
**Captage du dioxyde de carbone —
Vue d'ensemble des technologies de
captage du dioxyde de carbone dans
l'industrie du ciment**

*Carbon dioxide capture — Overview of carbon dioxide capture
technologies in the cement industry*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 27922:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-b73488703ff3/iso-tr-27922-2021)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-
b73488703ff3/iso-tr-27922-2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-b73488703ff3/iso-tr-27922-2021)



iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 27922:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-b73488703ff3/iso-tr-27922-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-b73488703ff3/iso-tr-27922-2021>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office

Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8

CH-1214 Vernier, Genève

Tél.: +41 22 749 01 11

E-mail: copyright@iso.org

Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Le CO₂ et l'industrie du ciment	1
4.1 Fabrication du ciment.....	1
4.2 Émissions de CO ₂ produites par l'industrie du ciment.....	3
4.2.1 Description du procédé de production.....	3
4.2.2 Émissions dues au procédé de calcination.....	3
4.2.3 Émissions dues à la combustion.....	4
4.2.4 Émissions comparées à d'autres secteurs.....	4
4.3 Purification du CO ₂ après captage.....	4
4.4 Technologies de réduction globale.....	4
5 Vue d'ensemble des technologies de captage du CO₂	5
5.1 Absorption avec des amines.....	5
5.2 Absorption avec de l'ammoniac réfrigéré.....	6
5.3 Technologies d'adsorption à base de sorbant.....	7
5.4 Technologie de combustion oxy-fuel.....	7
5.5 Technologie de séparation par adsorption modulée en pression.....	8
5.6 Séparation par membranes.....	9
5.7 Séparation directe.....	10
5.8 Boucle de calcium.....	11
6 Vue d'ensemble et évaluation	13
6.1 Facteurs d'évaluation des technologies de captage du CO ₂	13
6.2 Étude de cas de l'évaluation technico-économique des technologies de captage du CO ₂	14
6.3 Possibilité de modernisation des technologies de captage du CO ₂ dans des cimenteries existantes.....	16
7 Considérations finales	16
Bibliographie	18

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute autre information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 265, *Captage du dioxyde de carbone, transport et stockage géologique*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/members.html.

Introduction

Le béton est la substance manufacturée la plus utilisée sur la planète en termes de volume. Par exemple, il est utilisé pour construire des maisons, des écoles, des usines, des routes, des voies ferrées et des ports, et pour créer les infrastructures nécessaires à l'adduction d'eau propre, l'assainissement et l'alimentation en énergie. Ces éléments sont importants pour la qualité de vie, la santé publique ainsi que le bien-être social et économique.

Les matières premières nécessaires pour fabriquer le béton sont abondantes et disponibles dans la plupart des pays du monde. Le béton est économique, robuste, durable et résistant aux incendies, inondations et parasites. Il permet de produire des structures complexes et massive. Il n'existe à ce jour aucun autre matériau disponible en quantités nécessaires pour répondre à la demande dans le secteur du bâtiment et des infrastructures.

Le ciment sert à fabriquer le béton. Il est décrit comme étant le liant qui lie les agrégats entre eux. Étant donné que l'économie ne cesse de croître, notamment en Asie, on prévoit une augmentation de la demande en béton, et donc en ciment, de 12 % à 23 % d'ici 2050, par rapport à 2014.

L'augmentation de la population mondiale, les modèles d'urbanisation et le développement d'infrastructures entraîneront une hausse de la production mondiale de ciment. On prévoit une utilisation plus efficace du béton et du ciment, et une diminution des coulées de béton lors de la phase d'application. Le secteur du ciment fait face à un enjeu de taille: répondre à la demande croissante en ciment tout en réduisant les émissions directes de CO₂ issues de sa production^[2]. L'industrie du ciment est un gros émetteur de CO₂ dans le monde entier. Elle s'est engagée à réduire son empreinte carbone afin d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris sur le changement climatique.

Les émissions dues au procédé de production de clinker de ciment doivent être soumises à une étape essentielle de décarbonatation du ciment. Dans les procédés normaux de production de ciment, ces émissions dues au procédé se situent entre 500 kg de CO₂/tonne de clinker et 540 kg de CO₂/tonne de clinker^[1], ce qui correspond à 250 kg de CO₂ à 500 kg de CO₂ par tonne de ciment selon le type de ciment. Pour réduire ces émissions dues au procédé, il est également possible de remplacer le calcaire par d'autres matières premières contenant moins de carbonate, mais la disponibilité de ces alternatives ainsi que la possibilité de substitution sont limitées (en fonction des qualités requises du ciment).

