



EMPREINTE CARBONÉ DU BÉTON

**LIGNES DIRECTRICES POUR EXIGER
L'UTILISATION DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI
FAIBLEMENT CARBONÉ AU CANADA**



À PROPOS DE LA CRMCA

L'Association canadienne du béton préparé (Béton Canada ou CRMCA) est une association à but non lucratif fondée en 1981 en réponse aux enjeux de compétence fédérale concernant l'industrie du béton prêt à l'emploi, et dans le but de promouvoir l'utilisation de ce matériau au Canada.

Les membres de la CRMCA sont toutes les associations provinciales et régionales de béton préparé du Canada et de l'industrie du béton à l'échelle nationale. L'association tient lieu de forum critique sur les tendances et les problèmes qui touchent les associations et l'industrie, les codes et les normes, ainsi que les programmes d'associations comme ceux qui concernent l'environnement, la santé et la sécurité, la promotion, le marketing, l'éducation, l'adhésion et la technologie.

Par le biais de ses membres, la CRMCA collabore avec des organismes tels que la CSA International et le Code national du bâtiment pour élaborer des normes et des codes nationaux sur les bâtiments, les matériaux et la construction. La CRMCA est un membre bienfaiteur de la CSA et elle est représentée dans les comités comme CSA A23.1/.2, CSA A283, CSA A3000 et le comité directeur stratégique sur le béton et les produits connexes.

En outre, les membres de la CRMCA travaillent en partenariat avec les associations nationales et provinciales de constructeurs d'habitations, les associations nationales et provinciales de la construction, l'American Concrete Institute International, les sections locales de l'ACI, ainsi que la NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association).

Les membres de la CRMCA ont à cœur de fournir de la formation, des technologies, des données de recherche et des innovations aux architectes, aux concepteurs, aux constructeurs, aux promoteurs et aux producteurs de béton et de faire valoir sans relâche les avantages et l'évolution de ce produit pour l'environnement et la société.





TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
Comprendre les principes de base	1
OBJECTIF DE CARBONEUTRALITÉ	2
DÉCLARATIONS ENVIRONNEMENTALES DE PRODUIT (DEP)	8
CAC Industry-Wide EPD for General Use (GU) & Portland-Limestone (GUL) Cements	8
DEP générique de la CRMCA sur le béton prêt à l'emploi canadien	8
DEP génériques des associations provinciales relatives au béton prêt à l'emploi	9
OBJECTIFS DE RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE DE L'INDUSTRIE	11
Autodéclarations fondées sur les moyennes de l'industrie	12
DEP de type II	14
DEP de type III vérifiées par un tiers	14
QU'ENTEND-ON PAR BÉTON À FAIBLE EMPREINTE CARBONE?	15
EXIGER L'UTILISATION DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI FAIBLEMENT CARBONÉ AU CANADA	16
Critères de rendement	18
Résistance selon la durée écoulée	19
Classes d'exposition	19
Béton à faible retrait	22
Béton architectonique	23
Seuils de potentiel de réchauffement de la planète (PRP)	25
Plant and Truck Certification Where Available	27
Matières premières utilisées	28
Type de ciment	28
Ajouts cimentaires	30
Cure supplémentaire	34
Granulats	38
Adjuvants	39
Béton à haute résistance initiale	40
Bétonnage par temps froid	41
Minéralisation du dioxyde de carbone	42
BILAN CARBONE DES PROJETS RECORANT AU BÉTON (BCPB)	44
Impact des utilisations spéciales	48
Objectifs de réduction de l'empreinte carbone	50
ÉTUDE DE CAS - ONTARIO	52
ÉTUDE DE CAS - ALBERTA	65
ÉTUDE DE CAS - QUÉBEC	72
ÉTUDE DE CAS - COLOMBIE-BRITANNIQUE	79
ASSISTANCE OFFERTE	85



EMPREINTE CARBONE DU BETON

INTRODUCTION

L'industrie du béton au Canada entend contribuer à la création d'un monde à faibles émissions de CO₂. À cette fin, le présent document fait appel au concept de bilan carbone des projets recourant au béton pour appuyer ces lignes directrices répondant ainsi également aux besoins en matière de rendement et de constructibilité.

Les émissions de dioxyde de carbone « intrinsèques » que génèrent la production, le transport, l'utilisation de même que l'élimination ou le recyclage du béton ont été bien étudiées, un peu partout au pays, par de nombreux spécialistes en durabilité. Inscrire le béton à faible empreinte carbone à même les spécifications d'un projet peut mener à en réduire les émissions de CO₂ au minimum. Avant d'aller plus loin, rappelons les principes à l'œuvre ici.

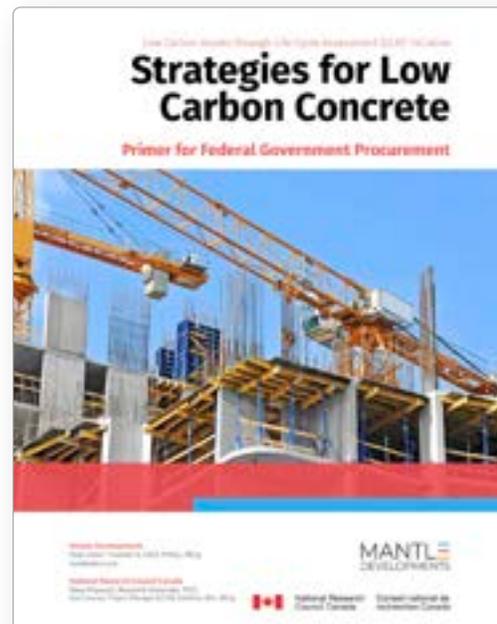
Comprendre les principes de base

Le Canada dispose d'un outil important issu de l'initiative Sobriété en carbone par l'analyse du cycle de vie : la publication **Stratégies pour un béton à faible teneur en carbone**, produite par Mantle Developments et le Conseil national de recherches du Canada (CNRC). Les associations membres de la CRMCA ont contribué au contenu de ce document qui se penche sur l'importance croissante du carbone intrinsèque, la compréhension des notions de béton et de carbone, la nécessité des critères de rendement, les pratiques exemplaires en réduction du carbone intrinsèque et les stratégies d'approvisionnement en béton faiblement carboné.

L'innovation et la technologie permettant de bâtir de plus en plus efficacement, l'exploitation des immeubles génère moins d'émissions de CO₂. C'est pourquoi l'industrie de la construction et les décideurs canadiens priorisent désormais

l'inscription, dans les spécifications des projets, l'utilisation de bétons qui puissent répondre à leurs objectifs de réduction du carbone intrinsèque.

Inspiré des Stratégies pour un béton à faible teneur en carbone, le présent document vise à appuyer les concepteurs et les rédacteurs de spécifications dans la réduction de l'empreinte carbone de leurs projets et, surtout, à généraliser l'emploi de béton faiblement carboné au Canada.



Télécharger le document PDF

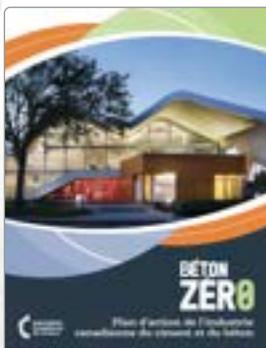
OBJECTIF DE CARBONEUTRALITÉ

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde. Il est essentiel dans l'industrie manufacturière, la production d'énergie, le secteur des ressources, la production alimentaire, ainsi que dans quantité d'autres secteurs et activités qui assurent notre qualité de vie. Le béton est durable et accroît la résilience de l'environnement bâti aux pires effets des changements climatiques.

À l'échelle mondiale, l'industrie du ciment se classe au troisième rang pour ce qui est de la consommation d'énergie, et au deuxième rang pour les émissions de CO₂. Au Canada, la fabrication du ciment représenté 9,7 Mt de CO₂, soit environ 1,4 % de l'émission du pays en 2020, selon le Rapport d'inventaire national.

Le Canada compte 15 cimenteries, qui acheminent leurs produits à plus de 1 100 installations associées. Dans son ensemble, l'industrie du ciment et du béton fournit environ 158 000 emplois directs et indirects dans tout le pays, et 76 milliards de dollars canadiens en retombées économiques directes, indirectes et induites dans l'économie canadienne.

L'industrie canadienne du ciment et du béton est résolue à agir et à collaborer pour réduire ses émissions de carbone. Le plan d'action **Béton Zéro : Plan d'action net zéro de l'industrie canadienne du ciment et du béton**, publié en 2023, démontre que nous pouvons réduire nos émissions de 40 % d'ici 2030, de 59 % d'ici 2040 (par rapport à l'année de référence 2020), et de les éliminer totalement d'ici 2050.

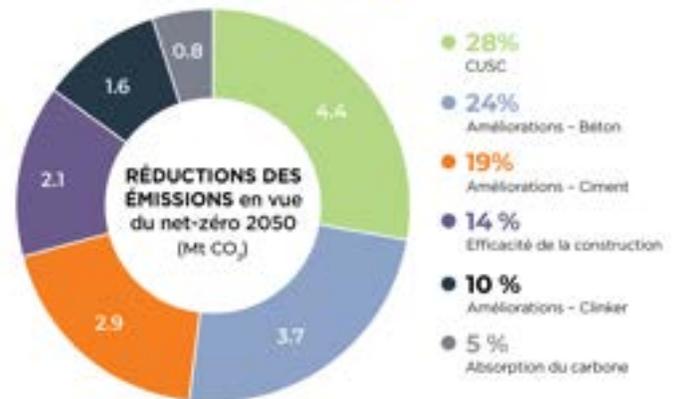


 Télécharger le document PDF

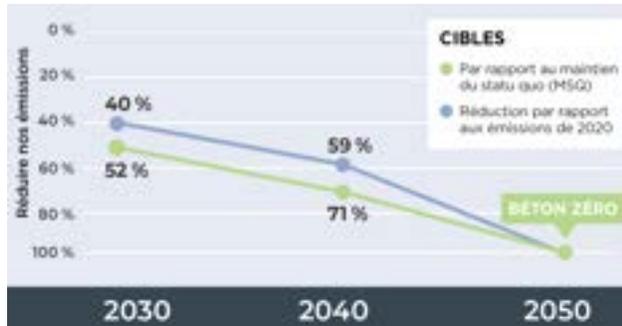
Le plan d'action Béton zéro incite à faire preuve de transparence et de responsabilité, et requiert la publication de rapports d'avancement au moins tous les cinq ans. Le plan ne prévoit aucun achat de droits d'émission de carbone pour l'atteinte de notre objectif de réduction des émissions.

Ce plan d'action est présenté suivant la chaîne de valeur du ciment et du béton dans son entier, en ciblant les 5 éléments clés et en indiquant à chaque étape les sources de réduction des émissions. Voici les cinq éléments clés : clinker, ciment, béton, construction et absorption du carbone. La cible de carboneutralité d'ici 2050 exige que toutes les étapes de la chaîne de valeur soient décarbonées.

Notre itinéraire vers le net-zéro



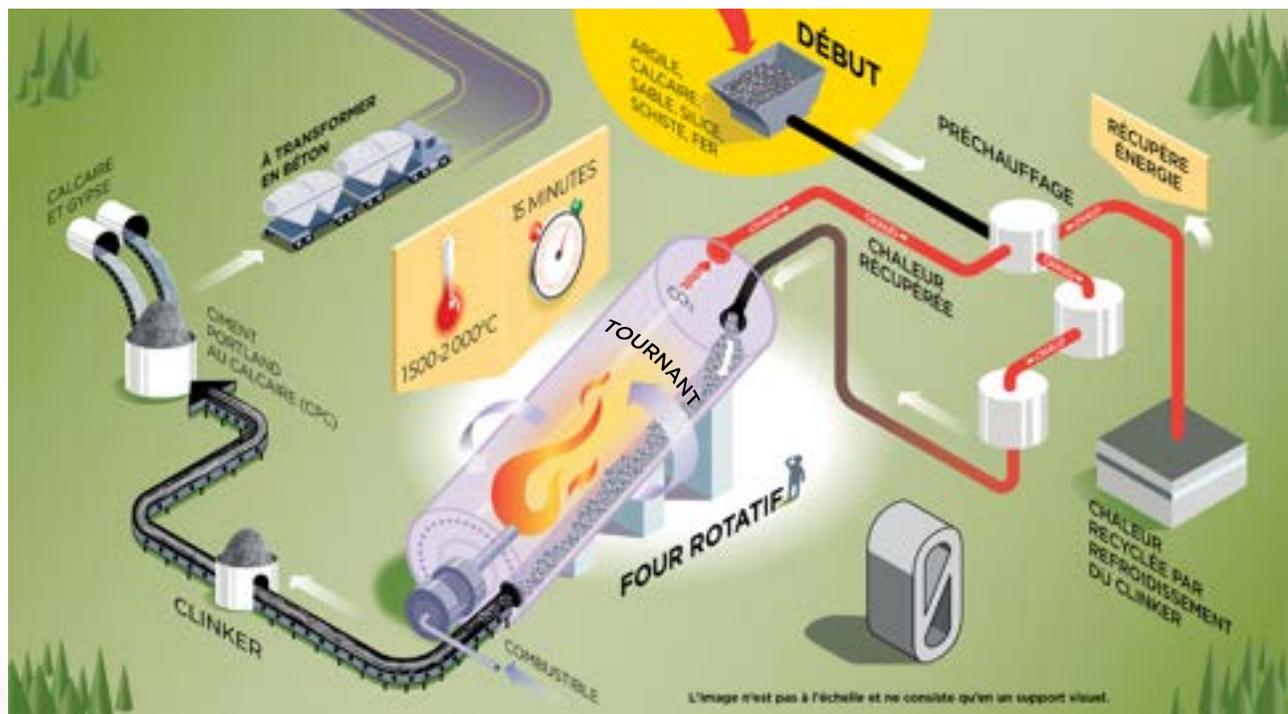
Il n'y a pas de solution miracle, ni unique, qui permettra à l'industrie d'atteindre un bilan carboneutre. Il faudra changer beaucoup de choses. Dans notre plan d'action, nous optons pour une approche prudente, c'est-à-dire que nous misons sur les moyens de réduction du carbone qui existent aujourd'hui. Si la voie à suivre jusqu'en 2030 est claire, il faut poursuivre la recherche et le développement dans les domaines de la chimie clinique, des technologies d'utilisation du carbone, de l'innovation en matière de matériaux et des sources de carburant propre comme l'hydrogène pour parvenir à une consommation nette nulle d'ici à 2050.



Dans la section qui suit, nous décrivons plusieurs des mesures que nous prendrons pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050, y compris la réduction des ratios clinker/ciment, le recours à des carburants propres, la mise en œuvre du CUSC (captage, utilisation et stockage du carbone) et la collaboration avec nos partenaires en architecture, en ingénierie et en construction pour assurer l'efficacité tant de la conception que de l'utilisation du béton dans les projets d'infrastructure.

à une température très élevée (environ 1 500 degrés Celsius) dans un four rotatif. Ce procédé génère du CO₂ par la combustion de matière fossile pour chauffer le four, ainsi que par ce que l'on appelle les « émissions des procédés », en l'occurrence une réaction chimique du calcaire qui produit des gaz à effet de serre.

En 2020, les sociétés membres de l'Association canadienne du ciment ont produit environ 11,4 millions de tonnes de clinker à une intensité carbonique moyenne de 833 kg de CO₂ par tonne de clinker, soit un total de 9,5 Mt d'émissions de CO₂. Le plan d'action prévoit que d'ici 2050, les réductions d'émissions dues au clinker s'élèveront à 1,6 Mt de CO₂. Il existe de multiples leviers de réduction, comme le remplacement des combustibles fossiles vierges, la substitution du clinker par l'augmentation du volume de production de ciments mélangés, le déploiement de technologies de captage, d'utilisation et de



Clinker et ciment

Le clinker est l'ingrédient clé qui confère au ciment ses propriétés de liant, mais c'est aussi le composant du ciment et du béton qui produit le plus de gaz à effet de serre. Le clinker est fabriqué en chauffant du calcaire et des minéraux

stockages du carbone, et l'augmentation de l'efficacité thermique. De futures occasions résident également dans l'usage intensifié de matières premières décarbonées et l'application de nouvelles compositions chimiques du clinker qui pourraient apparaître sur le marché.

Au Canada, on utilise des combustibles fossiles, principalement le charbon, le coke de pétrole et le gaz naturel, pour générer la chaleur requise pour produire le clinker. Ces dernières années, les fabricants de ciment canadiens ont augmenté leur utilisation de combustibles à faible teneur en carbone, comme la biomasse et les combustibles dérivés des déchets, qui ont le potentiel de réduire de manière significative les émissions de combustion et d'éviter que les matériaux se retrouvent dans des sites d'enfouissement. Cependant, il demeure que le taux de remplacement des combustibles était inférieur à 10 % en 2020, bien en deçà de la moyenne européenne qui dépasse 40 %.

Les politiques en vigueur dans les provinces canadiennes rendent difficile l'obtention de permis pour l'utilisation de combustibles non fossiles. L'industrie du ciment travaille en étroite collaboration avec les organismes de réglementation provinciaux pour lever ces obstacles, et nombre d'entre eux ont récemment fait preuve de détermination en ouvrant la porte à des investissements plus importants pour permettre le remplacement des combustibles au Canada.

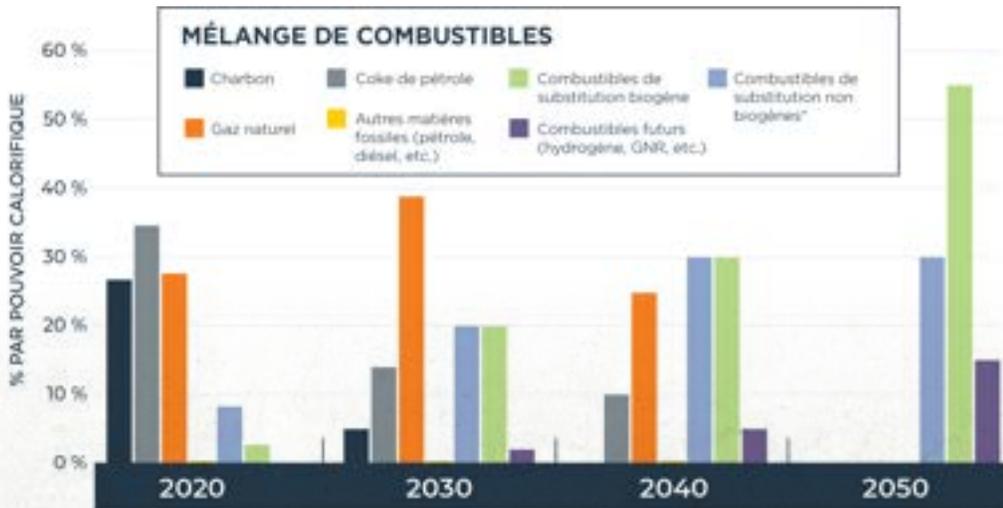
Pour respecter les engagements en matière de carboneutralité, l'industrie abandonnera les combustibles fossiles, en commençant par le charbon et le coke de pétrole, tout en recourant davantage à des solutions de rechange à faible teneur en carbone. L'objectif est d'atteindre, d'ici 2030, un taux de remplacement moyen de 40 %, par de la biomasse dans la moitié

des cas. À mesure que des combustibles de biomasse de meilleure qualité (p. ex. le bio-charbon) et d'autres combustibles à teneur faible ou nulle en carbone (p. ex. l'hydrogène à émissions nulles) deviendront accessibles sur les plans commercial et économique, nous prévoyons d'éliminer complètement les combustibles fossiles vierges d'ici à 2050.

Le moyen le plus efficace de réduire les émissions directes totales générées par le clinker est d'en utiliser moins. Pour y arriver, on peut créer des ciments mélangés qui utilisent des matériaux cimentaires supplémentaires (MCS) afin de réduire la quantité de clinker nécessaire à la fabrication du ciment.

Un travail d'éducation et de sensibilisation dans les secteurs de l'approvisionnement, de l'architecture et de l'ingénierie sur ces nouveaux types de ciments rassurera quant à la fiabilité de leurs rendements, et les politiques et incitatifs des gouvernements (par exemple, pour l'achat de produits propres) favoriseront leur adoption sur le marché.

Le déploiement massif des solutions de CUSC est névralgique pour que l'industrie du ciment et du béton parvienne à la carboneutralité, tant au Canada qu'à l'échelle mondiale. Les systèmes commerciaux de capture et de stockage du carbone peuvent capter plus de 90 à 95 % du CO₂ émis par un four à ciment. Dans son rapport fondateur, **Net Zero By 2050 : A Roadmap for the Global Energy Sector**, l'Agence internationale de l'énergie définit le



* Intensité de carbone supposée du plastique, laquelle pourrait s'améliorer avec le temps.

CUSC comme une « voie » essentielle pour que l'industrie lourde soit en mesure de réduire ses émissions de GES afin d'éviter la catastrophe climatique. Le rapport préconise une cadence sans précédent de développement et de déploiement de ces solutions, dans le cadre d'une transition plus large du système énergétique, afin de limiter suffisamment les GES, notamment en faisant passer la capacité mondiale de CUSC de 40 Mt par an en 2020 à plus de 7 600 Mt par an d'ici 2050.

Le déploiement à grande échelle des technologies de captage et de stockage du carbone lors de la fabrication du ciment permettrait d'éliminer presque entièrement les émissions issues des procédés et de la combustion. À l'heure actuelle, il n'existe pas d'autres technologies ou procédés capables de supprimer les émissions des procédés. Le CUSC, en conjonction de la bioénergie, des carburants propres et de l'absorption du carbone, pourrait permettre à notre monde de disposer à l'avenir d'un béton négatif en carbone.

