

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Béton à faible teneur en carbone : un rendement durable à prix abordable

Greenis, M.; Adesina, A.; Zhang, J.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

<https://doi.org/10.4224/40003206>

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=8df607c5-ba6d-44a9-87f9-c46ba081d979>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=8df607c5-ba6d-44a9-87f9-c46ba081d979>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

NRC·CNRC

CONSTRUCTION

Béton à faible teneur en carbone : un rendement durable à prix abordable

Livre blanc pour les ingénieurs

Auteurs : M. Greenis, A. Adesina et J. Zhang
Conseil national de recherches du Canada



National Research
Council Canada

Conseil national de
recherches Canada


Canada

Béton à faible teneur en carbone : un rendement durable à prix abordable

Auteurs : **Mitchell Greenis**, ing., Conseil national de recherches du Canada
Adeyemi Adesina, ing., Conseil national de recherches du Canada
Jieying Zhang, ing., Conseil national de recherches du Canada

Responsable de la recherche : Jieying Zhang
Jieying Zhang, PhD, ing.

Digitally signed by Jieying Zhang
Date: 2023.11.24 09:03:30 -05'00'

Approbation :  Kashef, AH
11/24/23 09:30
Ahmed Kashef, PhD
Directeur de la recherche et du développement, Centre de recherche en construction
Conseil national de recherches du Canada

Date : 4 septembre 2023

Résumé

Le gouvernement du Canada a établi des cibles ambitieuses pour réduire les émissions de GES d'ici 2025 et atteindre la carboneutralité d'ici 2050 pour faire face à la crise climatique. L'industrie de la construction doit se soumettre à un important processus de décarbonisation pour aider à atténuer la crise climatique. Ce livre blanc fournit des renseignements sur les approches générales bien connues ou largement utilisées pour réduire le carbone intrinsèque des matériaux en béton, ainsi que le coût, sans compromettre le rendement ou la sécurité. Il aborde certains des risques communs perçus liés à l'utilisation de béton à faible teneur en carbone et discute de la façon dont les normes actuelles appuient les matériaux de béton à faible teneur en carbone dans les projets de construction.

Sachant que de grands efforts sont déployés à l'échelle mondiale pour mettre au point du béton à faible teneur en carbone, un domaine en évolution rapide et essentiel à la réduction des émissions de GES dans le secteur de la construction, ce document ne vise pas à discuter des innovations émergentes et prometteuses. Ce livre blanc vise à faciliter l'approvisionnement et l'utilisation du béton dans des projets de construction partout au Canada qui ont une teneur en carbone moins élevée, en fonction des données probantes sur les technologies et les approches existantes qui sont largement acceptées, mais qui n'ont peut-être pas été considérées comme des stratégies à faibles émissions de carbone parmi les communautés d'ingénieurs en béton et en structure. En augmentant l'utilisation du béton à faible teneur en carbone, nous pouvons contribuer à réduire l'empreinte carbone de l'industrie de la construction et nous orienter vers un avenir plus durable.

Comité d'examen technique

Mme Laure Gerard, Services publics et Approvisionnement Canada

M. Ryley Picken, Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada

M. Robert Cooney, Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada

M. Yehuda Kleiner, PhD, agent principal de recherche, Conseil national de recherches du Canada

M. Gilbert Belec, agent de recherche, Conseil national de recherches du Canada

Galal Fares, professeur et directeur des laboratoires de microstructures et de matériaux à la King Saud University

Medhat Shehata, professeur en matériaux et durabilité du béton et doyen associé à l'Université métropolitaine de Toronto

Avertissement

Il est interdit de reproduire ce document en tout ou en partie sans l'autorisation écrite du Conseil national de recherches du Canada.

Droit d'auteur

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le Conseil national de recherches Canada.