Outre les émissions dues au procédé, les émissions dues à la combustion constituent une autre contribution aux émissions de CO₂. À l'avenir, remplacer les combustibles carbonés par des sources d'énergie non carbonées et de l'énergie thermique issue de biomasses (considérées neutres en CO₂) contribuera à réduire la part du carbone dans l'approvisionnement énergétique pour l'industrie du ciment.

Une méthode de réduction des émissions de CO₂ consiste à capter le CO₂ émis par la production de ciment (émissions directes pendant le procédé de production et émissions liées à la production d'énergie locale). Le captage du CO₂ est une nouvelle technique de réduction du CO₂ dans l'industrie du ciment. Cela signifie que le CO₂ issu de la combustion des combustibles et de la transformation des matières premières peut être capté et stocké définitivement ou réutilisé. Généralement, l'intégration de l'équipement de captage du CO₂ augmente la part énergétique spécifique de la production de ciment, car il est nécessaire d'utiliser davantage d'énergie pour faire fonctionner l'installation de captage du CO₂. Il faut ensuite sécher, purifier et comprimer le CO₂ capté en vue de son transport, son stockage (géologique) et son utilisation^[2]. Le transport, le stockage (géologique) et l'utilisation du CO₂ ne font pas partie du domaine d'application du présent document.

À ce jour, aucune technologie de captage du CO₂ à grande échelle n'a été installée dans le secteur du ciment. Différentes technologies sont toutefois en cours de développement afin d'aider l'industrie du ciment à atteindre ses objectifs. Plusieurs cimenteries participent à un ou plusieurs projets de recherche, développement et/ou démonstration dans le domaine du captage du CO₂. Ces projets fournissent des informations utiles sur l'application des différentes technologies dans le secteur du ciment.

Pour faciliter l'évaluation et la comparaison des différentes technologies de captage du CO₂, le présent document résume ces technologies qui sont en cours de développement. Ce résumé ajoute et met

à jour les informations fournies dans l'ISO/TR 27912:2016, Article 10 sur le captage des procédés de production de ciment. Ce document donnera des informations sur les différentes technologies de capture du CO₂ et d'autres aspects pertinents pour l'industrie du ciment et ses parties prenantes.

Dans les années à venir, le captage du CO₂ sera un sujet important pour toutes les cimenteries^[5]. Il existe actuellement environ 2 000 cimenteries émettrices de CO₂ dans le monde^[14], la majorité étant implantée en Asie. La mise en œuvre du captage du CO₂ dans le secteur du ciment au niveau mondial nécessite une infrastructure de transport et de stockage pour faciliter la décarbonatation du ciment produit par les cimenteries qui ne sont pas situées à proximité d'installations de stockage géologique ou d'installations d'utilisation du CO₂. Combinée aux investissements déployés pour les installations de captage du CO₂, il s'agira un facteur coût majeur pour l'industrie du ciment.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 27922:2021](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-b73488703ff3/iso-tr-27922-2021)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-b73488703ff3/iso-tr-27922-2021>

Captage du dioxyde de carbone — Vue d'ensemble des technologies de captage du dioxyde de carbone dans l'industrie du ciment

1 Domaine d'application

Le présent document fournit une vue d'ensemble des technologies en cours de développement pour capter le dioxyde de carbone (CO₂) produit lors de la fabrication du ciment.

Il est destiné à donner aux utilisateurs des informations sur les différentes technologies, y compris les caractéristiques, la maturité et les limites de ces technologies.

Il est applicable aux organismes impliqués dans l'industrie du ciment et à d'autres parties prenantes (par exemple, décideurs politiques).

Il aborde les technologies de captage du CO₂ qui peuvent être appliquées dans le secteur du ciment. Il ne traite pas du transport, du stockage ou de l'utilisation du CO₂.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO/TR 27922:2021

ISO 27917, *Captage, transport et stockage géologique du dioxyde de carbone — Vocabulaire — Termes transversaux*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 27917 s'appliquent.