Des plans sont déjà en place pour la construction de la première installation carboneutre de capture et de stockage du carbone de l'industrie du ciment en Amérique du Nord à Edmonton, en Alberta. En avril 2023, Heidelberg Materials et le gouvernement du Canada ont annoncé un partenariat visant le développement d'une installation CUSC à grande échelle. Cette installation, qui devrait devenir opérationnelle à la fin 2026, captera annuellement plus d'un million de tonnes de CO₂ provenant de l'installation de production de ciment d'Edmonton et de l'installation de production combinée de chaleur et d'électricité intégrée au processus de captage.

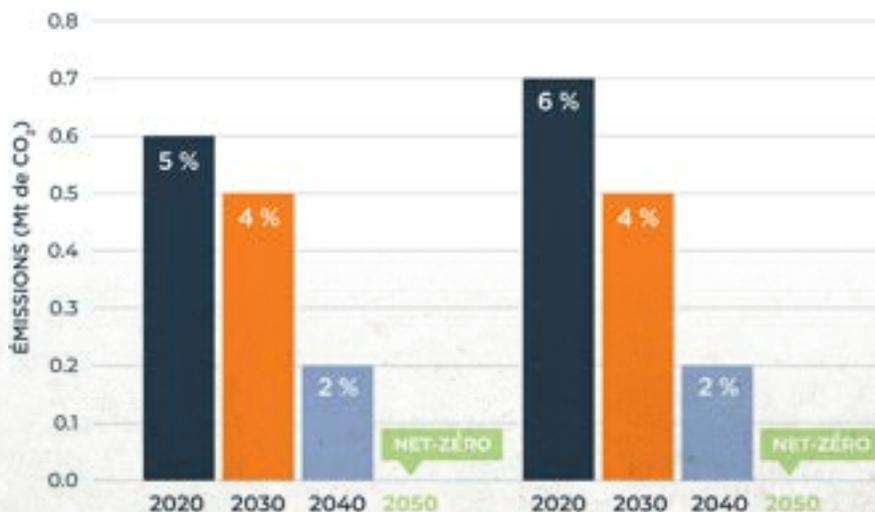
Béton

Aujourd'hui, la consommation d'électricité représente environ 5 % des émissions totales de CO₂ du béton. Pour les installations de production de béton, la transition vers l'électricité propre et d'autres sources d'énergie à faible empreinte de carbone permettra de réduire les émissions.

Il faut aussi de l'énergie pour livrer le béton. Le passage aux véhicules lourds plus écologiques prendra du temps; cela dit, les constructeurs de véhicules industriels ont réalisé de grands progrès pour que ces véhicules puissent fonctionner avec de l'hydrogène vert, de l'électricité et d'autres carburants à faible empreinte de carbone.

Construction

Pour réduire les émissions dans le secteur de la construction, qui échappe à l'influence directe de l'industrie du ciment et du béton, tous les acteurs concernés devront travailler main dans la main dans le but d'atteindre le net zéro. Nous collaborerons avec nos collègues architectes et constructeurs afin de réduire les émissions en optimisant la conception et la réduction des déchets. Tout comme ce fut le cas pour l'efficacité énergétique, il faut que l'efficacité des matériaux devienne une priorité dès la conception. Voici quelques exemples de stratégies générales promues par les acteurs des secteurs de la conception et de la construction. Une construction optimisée sur le plan de la gestion des déchets signifie qu'il n'y a aucun déchet sur le chantier et aucun retour de béton.



Stratégies générales

Dans les bâtiments en béton, on fait mieux avec moins, puisque la majorité du carbone intrinsèque se trouve à l'intérieur de la structure. L'optimisation précoce du concept ainsi qu'une conception détaillée et épurée sont des engagements cruciaux. En outre, quelques stratégies fondamentales mais simples peuvent conduire à une réduction significative du carbone intrinsèque.

Penser à utiliser du béton à haute résistance à la compression :

- La résistance du béton de 40 MPa est de 60 % supérieure à celle du béton de 25 MPa.
- L'augmentation du PRP n'est que de 35 %.

Penser à utiliser de l'acier à haute résistance à la tension :

- La résistance d'un acier de 500 MPa est de 25 % supérieure à celle d'un acier de 400 MPa.
- Le PRP de ces deux types d'acier est similaire.

Réduire au minimum les volumes de béton en maximisant le ratio d'armature pour les éléments de flexion :

- Presque l'entièreté de l'acier utilisé pour produire des barres d'armature provient de ferraille recyclée et plus de 65 % de toutes les barres d'armature sont recyclées.
- Une dalle renforcée à 0,4 % peut être 40 % plus fine qu'une dalle renforcée à 0,2 %.
- PRP réduit de 32 %.

Exploiter pleinement la résistance en maximisant le nombre de tailles d'éléments:

- La résistance structurelle (c.-à-d. le ratio résistance-demande) optimale de chaque élément permet de réduire au minimum les volumes de matériaux requis.
- Les valeurs liées au PRP dépendent directement des volumes de matériaux.

Arrondir les mesures des éléments en béton au 25 mm près au lieu d'écart plus importants :

- Par exemple, une dalle de 225 mm d'épaisseur au lieu d'une dalle de 250 mm d'épaisseur.
- PRP réduit de 11 %.

Augmenter la profondeur des poutres plutôt que leur largeur :

- Une poutre de 400 (L) x 800 (P) est aussi solide qu'une poutre de 750 (L) x 600 (P).
- PRP réduit de 40 %.

Les stratégies de réduction du carbone intrinsèque énumérées ci-dessus sont des exemples de cas particuliers et peuvent varier en fonction des conditions réelles.

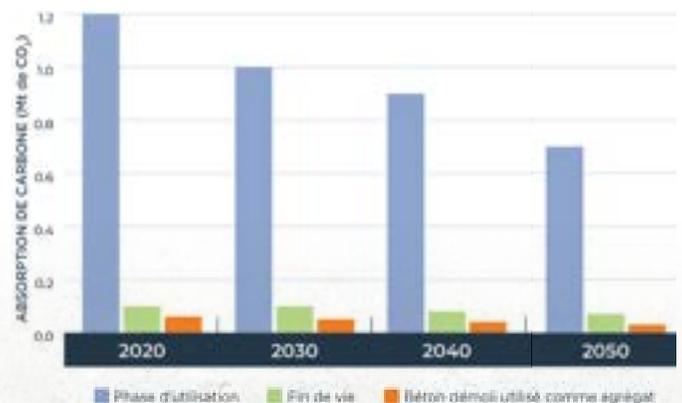
Source : A Pragmatic Approach to Lowering Embodied Carbon - 2023, ZGF, Fast+Epp, Ellis Don, Lafarge

Absorption du carbone

Le béton a la capacité de séquestrer le CO₂ de l'atmosphère, en le captant de manière permanente dans un processus connu sous le nom d'absorption du carbone ou de recarbonatation. Des **recherches menées par l'Institut suédois de recherche sur l'environnement (IVL)**, ont montré qu'en moyenne 20 % des émissions de CO₂ issues de la calcination (c'est-à-dire les émissions liées au processus de production du clinker) peuvent être séquestrées de manière permanente lorsqu'une structure en béton est construite.

Le taux d'absorption du CO₂ dépend de nombreuses conditions. Il est plus élevé quand le ratio surface/volume est grand, par exemple si le

béton est concassé et exposé à l'air. Pour maximiser cette absorption, les architectes et les ingénieurs peuvent laisser le béton apparent dans la mesure du possible.



Travailler avec les gouvernements

L'industrie canadienne du ciment et du béton est déterminée à collaborer avec tous les ordres de gouvernement pour atteindre la carboneutralité d'ici 2050. Il existe de nombreuses possibilités de collaboration, notamment dans le domaine de la recherche et du développement; dans l'établissement de codes, de normes et de spécifications, et dans l'approvisionnement.

La recherche et le développement sont essentiels pour atteindre la carboneutralité, notamment par le déploiement de nouvelles technologies et l'élaboration de solutions aux problèmes technologiques visant à soutenir la décarbonation. De nombreux domaines de recherche et de développement sont concernés, comme ce qui touche à l'hydrogène propre, au CUSC et aux combustibles biogènes.

Les codes, les normes et les spécifications doivent évoluer pour que les pratiques de construction puissent tenir compte des changements climatiques, mais aussi favoriser, en plus de la sécurité, les innovations canadiennes en matériaux et en techniques à faible empreinte de carbone. En d'autres termes, il faut « atténuer les risques » et faire connaître les solutions innovantes aux concepteurs et aux constructeurs, qui privilégient souvent les méthodes éprouvées pour que les projets respectent le délai et le budget impartis.

Les marchés publics peuvent contribuer à la décarbonation des matériaux de construction. Les projets d'infrastructure gouvernementaux consomment environ 40 % du ciment produit dans le monde. L'industrie du ciment et du béton continuera de promouvoir la stratégie favorisant l'achat de produits propres et une politique d'approvisionnement alignée sur les politiques climatiques et économiques. Celle-ci intègre certaines exigences visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant des matériaux de construction dans les achats du gouvernement. Le béton est le premier matériau à faire l'objet d'une exigence d'achat de produits propres dans le cadre de la norme sur le carbone intrinsèque en construction du gouvernement du Canada.

Enfin, les programmes de financement gouvernementaux visant à soutenir le déploiement de technologies industrielles à émissions nulles ou quasi nulles seront essentiels. Différents mécanismes de financement pourraient être mis en place, par exemple des subventions directes, des crédits d'impôt, des prêts à faible taux d'intérêt et à des conditions préférentielles, ainsi que des instruments de financement mixte. Cela pourrait également prendre la forme d'aides ciblées et spécialisées, telles que des contrats sur différence pour parer aux défis et risques uniques entourant le premier déploiement commercial à grande échelle des technologies à émissions nulles ou presque nulles de carbone, y compris les CUSC.

	2020	2030	2040	2050
Émissions (statu quo) (Mt de CO ₂)	11.5*	12.7	14.1	15.5
Améliorations - Clinker (Mt de CO ₂)		0.9	1.2	1.6
Améliorations - Ciment (Mt de CO ₂)		1.5	2.2	2.9
Améliorations - Béton (Mt de CO ₂)		0.5	2.0	3.7
Améliorations - Béton (Mt de CO ₂)		1.0	1.6	2.1
Absorption du carbone (Mt de CO ₂)		1.2	1.0	0.8
CUSC (Mt de CO ₂)		1.5	2.0	4.4
Émissions nettes (Mt de CO₂)		6.1	4.1	(0)

*Ce chiffre diffère de celui du Rapport d'inventaire national du Canada parce que ce dernier ne fait état que des émissions directes liées à la production de ciment, alors que nous avons pris en compte les émissions de carbone provenant de la chaîne de valeur au sens large, ce qui comprend notamment le béton et les carburants utilisés pour le transport entre les installations.

En résumé, de nombreuses mesures et de nombreux leviers devront être mis en place pour que l'industrie canadienne du ciment et du béton devienne carboneutre d'ici 2050. Il n'existe pas de solution xindustrie est déterminée à collaborer

avec tous les ordres de gouvernement et avec l'industrie de l'architecture et de la construction en vue de la décarbonation. C'est ensemble que nous atteindrons l'objectif de carboneutralité.

DÉCLARATIONS ENVIRONNEMENTALES DE PRODUIT (DEP)

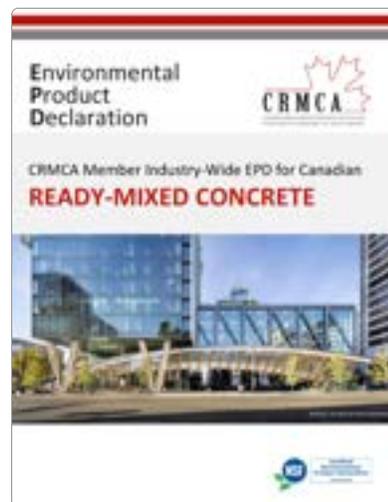
DEP générique de l'ACC relative aux ciments ordinaires (de type GU) et aux ciments Portland au calcaire (de type GUL)

En avril 2023, l'ACC a eu le plaisir de présenter la déclaration environnementale de produits (DEP) pour les ciments ordinaires de type GU et les ciments Portland au calcaire (CPC) de type GUL. Rédigée par les membres de l'ACC, cette déclaration repose sur les moyennes de l'industrie selon les données de chaque région au Canada. Elle a été élaborée conformément à la norme CAN/CSA-ISO 14025 et vérifiée par ASTM International. Elle inclut les résultats de l'analyse du cycle de vie pour l'étape de production ou de la production à la sortie de l'usine (cradle to gate) des ciments de type GU et GUL tels qu'ils ont été produits dans trois régions du Canada (l'Ouest, le centre et l'Est) par les membres de l'ACC. La DEP établit le potentiel de réchauffement de la planète (PRP) du ciment de type GU à 796, 854 et 898 kg CO₂ par tonne de ciment pour les régions de l'Ouest, du centre et de l'Est, respectivement. À titre de comparaison, le PRP du ciment de type GUL est de 732, 798 et 864 kg CO₂ par tonne de ciment.

DEP générique de la CRMCA sur le béton prêt à l'emploi canadien

Concernant l'empreinte carbone de telle ou telle conception de mélange, l'industrie du béton prêt à l'emploi souhaite faire preuve de transparence. Cet engagement s'est manifesté dès 2017 par la publication de la **déclaration environnementale de produit (DEP) générique de la CRMCA**. Le document a été élaboré par l'Athena Sustainable Materials Institute et vérifié de manière indépendante par NSF. Une DEP générique (reposant sur les moyennes de l'industrie) indique les impacts environnementaux des mélanges de béton préparés dans une

usine canadienne type dans un territoire donné. C'était une première étape indispensable, mais, dans le cadre des projets provinciaux, une DEP produite à partir des moyennes canadiennes n'est pas assez précise. Les concepteurs et les rédacteurs de spécifications qui s'affairent à quantifier l'empreinte carbone d'un mélange en particulier dans une usine provinciale ont besoin de chiffres reflétant davantage les réalités locales ou, plus particulièrement, de DEP régionales.



Télécharger le document PDF

De fait, pour pouvoir choisir les bétons en fonction de leur empreinte carbone, il faut disposer de déclarations environnementales régionales. Or, la plus récente DEP générique de la CRMCA venant à échéance le 6 janvier 2022, l'industrie a demandé la production de huit déclarations régionales représentant l'ensemble des provinces. Les huit documents en question ont été publiés en juillet 2022, témoignant de la volonté des acteurs à faire preuve de transparence et de produire des bétons carboneutres d'ici 2050.

Pour consulter les huit déclarations régionales, cliquez ici.

<https://www.astm.org/products-services/certification/environmental-product-declarations/epd-pcr.html>



DEP génériques des associations provinciales relatives au béton prêt à l'emploi

L'élaboration de **DEP génériques de membres régionaux (associations provinciales du Canada) relatives aux rapports sur le béton prêt à l'emploi** permet d'accroître l'exactitude des rapports sur l'empreinte carbone des mélanges sur les projets au Canada.

Athena et d'autres tiers certifiés ASTM International ont également contribué à la production de ces rapports. Un échantillon représentatif des installations des membres provinciaux a été sélectionné sur la base des caractéristiques techniques, de l'échelle de production et de la situation géographique. Des établissements membres de l'association provinciale, statistiquement représentatifs de ces différentes dynamiques, ont été choisis par Athena comme,

pour fournir des données en réponse aux questionnaires de l'ACV.

Chaque DEP régionale, ou provinciale, contient une représentation actualisée et exacte des mélanges utilisés sur le marché concerné. Les DEP provinciales de 2022 traitent également de certaines limites mises en évidence dans la DEP nationale produite par la CRMCA en 2017. Grâce à des groupes de travail régionaux, composés de représentants des producteurs de béton prêt à l'emploi, et aux conseils d'Athena, chaque région a proposé des améliorations adaptées au contexte local afin que les rapports provinciaux récemment publiés soient encore plus représentatifs de l'industrie du béton dans la région concernée. Voici quelques exemples de mises à jour effectuées dans certaines régions (contactez votre association provinciale locale pour obtenir des précisions sur l'avancement de leur DEP) :

1. Chiffres relatifs aux matières premières issus des moyennes de production à l'échelle locale, lorsque disponibles (et non plus nationale).
2. Prise en compte des ciments Portland à fumée de silice de type GUBSF (ciment Portland + jusqu'à 15 % de fumées de silice) pour un béton à haute résistance (ex. : 50-70 MPa), à haut rendement ou pour les classes d'exposition nécessitant la perméabilité aux ions chlorure.
3. Conceptions de mélanges plus représentatives des utilisations et des classes d'exposition les plus courantes, conformément à la norme CSA A23.1 et aux codes du bâtiment national ou provinciaux.



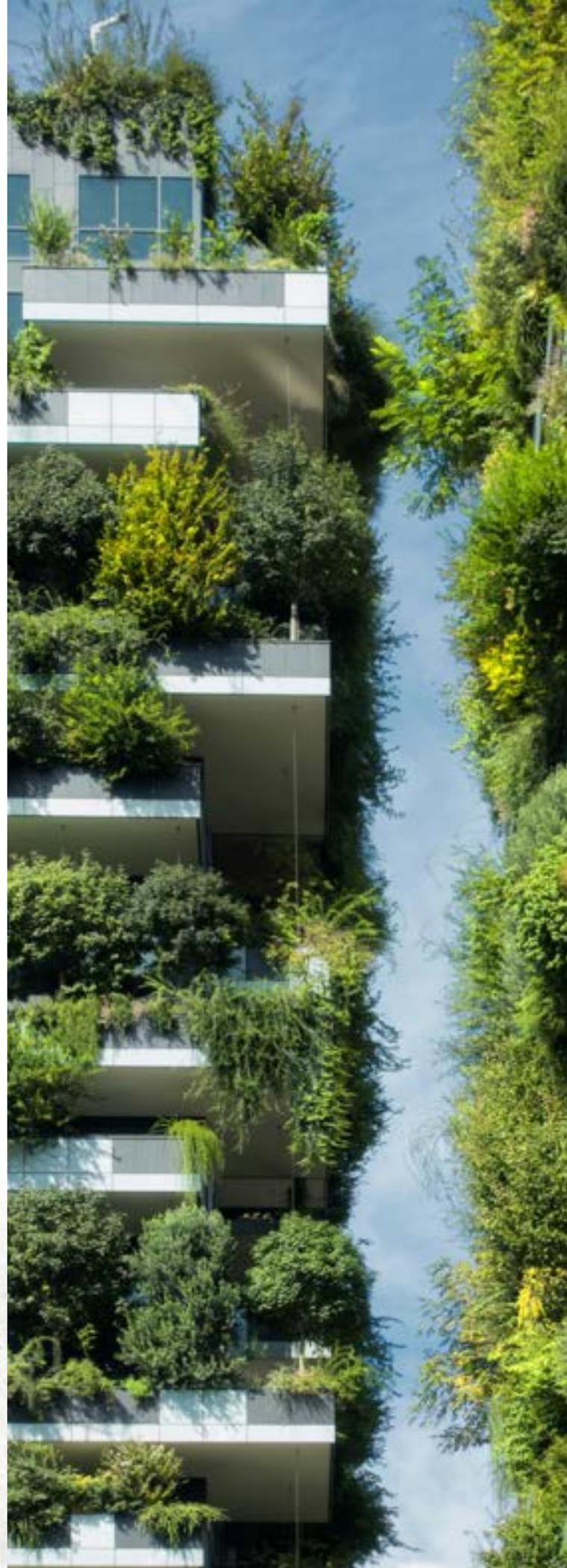
4. Prise en compte, lorsque le marché s'y prête, de conceptions spéciales de mélanges comme le béton autoplaçant (BAP) ou le béton projeté, dont la demande va croissant pour les réalisations architectoniques.

5. Prise en compte de niveaux de remplacement des MCS supplémentaires ou propre à un marché, y compris les utilisations de béton de masse dans certaines régions.

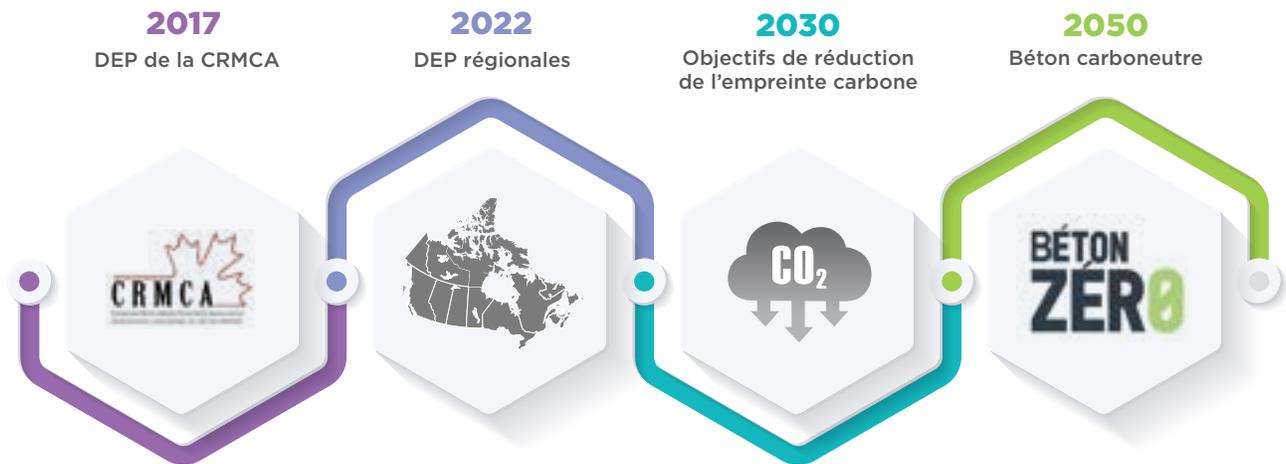
6. Moyennes de l'industrie choisies soigneusement d'après les proportions moyennes de matériaux observées sur le marché de la région concernée, et prise en compte du ciment de type GU ou du mélange de ciment de type GU et GUL en fonction du statut de la région concernée en regard de son adoption du type GUL.