Liste des abréviations et des termes

Abréviations

AC: Ajouts cimentaires

ACA: Ajouts cimentaires alternatifs autres que les matériaux conventionnels comme les cendres volantes et le laitier

CNRC: Conseil national de recherches du Canada

CP : Ciment Portland

CPC : Ciment Portland au calcaire

DEP : Déclaration environnementale de produit

GES : Gaz à effet de serre

ISDE: Innovation, Sciences et Développement économique Canada

Termes

Béton à faible teneur en carbone : béton à faible teneur en carbone intrinsèque, contribution du carbone à l'environnement, comparativement au béton conventionnel

Carbone intrinsèque : quantité de gaz à effet de serre (GES) émise pendant l'extraction, le raffinage, la fabrication et l'assemblage d'un élément

Cendre volante : déchet issu de la production d'électricité à partir de centrales au charbon

Ciment Portland au calcaire (CPC) : ciment moulu avec du calcaire brut. Il est utilisé de la même façon que la poudre de ciment conventionnelle

Empreinte carbone : évaluation de la quantité de GES émise par une personne, un groupe, un produit (élément) ou système en particulier

Fumées de silice : sous-produit de la production de silicium et d'alliages contenant du silicium

Laitier : sous-produit de la production d'acier

Métakaolin : obtenu à partir de la calcination de la kaolinite, un minéral argileux

Potentiel de réchauffement de la planète : mesure de la quantité d'énergie que les émissions d'une tonne de gaz absorberont au cours d'une période donnée, par rapport aux émissions d'une tonne de dioxyde de carbone (CO₂)

Béton à faible teneur en carbone : un rendement durable à prix abordable

Mitchell Greenis, Adeyemi Adesina et Jieying Zhang

Centre de recherche en construction
Conseil national de recherches du Canada, Ottawa

Dans ce livre blanc, on a répondu aux questions suivantes :

Qu'est-ce que le béton à faible teneur en carbone? (Section 2)

Quelles formes de béton à faible teneur en carbone l'industrie utilise-t-elle actuellement? (Section 3)

Quels sont les risques perçus de l'utilisation de béton à faible teneur en carbone? (Section 4)

Comment les normes actuelles de la CSA appuient-elles la fabrication de béton à faible teneur en carbone? (Section 5)

1. Introduction

Le béton à faible teneur en carbone est un béton conventionnel ayant réduction mesurée de l'empreinte carbone qui peut aider à atténuer les changements climatiques. Il ne s'agit pas d'un nouveau type de béton aux caractéristiques discutables, mais la nouvelle nomenclature (c.-à-d. béton à faible teneur en carbone) affine la pratique de longue date d'élaboration de matériaux de béton durables en ajoutant un nouvel attribut quantifiable du carbone intrinsèque en plus des attributs de résistance et de durabilité déjà suivis.

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde et au Canada, puisqu'il s'agit d'un matériau abordable, durable et adapté qui peut assurer la sécurité, la fonctionnalité et la durabilité d'un grand nombre de projets de construction. Cela explique l'élaboration et l'utilisation de diverses formes de béton pour différentes applications de construction. Au Canada, le béton apporte une contribution d'environ 75 milliards de dollars par année dans notre économie et crée plus de 150 000 emplois¹. Toutefois, 60 millions de tonnes de béton sont utilisées chaque année, ce qui représente environ 1,5 % des émissions annuelles totales de gaz à effet de serre (GES)² du Canada.

La composante principale du béton responsable de ses émissions élevées de carbone est le ciment Portland (CP), qui est le liant primaire pour les autres composants du béton (p. ex. granulats ou fillers). À l'échelle mondiale, la production de CP est responsable d'environ 5 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone d'origine humaine^{3,4}. Compte tenu de la sensibilisation croissante à la durabilité et de la nécessité imminente de réduire les émissions de carbone pour l'atténuation des changements climatiques, des efforts importants doivent être déployés et mis en œuvre pour obtenir du béton à plus faible empreinte de carbone, dénommé ici « béton à faible teneur en carbone ». À l'heure actuelle, il n'existe pas de définition quantitative universellement acceptée du terme « béton à faible teneur en carbone », en grande partie en raison de l'évolution rapide de la science des matériaux et des technologies d'ingénierie qui cherchent continuellement à réduire l'empreinte carbone du béton conventionnel. Ces innovations vont de la réduction des émissions de carbone provenant de la production de composants en béton (c.-à-d. CP, granulats, etc.) et de la conception de mélanges optimisés à la réutilisation du béton à la fin de sa durée de vie utile. Malgré l'évolution de sa définition, le béton à faible teneur en carbone peut être conçu en utilisant les pratiques exemplaires actuelles pour offrir un rendement semblable ou supérieur à celui du béton conventionnel, notamment en termes de résistance, de durabilité et d'adaptabilité. Ceci est dû au fait que la plupart des pratiques exemplaires découlent de l'amélioration de l'efficacité des matériaux, de la conservation des ressources naturelles et de la réduction de la quantité de ciment Portland pour réduire les coûts et améliorer le rendement^{5,6}. Ces pratiques exemplaires sont donc conformes aux stratégies à faibles émissions de carbone.