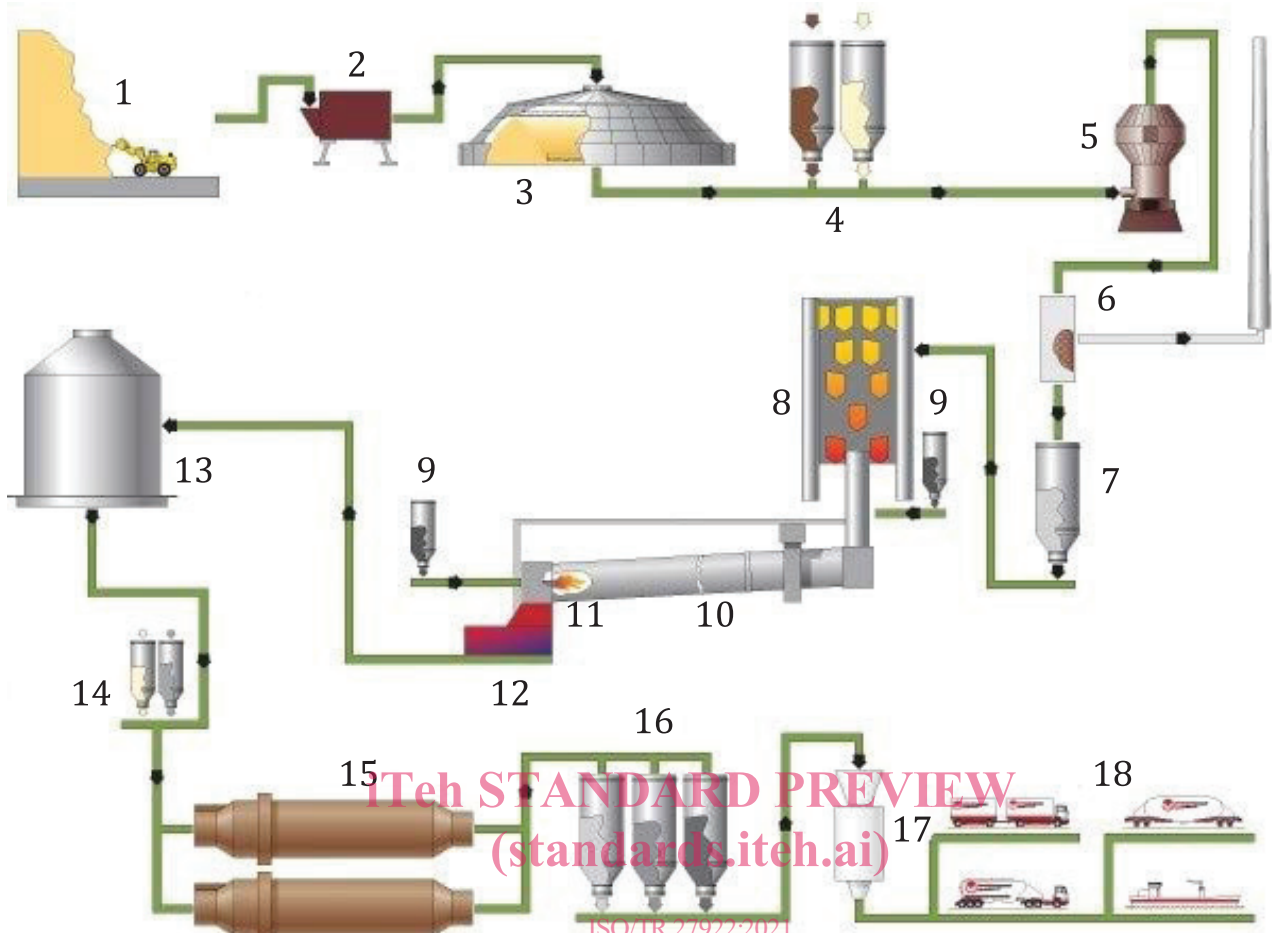
L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

4 Le CO₂ et l'industrie du ciment

4.1 Fabrication du ciment

La fabrication du ciment est un procédé en trois étapes: préparation des matières premières, production du clinker et broyage du clinker avec d'autres composants pour produire le ciment. La [Figure 1](#) illustre le procédé de fabrication du ciment. Diverses matières premières sont broyées et mélangées de façon à obtenir une poudre homogène à partir de laquelle le clinker est produit dans des fours à haute température où les émissions directes de CO₂ ont lieu. L'oxyde de calcium résultant de la calcination du calcaire est un précurseur de la formation de silicates de calcium qui donne au ciment sa résistance^[1].