7. Prise en compte des proportions réelles de matériaux dans les mélanges et des critères de rendement correspondants associés aux diverses classes d'exposition CSA A23.1 offrant enfin une perspective réaliste (les données déclarées se rapportent aux bétons réellement utilisés sur le terrain, sous réserve de leur conformité aux normes CSA A23.1 et au Code national [ou provincial] du bâtiment).

Grâce aux améliorations ci-dessus, les DEP régionales permettent une bien meilleure quantification de l'empreinte carbone du béton utilisé dans le cadre d'un projet donné. Elle procure aussi aux concepteurs et aux rédacteurs de spécifications des outils fiables qui leur permettent d'établir des spécifications favorisant l'utilisation au Canada de bétons faiblement carbonés. La durée de validité des DEP est de cinq ans, mais elles pourront être actualisées avant terme si des matériaux ou des technologies à venir ont le potentiel de réduire l'empreinte des différents mélanges de ciment de façon notable.



OBJECTIFS DE RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE DE L'INDUSTRIE



En publiant sa DEP en 2017, la CRMCA soulevait la question de la transparence de l'information disponible sur le carbone intrinsèque dans le secteur du béton au Canada. Depuis, l'enjeu s'est transposé à l'échelle régionale. Ce changement de perspective et le recours aux DEP provinciales publiées en 2022 ont permis une réduction notable du carbone intrinsèque

pour les conceptions de mélange de référence; d'autres progrès suivront jusqu'à l'atteinte de l'objectif : la carboneutralité du béton. La comparaison entre les seuils repères de la CRMCA et les valeurs de référence les plus récentes de l'Ontario met en lumière les gains remarquables obtenus jusqu'ici (voir tableau ci-dessous).

Seuils repères (DEP canadienne)	Valeurs de référence (DEP ontarienne)	Réduction (%)
Moyenne de l'industrie du béton 25 MPa avec air (6 % SL, 4 % FA) (304.52 kg CO ₂ /m ³)	Béton de réf. 25 MPa avec air et 0,55 w/cm (F-2) GU 10 SL (260.64 kg CO ₂ /m ³)	14,4
Moyenne de l'industrie du béton 30 MPa avec air (6 % SL, 4 % FA) (349.68 kg CO ₂ /m ³)	Béton de réf. 30 MPa avec air et 0,50 w/cm (F-1) GU 15 SL (292.72 kg CO ₂ /m ³)	16,3
Moyenne de l'industrie du béton 35 MPa avec air (6 % SL, 4 % FA) (417.05 kg CO ₂ /m ³)	Béton de réf. 35 MPa avec air GU 15 SL (334.49 kg CO ₂ /m ³)	19,8
Moyenne de l'industrie du béton 40 MPa avec air (6 % SL, 4 % FA) (458.98 kg CO ₂ /m ³)	Béton de réf. 40 MPa avec air GU 15 SL (361.65 kg CO ₂ /m ³)	21,2
Moyenne de l'industrie du béton 45 MPa avec air (6 % SL, 4 % FA) (426.33 kg CO ₂ /m ³)	Béton 45 MPa avec air GU 15 SL (349.88 kg CO ₂ /m ³)	17,9

La diminution appréciable observée depuis 2017 démontre que les objectifs de réduction de l'empreinte carbone du béton sont à la portée des concepteurs et témoigne aussi de l'engagement de l'industrie canadienne à l'égard de la transparence de l'information sur le carbone

et de la feuille de route vers la carboneutralité. D'autres efforts seront déployés pour atteindre l'objectif de l'industrie de réduction de 40 % d'ici 2030 dans le but ultime de rendre le secteur du béton carboneutre d'ici 2050.

AGA KHAN MUSEUM / MUSÉE AGA KHAN

Autodéclarations fondées sur les moyennes de l'industrie

En plus des sept DEP régionales, Athena a conçu un calculateur qui permet aux producteurs de béton (voir exemple ci-après) de faire des déclarations volontaires fondées sur les données de ces sept DEP. Les producteurs de béton peuvent aussi indiquer quelles matières premières entrent dans leurs mélanges exclusifs; le calculateur génère ensuite, à partir des moyennes figurant dans les DEP, un rapport sur les indicateurs ACV (analyse du cycle de vie). Ces autodéclarations n'ont pas de caractère officiel, mais elles permettent de déterminer efficacement l'impact des mélanges sur un projet donné comparativement aux moyennes de l'industrie. Le calculateur sert aussi à évaluer l'incidence d'une utilisation spéciale sur un mélange donné. La question des utilisations spéciales est abordée plus en détail dans une autre section du présent guide.

Sans être aussi précise qu'une DEP de types II ou III, l'autodéclaration permet aux maîtres d'œuvre, aux concepteurs et aux architectes d'obtenir, sans coûts supplémentaires, de l'information concernant l'impact des mélanges sur leurs projets. Le recours aux déclarations volontaires fondées sur les moyennes de l'industrie dans l'évaluation des projets procure aux rédacteurs des spécifications un moyen rapide de quantifier le carbone intrinsèque d'un mélange à partir des valeurs actuelles connues et permet une collaboration éclairée avec le fournisseur de béton prêt à l'emploi, dans le respect des exigences du projet quant à son empreinte carbone.

Le recours aux déclarations volontaires fondées sur les moyennes de l'industrie dans l'évaluation des projets procure aux rédacteurs des spécifications un moyen rapide de quantifier le carbone intrinsèque d'un mélange à partir des valeurs actuelles connues et permet une collaboration éclairée avec le fournisseur de béton prêt à l'emploi, dans le respect des exigences du projet quant à son empreinte carbone.

Exemple d'utilisation du calculateur Athena aux fins d'autodéclaration (Ontario) :

Les données des mélanges exclusifs sont saisies dans le calculateur qui, à partir des DEP fondées sur les moyennes de l'industrie, établit les valeurs des indicateurs ACV pour les différentes catégories d'impact.

Remarque - Les dosages de mélanges basés sur le rendement relèvent de la propriété intellectuelle des producteurs de béton et ne sont pas communiqués aux constructeurs. Les données qui figurent ci-dessous ont pour seul objet de montrer la façon de quantifier les impacts. Dans la pratique, le calculateur ne dévoile pas la proportion des ingrédients, mais seulement le rendement des différents mélanges proposés pour que les constructeurs puissent les comparer.

Exemple de comparaison entre béton standard et valeurs de référence

Mélange n° 1 de Concrete Ontario

Ingrédient	Quantité	Unité	Fournisseur
Ciment Portland au calcaire	300	kg	Ciment GUL (Ontario)
Ciment de laitier	50	kg	Ciment de laitier (Ontario)
Gros granulat concassé	1 070	kg	Gros granulat concassé (Ontario)
Granulat fin naturel	800	kg	Granulat fin naturel (Ontario)
Water Reducer	150	ml	Adjuvant réducteur d'eau (Ontario)
Réducteur d'eau	155	L	Ciment GUL (Ontario)

Aperçu des impacts

Impact	Unité	Par m ²	A1	A2	A3
Réchauffement climatique	kg éq CO ₂	281,91	88,49 %	8,07 %	3,44 %
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg éq CFC-11	7,68E-06	97,61 %	0,01 %	2,38 %
Acidification	kg éq SO ₂	1,36	73,31 %	19,73 %	6,96 %
Eutrophisation	kg éq N	0,23	90,03 %	7,10 %	2,87 %
Formation de smog	kg éq O ₃	23,23	62,82 %	29,43 %	7,75 %
Énergie non renouvelable	MJ, Pci	1 743,64	68,03 %	19,80 %	12,17 %

Le graphique et le rapport produits permettent de comparer les caractéristiques du mélange étudié aux valeurs de référence issues de la DEP de Concrete Ontario.



Télécharger le document PDF



De plus, si le projet nécessite des utilisations spéciales, leur impact peut être évalué rapidement.

Béton standard

Mélange n° 1 de Concrete Ontario

Ingrédient	Quantité	Unité	Fournisseur
Ciment Portland au calcaire	300	kg	Ciment GUL (Ontario)
Ciment de laitier	50	kg	Ciment de laitier (Ontario)
Gros granulats concassés	1 070	kg	Gros granulats concassés (Ontario)
Granulats fins naturels	800	kg	Granulats fins naturels (Ontario)
Water Reducer	150	ml	Adjuvant réducteur d'eau (Ontario)
Réducteur d'eau	155	L	Ciment GUL (Ontario)

Aperçu des impacts

Impact	Unité	Par m ³	A1	A2	A3
Réchauffement climatique	kg éq CO ₂	281,91	88,49 %	8,07 %	3,44 %
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg éq CFC-11	7,68E-06	97,61 %	0,01 %	2,38 %
Acidification	kg éq SO ₂	1,36	73,31 %	19,73 %	6,96 %
Eutrophisation	kg éq N	0,23	90,03 %	7,10 %	2,87 %
Formation de smog	kg éq O ₃	23,23	62,82 %	29,43 %	7,75 %
Énergie non renouvelable	MJ, Pci	1 743,64	68,03 %	19,80 %	12,17 %

Béton à gain de résistance accéléré

Mélange n° 2 de Concrete Ontario

Ingrédient	Quantité	Unité	Fournisseur
Ciment Portland au calcaire	370	kg	Ciment GUL (Ontario)
Gros granulats concassés	1 070	kg	Ciment de laitier (Ontario)
Granulats fins naturels	800	kg	Gros granulats concassés (Ontario)
Réducteur d'eau	150	ml	Granulats fins naturels (Ontario)
Eau de gâchage	155	L	Adjuvant réducteur d'eau (Ontario)

Aperçu des impacts

Impact	Unité	Par m ³	A1	A2	A3
Réchauffement climatique	kg éq CO ₂	330,48	90,14 %	6,92 %	2,93 %
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg éq CFC-11	7,85E-06	97,66 %	0,01 %	2,33 %
Acidification	kg éq SO ₂	1,47	75,11 %	18,43 %	6,46 %
Eutrophisation	kg éq N	0,25	91,00 %	6,42 %	2,58 %
Formation de smog	kg éq O ₃	24,28	64,21 %	28,38 %	7,42 %
Énergie non renouvelable	MJ, Pci	1 865,35	70,01 %	18,62 %	11,37 %

L'actualisation et l'analyse continues de l'empreinte carbone d'un projet imposent la production rapide des indicateurs ACV, comme le montrera plus loin l'étude de cas à laquelle nous nous sommes livrés.

DEP de type II

Les DEP de type II sont des déclarations volontaires que publient les producteurs de béton prêt à l'emploi sur leurs mélanges, conformément à la norme ISO 14021. Elles ne sont pas vérifiées par un tiers et se fondent sur les DEP officielles que les producteurs conservent dans leurs usines au sujet des matières premières qu'ils utilisent. De cette façon, les concepteurs et les rédacteurs de spécifications disposent d'informations plus précises que ne le sont les moyennes de l'industrie – l'empreinte carbone ainsi établie n'en est que plus exacte. Aussi les

intervenants en question ont-ils tout intérêt à prendre les DEP de type II en considération.

DEP de type III vérifiées par un tiers

Les DEP de type III, régies par la norme ISO 14025, sont vérifiées par un tiers. Elles constituent la représentation la plus exacte qu'un fabricant puisse donner de l'empreinte carbone de ses produits. La déclaration se rapporte à un mélange de béton donné; elle repose sur les DEP conservées à l'usine de production pour les matières premières utilisées. Si les sources d'approvisionnement en matières premières changent, les DEP doivent être actualisées et vérifiées à nouveau par un tiers. De nombreux producteurs de béton canadiens ont déjà produit des DEP de type III; l'accès à ces documents peut être exigé à l'échelle des projets.

Dénégation de responsabilité d'Athena

Cette autodéclaration a été produite de manière automatique par Athena à partir du logiciel d'analyse du cycle de vie et de la base de données connexe qui servent à établir les déclarations environnementales de produit (DEP) provinciales. Il ne s'agit PAS d'une DEP de type II ni d'une DEP de type III vérifiée de manière indépendante. La conception de mélange fournie par le client a été comparée aux conceptions de référence provinciales, fondées sur le profil moyen des producteurs de béton de la province. Les données déclarées n'ont qu'une valeur indicative.

QU'ENTEND-ON PAR BÉTON À FAIBLE EMPREINTE CARBONE?

Produit localement et de manière responsable, ce matériau est utilisé dans toute l'industrie de la construction étant donné ses qualités structurales, sa durabilité, sa souplesse d'utilisation et sa résilience en contexte de changements climatiques. Le béton est un matériau essentiel et omniprésent partout dans le monde. L'industrie canadienne est engagée et déterminée à atteindre l'objectif de carboneutralité, et à faire preuve de transparence à cet égard. La technologie du béton a progressé depuis les débuts. Le secteur lui-même évolue sans cesse et l'on comprend mieux les objectifs de réduction de l'empreinte carbone. Le recours à des technologies et à des matériaux innovants, combiné à la transparence des données que procurent les DEP, les concepteurs sont de mieux en mieux outillés pour surveiller, contrôler et optimiser le contenu en carbone intrinsèque des bétons qu'ils emploient.

On parle de béton faiblement carboné (ou à faible empreinte carbone) pour un béton dont la méthode de production lui confère une plus faible empreinte carbone que celle obtenue par l'utilisation de mélanges et de techniques standards, sans que les critères de rendement en souffrent. L'emploi généralisé de bétons faiblement carbonés suppose que les producteurs, les rédacteurs de spécifications et les constructeurs s'entendent pour recourir aux matériaux à faible empreinte carbone qui sont à leur disposition et aux techniques de conception exposées dans le présent guide.



EXIGER L'UTILISATION DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI FAIBLEMENT CARBONÉ AU CANADA

Le respect des spécifications portant sur l'empreinte carbone dépend largement de l'utilisation des technologies les plus modernes ainsi que des matières premières locales aussi peu carbonées que possible. Ces matières ne sont pas les mêmes partout dans le pays, ainsi chaque producteur doit-il se fier à son expertise, à son

expérience et aux outils à sa disposition pour concevoir et préparer le mélange optimal. Si les producteurs ont la possibilité de fournir un béton prêt à l'emploi conforme à des critères de rendement, selon l'approche de la CSA, il en résultera des conceptions de mélange optimisées et des solutions plus durables.

Si les producteurs ont la possibilité de fournir un béton prêt à l'emploi conforme à des critères de rendement, selon l'approche de la CSA, il en résultera des conceptions de mélange optimisées et des solutions plus durables.

Avant toute chose, les rédacteurs de spécifications doivent veiller aux points suivants :

1. **Mise en place d'un système de qualification ou de certification dans les usines de production (lorsque possible)**
2. **Définition, par le concepteur, des critères de rendement auxquels devront satisfaire les différents éléments en béton de la structure**
3. **Collaboration entre producteurs et constructeurs, qui doivent veiller à ce que le mélange optimal soit conçu, fourni et mis en place** 
4. **Soumission et documentation des conceptions de mélange axées sur le rendement, des cadences de livraison, des flux de circulation, des aires de lavage, des questions d'ordre environnemental ou sécuritaire, des exigences entourant les inspections et les essais, des critères d'acceptation et de rejet, etc.**
5. **Essais d'assurance qualité nécessaires à l'acceptation du béton** 
6. **Énoncés clairs des responsabilités à assumer en cas d'anomalie**

La mise en œuvre réussie des spécifications d'un béton nécessite la définition claire des rôles et des responsabilités de chaque partie concernée.

MAÎTRE D'ŒUVRE ET CONCEPTEUR

- Définir clairement les rôles et responsabilités attachés au projet (commandes, échéanciers, approvisionnement, vérifications, essais, inspections, etc.), ainsi que les interactions (réunions de préparation des travaux, préalables au coulage ou d'étape)
- Énoncer précisément les exigences auxquelles doit satisfaire le béton, notamment en matière de solidité
- Définir les exigences à remplir dans le cadre du projet à l'égard de la soumission, de la certification et de la qualification
- Préciser les critères d'acceptation ainsi que les processus de règlement des litiges et de gestion des modifications
- Mener les activités d'assurance qualité requises pour vérifier que les exigences sont satisfaites
- Déterminer les exigences à satisfaire en

CONSTRUCTEURS

- Bien comprendre la portée et les exigences du projet
- Déterminer les sous-traitants ou fournisseurs requis et les sélectionner en définissant clairement le cadre de prestation ainsi que les produits ou services à livrer (lors de l'appel d'offres et de l'attribution du marché)
- Dresser le calendrier des travaux initial et déterminer les méthodes à employer
- Demander l'avis des sous-traitants et fournisseurs quant aux spécifications et à l'échéancier proposé
- Éclaircir les points obscurs avec le maître d'œuvre ou le concepteur
- Veiller à régler tous les problèmes de construction et de spécifications

Mise en œuvre réussie des spécifications

FOURNISSEURS DE BÉTON

- Déterminer les mélanges requis par le projet
- Confirmer ce qu'inclut ou exclut le champ d'intervention des fournisseurs
- Proposer des manières d'améliorer le rendement du béton
- Informer le constructeur des exigences prêtant éventuellement à confusion
- Informer le constructeur des éventuelles exigences normatives qui imposent des restrictions sans valeur ajoutée quant à l'obtention des qualités prescrites en matière de robustesse, de durabilité et d'empreinte carbone
- Mener les essais ou épreuves de préqualification éventuellement requis

ORGANISME D'ESSAIS

- Se conformer aux méthodes d'essai CSA A23.2 et aux sections pertinentes des spécifications de projet
- Veiller à ce que le personnel et l'équipement satisfassent à la norme CSA A283 ou à la norme CAN/CSA-ISO (avec un champ d'application similaire)
- Confier tous les essais en chantier à des techniciens possédant la certification du CCIL, de l'ACI ou l'équivalent
- Confier les essais hors chantier à des laboratoires certifiés par le CCIL ou certifiés CAN/CSA-ISO 9001
- Informer le constructeur des problèmes potentiels et des exigences entourant l'entreposage des spécimens, la cure initiale des cylindres de béton, etc.
- Informer le responsable du chantier et le fournisseur de béton des résultats des essais de plasticité
- Transmettre dans un délai de cinq jours les résultats des essais à tous les intervenants, notamment au fournisseur de béton, comme le veut la norme CSA A23.2-25C

Critères de rendement

Il incombe au rédacteur des spécifications d'énoncer clairement les critères de rendement auxquels le constructeur et le producteur de béton prêt à l'emploi doivent satisfaire dans le cadre d'un projet donné.

Les responsabilités sont bien indiquées dans le tableau 5 de la norme CSA A23.1 (« Béton : constituants et exécution des travaux ») et, pour établir correctement les spécifications relatives aux bétons faiblement carbonés, il faut s'y conformer.

RENDEMENT

En dressant un cahier des charges axé sur le rendement du béton, le rédacteur des spécifications se donne l'assurance que le producteur assumera la responsabilité des caractéristiques demandées.

De son côté, le producteur dispose ainsi de la souplesse voulue pour optimiser ses conceptions de mélange.

Cette souplesse est d'importance vitale si le producteur doit suivre plusieurs approches conformes aux normes CSA dans la conception de ses mélanges afin de répondre à des exigences variées, qu'il s'agisse de solidité, de durabilité, de constructibilité ou d'empreinte carbone.

La généralisation de l'emploi de bétons faiblement carbonés dépend étroitement de spécifications axées sur le rendement.

APPROCHE PRESCRIPTIVE

Il est fortement déconseillé de prescrire les proportions d'un mélange de béton, y compris les quantités d'ingrédients à utiliser (adjuvants, granulats, matériaux cimentaires ou eau), sans quoi le maître d'œuvre devra assumer l'entière responsabilité du rendement du béton.

Non seulement une telle approche prescriptive peut résulter en un rendement non satisfaisant, mais elle peut compromettre l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte carbone du projet, car le rédacteur des spécifications n'est pas censé savoir quelles matières premières utilise tel ou tel producteur ou une usine donnée.



Critères de spécification du béton faiblement carboné

1 ✓ Exigences structurales à remplir, y compris la résistance selon la durée écoulée (p. ex. résistance de 35 MPa au bout de 56 jours)

Résistance selon la durée écoulée

Si le calendrier de projet est flexible, concevoir un béton qui aura la résistance voulue après un délai maximal acceptable permet au producteur d'employer le moins de ciment possible (de types GU, GUL, GUbSF, etc.) et d'optimiser l'utilisation d'ajouts cimentaires (laitier, cendre volante, par exemple). On obtiendra ainsi un béton plus durable et à moindre empreinte carbone.