Le gouvernement du Canada a établi des cibles ambitieuses pour réduire les émissions de GES du béton de 30 % (comparativement à 2019) d'ici 2030 et atteindre la carboneutralité d'ici 2050². Pour atteindre ces objectifs, l'industrie de la construction doit se soumettre à un important processus de décarbonisation en réduisant les composants à forte

empreinte carbone. Le présent livre blanc vise à discuter de certaines approches générales qui sont bien connues ou largement utilisées dans la pratique pour réduire le carbone intrinsèque des matériaux de béton, à corriger certaines fausses idées courantes au sujet de l'utilisation de béton à faible teneur en carbone, et à démontrer comment les normes actuelles appuient l'utilisation de matériaux à faible teneur en carbone dans la construction de béton sans compromettre le rendement ou la sécurité. Nous pouvons aider à réduire l'empreinte carbone de l'industrie de la construction et à progresser vers un avenir plus durable en augmentant l'utilisation de béton qui a un profil d'émissions de GES plus faible.

2. Comment définissons-nous le seuil de faibles émissions de carbone intrinsèque pour l'approvisionnement?

Le béton acheté pour un projet de construction doit répondre à des critères de rendement précis pour être jugé acceptable. Ces critères comprennent habituellement la maniabilité, la résistance, la durabilité et les propriétés physiques et chimiques. Le carbone intrinsèque doit également être pris en compte pour évaluer son incidence environnementale, tout en répondant à toutes les exigences de rendement traditionnelles pour être considéré comme « faible en carbone ». Une limite d'émissions de GES peut être établie pour créer un seuil de rendement environnemental minimal escompté. Dans le cas des projets canadiens financés par le gouvernement fédéral, la réduction initiale des GES est de 10 % inférieure à la moyenne régionale pour le béton conventionnel.

Dans le domaine de l'approvisionnement, le terme « béton à faible teneur en carbone » désigne un type de béton qui possède un niveau de carbone intrinsèque inférieur à un seuil d'émission, qui varie selon la région. Les fabricants de béton prêt à l'emploi de partout au Canada ont pris l'initiative de créer des déclarations environnementales de produits (DEP) pour leurs mélanges de béton^{7 à 10}, qui sont classés dans des catégories de rendement particulières, comme la classe C-1 étant un mélange de béton aéré de 35 MPa. Ces DEP doivent servir à calculer une performance environnementale moyenne régionale pour les matériaux conventionnels¹¹. La limite d'émissions utilisée pour définir le « béton à faible teneur en carbone » sera probablement en constante évolution à mesure que les matériaux, les stratégies et les technologies continueront de s'améliorer.

Le béton à faible teneur en carbone intrinsèque permet de tirer parti de matériaux et de méthodes existants pour contribuer à une construction durable. Il ne s'agit pas d'un matériau entièrement neuf ayant des caractéristiques mécaniques distinctes ou des coûts supplémentaires. Il représente plutôt une amélioration du béton conventionnel, utilisant des constituants et des mélanges similaires ou améliorés, et déclarant son carbone intrinsèque. Malgré l'évolution de sa définition, le béton à faible teneur en carbone peut être fourni en utilisant les pratiques exemplaires actuelles pour offrir un rendement semblable ou supérieur à celui du béton conventionnel, notamment en termes de résistance, de durabilité et d'adaptabilité. Cela s'explique par le fait que les pratiques exemplaires mises à profit dans la création de béton à faible teneur en carbone intrinsèque découlent d'une amélioration de l'efficacité des matériaux, de la conservation des ressources naturelles et de la réduction de la teneur en ciment Portland afin de réduire les coûts et d'améliorer le rendement^{5,6}. Par conséquent, les mesures classiques d'économie de coûts du béton sont généralement harmonisées avec les stratégies à faibles émissions de carbone.

3. Méthodes de réduction du carbone intrinsèque pour le béton

La réduction du carbone intrinsèque dans le béton est possible grâce à une utilisation efficace des ressources. Bon nombre des stratégies visant à réduire les émissions de carbone consistent à mettre en œuvre des mesures classiques de réduction des coûts de façon optimale, notamment celles qui sont énumérées dans la présente section.