<https://standards.itech.ai/catalog/standards/sist/67f47bcb-308d-484a-b7c7-b73488703ff3/iso-tr-27922-2021>

Légende

- | | | | |
|---|--|----|--|
| 1 | matières premières excavées | 10 | four |
| 2 | broyage du calcaire | 11 | calcination-combustion du cru en clinker |
| 3 | stockage et pré-homogénéisation de la matière première | 12 | refroidissement |
| 4 | autres matières premières | 13 | stockage du clinker |
| 5 | broyeur à cru | 14 | additifs secondaires |
| 6 | filtre et cheminée | 15 | broyeurs à ciment |
| 7 | homogénéisation du cru | 16 | stockage du ciment |
| 8 | préchauffage | 17 | répartition du ciment |
| 9 | charbon pulvérisé | 18 | transport en vrac ou en sacs |

Figure 1 — Fabrication du ciment^[17]

Le clinker est broyé avec du gypse pour produire du ciment. Selon les propriétés techniques requises du ciment final, d'autres composants, notamment les cendres volantes, le laitier granulé de haut-fourneau et le calcaire à grain fin, peuvent également être broyés avec le clinker ou mélangés pour produire différents types de ciment. Le ciment peut être produit sur le site du four ou dans des installations de broyage ou de mélange séparées. Des ciments mélangés ou des «combinaisons» peuvent également être produits dans la centrale à béton. Le procédé de fabrication du ciment est complexe. Il nécessite d'en connaître la formulation chimique et implique plusieurs étapes requérant un équipement spécifique^[7].

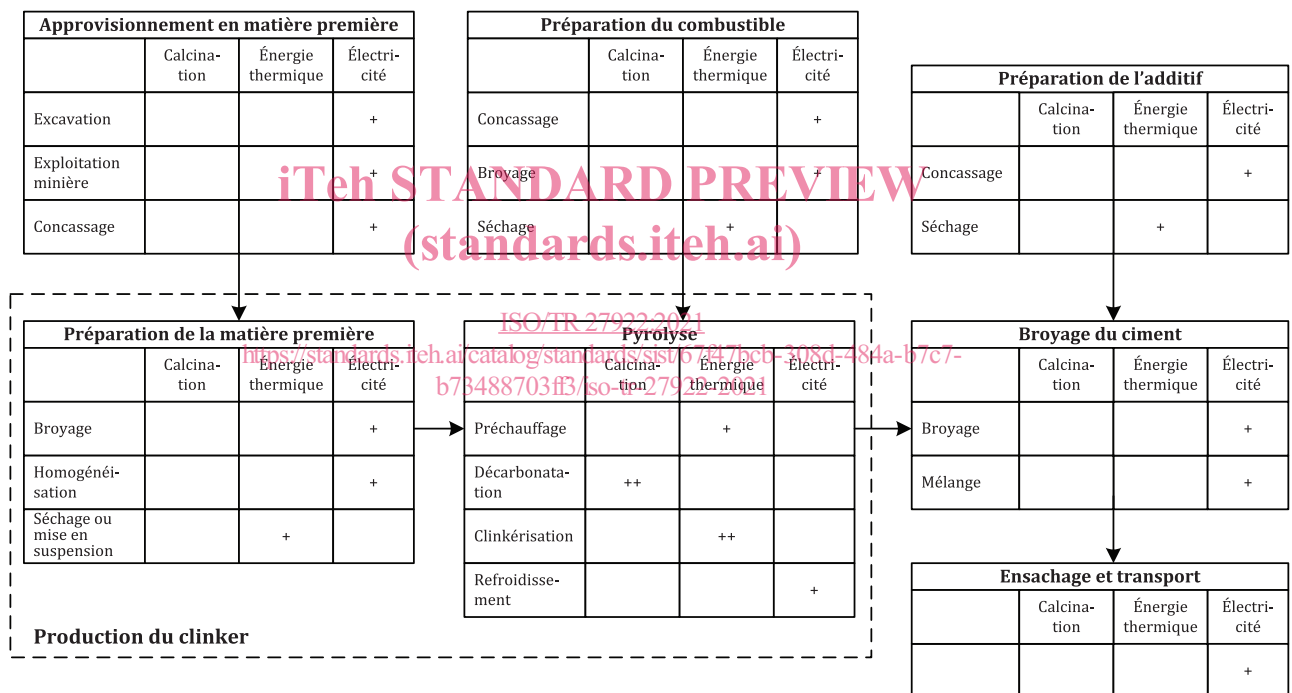
4.2 Émissions de CO₂ produites par l'industrie du ciment

4.2.1 Description du procédé de production

La [Figure 2](#) est un schéma illustrant les différentes étapes du procédé de fabrication du ciment. Il existe deux principales sources d'émissions directes de CO₂ lors du procédé de production de ciment, à savoir:

- calcination des matières premières pendant la pyrolyse (60 % à 70 % d'émissions directes de CO₂ résultant de la décomposition chimique du calcaire lorsqu'il est chauffé à haute température); et
- combustion des combustibles cuits au four (30 % à 40 % d'émissions directes de CO₂).