Prenons un exemple : en général, le béton est conçu pour acquérir la résistance voulue en 28 jours. Si la pièce de charpente en construction n'est censée entrer en service que plus tard, le rédacteur des spécifications peut repousser le délai à 56 voire 91 jours. D'ailleurs, le tableau 2 de la norme CSA A23.1 prescrit que le béton de classe C-1 doit offrir une résistance de 35 MPa au bout de 56 jours pour que tous les autres critères de rendement soient remplis, y compris une perméabilité aux ions chlorure inférieure à 1 500 coulombs dans les 91 jours.

Les rédacteurs de spécifications doivent déterminer à quel moment les éléments de charpente entreront en service et si le calendrier permet d'allonger le délai au bout duquel ils doivent présenter la résistance voulue.

2 ✓ Critères de durabilité, notamment pour la classe d'exposition (ex. : 0,40 w/cm max., classe C-1)

Classes d'exposition

Telles que les définissent les tableaux 1 et 2 de la norme CSA A23.1, les classes d'exposition

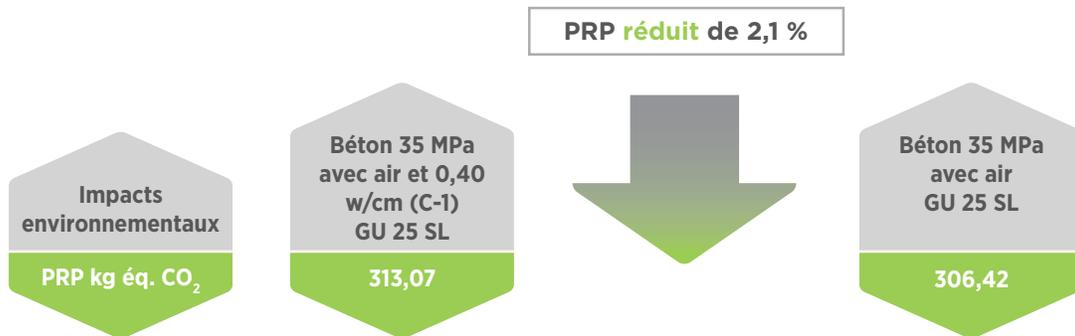
caractérisent le milieu dans lequel se trouvera le béton. Il est entendu, par exemple, qu'un mur de béton intérieur (classe N) ne sera pas exposé aux chlorures, au gel, au dégel, aux sulfates, etc., pendant sa durée de vie utile. En revanche, dans le cas d'un trottoir extérieur, on fera appel à un béton de classe C-2 non armé (ordinaire), étant donné l'exposition probable aux chlorures et aux cycles gel-dégel. Pour s'assurer du choix du béton approprié, les maîtres d'œuvre doivent saisir les différences fondamentales entre les diverses classes d'exposition.

Puisque les producteurs de béton prêt à l'emploi doivent satisfaire aux exigences des classes d'exposition et utiliser le rapport eau/liant (w/cm) maximal correspondant, il est essentiel que le rédacteur des spécifications choisisse pour chaque élément de charpente la classe la mieux appropriée. Tout excès se traduirait par des conceptions de mélange dont le carbone intrinsèque serait plus élevé que nécessaire, et cela compliquerait la tâche du producteur (censé fournir un béton faiblement carboné).

Ainsi, comme le montre la **figure intitulée « COMPARAISON CLASSE C-1/CLASSE F-1 »**, s'il est prévu qu'une fondation de béton de masse armé ne sera exposée qu'aux cycles gel-dégel (et non aux chlorures), la classe à choisir sera F-1 et non la classe habituelle (C-1). Sur le plan structural, on exigera toujours une résistance de 35 MPa, mais le rapport eau/liant maximal acceptable sera de 0,50 plutôt que de 0,40, ce qui permettra au producteur de béton de prévoir un mélange dont l'empreinte carbone sera beaucoup plus faible.

COMPARAISON CLASSE C-1/CLASSE F-1

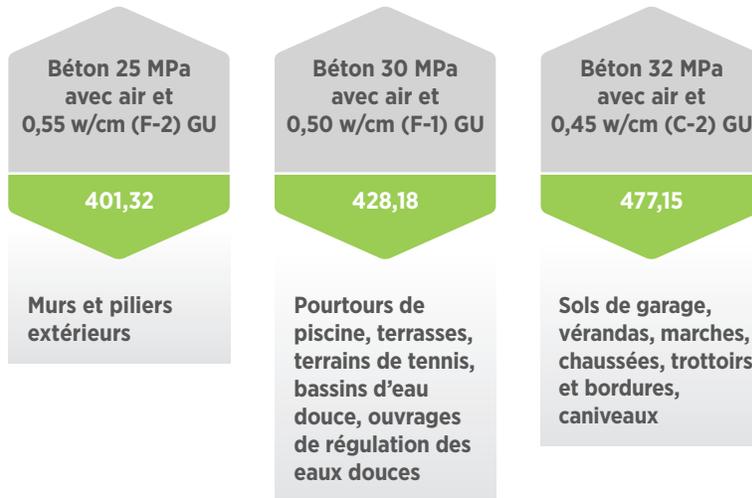
DEP ontarienne



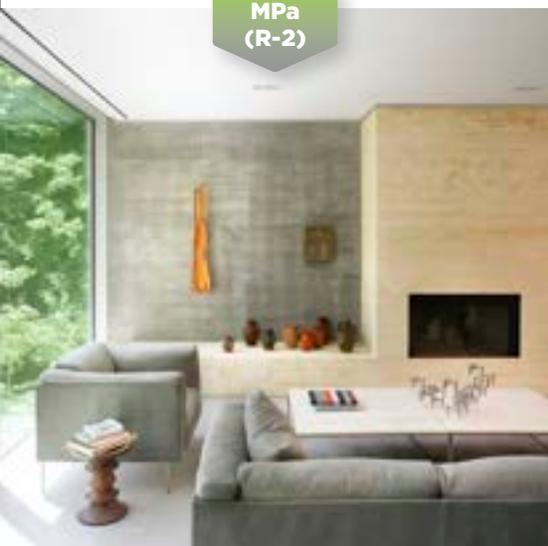
Pendant la phase de conception, le rédacteur des spécifications doit veiller à choisir les bonnes classes d'exposition. Voici des exemples types tirés de la DEP du Canada atlantique :

INFLUENCE DE LA CLASSE D'EXPOSITION SUR LE PRP

DEP du Canada atlantique



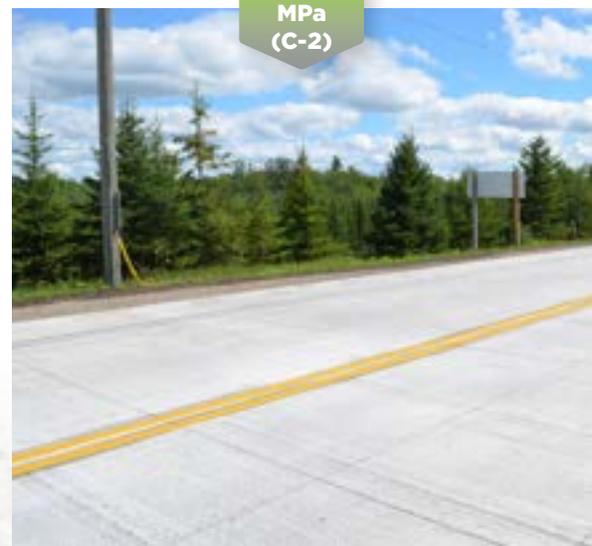
25 MPa (R-2)



30 MPa (F-1)



32 MPa (C-2)



À noter : si les spécifications prescrivent plusieurs classes d'exposition, ce sont les exigences les plus contraignantes qui prévalent.

3

Autres critères de durabilité

Certains éléments en béton doivent satisfaire à un plus haut degré d'exigences que celles des classes d'exposition CSA habituelles sur le plan de la durabilité, par exemple une durée de vie utile exceptionnellement longue ou des qualités nécessitant des essais particuliers visant à contrôler la résistance à l'abrasion directe ou à l'écaillage dû aux sels de déglçage, la profondeur de pénétration des chlorures, la résistance à la flexion, à des températures anormales, à certains agents chimiques, etc.

Les critères en question peuvent nécessiter le recours à des matériaux spéciaux ou à des paramètres de conception particuliers. Le concepteur doit garder à l'esprit que tout motif imposant une teneur plus élevée en ciment entraînera une augmentation de l'empreinte carbone du béton. De plus, les calculs et les essais peuvent être fastidieux, aussi faut-il s'informer dès le début des exigences spéciales, afin d'avoir le temps de concevoir un mélange de béton qui assurera le rendement recherché tout en minimisant l'empreinte carbone.

Pour des projets de cette nature, il est encore plus important de rédiger des spécifications qui, en donnant priorité au rendement, permettront au producteur de concevoir les mélanges appropriés en utilisant tout l'arsenal existant d'outils, de techniques et de moyens technologiques.

4

Stabilité en volume

Béton à faible retrait

Les bétons à faible retrait nécessitent l'utilisation de dosages, de matériaux et d'adjuvants spéciaux assurant un retrait par séchage moins prononcé que dans le cas du béton normal. Dans la norme CSA A23.1, le retrait est dit faible si, après 28 jours de séchage (soit 35 jours depuis le coulage), il ne dépasse pas 0,040 % (mesuré sur des prismes de 75 mm x 75 mm de section).

Pour obtenir ce résultat, il faut employer des granulats plus gros, un rapport eau/liant plus faible et, dans certains cas, des adjuvants spéciaux. La diminution de retrait obtenue et les changements qu'elle implique quant à la conception des mélanges peuvent influencer sur les objectifs de réduction de l'empreinte carbone du projet. C'est généralement pour les usines de traitement des eaux usées qu'il est demandé de prévoir un béton à faible retrait; en pareil cas, le maître d'œuvre doit tenir compte de l'impact sur l'empreinte carbone générale.



5

Critères architecturaux (couleur, surfaçage, etc.)

Béton architectonique

Le béton architectonique ne doit pas seulement répondre aux critères de rendement habituels; il doit également présenter des qualités esthétiques. Cela peut nécessiter un béton spécial, une méthode de coulage particulière ou des coffrages non standards. On emploie couramment du béton autoplaçant (BAP) ou du béton projeté; tous deux nécessitent souvent une teneur en ciment plus élevée ou un type de ciment spécial (GUbSF, par exemple). La question se complique donc un peu dans le cas du BAP, par exemple. Les avantages sont nombreux :

- Le BAP est conçu pour s'écouler et se compacter de lui-même, ce qui le rend particulièrement utile quand les conditions de coulage sont difficiles ou que les éléments présentent des formes complexes.
- Le BAP se distingue par sa facilité de coulage et sa maniabilité. Le coulage étant plus rapide et moins exigeant, il en résulte d'autres avantages du point de vue des délais d'exécution, des besoins en équipement et en main-d'œuvre, des remises en chantier et des coûts. Le matériel s'utilise moins, les nuisances sonores et les émissions polluantes sont moins importantes. En outre, les ouvriers courent moins de risques de blessure.
- Les mélanges utilisés offrent de bonnes qualités de consolidation et d'adhérence aux armatures et autres éléments incorporés au béton. Cela autorise plus d'innovation dans les structures, les formes et les surfaces.
- Les mélanges de BAP assurent également une résistance et une durabilité supérieures à la moyenne, ce qui permet de réduire la taille des éléments sans perdre en solidité, donc de consommer moins de matériaux.



Les multiples avantages qu'offre le BAP par rapport au béton standard ont un prix : l'empreinte carbone de ces mélanges est plus élevée. La DEP de Concrete Ontario éclairera les concepteurs à ce sujet, puisqu'on y trouve les moyennes de l'industrie propres au béton autoplaçant (ainsi qu'au béton projeté).

EMPREINTE DU BÉTON CARBONE



6

Durabilité (potentiel maximal de réchauffement climatique, en kg CO₂ /m³)

Seuils de potentiel de réchauffement de la planète (PRP)

Le PRP maximal est un nouveau critère dont l'intégration aux cahiers des charges se fait progressivement, à mesure que les rédacteurs de spécifications et l'industrie en général cernent l'impact des conceptions de mélange sur les projets. Les concepteurs et les rédacteurs de spécifications qui veulent fixer un PRP cible pour un projet donné peuvent utiliser les valeurs de référence de la DEP générique provinciale dans la conception de certains mélanges types. On ne peut toutefois se contenter de fixer l'objectif général de réduction de l'empreinte carbone du projet en indiquant le PRP à ne pas dépasser. Cette question sera abordée plus loin dans le présent document au moyen d'une étude de cas. Le concept de **bilan carbone des projets recourant au béton (BCPB)** est illustré dans les études de cas présentées à la fin du présent guide. Le BCPB tient systématiquement compte de l'impact du type de béton choisi (standard ou spécial) sur l'empreinte carbone générale de ce matériau.

Déjà, de nombreux concepteurs réclament des données de préqualification afin de vérifier que les conceptions de mélange proposées permettront d'obtenir la résistance requise au fil du temps, d'atteindre les objectifs de durabilité ou de répondre aux exigences architectoniques. La même approche peut s'appliquer concernant l'empreinte carbone du béton : le concepteur peut demander qu'on lui soumette des indicateurs de rendement ou que des essais sur ébauches d'installation soient menés, là encore pour vérifier que les conceptions de mélange répondront aux besoins, mais aussi pour en évaluer l'empreinte carbone.

8

Exigences touchant à la gestion de la qualité

Que le projet soit évalué selon les livrables produits ou sous l'angle environnemental, sa réussite dépend étroitement de l'efficacité du système de gestion de la qualité mis en place. La gestion de la qualité ne se réduit pas à un programme d'essais – elle doit porter sur l'ensemble des systèmes et des processus auxquels fait appel le projet pour constituer un exercice profitable. La réduction des déchets, des délais et de l'utilisation des ressources

Le concept de bilan carbone des projets recourant au béton (BCPB) est illustré dans les études de cas présentées à la fin du présent guide. Le BCPB tient systématiquement compte de l'impact du type de béton choisi (standard ou spécial) sur l'empreinte carbone générale de ce matériau.

7

Critères de préqualification ou de vérification (ex. : essais de résistance à la compression)

Quand le projet consiste à construire des éléments en béton non standard ou qu'il implique un ensemble particulier d'exigences de rendement, des critères de préqualification ou de vérification entrent couramment en jeu.

Il passe par l'adoption et l'application de bonnes pratiques de contrôle et d'assurance de la qualité. Si toutes les parties prenantes au projet s'engagent à bien gérer la qualité, tout ce qui concerne le volet « béton » (devis, qualification, coulage, essais, protection, cure et mise en service) se déroulera correctement du premier coup et de telle façon que les déchets et l'empreinte carbone seront réduits au minimum.

Si l'on définit clairement les exigences entourant la soumission d'informations, les critères de rendement, les objectifs de réduction de l'empreinte carbone, les exigences de préqualification, les critères d'acceptation et de rejet, les mesures correctives à prendre, les mécanismes de gestion des changements, les processus de vérification et les procédures de règlement des différends feront en sorte que le concepteur, le constructeur, l'organisme d'essais et le producteur de béton suivront les bons protocoles.

La transmission, la mise en commun et le traitement efficaces de l'information impliquent aussi de prévoir des canaux de communication appropriés. La fourniture immédiate des rapports d'essais au producteur et au constructeur – entre autres choses – peut faciliter le repérage des problèmes potentiels ou des possibilités d'optimisation en chantier.

Inversement, une programmation malhabile, des estimations erronées, une mauvaise affectation des ressources requises par le chantier (tant humaines que matérielles) ou des changements apportés à la dernière minute risquent d'entraîner de la confusion, des retards, une production excessive de déchets et d'émissions, des coefficients de sécurité inutilement élevés, des risques d'accident ou des décisions non optimales, faute d'information. En particulier, on ne saurait trop recommander l'application de toutes les normes d'essai CSA (en chantier comme en laboratoire);

pour éviter le surdimensionnement, limiter les déchets et, dans un cas comme dans l'autre, réduire l'empreinte carbone, il faut impérativement procéder à des essais adéquats, précis et diligents. Des rencontres préalables au coulage et des réunions d'étape s'imposent aussi; elles permettront aux intervenants de communiquer efficacement, de repérer les problèmes ou les possibilités d'amélioration, de corriger les uns et d'exploiter les autres.

On veillera particulièrement à la gestion des changements. Les matériaux et les conditions ambiantes peuvent varier avec le temps, d'où la nécessité de corriger légèrement les dosages pour éviter de trop grandes disparités. De même, en cas de dépassement inutile des critères de rendement, le producteur du béton pourrait avoir intérêt à revoir la conception du mélange. Il est donc recommandé de permettre de petits ajustements sans exiger des requalifications longues et coûteuses; l'objectif est de maintenir la flexibilité tout en optimisant le rendement et l'empreinte carbone.

Lorsque le concepteur, le constructeur, le producteur de béton et l'organisme d'essais suivent les normes CSA et ont à cœur d'appliquer les pratiques exemplaires en assurance et en contrôle de la qualité, les conditions sont réunies pour que l'empreinte carbone du projet soit aussi réduite que possible.

On ne saurait trop recommander l'application de toutes les normes d'essai CSA (en chantier comme en laboratoire); pour éviter le surdimensionnement, limiter les déchets et, dans un cas comme dans l'autre, réduire l'empreinte carbone, il faut impérativement procéder à des essais adéquats, précis et diligents.

9

Conformité du fournisseur de béton aux programmes de certification sectoriels (ceux de la RMCAO, par exemple)

Certification des usines ou des camions

L'un des moyens d'évaluer l'uniformité du dosage et de la fourniture du béton et de prescrire l'adhésion à un programme de certification dans les régions où de tels programmes sont offerts. Ces programmes donnent en effet l'assurance que les équipements, les usines et les véhicules de transport des producteurs participants sont conformes aux mêmes normes, ce qui établit des règles équitables et garantit aux maîtres d'œuvre l'homogénéité des bétons livrés. En outre, dans certaines régions, on propose également des certifications ECO.

Pour obtenir des bétons à faible empreinte carbone, les rédacteurs de spécifications doivent réclamer une certification s'appliquant aux usines et aux camions, lorsque possible.

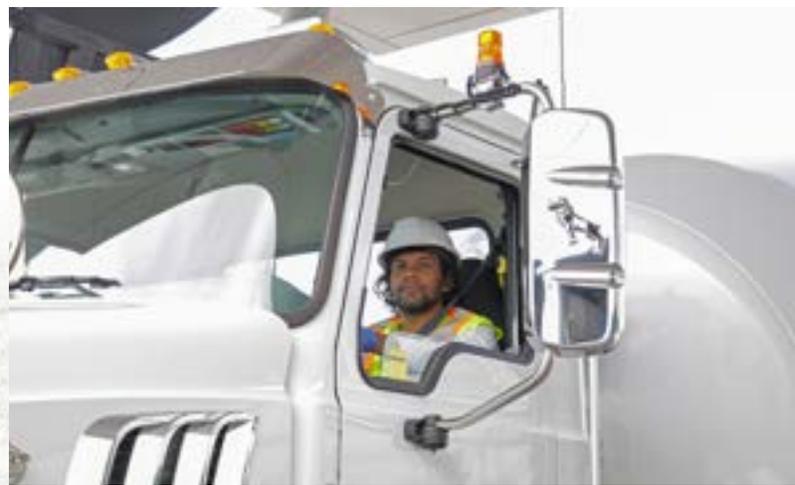
Les programmes provinciaux ou régionaux de certification des usines et des camions fournissent des listes complètes et actualisées des certifications offertes sur leurs sites Web respectifs.



10

Toute autre qualité exigible, suivant les critères de rendement du maître d'œuvre

Un projet peut nécessiter des propriétés particulières que seuls peuvent offrir le béton léger, lourd ou drainant, le coulage sous l'eau, des matériaux ou technologies de pointe, etc. Les principes énoncés plus haut peuvent parfaitement s'appliquer à ce genre de situation, pourvu que les critères de rendement soient clairement énoncés dès le départ et que tous les intervenants en discutent pour évaluer les matériaux, les conceptions et les méthodes de coulage pouvant être utilisés – ainsi que leurs impacts sur le calendrier de projet et l'empreinte carbone –, puis déterminer la meilleure voie à suivre afin de minimiser l'empreinte.



Matières premières utilisées

Toute approche consistant à limiter l'emploi et la proportion d'une matière première en particulier serait considérée comme prescriptive et contraire au principe de spécifications basées sur le rendement. Il vaut bien laisser le producteur de béton le soin de déterminer ce qu'il faut pour assurer le rendement demandé en se fondant sur des matériaux éprouvés et normalisés. Comme dans bien d'autres secteurs d'activité, les producteurs canadiens de béton prêt à l'emploi se heurtent à des problèmes d'approvisionnement; des critères de rendement clairs leur permettront d'autant mieux répondre aux besoins en béton faiblement carboné qu'on leur communiquera clairement les critères de rendement à remplir.

de clinker, ce qui donne le ciment de type GUL (General Use Limestone), différent du type GU (General Use) ordinaire, dans lequel la proportion de calcaire ne dépasse pas 5 %.

Par rapport à celles d'un mélange de base GU, la réduction des émissions produites lors des opérations de traitement et de combustion associées au ciment GUL peut ainsi atteindre 10 %, pour un rendement équivalent (résistance et durabilité comparables). Il existe divers types de ciment CPC convenant à différents usages, mais le plus utilisé est le type GUL. Il se substitue progressivement au type GU, dont l'emploi est appelé à disparaître au pays. L'utilisation du ciment CPC est largement approuvée au Canada, y compris pour les

Il vaut bien mieux laisser le producteur de béton le soin de déterminer ce qu'il faut pour assurer le rendement demandé en se fondant sur des matériaux éprouvés et normalisés.