3.1 Remplacement du ciment

La plupart des ajouts cimentaires (AC), comme les cendres volantes, le laitier et les fumées de silice, proviennent de déchets ou de sous-produits d'autres industries. Par exemple, le laitier est un sous-produit de la fabrication de l'acier et du fer et la cendre volante est un sous-produit de la production d'électricité à partir du charbon. L'industrie du béton a déjà utilisé ces AC pour remplacer le ciment dans le béton en raison de l'augmentation de la résistance, l'amélioration de

la durabilité (p. ex. réaction alcali-silicat [RAS], résistance au retrait au séchage, réduction de la perméabilité ou réduction de la chaleur d'hydratation) et la réduction des coûts.

Tout en améliorant le rendement du béton et en réduisant les coûts, l'utilisation des AC est également une méthode essentielle pour réduire son empreinte carbone. La production de ciment nécessite environ 3,5 GJ d'énergie^{12,13} et génère environ 0,6 tonne de CO₂¹⁴ par tonne de ciment produite. En revanche, les AC contiennent beaucoup moins de carbone intrinsèque lorsqu'ils sont traités ou dérivés de déchets ou de sous-produits. Par exemple, la production d'une tonne de laitier de haut-fourneau granulé broyé (laitier) nécessite 1,3 GJ d'énergie et génère 0,07 tonne de CO₂. Il existe également des AC d'origine naturelle qui nécessitent moins de traitement que le traitement énergivore de la production de ciment Portland. Par conséquent, le remplacement du ciment par ces solutions de rechange à faible teneur en carbone entraîne une réduction correspondante du carbone intrinsèque global du béton.

Il est important de noter que l'utilisation d'AC dans le béton existe déjà dans diverses normes et lignes directrices de conception et de construction^{15,16}. Ces normes et lignes directrices reconnaissent les compromis inhérents et établissent des limites pour tirer parti des avantages tout en prévenant les effets secondaires négatifs. Un exemple de ce type de compromis serait que le remplacement de ciment à forte proportion par du laitier peut réduire l'ouvrabilité du béton, mais que cette faible ouvrabilité peut être éliminée au moyen d'additifs chimiques comme les superplastifiants.

3.2 Ciment Portland au calcaire

Le ciment Portland au calcaire (CPC) a été adopté pour remplacer le ciment conventionnel dans le monde entier. En Europe, il existe deux classes de CPC contenant de 6 % à 20 % (CEM II/A) et de 21 % à 35 % de calcaire moulu (CEM II/B-L)^{17,18}. Le remplacement du calcaire au Canada en vertu de la norme CSA A3001-18¹⁵ permet jusqu'à 5 % de calcaire moulu dans le ciment Portland et entre 5 % et 15 % dans le CPC. La poudre de calcaire est inerte et ne s'hydrate pas comme les scories de ciment (*clinker*), mais on a remarqué que les fines particules de calcaire peuvent avoir un effet important sur l'hydratation des scories. Ce facteur contributif est appelé « effet de remplissage »¹⁹, car le filler calcaire fournit des sites de nucléation à partir desquels les réactions de la pâte de ciment peuvent commencer. Pour les niveaux de remplacement dans les plages prévues dans la norme CSA A3001-18, cet effet peut entraîner une augmentation de la résistance des matériaux du béton allant jusqu'à 15-20 %²⁰.

3.3 Optimisation de la conception du béton

Le remplacement partiel du ciment Portland par des AC ou des calcaires à plus faible teneur en carbone nécessite une conception appropriée du mélange de béton pour atteindre un rendement optimal. L'optimisation de la conception du béton englobe d'autres pratiques exemplaires qui améliorent le rendement et réduisent les coûts, comme l'optimisation de l'empilement granulaire, l'utilisation d'un mélange réducteur d'eau et l'amélioration des méthodes de mélange. Essentiellement, ces approches améliorent l'efficacité des matériaux et réduisent ainsi l'empreinte carbone des matériaux en béton.