Dans le secteur du ciment, l'effluent gazeux a une teneur en CO₂ relativement élevée (généralement 20 % à environ 30 % de CO₂). D'autres sources de CO₂ incluent les émissions directes de gaz à effet de serre (GES) provenant de combustibles non cuits au four (par exemple, sécheurs pour produits issus des constituants du ciment, chauffage des locaux, transport sur site et production d'énergie sur site) et les émissions indirectes de GES résultant, par exemple, de la production d'énergie externe et du transport. Hormis le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O), les émissions de gaz à effet de serre autres que le CO₂ sont négligeables^[1].



Légende

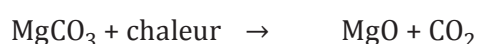
++ principale source d'émissions de CO₂

+ source secondaire d'émissions de CO₂

Figure 2 — Étapes du procédé de fabrication du ciment avec l'indication des sources d'émissions de CO₂^[1]

4.2.2 Émissions dues au procédé de calcination

Lors du procédé de production du clinker, du CO₂ est émis par la décomposition chimique des carbonates de calcium, des carbonates de magnésium et d'autres carbonates (par exemple, issus du calcaire) en chaux en chauffant les matières premières à plus de 900 °C:



Ce procédé est appelé «cuisson» ou «calcination». Il produit des émissions directes de CO₂ dans la cheminée du four^[1].

4.2.3 Émissions dues à la combustion

L'industrie du ciment utilise généralement divers combustibles fossiles pour faire fonctionner les fours à ciment, notamment le charbon, le coke de pétrole, le fioul et le gaz naturel. Les combustibles issus des déchets remplacent de plus en plus les combustibles fossiles traditionnels. Ces combustibles alternatifs comprennent des combustibles issus de sources fossiles tels que l'huile usagée et le plastique, ainsi que des combustibles issus de la biomasse tels que les déchets de bois et les boues déshydratées résultant du traitement des eaux usées. En outre, les combustibles solides de récupération (CSR) sont de plus en plus utilisés. Ces combustibles sont, par exemple, les déchets ménagers et industriels (prétraités) (contenant du plastique, des textiles, du papier, etc.) ou les pneumatiques usagés (contenant du caoutchouc naturel et du caoutchouc naturel)^[1].

4.2.4 Émissions comparées à d'autres secteurs

En raison de la nature du procédé de production (combustion, calcination du calcaire et séchage des matières premières), le gaz de combustion d'une cimenterie typique est nettement différent de celui présent dans d'autres procédés de production (par exemple, production d'énergie thermique). Cette différence est caractérisée par les conditions du gaz de combustion du ciment, notamment la composition de l'effluent gazeux, la température ainsi que la teneur en poussière et en humidité. Par conséquent, certaines technologies (standards) de captage du CO₂ ne sont pas nécessairement applicables dans l'industrie du ciment.

iTeh STANDARD PREVIEW

4.3 Purification du CO₂ après captage

Pour le transport, le stockage et/ou l'utilisation du CO₂, des niveaux de pureté supérieurs à 96 % de CO₂ sont recommandés. Il existe différentes approches permettant d'augmenter le niveau de pureté du produit contenant du CO₂. Une approche courante consiste à ajouter des étapes d'adsorption supplémentaires lors du recyclage de la fraction de gaz de faible pureté. Une séparation flash à haute pression peut réduire les coûts ou la consommation d'énergie. La séparation flash à haute pression peut être attrayante car le flux de CO₂ produit sera comprimé avant le transport. De la même façon, la séparation par liquéfaction à basse température du CO₂ peut être intéressante car le produit peut être à l'état liquide, ce qui est approprié pour le transport par bateau, ou il peut être comprimé sans consommer trop d'énergie. La purification du CO₂ capté n'est pas spécifiquement abordée par le présent document.

