive est ensuite maintenue à des températures de $1\,200^\circ\text{C}$ à $1\,300^\circ\text{C}$ pour ajuster la réactivité. La chaux calcinée peut être livrée à l'utilisateur final sous forme de chaux vive (dure, moyenne ou douce, en fonction de sa réactivité). La chaux douce est la plus réactive et est couramment utilisée par les producteurs d'acier. La chaux vive peut également être transférée dans une usine d'hydrates où, par une forte réaction exothermique, elle réagit avec l'eau pour produire de la chaux éteinte (hydroxyde de calcium). La chaux éteinte se présente sous deux formes : sèche (poudre) ou lait de chaux (liquide). Le processus de production de la chaux éteinte consiste en une séparation granulométrique et une hydratation, suivies du stockage dans des réservoirs (dans le cas du lait de chaux) ou dans des silos (pour la chaux éteinte sèche) pour la vente en vrac ou en sacs.

FIGURE A.1 PROCEDES DE FABRICATION DU CIMENT