3.4 Accroître l'efficacité énergétique de la production de clinker.

Une part importante des émissions est associée à la production et à la livraison de ciment, dont environ 50 à 60 % provient du processus de calcination des scories^{2,21} et environ 30 à 40 % de la combustion de combustibles. Des progrès notables ont été réalisés dans l'amélioration de l'efficacité de la production des scories²², mais il est possible d'accroître davantage cette efficacité. Les carburants de remplacement, ainsi que la mise en œuvre de pratiques de captage, utilisation et stockage du carbone (CUSC), sont susceptibles d'entraîner les réductions d'émissions les plus importantes liées à la production de ciment. Ces améliorations des procédés de production pourraient réduire considérablement le carbone intrinsèque sans nuire au rendement du béton qui en résulte.

4. Risques perçus liés à l'utilisation de béton à faible teneur en carbone

Le CNRC et d'autres ministères ont reçu des commentaires d'intervenants clés au sujet de l'utilisation du béton à faible teneur en carbone. Ces commentaires faisaient état de préoccupations concernant l'utilisation de béton à faible teneur en carbone intrinsèque plutôt que de béton conventionnel dans les projets de construction. Cette section vise à dissiper certaines des préoccupations liées à l'utilisation de béton contenant moins de carbone intrinsèque et à souligner dans quel contexte il existe un risque réel de préoccupation.

4.1 « Matériaux expérimentaux »

Il serait facile de supposer que le respect des exigences en matière de carbone intrinsèque exigerait des constituants nouveaux ou non testés, mais ce n'est pas nécessairement vrai pour répondre à l'exigence initiale de réduction des GES de 10 % pour le béton. Pour atteindre les cibles initiales, les stratégies conformes à celles présentées à la section 3 peuvent être utilisées pour optimiser l'efficacité de la conception du mélange, ou la production efficace de ciment peut être suffisante. Il est probable que la prochaine cible de réduction de 2030, qui est de 30 %, nécessitera une utilisation plus généralisée des stratégies de réduction du carbone pour atteindre la cible. En optimisant l'utilisation des constituants connus, le béton contenant moins de carbone intrinsèque devra répondre à des critères de rendement et pourra aussi être plus rentable.

4.2 « Augmentation des coûts différentiels »

L'utilisation de laitier, de cendres volantes, de métakaolin, de calcaire et d'autres additifs de béton a traditionnellement été envisagée pour améliorer le rendement et réduire les coûts puisque le ciment Portland est le composant le plus énergivore et donc le plus coûteux utilisé dans le béton. À moyen et à long terme, certains sous-produits d'autres procédés industriels comme le laitier et la cendre volante seront limités à leurs chaînes d'approvisionnement ou leur disponibilité pourrait diminuer²³. Un grand nombre de recherches sont en cours sur de nouvelles solutions de rechange aux AC (ACA) qui peuvent fournir des propriétés semblables pour remplacer ou accroître l'approvisionnement en sous-produits utilisés dans le béton. L'industrie, le gouvernement et les chercheurs travailleront ensemble pour s'attaquer à ce problème afin d'assurer un approvisionnement continu en constituants de béton performants et économiquement attrayants.

4.3 « Rendement inférieur et durabilité réduite »

Certaines sources d'AC qui sont à l'étude pour réduire le coût et l'intensité des GES du béton sont utilisées depuis une certaine d'années. La cendre volante a été introduite dans les années 1930²⁴ et le laitier a été utilisé pour la première fois comme matériau de construction dans les années 1800²⁵. La première utilisation importante de calcaire dans le ciment a eu lieu dans les années 1940 en Europe en raison de l'approvisionnement limité en ciment. Bon nombre des stratégies explorées pour atteindre les objectifs initiaux de réduction du carbone reposent sur les mêmes stratégies explorées au siècle dernier pour trouver d'autres avantages, qu'il s'agisse d'améliorer l'économie ou le rendement. La longue histoire d'utilisation de ces matériaux permet de s'assurer que les stratégies envisagées pour la réduction des GES maintiendront la haute qualité actuelle du béton.

Au cours des trois dernières décennies, la recherche sur le béton s'est principalement concentrée sur le développement du « béton à hautes performances », entraînant des progrès graduels en matière de résistance et de durabilité. Bon nombre des principes sous-jacents au béton à haute performance correspondent directement à ceux du béton à faible teneur en carbone énoncés à la section 3. Parmi ces principes communs, mentionnons le remplacement élevé du ciment par des AC, l'incorporation de fillers calcaires et l'optimisation des méthodes de traitement pour maximiser la durabilité de chaque matériau constituant. Cet alignement souligne la façon dont les progrès technologiques dans la production de béton peuvent non seulement améliorer les propriétés du produit, mais aussi contribuer à la durabilité environnementale.