Type de ciment

L'ingrédient qui contribue le plus à l'empreinte carbone du béton est le ciment; il faut donc choisir des ciments dont l'intensité carbonique est la plus basse possible. Cependant, prescrire tel ou tel type de ciment peut être contraignant : suivant où ils se trouvent dans le pays, certains producteurs ne pourront pas se le procurer. Aussi vaut-il mieux leur permettre à tous d'utiliser n'importe quel type de ciment certifié selon la norme CSA-A3001 (« Liants utilisés dans le béton »). Signalons néanmoins que l'empreinte carbone du ciment Portland au calcaire (CPC) est, à quantités égales, inférieure à celle du ciment Portland ordinaire (jusqu'à 10 % de moins). Cette réduction des émissions de CO₂ est rendue possible grâce au broyage simultané de calcaire (jusqu'à 15 %) et

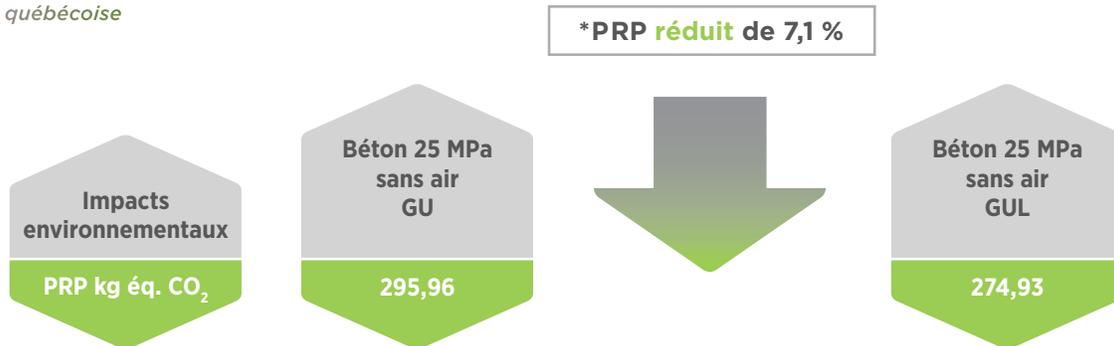
projets menés par les autorités provinciales ou municipales; l'industrie du béton prêt à l'emploi le recommande fortement aux rédacteurs de spécifications qui visent à une faible empreinte carbone.

Les producteurs de ciment cherchent continuellement à réduire leurs émissions de CO₂, aussi le PRP de leurs produits est-il en constante évolution. Dans la DEP établie à partir des moyennes de l'industrie provinciale, les chiffres traduisent ce qu'était la réalité d'ensemble des cimenteries de la province à un moment donné.

Les chiffres des DEP provinciales montrent bien la réduction d'empreinte carbone obtenue avec le type GUL. C'est ce qu'illustre la figure « **COMPARAISON GU/GUL** ».

COMPARAISON GU/GUL

DEP québécoise

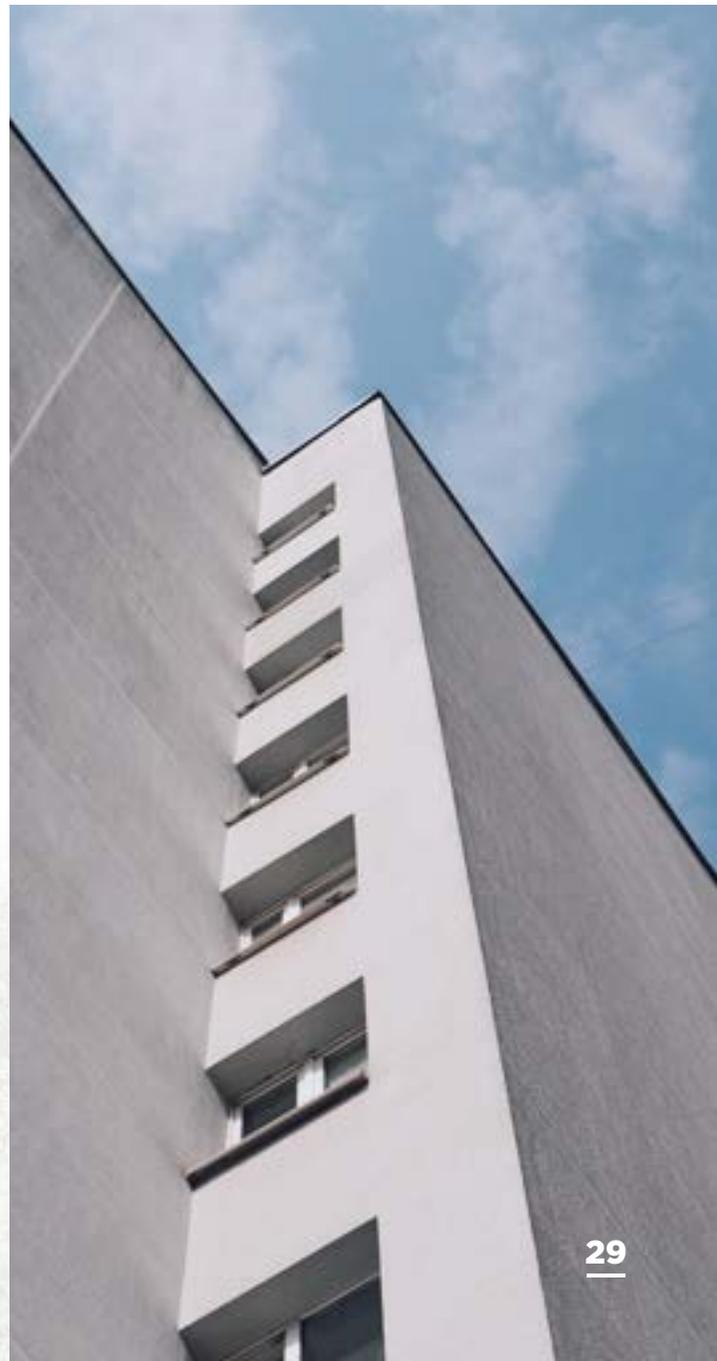


* Le ciment compte pour environ 80 à 85 % de l’empreinte carbone du béton, aussi la réduction des émissions de GES n’est-elle pas égale à 10 %. Cela dit, les chiffres ci-dessus reposent sur les données de 2020; les prochains résultats de l’ACV du ciment montreront que les cimenteries obtiennent une réduction plus proche de 10 %.

Pour en savoir davantage sur le ciment Portland au calcaire, consulter le document [A Technical Introduction to Portland-Limestone Cement](#), publié par l’Association canadienne du ciment. On y examine en détail le rendement de ce type de ciment, accompagné de toute une liste de projets dans le cadre desquels il a été employé avec succès.



Télécharger le document PDF



Ajouts cimentaires

Les ajouts cimentaires (AC) ont de multiples impacts sur le rendement à long terme du béton et sur la réduction de son empreinte carbone. En Ontario, l'AC le plus courant est le laitier (« SL », pour slag); comme c'est un sous-produit

de la sidérurgie, son incorporation au ciment influe favorablement sur le carbone intrinsèque du béton. En fonction de la source, et comme le montre le schéma ci-dessous, ses avantages ne s'arrêtent pas là (l'utilisation du SL et des cendres volantes est courante au Québec) :



*Les avantages peuvent varier en fonction du type et de la source.

Depuis des dizaines d'années, les cendres volantes procurent au béton la plupart des mêmes avantages que le laitier sur le plan du rendement, de la durabilité et de la résilience. Il s'agit du MCS principal pour la réduction des émissions de carbone des produits en béton dans l'Ouest canadien et la région de l'Atlantique. Bien que la plupart des centrales électriques du pays ont cessé, ou sont en voie de cesser d'utiliser le charbon, leurs importantes réserves de cendres volantes demeurent à exploiter dans l'Ouest Canadien. Grâce à l'évolution constante des processus d'enrichissement des cendres volantes, ce matériau répond, et continuera de répondre, aux exigences des normes CSA 3000 et A23.1; ce qui se traduit par un rendement, une durabilité et une résilience constantes du béton, et par la réduction

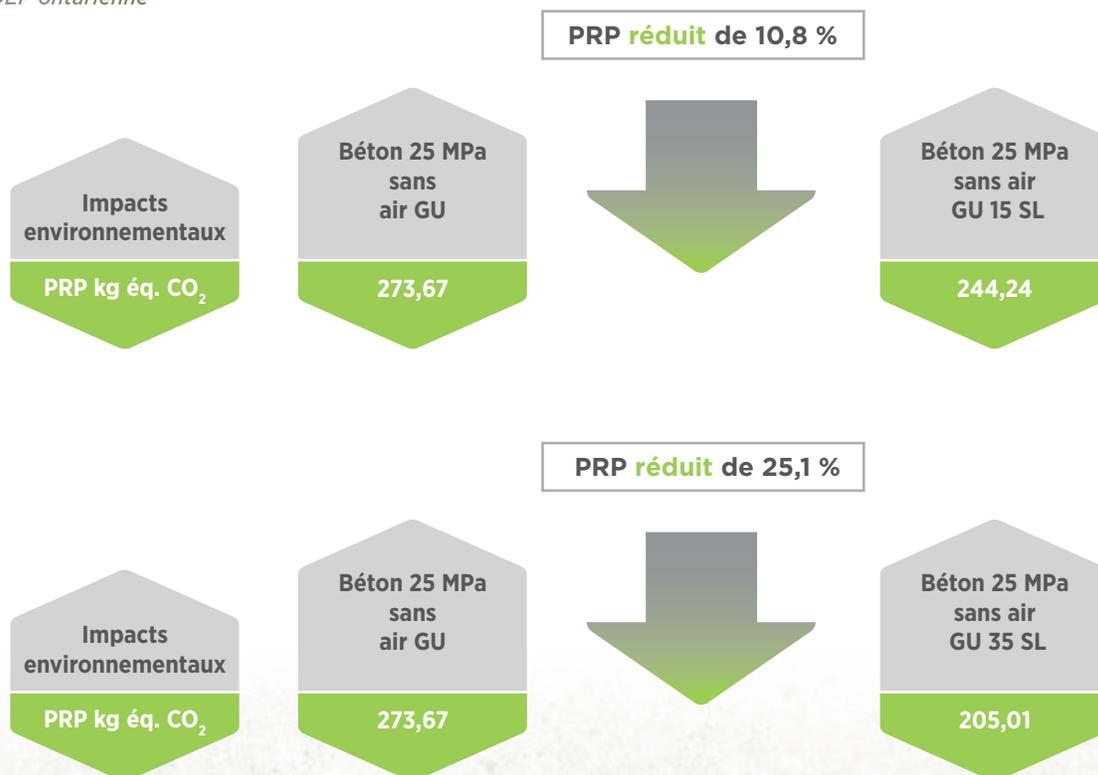
de l'empreinte carbone.

La pouzzolane naturelle pénètre également divers marchés canadiens, procurant la plupart des avantages du laitier et des cendres volantes à l'industrie du béton, y compris la réduction des émissions de carbone.

Les fumées de silice, ingrédient ajouté directement comme MCS au béton ou au ciment mélangé comme celui de type le GU_{BSF}, sont également disponibles et sont principalement utilisées pour les bétons à résistance et à rendement élevés. Les exemples qui suivent montrent que la valeur du PRP du béton (en kg de CO₂ /m³) diminue au rythme de l'augmentation de la quantité de laitier (SL) ou de cendres volantes (FA) utilisée dans le mélange.

AUGMENTATION DU REMPLACEMENT DU LAITIER

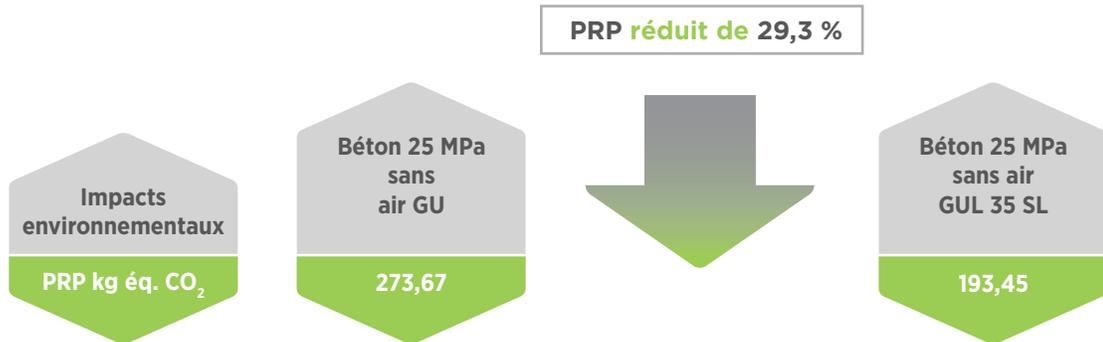
DEP ontarienne



La réduction due au laitier ou aux cendres volantes est encore plus évidente dans le cas du ciment GUL, comme le montrent les **figures « COMPARAISON GU/GUL + LAITIER »** et **« COMPARAISON GU/GUL + CENDRES VOLANTES »**.

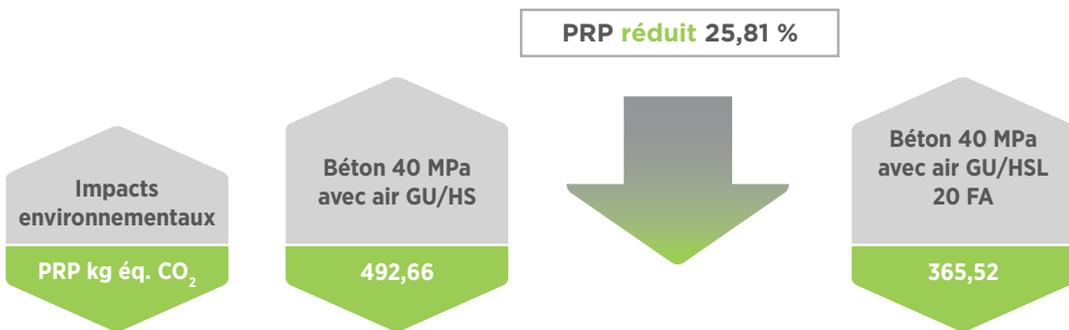
COMPARAISON GU/GUL + LAITIER

DEP ontarienne



COMPARAISON GU/GUL + CENDRES VOLANTES

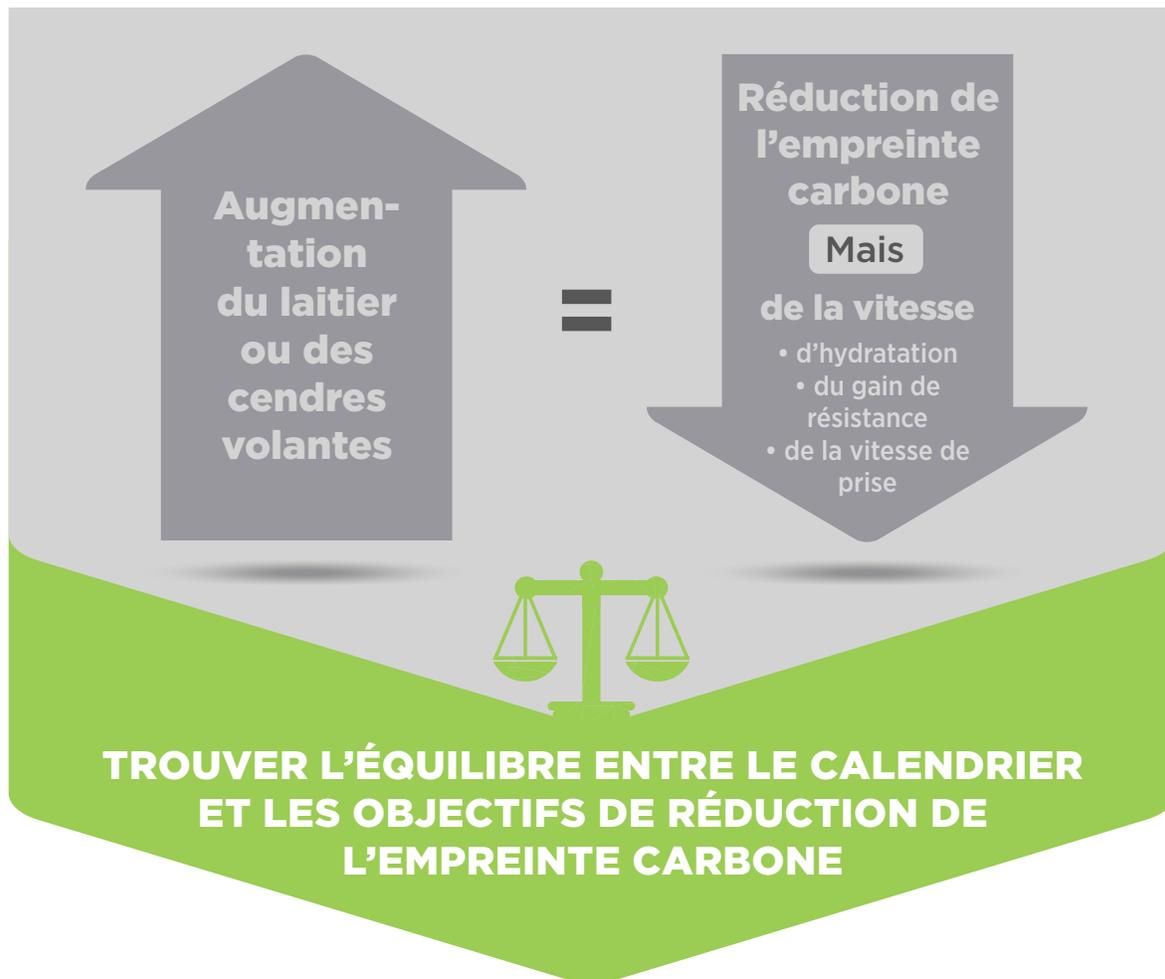
DEP albertaine



Non seulement les MCS accroissent la durabilité du béton mais, s'il n'y en a pas, les critères de rendement comme le niveau de perméabilité aux ions chlorure exigé pour certaines classes

d'exposition (p. ex. classe C-1 : perméabilité < 1500 coulombs après 91 jours max.) ne peuvent plus être satisfaits.

Un autre moyen d'obtenir le niveau de perméabilité requis consiste à utiliser du ciment de type GUBSF ou d'ajouter des fumées de silice, sans autre MCS, puisque les fumées de silice ont la propriété d'abaisser la perméabilité générale du béton.



- ✓ Examiner les possibilités offertes par le calendrier
- ✓ Procéder à des essais de préqualification des mélanges
- ✓ Mettre les mélanges à l'essai
- ✓ Prévoir les cures supplémentaires requises
- ✓ Procéder aux essais de maturité au cours des travaux

Cure supplémentaire

La cure consiste à maintenir le béton, juste après le coulage et le finissage, à un niveau satisfaisant d'humidité et de température, le temps qu'il acquière les propriétés voulues. On ne saurait exagérer l'importance de cette phase. Une cure bien menée favorise la durabilité, la robustesse, l'étanchéité à l'eau, la résistance à l'abrasion, la stabilité en volume ainsi que la résistance aux cycles gel-dégel et aux chlorures. Il va sans dire que toute stratégie de réduction de l'empreinte carbone doit aussi être conforme aux pratiques exemplaires qui, dans les normes CSA et dans le code du bâtiment, visent à assurer aux éléments en béton une durée de vie utile optimale.

la plupart des ajouts cimentaires ralentissent les réactions chimiques qui se produisent pendant la cure et pour obtenir la maturité et le rendement spécifiés, une cure supplémentaire pourrait s'imposer. Dans certains cas, des méthodes plus complexes de cure (par voie humide, par exemple) peuvent être nécessaire pour maintenir le niveau d'humidité au sein du béton, notamment quand le rapport eau/liant est faible.

Une cure bien menée est essentielle pour obtenir des constructions en béton durables et de qualité, peu importe le volume de MCS utilisés. La meilleure façon pour les rédacteurs de spécifications de garantir qu'ils rendent le meilleur service possible à leurs clients est de

Une cure bien menée favorise la durabilité, la robustesse, l'étanchéité à l'eau, la résistance à l'abrasion, la stabilité en volume ainsi que la résistance aux cycles gel-dégel et aux chlorures. Il va sans dire que toute stratégie de réduction de l'empreinte carbone doit aussi être conforme aux pratiques exemplaires qui, dans les normes CSA et dans le code du bâtiment, visent à assurer aux éléments en béton une durée de vie utile optimale.

Les types de cure acceptables sont indiqués dans le tableau 19 de la norme CSA A23.1. Ils varient selon la classe d'exposition et le volume d'ajouts cimentaires (AC) présents dans le mélange de béton. Plus la proportion de MCS est élevée, plus la cure doit être longue pour que le béton réponde aux critères de rendement de la classe d'exposition considérée. En effet,

consulter le tableau 2 de la norme CSA A23.1 pour s'assurer qu'ils prescrivent les méthodes de cure les plus appropriées selon la classe d'exposition et la teneur en MCS (béton normal, HVSCM-1, HVSCM-2).