4.4 Technologies de réduction globale

Depuis des dizaines d'années, plusieurs technologies et mesures de réduction des émissions de CO₂ sont utilisées dans l'industrie du ciment pour réduire les émissions dues au procédé et à la combustion. Elles sont généralement classées dans quatre catégories^[2]:

- a) Amélioration du rendement énergétique: déploiement des technologies de pointe existantes dans de nouvelles cimenteries et modernisation des installations existantes pour améliorer les niveaux de performance énergétique en cas de viabilité économique.
- b) Passage aux combustibles alternatifs (combustibles moins riches en carbone que les combustibles classiques): amélioration de l'utilisation de la biomasse et des déchets en tant que combustibles dans les fours à ciment pour compenser la consommation de combustibles fossiles. Utilisation des déchets, notamment les déchets biogéniques et non biogéniques, qui seraient normalement acheminés dans une décharge, brûlés dans des incinérateurs ou détruits de façon inappropriée.
- c) Réduction du rapport clinker/ciment: augmentation de l'utilisation de matériaux mélangés et déploiement commercial de ciments mélangés, pour réduire la quantité de clinker requise par tonne de ciment ou par mètre cube de béton produit.

d) Utilisation de technologies nouvelles et innovantes qui:

- contribuent à la décarbonation de la production d'électricité en adoptant des technologies de récupération de la chaleur pour produire de l'électricité à partir de l'énergie thermique récupérée, qui serait normalement perdue, et favoriser l'adoption de technologies de production d'électricité à base d'énergies renouvelables, notamment l'énergie héliothermique;
- intègrent le captage du dioxyde de carbone dans le procédé de fabrication du ciment en vue d'un stockage à long terme ou définitif;
- intègrent le captage et la réutilisation du dioxyde de carbone pour de nouveaux produits, notamment la recarbonation du béton et la minéralisation des agrégats (recyclés).

L'impact de réduction des émissions de CO₂ de ces leviers n'est pas toujours additif car ils affectent individuellement le potentiel de réduction des émissions d'autres options. Par exemple, l'utilisation de combustibles alternatifs requiert généralement davantage d'énergie thermique spécifique et d'électricité en raison de leur teneur en humidité plus élevée que les combustibles fossiles, le fonctionnement du four avec l'apport accru d'air ambiant par rapport aux combustibles fossiles et le prétraitement des combustibles alternatifs^[7].

5 Vue d'ensemble des technologies de captage du CO₂

5.1 Absorption avec des amines

Le principe des technologies de post-combustion est la séparation du CO₂ des effluents gazeux après combustion. Les effluents gazeux sont normalement à pression atmosphérique et à hautes températures. Le CO₂ est éliminé d'un mélange principalement constitué d'azote, d'oxygène et d'eau avec des impuretés gazeuses telles que du SO_x, du NO_x et des particules.

La séparation des gaz par absorption repose sur le principe selon lequel le CO₂ peut être éliminé de manière sélective et réversible de l'effluent gazeux avec un liquide chimiquement réactif dans une colonne d'absorption. Le flux riche en CO₂ est ensuite transféré vers une colonne de désorption puis chauffer pour libérer le CO₂. Le CO₂ libéré est séché, purifié et comprimé tandis que l'absorbant régénéré est refroidi et renvoyé dans la colonne d'absorption. Une représentation schématique du captage par absorption de CO₂ est illustrée à la [Figure 3](#).

Lors du captage par absorption chimique en post-combustion, des solutions d'amines aqueuses sont souvent utilisées pour capter le CO₂. Les liquides absorbants à base de monoéthanolamine (MEA) sont des solvants de première génération encore largement utilisés pour la séparation du CO₂ en vertu de leur haute sélectivité, de leurs vitesses de réaction élevées et de leur faible coût. La MEA a une demande d'énergie thermique pour la régénération de l'absorbant d'au moins 3 MJ/kg de CO₂^[6]. Dans les cimenteries, l'énergie thermique est fournie par la récupération de la chaleur et/ou une installation externe. Lors de l'utilisation de solutions à base de MEA, la corrosion de l'équipement est une problématique, tout comme la dégradation du solvant par oxydation. Les procédés de post-combustion à base d'amines nécessitent une purification préalable (désulfuration et dénitrification) car les amines réagiront avec le SO_x et le NO_x. Ces aspects augmentent l'empreinte de la cimenterie, ainsi que les coûts d'immobilisations et de fonctionnement. Les exigences rapportées pour la MEA se situent entre 0,5 kg de MEA/tonne de CO₂ et 3,1 kg de MEA/tonne de CO₂^[21].

Les solutions d'amines améliorées, par exemple à base d'amines à encombrement stérique et de sels d'acides aminés, qui nécessitent une température de régénération moins élevée, ne corrodent pas l'acier au carbone à 130 °C en présence d'oxygène et ont une meilleure résistance à la dégradation, et sont également disponibles dans le commerce.