Essentiellement, le béton à faible teneur en carbone peut être considéré comme une forme de béton à hautes performances, car il maintient ou même améliore sa résistance et sa durabilité tout en réduisant son empreinte carbone.

Cette perspective redéfinit le béton à faible teneur en carbone comme une progression naturelle dans le domaine, poursuivant la tendance de longue date vers l'amélioration du rendement du béton tout en répondant simultanément à l'impératif actuel de réduction des émissions de carbone.

4.4 « Les AC changent les propriétés du mélange »

Chaque AC confère des propriétés uniques au mélange qui en résulte. La popularité et l'utilisation répandue des AC sont attribuables aux qualités recherchées et à la rentabilité de ces matériaux. Chaque matériau a des limites de remplacement différentes pour obtenir des performances similaires. À titre d'exemple, pour les remplacements au ciment suivants : cendres volantes à faible teneur en calcium à 20 %, laitier à 35 %, fumées de silice à 4 % ou métakaolin à 10 %, chacun pourrait fournir une résistance à la compression semblable à 28 jours¹⁹. Le laitier de haut fourneau granulé broyé (*ground granulated blast-furnace slag*, GGBFS) et les cendres volantes à faible teneur en calcium améliorent la résistance au sulfate du ciment à usage général. Les cendres volantes améliorent habituellement la maniabilité et réduisent la perméabilité du béton, ce qui le rend plus résistant aux infiltrations de chlorure²⁴. L'incidence de l'utilisation de ces AC sur le béton est généralement positive (c.-à-d. souhaitable) en termes d'amélioration du rendement. Des efforts continus ont été déployés pour assurer l'utilisation appropriée des AC afin d'améliorer le rendement, de réduire les coûts et de diminuer l'empreinte carbone.

4.5 « Disponibilité des AC et du béton à faible teneur en carbone »

La disponibilité des AC comme le laitier et les cendres volantes pourrait poser des défis à l'avenir. Une quantité limitée de laitier est produite et presque toutes les sources sont actuellement en pleine utilisation²³. De plus, le Canada prévoit mettre fin à la majeure partie de sa production d'électricité à partir du charbon d'ici 2030²⁶, ce qui pourrait avoir une incidence importante sur l'approvisionnement en cendres volantes. Afin de pallier ce risque de façon proactive, des partenariats dynamiques sont établis entre les intervenants de l'industrie, les organismes gouvernementaux et les établissements de recherche. Leurs efforts de collaboration visent à identifier de nouveaux déchets et matières résiduelles provenant des industries minières du Canada qui seront utilisés comme AC. Ces nouveaux AC feront l'objet d'examen approfondis et devront être acceptés dans les normes avant d'être utilisés à grande échelle au Canada afin de s'assurer qu'ils répondent aux critères de rendement et d'émissions requis.

5. Béton à faible teneur en carbone et normes CSA

La conception et la construction générales du béton sont réglementées au Canada par la norme CSA A23. Le mandat de la CSA A23 consiste à établir les exigences relatives aux matériaux et à la conception structurale des éléments de béton. Les exigences en matière de matériaux sont subdivisées en essais et en contrôle de la qualité des ingrédients individuels et des propriétés du mélange de béton. Les exigences en matière de propriété du ciment et des AC sont réglementées en vertu de la norme CSA A3001. Certaines dispositions pertinentes en matière d'AC et de CPC sont présentées ci-dessous afin de fournir un point de vue réglementaire sur l'utilisation de ces matériaux, tel qu'il est décrit à la section 3.