HVSCM = High-Volume Supplementary Cementitious Materials (forte quantité d'ajouts cimentaires)

CSA A23.1 – TABLEAU 19 – TYPES DE CURE ACCEPTABLES

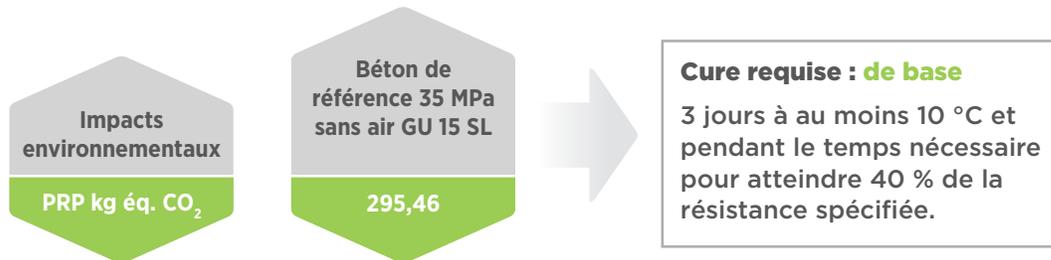
Type de cure	Nom	Description
1	Cure de base	3 jours à au moins 10 °C et pendant le temps nécessaire pour atteindre 40 % de la résistance spécifiée
2	Cure supplémentaire	7 jours à au moins 10 °C et pendant le temps nécessaire pour atteindre 70 % de la résistance spécifiée
3	Cure prolongée	7 jours à au moins 10 °C et pendant le temps nécessaire pour atteindre 70 % de la résistance spécifiée. Les méthodes de cure par voie humide acceptables sont les suivantes : nappe d'eau, arrosage continu, matériau absorbant ou toile maintenue continuellement mouillée.



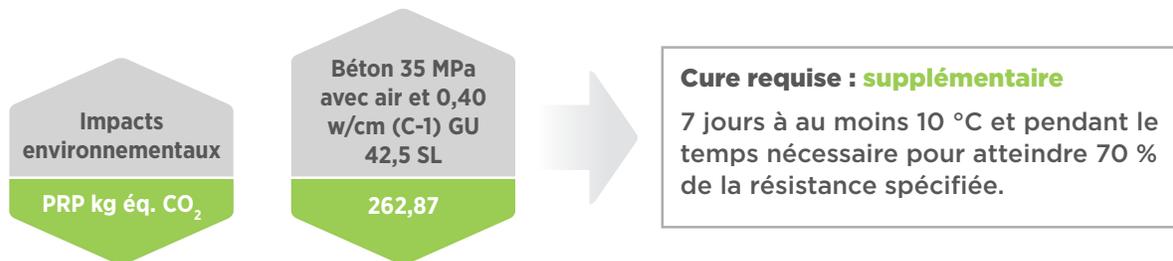
D'après le tableau 2 de la norme CSA A23.1, le béton normal peut ainsi exiger une cure soit de base, soit supplémentaire, soit prolongée, tout dépendant de la classe d'exposition. Le béton HVSCM-2 exige généralement une cure supplémentaire; le type HVSCM-1 nécessite un niveau intermédiaire entre cure supplémentaire et cure prolongée (par voie humide).

CURE (BÉTON NORMAL)

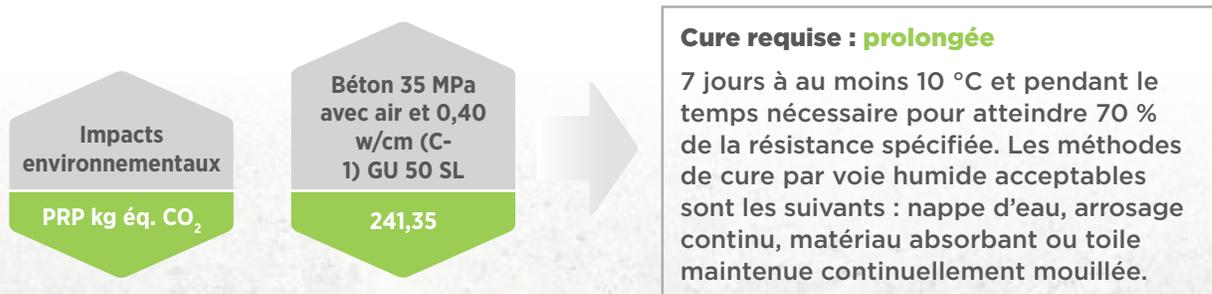
DEP ontarienne



CURE (BÉTON HVSCM-2)



CURE (BÉTON HVSCM-1)





EMPREINTE CARBONE DU BETON

Exigences LEED

Dans les spécifications des projets LEED menés au Canada, on continue d'indiquer « contenu recyclé » pour encourager la conception durable et l'utilisation de béton faiblement carboné. Les formulations du genre « dans le béton utilisé, au moins 30 % de ciment Portland doit être remplacé par des matériaux post-industriels recyclés (ajouts cimentaires) » sont très courantes, et considérées comme normatives. Dans le passé, cette approche a pu favoriser l'emploi de bétons plus écologiques, mais le fait de prescrire une proportion minimale d'AC peut avoir un impact négatif sur le calendrier général du projet et imposer des contraintes inutiles aux producteurs de béton. De plus, cette pratique nuit particulièrement à l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte carbone quand des utilisations spéciales sont en cause. Les spécifications axées sur le rendement sont fortement recommandées et l'utilisation, concernant les ajouts cimentaires, de valeurs liées au PRP plutôt que des valeurs prescrites est obligatoire. Le calendrier et les utilisations spéciales d'un projet étant susceptibles d'empêcher l'intégration d'AC dans les mélanges, comme le montre l'étude de cas ci-après, il est fortement déconseillé d'adopter une approche prescriptive des AC.

ité des granulats utilisés par les producteurs de béton prêt à l'emploi ne doit pas être prise à la légère : insuffisante, elle entraînera une augmentation des besoins en eau ou une diminution de la résistance et de la durabilité; il faudra alors accroître la teneur en ciment, ce qui risque d'augmenter le PRP.

Taille des granulats

La teneur en ciment du béton peut dépendre fortement de la taille des granulats; il faut en tenir compte quand on prescrit une taille donnée. La règle de base est la suivante : pour une résistance donnée du béton, plus les granulats sont gros et plus la teneur en ciment peut être faible - l'empreinte carbone en est réduite d'autant, mais il faut bien sûr veiller à la constructibilité des ouvrages.

Les gros granulats s'emploient habituellement pour les ouvrages en béton de masse (ex. : fondations); ils contribuent dans une large mesure à diminuer la chaleur d'hydratation. Ils se prêtent également très bien à la fabrication de béton à faible retrait. La méthode de mise en place doit être judicieusement choisie, car une taille importante de granulats peut entraîner des

Les spécifications axées sur le rendement sont fortement recommandées et l'utilisation, concernant les ajouts cimentaires, de valeurs liées au PRP plutôt que des valeurs prescrites est obligatoire.

Granulats

En volume, les granulats sont le plus important ingrédient du béton et déterminent en grande partie son empreinte carbone. La plupart des granulats sont constitués de matières présentes dans la nature; les opérations de traitement sont réduites au minimum et les sources d'approvisionnement sont généralement locales. La qual-

problèmes de coulage et de consolidation dont il faudra discuter avec le constructeur.

Si l'on diminue la taille des granulats - pour faciliter le coulage ou le pompage -, il faut augmenter la teneur en ciment, la surface à couvrir au total étant la même. On observe alors, tout naturellement, une augmentation du PRP.

Granulats de béton recyclés (GBR)

L'incorporation de GBR à un béton en préparation peut avoir des avantages sur le plan de la durabilité, sous réserve que leur composition soit uniforme et que, conformément à la norme CSA A23.1, ils ne nuisent pas aux performances du béton. Dans la plupart des marchés, actuellement, c'est surtout pour les couches de base des voies de circulation qu'on utilise des granulats de béton recyclés. Les concepteurs et les rédacteurs de spécifications qui veulent en employer doivent consulter directement les producteurs de béton pour savoir s'il existe des sources d'approvisionnement adaptées et dans quelles proportions ces matériaux peuvent être utilisés en lieu et place des granulats standards.

Adjuvants

Les adjuvants sont aujourd'hui un ingrédient essentiel du béton. Leurs avantages sont nombreux : formes originales et novatrices, mise en place facilitée en chantier, durabilité à long terme, nouveaux paramètres de comportement du béton, conceptions de mélange optimisées et plus écologiques. Bien qu'on ne les ajoute qu'en faibles quantités et que leur propre empreinte carbone ne change pas significativement celle du mélange, ils peuvent influencer de manière décisive sur la quantité de ciment requise et sur l'empreinte du béton final. Le rôle de réducteurs d'eau de certains plastifiants ou superplastifiants est essentiel, puisqu'ils permettent de diminuer le rapport eau/liant sans

ajouter de ciment. Il est fortement recommandé de ne pas imposer, dans les spécifications, une source unique d'adjuvants et de laisser aux producteurs la liberté d'utiliser tout adjuvant conforme aux normes CSA et ASTM qu'ils jugent approprié pour réduire l'empreinte carbone de leurs bétons. Ainsi, même dans le cas des adjuvants, l'approche non prescriptive est essentielle à une vraie réduction de l'empreinte carbone.



Il est fortement recommandé de ne pas imposer, dans les spécifications, une source unique d'adjuvants et de laisser aux producteurs la liberté d'utiliser tout adjuvant conforme aux normes CSA et ASTM qu'ils jugent approprié pour réduire l'empreinte carbone de leurs bétons. Ainsi, même dans le cas des adjuvants, l'approche non prescriptive est essentielle à une vraie réduction de l'empreinte carbone.

Béton à haute résistance initiale

Pouvant être coulé en toute saison, le béton prêt à l'emploi permet aux concepteurs et aux constructeurs d'établir des calendriers de projet réalistes. Les producteurs de ce type de béton peuvent optimiser leurs mélanges en fonction du calendrier des travaux et des critères de rendement à respecter; en cas de changement de ces paramètres, les mélanges peuvent être adaptés au pied levé.

Néanmoins, il arrive que le constructeur soit obligé de procéder au coulage par temps froid, c'est-à-dire dans des conditions défavorables, pour respecter un calendrier. Or, l'acquisition de résistance d'un béton coulé en place dépend fortement de la température, donc de la saison. Il est essentiel pour le concepteur et le constructeur de bien comprendre ce que cela implique. Si le coulage est prévu au printemps ou en été et qu'on observe un calendrier standard, il faudra laisser le béton acquérir sa résistance le plus longtemps possible, afin de réduire au minimum son empreinte carbone (voir la section « Critères de rendement » ci-dessus). Inversement, si le béton doit être coulé en automne ou en hiver, il faut souvent prévoir une conception de mélange à rendement plus élevé et à gain de résistance accéléré, ce qui entraîne un accroissement du PRP; les objectifs de réduction de l'empreinte carbone devront être revus en conséquence.

Par rapport aux mélanges habituels utilisés par temps froid, le béton à haute résistance initiale n'a pas besoin d'être protégé aussi longtemps et permet des économies (les coffrages et les étais peuvent être réemployés plus vite, la durée du chauffage peut être réduite, le surfacage peut se faire plus tôt et l'ouvrage peut être mis en service plus rapidement). Tout comme dans le cas des bétons à hautes performances, la durabilité et la résistance sont souvent excellentes; le concepteur peut en profiter pour dessiner des éléments de charpente plus petits, donc qui demanderont moins de béton.



Bétonnage par temps froid

La section de la norme CSA A23.1 relative au bétonnage par temps froid prescrit de protéger les ouvrages en construction quand il est probable que la température ambiante baisse sous 5 °C dans les 24 heures suivant le coulage (d'après les prévisions du bureau météorologique officiel le plus proche). En pareil cas, on demande généralement au fournisseur de béton de choisir des conceptions de mélange qui assureront une prise ou un gain de résistance plus rapide, tout en continuant de répondre dans les délais impartis aux critères de rendement.

Les basses températures ont un effet marqué sur le temps de prise, car elles retardent l'hydratation du ciment, donc le durcissement du béton. Pour compenser et obtenir le même rendement qu'à 20 °C, le producteur du béton peut prendre différentes mesures :

1. Augmenter la quantité de ciment de type GU ou GUL
2. Prévoir moins d'ajouts cimentaires sans compromettre pour autant la durabilité
3. Incorporer des adjuvants accélérant la prise

Prise accélérée

En principe, le producteur du béton combinera deux des mesures ci-dessus, ou toutes les trois, pour accélérer la prise et l'acquisition de résistance par temps froid. De son côté, le constructeur devra protéger adéquatement les ouvrages et agir sur les conditions de cure de manière à réduire le temps de prise. Les mesures 1 et 2 ci-dessus auront un impact négatif sur le carbone intrinsèque du béton, comme le confirment les DEP provinciales.

La réduction du MCS dans le mélange de béton a un impact semblable à l'augmentation de la teneur en ciment (voir plus haut). Ces deux solutions font monter le PRP, mais sont nécessaires pour réduire le temps de prise.



Gain de résistance accéléré

Tout comme la réduction du temps de prise, le gain de résistance accéléré peut s'obtenir en augmentant la teneur en ciment et en diminuant la proportion d'ajouts cimentaires. On obtiendra le même résultat en utilisant du ciment HE (high early-strength) en lieu et place du type GU ou GUL. Il s'agit cependant d'un produit haut de gamme, donc employé seulement par certains producteurs de béton; si le projet l'impose absolument, il faudra planifier soigneusement les besoins. Par ailleurs, le ciment HE d'un fournisseur a généralement une empreinte carbone plus élevée que ses types GU et GUL.

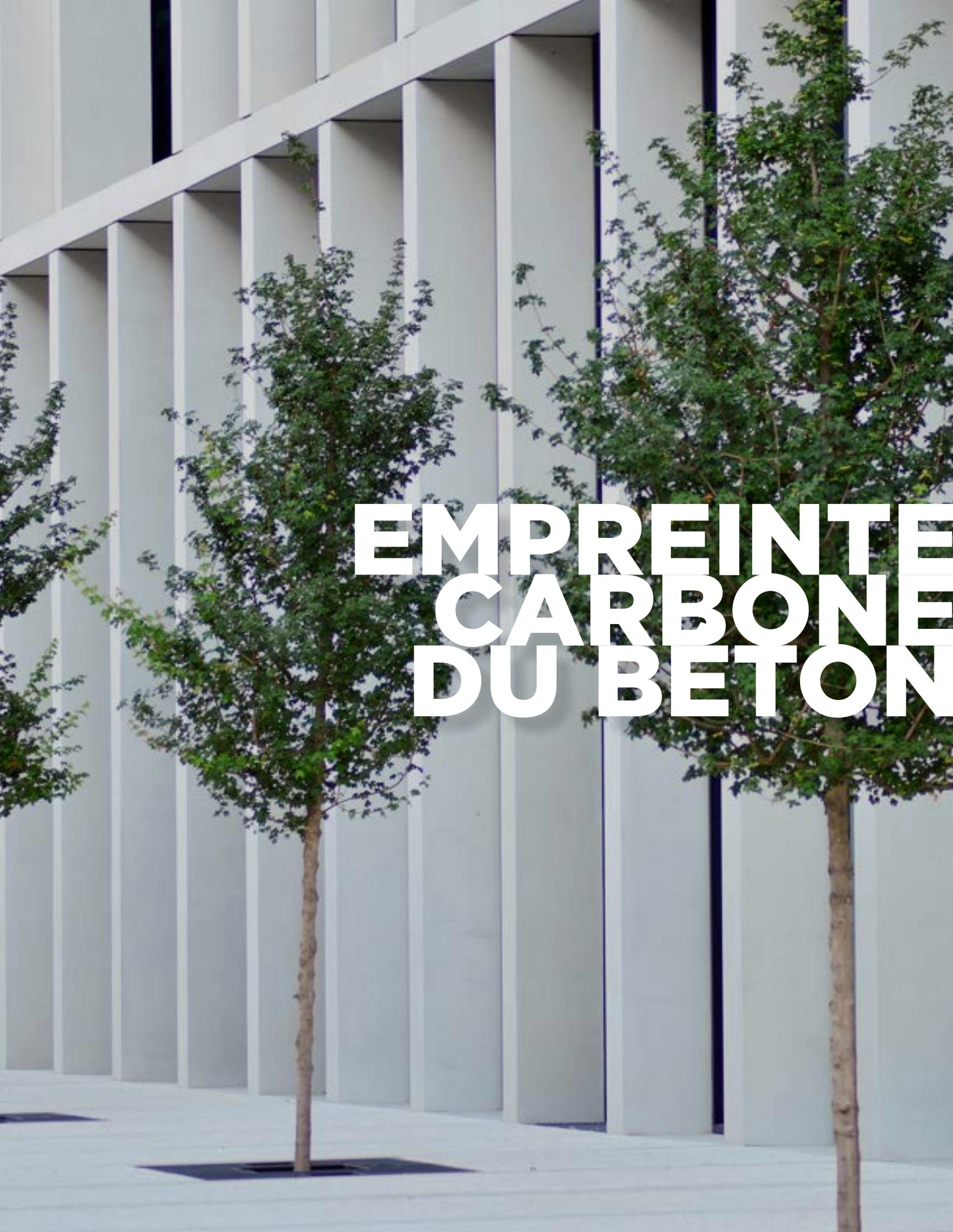
De manière générale, le gain de résistance ou l'accélération du gain de résistance que permet un mélange donné complique l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte carbone. Il faut donc en tenir compte dès le début du projet, afin d'équilibrer le bilan carbone (BCPB) de celui-ci au moyen de mélanges standards.

Minéralisation du dioxyde de carbone

Des techniques de séquestration du carbone par minéralisation du CO₂ existent actuellement sur le marché canadien; elles consistent à injecter dans le béton un pourcentage déterminé de dioxyde de carbone lors du malaxage. Dans certains cas, cela se traduit par une amélioration de la résistance à la compression, ce qui permet d'optimiser le mélange, donc de réduire encore l'empreinte carbone, voire de faire des économies.

Des maîtres d'œuvre et des architectes intègrent déjà cette approche aux spécifications de projets menés au Canada. Comme cette technologie est encore en évolution et que seules quelques entreprises la mettent en œuvre pour le moment, il est important d'en comprendre les avantages réels et son impact sur les DEP des conceptions de mélange. Il est fortement déconseillé de prescrire le recours à une entreprise ou à un produit en particulier. Les rédacteurs de spécifications ont tout intérêt à envisager cette technologie d'une manière globale.



A photograph of a modern building facade featuring a series of vertical concrete columns. In the foreground, several young trees with green foliage are planted in a light-colored paved area. The text 'EMPREINTE CARBONE DU BETON' is overlaid in large, white, bold, sans-serif capital letters across the center of the image.

EMPREINTE CARBONE DU BETON

BILAN CARBONE DES PROJETS RECOURANT AU BÉTON (BCPB)

En fixant le PRP à ne pas dépasser pour un ouvrage de béton donné, le concepteur énonce clairement ses exigences de rendement et reste maître de ses objectifs de réduction de l'empreinte carbone. Plusieurs aspects doivent cependant être considérés :

- L'imposition de limites au PRP, particulièrement en cas de bétonnage par temps froid et l'incidence sur le calendrier (comme nous l'avons vu plus haut) peut compromettre la constructibilité.
- Les conséquences d'un dépassement du PRP maximal doivent être clairement énoncées. C'est là un aspect que l'industrie, notamment les rédacteurs de spécifications, n'a pas encore réussi à bien définir.
- Appliquer des limites propres aux applications à la valeur du PRP dans la comptabilisation des émissions d'un projet est une approche qui a peu de chances de véritablement mener à l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte carbone du projet en question.
- Imposer un plafond à la valeur du PRP pour les applications individuelles peut occasionner des problèmes imprévus dans le projet.

C'est clair : il faut adopter une approche plus souple, éprouvée et embrassant plus largement les enjeux.

Une approche plus judicieuse de la comptabilisation des émissions de CO₂ est possible au Canada. Elle fait appel au concept de bilan carbone des projets recourant au béton (BCPB). Celui-ci consiste à déterminer l'empreinte carbone du projet à l'avance, en prévoyant les quantités de béton nécessaires et en leur affectant les PRP types indiqués dans les DEP provinciales. La somme des différentes valeurs en jeu donne l'empreinte théorique du projet (en

kg CO₂); une fois tout le béton coulé, on détermine l'empreinte réelle. La différence entre empreinte théorique et empreinte réelle (exprimée en pourcentage d'empreinte théorique) constitue la quantité d'émissions de GES qu'il a été possible d'éviter.



Les formules ci-dessous, accompagnées d'un exemple, indiquent les variables qui interviennent dans le calcul du BCPB.

Réduction des émissions de GES = Empreinte théorique - Empreinte réelle

Taux de réduction = $\frac{(\text{Réduction des émissions de GES}) \cdot 100}{\text{Empreinte théorique}}$

Par **empreinte théorique**, on entend la somme des émissions calculées en multipliant les volumes de béton employés au cours du projet (tous mélanges confondus) par les valeurs PRP (potentiel de réchauffement de la planète) indiquées dans les DEP provinciales :

$$\text{CO2e Baseline} = \sum \text{Voln} \cdot \text{PRPn}_{\text{moy}}$$

L'**empreinte réelle** est la somme des émissions calculées en multipliant les volumes de béton effectivement coulé (tous mélanges confondus) par les valeurs PRP correspondantes :

$$\text{Empreinte réelle} = \sum \text{Voln} \cdot \text{PRPn}$$

n = nombre total de mélanges de béton utilisés dans le cadre du projet

Voln = volume de béton de mélange n coulé (prévu ou réel)

PRPn = potentiel de réchauffement de la planète du mélange n

PRPn_{moy} = moyenne des valeurs PRP de référence indiquées dans les DEP provinciales pour la classe de résistance du mélange n

L'exemple qui suit, qui reprend la DEP ontarienne, explique comment comptabiliser l'empreinte carbone à l'aide du BCPB, ce qui permet d'établir le taux de réduction des émissions de GES, une fois le projet terminé.