- La norme CSA A3001-18¹⁵ (article 5 et tableaux 7 et 8) fournit les propriétés physiques et chimiques de chaque classe d'AC. Il serait utile de lire également les annexes K et M pour obtenir plus de contexte sur l'utilisation des AC.
- La norme CSA A3001-18¹⁵ énonce les exigences relatives aux fillers calcaires (clauses 4.4.7 et 4.4.8) pour deux types de filler calcaire. En parallèle, le rendement du béton est pris en considération; par exemple, la norme CSA A23.1 (clause 4.1.6.2 et tableau 3) limite l'utilisation de filler calcaire dans les zones exposées aux attaques de sulfates sans les mélanger à d'autres matériaux cimentaires afin de fournir la résistance nécessaire aux attaques de sulfates.
- La norme CSA A23.1¹⁶ établit des valeurs minimales et maximales pour les caractéristiques du béton. Par exemple, le rapport d'eau à ciment maximum, la résistance minimale et la plage de teneur en air. Dans leur état actuel, les

normes de la CSA peuvent accepter les stratégies dont il est question dans le présent document pour réduire les GES tout en assurant le maintien du rendement et de la sécurité requis.

Il est à noter que les normes régionales peuvent comporter des exigences différentes ou remplacer ces sections des normes.

6. Conclusion

Il est nécessaire d'adopter à grande échelle le béton contenant moins de carbone intrinsèque afin de réduire l'empreinte carbone de l'industrie de la construction, de réduire les déchets et d'améliorer le rendement du béton afin d'atténuer les répercussions des changements climatiques. Le présent document a abordé les questions courantes auxquelles les ingénieurs font face lorsqu'ils utilisent du béton à faible teneur en carbone.

Qu'est-ce que le béton à faible teneur en carbone (section 2)? Dans le domaine de l'approvisionnement, le terme « béton à faible teneur en carbone » désigne un type de béton qui possède un niveau de carbone intrinsèque inférieur à un seuil d'émission particulier, qui peut varier selon la région, tout en répondant à des critères de rendement précis jugés acceptables pour un projet de construction.

Comment fabriquer du béton à faible teneur en carbone (section 3)? Pour produire du béton à plus faible teneur en carbone, il faut soigneusement optimiser la combinaison des constituants et les proportions. L'objectif est de réduire le carbone intrinsèque sans augmenter les coûts des matériaux ou sacrifier le rendement.

Quels sont les risques perçus de l'utilisation de béton à faible teneur en carbone (section 4)? De nombreux risques perçus courants liés à l'utilisation de béton à faible teneur en carbone sont abordés. Essentiellement, le béton à faible teneur en carbone peut être considéré comme une forme de béton à hautes performances, car il maintient ou même améliore sa résistance et sa durabilité tout en réduisant son empreinte carbone. Cette perspective redéfinit le béton à faible teneur en carbone comme une progression naturelle dans le domaine, poursuivant la tendance de longue date vers l'amélioration du rendement du béton tout en répondant simultanément à l'impératif actuel de réduction des émissions de carbone.

Comment les normes actuelles de la CSA appuient-elles la fabrication de béton à faible teneur en carbone (section 5)? Les normes nationales du Canada sont bien positionnées et réglementent bon nombre des premières stratégies de réduction des GES qu'il est suggéré d'explorer. Les normes régionales peuvent prévoir des exigences différentes ou remplacer ces sections des normes.