1 Calcul de l'empreinte théorique initiale

Pour déterminer l'empreinte théorique, le concepteur doit évaluer les volumes de béton à prévoir pour chaque conception de mélange. C'est la première étape de l'établissement du BCPB.

Conception de mélange (n)	Volume prévu initial (m ³) (Voln)	PRP types selon la DEP ontarienne (kg CO ₂ /m ³) (PRP _{moy})	Empreinte théorique (tonnes CO ₂)
25 MPa sans air	250	254,05	64
30 MPa sans air	100	264,38	26
35 MPa sans air	1 500	295,46	443
30 MPa classe F-1	350	292,72	102
35 MPa classe C-1	75	313,07	23
Total	2 275	Empreinte théorique totale	659

Ici, l'empreinte théorique initiale s'établit à 659 tonnes CO₂. Comme il s'agit de volumes planifiés, les chiffres doivent être continuellement revus en cours de projet, jusqu'à ce que les volumes réels soient établis. Le BCPB varie donc constamment au fil du projet.

Le tableau ci-dessous indique les volumes de béton effectivement utilisés à la fin du projet.

2 Calcul de l'empreinte théorique finale

Conception de mélange (n)	Volume prévu initial (m ³) (Voln)	PRP types selon la DEP ontarienne (kg CO ₂ /m ³) (PRP _{moy})	Empreinte théorique (tonnes CO ₂)
25 MPa sans air	253	254,05	64
30 MPa sans air	125	264,38	33
35 MPa sans air	1 600	295,46	473
30 MPa classe F-1	310	292,72	91
35 MPa classe C-1	75	313,07	23
Total	2 363	Empreinte réelle totale	684

Compte tenu des volumes de béton effectivement utilisés, l'empreinte théorique s'établit à 684 tonnes de CO₂.

3

Calcul de l’empreinte réelle

- Réduction du PRP
- Augmentation du PRP

Conception de mélange (n)	Volume prévu (m ³) (Voln)	PRP types selon la DEP ontarienne (kg CO ₂ /m ³) (PRP _{moy})	Empreinte réelle (tonnes CO ₂)
25 MPa sans air	253	224,62	57
30 MPa sans air	125	242,88	30
35 MPa sans air	1 600	210,18	336
30 MPa classe F-1	310	329,02	102
35 MPa classe C-1	75	284,38	21
Total	2 363	Empreinte réelle totale	547

Remarque - Si le PRP type a été dépassé pour certains mélanges, c’est en raison d’utilisations spéciales, de travaux accélérés ou de coulage par temps froid.

Compte tenu des volumes effectivement coulés et des PRP indiqués dans la DEP ontarienne pour chaque mélange concerné dans l’exemple, on établit les émissions réelles du projet à 547 tonnes CO₂. Tout calcul de l’empreinte carbone doit se fonder au départ sur l’information contenue dans la DEP générique. Si des données plus précises sont nécessaires, on peut recourir aux DEP de type II ou III établies par les producteurs de béton; on obtiendra ainsi une réduction d’empreinte plus conforme à la réalité.

4

Calcul de la réduction des émissions de GES

Connaissant l’empreinte théorique finale du projet (684 tonnes CO₂) et son empreinte réelle (547 tonnes CO₂), on en déduit que les émissions de GES ont été réduites de 137 tonnes CO₂ (la différence).

5

Calcul du taux de réduction

La dernière étape consiste à calculer le pourcentage de réduction des émissions de GES, comme suit : $(137 \times 100)/684 = 20 \%$.

Autrement dit, il aurait été possible, pour le projet fictif choisi dans cet exemple, de générer 20 % moins d’émissions que ce que laissaient entrevoir les moyennes indiquées dans la DEP de Concrete Ontario (l’accélération des travaux et les utilisations spéciales n’ont pas été prises en compte; il en sera question plus loin dans l’étude de cas).

Impact des utilisations spéciales

Nous avons déjà souligné le rôle joué par les utilisations spéciales (béton autoplaçant ou projeté) et les mélanges accélérateurs, ainsi que leurs impacts sur les objectifs de réduction de l'empreinte carbone.

Les réalisations architectoniques dépendent étroitement des bétons spéciaux, sans lesquels le constructeur ne pourrait respecter les délais. C'est pourquoi il faut tenir compte de l'utilisation de ces mélanges de béton quand on établit le BCPB. Pour ce faire, les PRP types doivent être revus à la hausse dans les DEP génériques provinciales. C'est ce qu'a déjà fait la Government Services Administration (GSA) aux États-Unis. Les normes du Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada (SCT) pour les projets fédéraux majeurs vont dans le même sens. Ces deux organismes gèrent de grands projets d'infrastructure; la prise en compte de PRP plus élevés dans le cas des utilisations spéciales est un important pas en avant vers l'application généralisée du concept de BCPB.

Government Services Administration (GSA)

Aux États-Unis, la révision à la hausse des PRP types s'inscrit dans les orientations stratégiques du groupe de travail « Buy Clean » mis en place par l'administration Biden-Harris et associé à la GSA. Cette dernière, qui supervise annuellement des contrats gouvernementaux d'une valeur totale de 75 milliards de dollars, a annoncé en mars 2022 l'entrée en vigueur d'une nouvelle norme, avec quelques révisions en septembre 2022, imposant l'utilisation de béton faiblement carboné pour tous les grands projets de construction fédéraux.

Dans la foulée de cette annonce, l'exigence « **Low Embodied Carbon Concrete Standards for all GSA Projects** » prescrivait, dans ses révisions de septembre 2022, une augmentation de 30 % du PRP type pour les bétons standards et à haute résistance initiale; la hausse est encore plus marquée pour les bétons légers. La GSA

est venue supprimer la pierre d'achoppement que constituaient les utilisations spéciales et leur impact sur le bilan carbone; le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada pourra ainsi emboîter le pas à l'organisme américain.



Télécharger le document PDF

Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada

Grâce au Centre pour un gouvernement vert rattaché au SCT, le Canada veut devenir, parmi les pays du monde, un modèle d'administration carboneutre, résiliente et respectueuse de l'environnement. Sa stratégie vise notamment à réduire l'impact environnemental des matériaux de construction qui, dans le cadre de tout nouveau projet fédéral, devront être utilisés pour le gros œuvre. Plusieurs objectifs ont été fixés :

- Divulcation, d'ici 2022, de la quantité de carbone intrinsèque dans les matériaux structuraux des grands projets de construction, fondée sur l'intensité carbonique des matériaux ou sur une analyse du cycle de vie
- Réduction de 30 %, à compter de 2025, du carbone intrinsèque dans les matériaux structuraux des grands projets de construction, en se tournant vers les matériaux recyclés ou faiblement carbonés, l'efficacité des matériaux et les normes de conception axées sur le rendement
- Réalisation d'analyses intégrées du cycle de vie des immeubles (ou des biens d'ici 2025 au plus tard pour les grands projets de construction et d'infrastructure

Pour plus de détails, consulter la page suivante : <https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/services/innovation/ecologiser-gouvernement/strategie.html>

Tout comme la GSA, le Conseil du Trésor (CT) va bientôt publier une « **Norme sur le carbone intrinsèque en construction** », qui reposera sur le concept de BCPB (voir plus haut) et prendra en compte les utilisations spéciales du béton. Concernant ces dernières, les discussions menées avec Concrete Ontario et l'Association canadienne du ciment ont incité le CT à fixer le paramètre de référence (PRP_{moy}) à 130 % des valeurs indiquées dans les DEP génériques provinciales pour la classe de résistance considérée.



Treasury Board of
Canada Secretariat

Norme sur le carbone intrinsèque en construction :

<https://www.tbs-sct.canada.ca/pol/doc-fra.aspx?id=32742>



Dans le cas des utilisations spéciales, le paramètre de référence (PRP_{moy}) sera fixé à 130 % des valeurs indiquées dans les DEP génériques régionales (provinciales) pour la classe de résistance considérée.

Nous estimons que cette exigence doit s'appliquer aux utilisations spéciales ci-dessous :

1. **Bétons à haute résistance initiale**
2. **Bétons à hautes performances**

La définition que donne la norme CSA A23.1 pour les BHP peut être formulée comme suit :

Béton à hautes performances – Béton présentant des qualités qu'il n'est pas toujours possible d'obtenir couramment en n'utilisant que des matériaux classiques et des méthodes de malaxage, de coulage et de cure normales.

3. Travaux à basse température

Extrait de la norme CSA A23.1 :

7.2.2 Bétonnage par temps froid

Il faut assurer la protection du matériel quand il se pourrait que la température ambiante descende sous 5 °C dans les 24 heures suivant le coulage (d'après les prévisions du bureau météorologique officiel le plus proche).

Dans ces conditions, l'établissement des PRP cibles du BCPB peut faire appel à un élément supplémentaire, comme l'illustre l'exemple ci-dessous.

2B

Calcul de l'empreinte théorique initiale des mélanges pour utilisations spéciales

Conception de mélange (n)	PRP types selon la DEP ontarienne (kg CO ₂ /m ³) (PRP _{moy})	PRP types selon la DEP ontarienne (kg CO ₂ /m ³) (PRP _{moy}) utilisation spéciale
25 MPa sans air	254,05	254,05 x 1,3 = 330,27
30 MPa sans air	264,38	264,38 x 1,3 = 343,69
35 MPa sans air	295,46	295,46 x 1,3 = 384,10
30 MPa classe F-1	292,72	292,72 x 1,3 = 380,54
35 MPa classe C-1	313,07	313,07 x 1,3 = 406,99

L'équilibre à trouver entre le calendrier du projet et les objectifs de réduction de l'empreinte carbone dépend fortement de la possibilité de répondre aux exigences des mélanges pour utilisations spéciales, dont le constructeur ne peut pas toujours se passer. L'augmentation de 30 % des PRP types est un bon point de départ. Avec le temps et l'expérience, ces valeurs de référence pourront toujours être revues dans un sens ou dans l'autre.

Objectifs de réduction de l'empreinte carbone

Les maîtres d'œuvre et les rédacteurs de spécifications sont libres de choisir leurs propres objectifs de réduction de l'empreinte carbone suivant l'ouvrage en construction, mais le fait de fixer des objectifs uniformes permettra à l'industrie d'évaluer s'ils sont réalistes, d'après la DEP. De projet en projet, les objectifs valides se distingueront et l'on pourra peu à peu définir des cibles cohérentes.

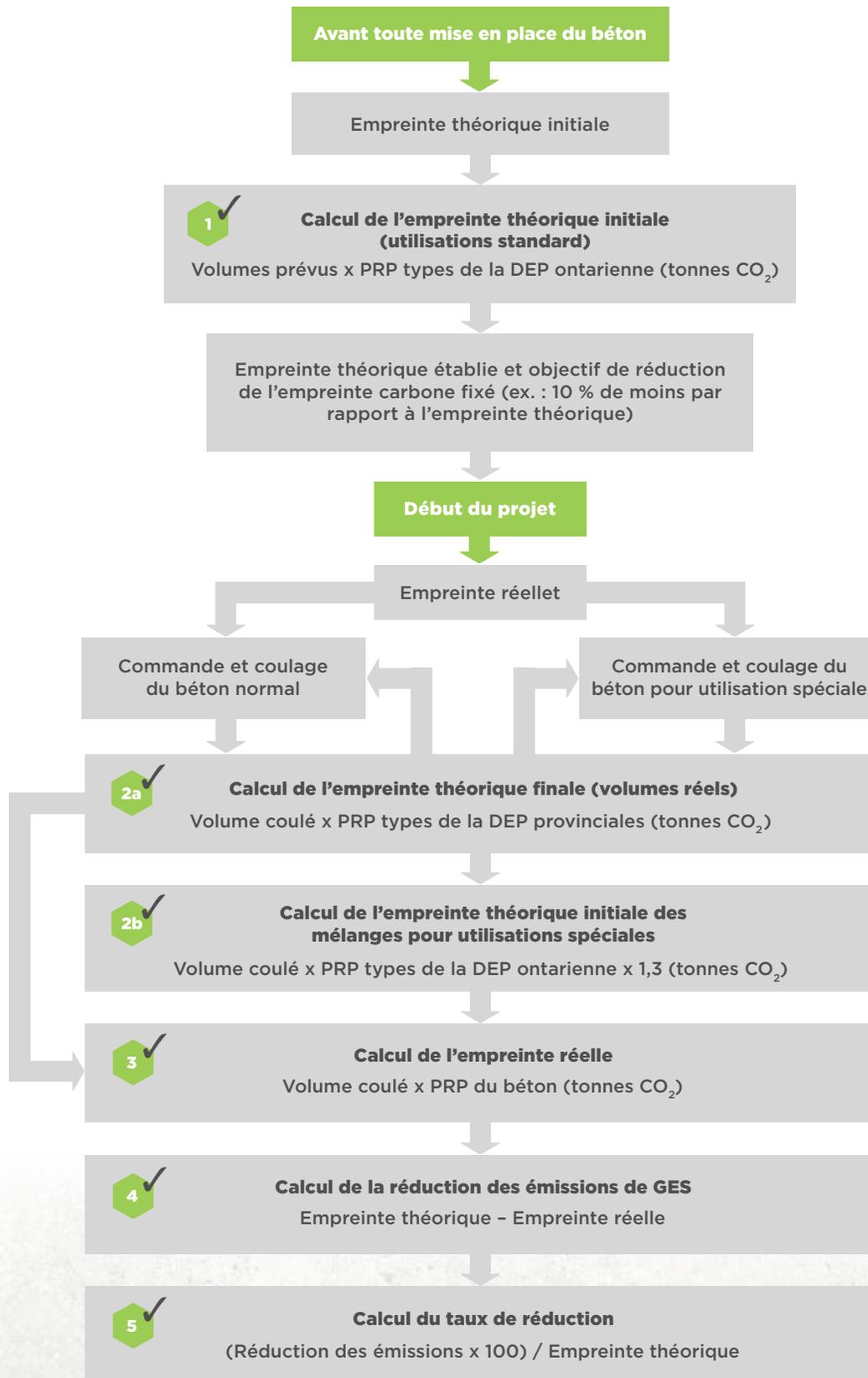
Depuis 2022, la CRMCA et l'Association canadienne du ciment mènent des discussions

avec le Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada. Ensemble, ils ont convenu que l'objectif normalisé préliminaire suivant pourrait être appliqué à tous les futurs projets financés par l'État :

Le total des émissions de GES liées au béton prêt à l'emploi devra être inférieur d'au moins 10 % à celles calculées à partir des valeurs PRP des DEP régionales (provinciales) fondées sur les moyennes de l'industrie, quels que soient la classe de résistance, le volume de béton coulé et le mélange utilisé.

Cette exigence est intégrée à la « **Norme sur le carbone intrinsèque en construction** » précitée.

Dans l'exemple ci-dessus, la réduction des émissions atteignait 20 %. L'objectif de réduction (10 %) proposé par l'industrie et normalisé par le gouvernement du Canada aurait donc été atteint. En définissant dès le départ un objectif réaliste, on s'assure que tous les participants au projet concourront à l'atteindre.



ÉTUDE DE CAS – ONTARIO

LES APPARTEMENTS « THE MET »



PROMOTEUR : PLAZA & BERKLEY DEVELOPMENTS

ÉTUDE DE CAS - ONTARIO

Comme l'étude de cas illustrant l'importance de l'équilibre à trouver entre calendrier du projet et les objectifs de réduction de l'empreinte carbone, nous avons choisi un immeuble d'appartements en copropriété divisée. Au cours des projets de ce genre, les contraintes augmentent continuellement, ce qui peut se répercuter sur le carbone intrinsèque du béton. Notre étude de cas permet de comprendre pleinement l'impact des conceptions accélératrices auxquelles le temps froid ou le calendrier imposent de recourir. Nous verrons, étape par étape, comment déterminer le BCPB et ce qu'entraîne l'emploi de bétons pour utilisations spéciales.



« The Met » et autres constructions prévues dans le centre-ville de Vaughan (image fournie gracieusement par Plaza & Berkeley)

Description du projet « The Met »

Conçue par Plaza & Berkley Developments, « **The Met** » est une tour située à Vaughan (Ontario), sur la rue Jane, au nord de l'autoroute 7, comprenant 35 étages, plus trois niveaux de stationnement en sous-sol. Les travaux de préparation du terrain ont débuté en décembre 2016. Le projet a été mené entre 2016 et 2019. Soulignons que, à cette époque, les concepteurs et les rédacteurs de spécifications n'attachaient pas autant d'importance à la réduction de l'empreinte carbone; les mélanges de béton n'étaient pas

optimisés en ce sens. Notre étude de cas vise avant tout à montrer l'impact qu'un calendrier de projet type et des mélanges pour utilisation spéciale (bétonnage par temps froid, par exemple) peuvent avoir sur le BCPB. Aujourd'hui, les concepteurs et les rédacteurs de spécifications peuvent se fixer des objectifs de réduction de l'empreinte carbone en se servant du présent guide et des autres outils existants (les DEP, notamment).



Besoins en béton

Au cours du projet, le producteur de béton prêt à l'emploi a soumis quelque 20 conceptions de mélange à l'examen du constructeur, mais à partir du moment où le calendrier des travaux et les exigences liées au bétonnage par temps froid ont été établis, ce ne sont pas moins de 140 variantes qui ont été utilisées. Plusieurs facteurs sont venus en effet élargir l'éventail requis, notamment :

1. Accélération de la prise et du gain de résistance
2. Amélioration de la maniabilité
3. Taille des granulats
4. Utilisation de fibres
5. Adjuvants spéciaux (ex. : inhibiteurs ou retardateurs de corrosion)

Comme nous allons le voir, le recours accru aux conceptions de mélange spéciales a eu un effet marqué sur l'empreinte carbone générale du béton. C'est souvent le cas dans ce genre de construction; le béton offre en effet une grande flexibilité face aux contraintes du calendrier, aux exigences structurales et à la diversité des conditions dans lesquelles le coulage doit se faire.

Le tableau qui suit indique les principaux mélanges utilisés au cours du projet. Les calculs n'ont pas porté sur les éléments coulés de faible résistance. Dans tous les cas, le ciment était de type GU ou GUBSF (le type GUL n'était pas facile à obtenir).

Conception de mélange	Utilisation
15 MPa sans air	s. o.
25 MPa sans air	Dalles intérieures
25 MPa classe C-4	Dalles sur terre-plein
30 MPa sans air	Semelles, dalles, colonnes et murs (du 21e étage au toit)
30 MPa classe F-1	Balcons, terrasses, toit de l'édicule technique
35 MPa sans air	Dalles et poutres, colonnes et murs (du 14e étage à la sous-face du 21e étage)
35 MPa classe F-2	Murs de fondation périmétriques, colonnes et murs (du 14e étage à la sous-face du 21e étage)
35 MPa classe C-1	35 MPa classe C-1
35 MPa classe C-1	Dalles de stationnement, balcons et terrasses
40 MPa sans air	Colonnes et murs (du 7e étage à la sous-face du 14e étage)
45 MPa sans air	Poutres, dalles des aires d'embarquement, colonnes et murs (du 2e étage à la sous-face du 7e étage)
45 MPa classe F-2	45 MPa classe F-2
45 MPa classe F-2	Colonnes et murs (du 2e étage à la sous-face du 7e étage)
45 MPa classe C-1	s. o.
50 MPa sans air	Colonnes et murs
50 MPa classe F-2	Colonnes et murs
60 MPa classe F-2	s. o.

Connaissant les conceptions de mélange requises par le projet, nous pouvons commencer à établir le BCPB en suivant les mêmes étapes que pour l'exemple donné plus haut.