7. Références

- [1] Association Canadienne du Ciment, « Aperçu de l'industrie du ciment et du béton », publié en 2023. <https://cement.ca/fr/lindustrie-du-ciment-et-beton/aperçu-de-lindustrie/> (consulté le 5 juillet 2023).
- [2] ISDE, *Feuille de route vers un béton à zéro émission carbone d'ici 2050*, 2022, <https://ised-isde.canada.ca/site/carrefour-croissance-propre/fr/feuille-route-vers-beton-zero-emission-carbone-dici-2050> (consulté le 13 juillet 2023)
- [3] TURNER, L. K., et F.G. Collins. « Carbon dioxide equivalent (CO₂-e) emissions : A comparison between geopolymer and OPC cement concrete », *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 43, pages 125 à 130, <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.01.023>.
- [4] GARTNER, E. « Industrially interesting approaches to “low-CO₂” cements », *Cement and Concrete Research*, 2004, vol. 34(9), pages 1489 à 1498, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.01.021>.
- [5] MALHOTRA, V.M. « Global warming, and role of supplementary cementing materials and superplasticisers in reducing greenhouse gas emissions from the manufacturing of portland cement », *International Journal of Structural Engineering*, 2010, vol.1(2), pages 116 à 130, <https://doi:10.1504/IJSTRUCTE.2010.031480>.
- [6] ADESINA A. « Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions », *Environmental Challenges*, 2020, vol. 1, 100004, <https://doi:10.1016/j.envc.2020.100004>
- [7] Athenea Sustainable Materials Institute, *Environmental Product Declaration CRMCA Member Industry-Wide EPD for Canadian Ready-Mixed Concrete*, publié en ligne en 2017.
- [8] Concrete Alberta, *Concrete Alberta Member Industry-Wide EPD for READY-MIXED CONCRETE*, vol. 04. 2022.
- [9] Béton Atlantique, *Atlantic Concrete Member Industry-Wide EPD for READY-MIXED CONCRETE*, 2022.
- [10] Concrete Ontario, *Concrete Ontario Member Industry-Wide EPD for READY-MIXED CONCRETE*, 2022.
- [11] Services publics et Approvisionnement Canada, *Introduction de deux nouvelles normes dans le cadre de la Politique d'achats écologiques*, publié en 2023, <https://buyandsell.gc.ca/introducing-two-new-standards-under-the-policy-on-green-procurement> (consulté le 5 juillet 2023).
- [12] JUENGER, M.C.G., R. Snellings et S.A. Bernal. « Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights », *Cement and Concrete Research*, 2019, vol. 122, pages 257 à 273, <https://doi:10.1016/j.cemconres.2019.05.008>.
- [13] LI, W., et Y. Yi. « Use of carbide slag from acetylene industry for activation of ground granulated blast-furnace slag », *Construction and Building Materials*, 2020, vol. 238, <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.117713>.
- [14] MORGADO, A., P. Huges. *Cement*, publié en 2023, <https://www.iea.org/energy-system/industry/cement> (consulté le 6 septembre 2023).
- [15] CSA A3001-18, « Matériaux liants utilisés dans le béton », Groupe CSA, 2018.

- [16] CSA A23.1/CSA A23.2-19, « Béton : constituants et exécution des travaux/Procédures d'essai et pratiques normalisées pour le béton », Groupe CSA, 2019.
- [17] LOTHENBACH, B., G. Le Saout, E. Gallucci et K. Scrivener. « Influence of limestone on the hydration of Portland cements », *Cement and Concrete Research*, 2008, vol. 38(6), pages 848 à 860, <https://doi:10.1016/j.cemconres.2008.01.002>.
- [18] HAWKINS, Peter, P.D. Tennis, R.J. Detwiler, (J. Rachel de la Portland Cement Association). *The Use of Limestone in Portland Cement : A State-of-the-Art Review*, Portland Cement Association, 2003.
- [19] LOTHENBACH, B., K. Scrivener et RD. Hooton. « Supplementary cementitious materials », *Cement and Concrete Research*, 2011, vol. 41(12), pages 1244 à 1256, <https://doi:10.1016/j.cemconres.2010.12.001>.
- [20] MOON, G.D., S. Oh, S.H. Jung et Y.C. Choi. « Effects of the fineness of limestone powder and cement on the hydration and strength development of PLC concrete », *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 135, pages 129 à 136, <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.12.189>.
- [21] ZEMAN, F. « Oxygen combustion in cement production », *Energy Procedia*, 2009, vol. 1, pages 187 à 194, <https://doi:10.1016/j.egypro.2009.01.027>.
- [22] WORRELL, E., N. Martin et L. Price. *Potentials for Energy Efficiency Improvement in the US Cement Industry*, 2000, vol. 25, www.elsevier.com/locate/energy.
- [23] HABERT G., S.A. Miller, V.M. John, J.L. Provis, A. Favier, A. Horvath et coll. « Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. », *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020, vol. 1(11), pages 559 à 573, <https://doi:10.1038/s43017-020-0093-3>.
- [24] THOMAS, M. *Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*, 2007.
- [25] DE BELIE, N., M. Soutsos et E. Gruyaert. *RILEM State-of-the-Art Reports Properties of Fresh and Hardened Concrete Containing Supplementary Cementitious Materials State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 238-SCM, Working Group 4*, 2018, <http://www.springer.com/series/8780>.
- [26] REC, *Aperçu du marché : Au Canada, les centrales au charbon mises hors service seront remplacées par des centrales à énergies renouvelables à faibles émissions de carbone*, publié le 29 janvier 2020, <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/apercu-marches/2020/apercu-marche-canada-centrales-charbon-mises-hors-service-seront-remplacees-centrales-energies-renouvelables-faibles-emissions-carbone.html> (consulté le 12 juillet 2023).