ÉTAPE 1. CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE INITIALE

Voici l'empreinte théorique des différents volumes de béton prévus, calculée en fonction du PRP type de chaque conception de mélange :

Conception de mélange	Volume prévu (m ³)	Utilisation	Mélange de référence (DEP générique ontarienne)	PRP type (kg CO ₂ /m ³)	Empreinte théorique (tonnes CO ₂)
15 MPa sans air	600	Standard	**Béton de réf. 20 MPa sans air GU 10 SL	220,29	132,2
25 MPa sans air	7 000	Standard	Béton de réf. 25 MPa sans air GU 10 SL	254,05	1 778,4
25 MPa classe C-4	900	Standard	**Béton de réf. 25 MPa avec air et 0,55 w/cm (F-2) GU 10 SL	260,64	234,6
30 MPa sans air	2 500	Standard	Béton de réf. 30 MPa sans air GU 15 SL	264,38	660,9
30 MPa classe F-1	3 500	Standard	Béton de réf. 30 MPa avec air et 0,50 w/cm (F-1) GU 15 SL	292,72	1 024,5
35 MPa sans air	2 500	Standard	Béton de réf. 35 MPa sans air GU 15 SL	295,46	738,7
35 MPa classe F-2	1 500	Standard	Béton de réf. 35 MPa avec air GU 15 SL	334,49	501,7
35 MPa classe C-1	5 250	Standard	Béton de réf. 35 MPa avec air et 0,40 w/cm (C-1) GU 25 SL	313,07	1 643,6
40 MPa sans air	1 000	Standard	Béton de réf. 40 MPa sans air GU 15 SL	326,25	326,3
45 MPa sans air	3 000	Standard	Béton 45 MPa avec air GU 15 SL	349,88	1 049,7
45 MPa classe F-2	20	Standard	Béton de réf. 45 MPa avec air GU 15 SL	379,45	7,6
45 MPa classe C-1	1 700	Standard	**Béton 45 MPa avec air GU 25 SL	347,24	590,3
50 MPa sans air	70	Standard	Béton de réf. 50 MPa sans air GUbSF 20 SL	335,76	23,5
50 MPa classe F-2	1 100	Standard	Béton de réf. 50 MPa avec air GUbSF 20 SL	456,93	502,6
60 MPa classe F-2	150	Standard	**Béton 50 MPa avec air GUbSF	535,65	80,3
Total	30 790			Total	9 294,9



Photos : Edward Skira

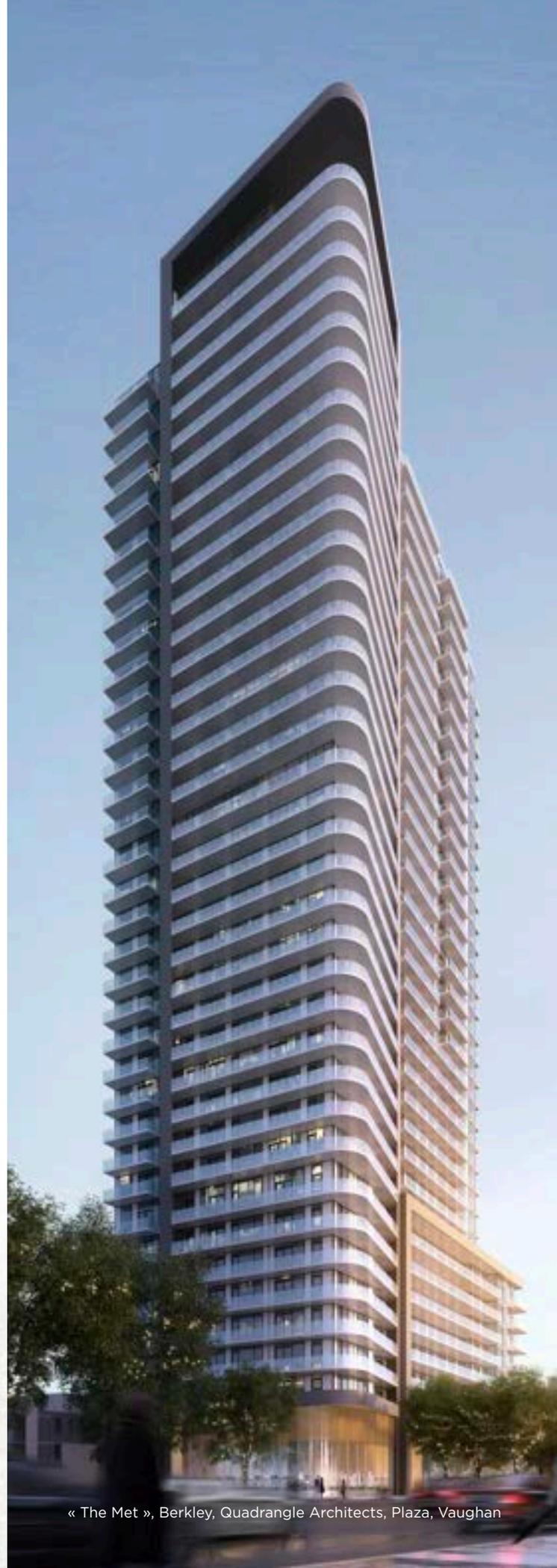
Photo : DarksideDenizen

La DEP ontarienne ne contient qu'un nombre limité de valeurs de référence, aussi le concepteur devra-t-il décider des chiffres à utiliser si une conception de mélange n'y figure pas.

** Voici les extrapolations que nous avons faites ici :

1. La DEP n'indiquant aucun PRP type pour le béton 15 MPa, nous avons pris celui du béton 20 MPa.
2. Le béton de classe C-4 répondant aux mêmes critères de rendement que celui de classe F-2, nous avons utilisé le PRP type associé à cette dernière.
3. Concernant le béton 45 MPa de classe C-1, nous avons utilisé le PRP type associé au béton 45 MPa avec air GU 25 SL, puisque la classe C-1 suppose au moins 25 % de laitier.
4. La DEP n'indiquant aucun PRP type pour le béton 60 MPa, nous avons pris celui du béton 50 MPa GUbSF avec air.

Nous avons évalué, pour chaque conception de mélange, le volume de béton que l'on prévoit utiliser, puis l'avons multiplié par le PRP type indiqué dans la DEP générique de Concrete Ontario. La somme des différents résultats donne l'empreinte théorique du projet. Les mélanges sont censés être destinés à des utilisations standard; les conceptions de mélanges destinés aux utilisations spéciales (pour prise rapide ou gain de résistance accéléré, par exemple) sont inconnues. Elles seront préparées quand le constructeur aura informé le producteur de béton des exigences liées au coulage et au calendrier du projet; il s'agira alors de recalculer l'empreinte théorique.



« The Met », Berkley, Quadrangle Architects, Plaza, Vaughan

Le calcul de l’empreinte théorique finale nécessite de connaître les volumes de béton effectivement coulés, en prenant en compte les conceptions de mélange pour utilisation spéciale, ce qui influence fortement le résultat. Le coulage de béton architectonique, à prise rapide ou à gain de résistance accéléré et le bétonnage par temps froid influent sur le BCPB; bien des projets imposent d’y recourir, pour des questions de constructibilité. Le tableau qui suit indique les conceptions de mélange qui, en définitive, ont été utilisées dans le cas des appartements « The Met ».

ÉTAPE 2. CALCUL DE L’EMPREINTE THÉORIQUE FINALE

Le tableau ci-dessous est une version actualisée du précédent. Il tient compte des mélanges pour utilisations spéciales et des volumes de béton effectivement coulés.

Conception de mélange	Utilisation	Volume total (m ³)	Mélange de référence (DEP générique ontarienne)	PRP type (kg CO ₂ /m ³)	PRP type actualisé (kg CO ₂ /m ³) (+30 %)	Empreinte réelle (tonnes CO ₂)
15 MPa sans air	Standard	626,0	Béton de réf. 20 MPa sans air GU 10 SL	220,29	s. o.	137,9
25 MPa sans air	Standard	2 596,2	Béton de réf. 25 MPa sans air GU 10 SL	254,05	s. o.	659,6
25 MPa classe C-4	Standard	548,0	Béton de réf. 25 MPa avec air et 0,55 w/cm (F-2) GU 10 SL	260,64	s. o.	142,8
30 MPa sans air	Standard	943,0	Béton de réf. 30 MPa sans air GU 15 SL	264,38	s. o.	249,3
30 MPa classe F-1	Standard	1 090,6	Béton de réf. 30 MPa avec air et 0,50 w/cm (F-1) GU 15 SL	292,72	s. o.	319,2
35 MPa sans air	Standard	2 031,0	Béton de référence 35 MPa sans air GU 15 SL	295,46	s. o.	600,1
35 MPa classe F-2	Standard	1 184,8	Béton de réf. 35 MPa avec air GU 15 SL	334.,49	s. o.	396,3
35 MPa classe C-1	Standard	2 245,8	Béton de réf. 35 MPa avec air et 0,40 w/cm (C-1) GU 25 SL	313,07	s. o.	703,1
40 MPa sans air	Standard	1 123,0	Béton de réf. 40 MPa sans air GU 15 SL	326,25	s. o.	366,4
45 MPa sans air	Standard	1 827,4	Béton 45 MPa avec air GU 15 SL	349,88	s. o.	639,4
45 MPa classe F-2	Standard	9,0	Béton de réf. 45 MPa avec air GU 15 SL	379,45	s. o.	3,4
45 MPa classe C-1	Standard	909,6	Béton de réf. 45 MPa avec air GU 25 SL	347,24	s. o.	315,9
50 MPa sans air	Standard	68,6	Béton de réf. 50 MPa sans air GUBSF 20 SL	335,76	s. o.	23,0
50 MPa classe F-2	Standard	411,0	Béton de réf. 50 MPa avec air GUBSF 20 SL	456,93	s. o.	187,8
60 MPa classe F-2	Standard	132,0	Béton de réf. 50 MPa avec air GUBSF	535,65	s. o.	70,7
25 MPa sans air	Spéciale	408,4	Béton de réf. 25 MPa sans air GU 10 SL	254,05	330,27	134,9
25 MPa classe C-4	Spéciale	457,4	Béton de réf. 25 MPa avec air et 0.55 w/cm (F-2) GU 10 SL	260,64	338,83	155,0
30 MPa sans air	Spéciale	1 421,6	Béton de réf. 30 MPa sans air GU 15 SL	264,38	343,69	488,6
30 MPa classe F-1	Spéciale	809,8	Béton de réf. 30 MPa avec air et 0.50 w/cm (F-1) GU 15 SL	292,72	380,53	308,2

ÉTAPE 2. CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE FINALE (SUITE)

Conception de mélange	Utilisation	Volume total (m ³)	Mélange de référence (DEP générique ontarienne)	PRP type (kg CO ₂ /m ³)	PRP type actualisé (kg CO ₂ /m ³) (+30 %)	Empreinte réelle (tonnes CO ₂)
35 MPa sans air	Spéciale	147,6	Béton de référence 35 MPa sans air GU 15 SL	295,46	384,10	56,7
35 MPa classe F-2	Spéciale	362,0	Béton de réf. 35 MPa avec air GU 15 SL	334,49	434,84	157,4
35 MPa C-1	Spéciale	2 018,6	Béton de réf. 35 MPa avec air et 0.40 w/cm (C-1) GU 25 SL	313,07	406,99	821,6
45 MPa sans air	Spéciale	592,6	Béton de réf. 45 MPa sans air GU 15 SL	349,88	454,85	269,5
45 MPa classe C-1	Spéciale	736,0	Béton 45 MPa avec air GU 25 SL	347,24	451,42	332,2
50 MPa classe F-2	Spéciale	690,0	Béton de réf. 50 MPa avec air GUBSF 20 SL	456,93	594,01	409,9
25 MPa sans air (75 % à 24 h)	Spéciale	36,0	Béton de réf. 25 MPa sans air GU 10 SL	254,05	330,27	11,9
25 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	4 064,8	Béton de réf. 25 MPa sans air GU 10 SL	254,05	330,27	1 342,5
30 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	13,0	Béton de réf. 30 MPa sans air GU 15 SL	264,38	343,69	4,5
30 MPa classe F-1 (75 % à 24 h)	Spéciale	69,6	Béton de réf. 30 MPa avec air et 0.50 w/cm (F-1) GU 15 SL	292,72	380,53	26,5
30 MPa classe F-1 (75 % à 48 h)	Spéciale	1 585,4	Béton de réf. 30 MPa avec air et 0.50 w/cm (F-1) GU 15 SL	292,72	380,53	603,3
35 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	333,0	Béton de référence 35 MPa sans air GU 15 SL	295,46	384,10	127,9
35 MPa classe C-1 (75 % à 48 h)	Spéciale	1 048,2	Béton de réf. 35 MPa avec air et 0.40 w/cm (C-1) GU 25 SL	313,07	406,99	426,6
45 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	302,2	Béton de réf. 45 MPa sans air GU 15 SL	349,88	454,85	137,5
45 MPa classe C-1 (75 % à 48 h)	Spéciale	72,0	Béton de réf. 45 MPa avec air GU 25 SL	347,24	451,42	32,5
Total		30 914,2			Total	10 661,9

ÉTAPE 2B. CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE INITIALE DES MÉLANGES POUR UTILISATIONS SPÉCIALES

Les contraintes du calendrier nécessitaient de prévoir finalement du béton à gain de résistance accéléré, ce qui a fait passer l'empreinte théorique de 9 294,9 tonnes CO₂ à 10 661,9 tonnes CO₂, soit une augmentation de 14,7 %. L'empreinte théorique finale ne peut être calculée qu'une fois tout le béton coulé, mais il faut l'évaluer au fil du projet pour s'assurer de l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte.

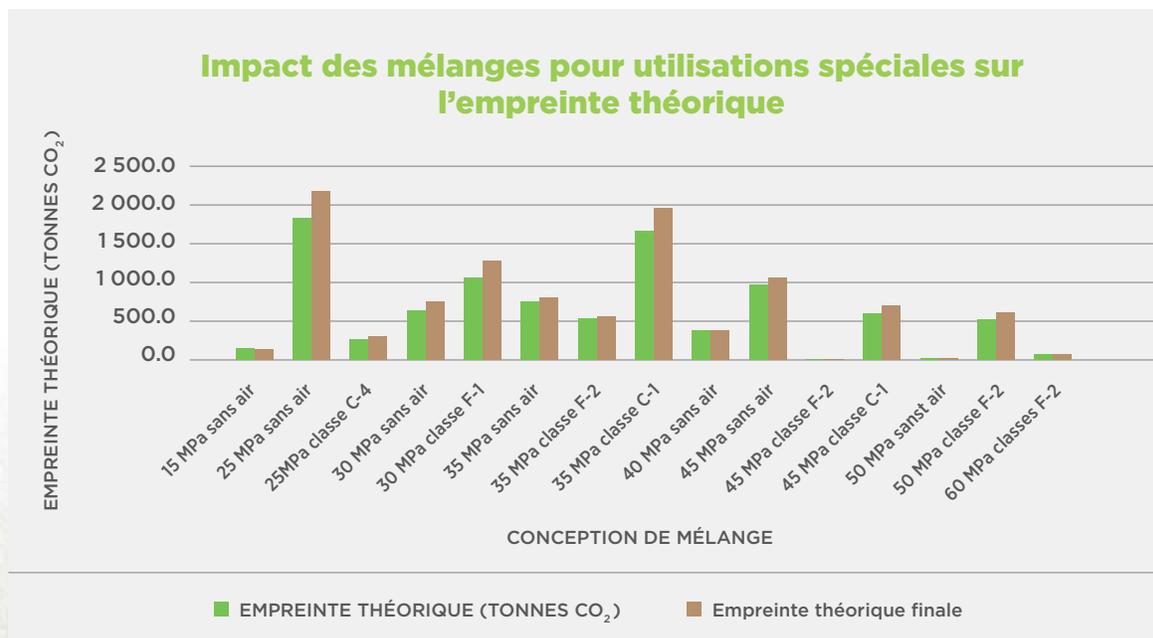
Si 20 m³ de béton 45 MPa de classe C-1 (75 % à 48 h) était coulé, l’empreinte théorique augmenterait comme suit :

$$20 \text{ m}^3 \times 451,42 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 = 9,0 \text{ tonnes CO}_2$$

Ces neuf tonnes devraient entrer dans le bilan à cette étape du projet et, une fois ce dernier achevé, représenteraient 27,7 % de l’empreinte carbone du mélange concerné (puisque l’empreinte théorique totale de celle-ci est de 32,5 tonnes CO₂). L’empreinte théorique des mélanges pour utilisations standard ne change pas.



Pour que le projet reste aligné sur les objectifs de réduction, le passage de l’empreinte théorique initiale à l’empreinte théorique finale doit être contrôlé minutieusement par un spécialiste de la durabilité. Il faut en effet évaluer l’atteinte des objectifs au fil du projet pour savoir comment les mélanges peuvent être optimisés. Le graphique qui suit indique comment l’empreinte théorique a évolué au cours de la construction des appartements « The Met ». Ce sont les volumes de béton finaux qui ont été pris en compte dans chaque cas.



ÉTAPE 3. CALCUL DE L'EMPREINTE RÉELLE DU PROJET

Le tableau ci-dessous indique les volumes réellement coulés et les PRP réels correspondants (à comparer avec ceux calculés à l'étape 2).

Conception de mélange	Utilisation	Volume total (m ³)	Mélange de référence (DEP ontarienne)	PRP type (DEP ontarienne) (kg CO ₂)	Empreinte théorique (tonnes CO ₂)
15 MPa sans air	Standard	626,0	Béton 20 MPa sans air GU 15 SL	211,99	132,7
25 MPa without air	Standard	2 596,2	Béton 25 MPa sans air GU 15 SL	244,24	634,1
25 MPa classe C-4	Standard	548,0	Béton 25 MPa avec air et 0,55 w/cm (F-2) GU 25 SL	230,26	126,2
30 MPa sans air	Standard	943,0	Béton 30 MPa sans air GU 15 SL	264,38	249,3
30 MPa classe F-1	Standard	1 090,6	Béton 30 MPa avec air et 0,50 w/cm (F-1) GU 15 SL	292,72	319,2
35 MPa sans air	Standard	2 031,0	Béton 35 MPa sans air GU 30 SL	258,92	525,9
35 MPa classe F-2	Standard	1 184,8	Béton 35 MPa avec air GU 25 SL	306,42	363,0
35 MPa classe C-1	Standard	2 245,8	Béton 35 MPa avec air et 0,40 w/cm (C-1) GU 35 SL	284,38	638,7
40 MPa sans air	Standard	1 123,0	Béton 40 MPa sans air GU 30 SL	285,48	320,6
45 MPa sans air	Standard	1 827,4	Béton 45 MPa sans air GU 30 SL	305,72	558,7
45 MPa classe F-2	Standard	9,0	Béton 45 MPa avec air GU 25 SL	347,24	3,1
45 MPa classe C-1	Standard	909,6	Béton 45 MPa avec air GU 25 SL	347,24	315,9
50 MPa sans air	Standard	68,6	Béton 50 MPa sans air GUBSF 25 SL	321,41	22,0
50 MPa classe F-2	Standard	411,0	Béton 50 MPa avec air GUBSF 25 SL	437,25	179,7
60 MPa classe F-2	Standard	132,0	Béton 50 MPa avec air GUBSF 25 SL	437,25	57,7
25 MPa sans air	Spéciale	408,4	Béton de réf. 25 MPa sans air GU 10 SL	254,05	103,8
25 MPa classe C-4	Spéciale	457,4	Béton de réf. 25 MPa avec air et 0,55 w/cm (F-2) GU 10 SL	260,64	119,2
30 MPa sans air	Spéciale	1 421,6	Béton de réf. 30 MPa sans air GU 15 SL	264,38	375,8
30 MPa classe F-1	Spéciale	809,8	Béton 30 MPa avec air et 0,50 w/cm (F-1) GU 15 SL	292,72	237,0
35 MPa sans air	Spéciale	147,6	Béton 35 MPa sans air GU 15 SL	295,46	43,6
35 MPa classe F-2	Spéciale	362,0	Béton de réf. 35 MPa avec air GU 15 SL	334,49	121,1
35 MPa classe C-1	Spéciale	2 018,6	Béton 35 MPa avec air et 0,40 w/cm (C-1) GU 25 SL	313,07	632,0
45 MPa sans air	Spéciale	592,6	Béton de réf. 45 MPa avec air GU 15 SL	379,45	224,9
45 MPa classe C-1	Spéciale	736,0	Béton 45 MPa avec air GU 25 SL	347,24	255,6
50 MPa classe F-2	Spéciale	690,0	Béton 50 MPa avec air GUBSF 15 SL	476,61	328,9
25 MPa sans air (75 % à 24 h)	Spéciale	36,0	Béton 40 MPa sans air GU 15 SL	326,25	11,7
25 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	4 064,8	Béton 35 MPa sans air GU 15 SL	295,46	1 201,0
30 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	13,0	Béton 45 MPa sans air GU 15 SL	349,88	4,5
30 MPa classe F-1 (75 % à 24 h)	Spéciale	69,6	Béton 45 MPa avec air GU 15 SL	379,45	26,4
30 MPa classe F-1 ((75 % à 48 h)	Spéciale	1 585,4	Béton 40 MPa avec air GU 15 SL	361,65	573,4
35 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	333,0	Béton 60 MPa sans air GUBSF 15 SL	376,81	125,5
35 MPa classe C-1 (75 % à 48 h)	Spéciale	1 048,2	Béton 50 MPa avec air GUBSF 25 SL	437,25	458,3
45 MPa sans air (75 % à 48 h)	Spéciale	302,2	Béton 70 MPa sans air GUBSF 15 SL	386,50	116,8
45 MPa classe C-1 (75 % à 48 h)	Spéciale	72,0	Béton 50 MPa avec air GUBSF 15 SL	476,61	34,3
Total		30 914,2		Total	9 440,6

Nous avons extrapolé certains chiffres de la DEP générique ontarienne pour caractériser les proportions de laitier supplémentaires et les mélanges accélérateurs comparables non pris en compte dans la DEP. Les chiffres choisis l'ont été après analyse de la teneur en ciment et comparaison avec les moyennes de l'industrie.

Une fois le projet achevé, on peut analyser le BCPB afin de déterminer l'impact des différents mélanges utilisés sur l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte carbone. Les moyennes indiquées dans la DEP ontarienne ont permis d'établir que le projet a eu une empreinte réelle de 9 440,6 tonnes CO₂ (voir tableau dressé à

l'étape 3). Toutefois, la DEP générique ne porte pas sur toutes les variantes utilisées en chantier; le spécialiste de la durabilité ne pouvait donc pas déterminer l'empreinte réelle avec le maximum de précision, à moins de demander au producteur de béton quels mélanges génériques correspondaient le mieux aux différentes variantes. Une manière plus efficace de quantifier le PRP total consiste à utiliser les DEP de type II ou III, où les conceptions de mélange sont décrites plus précisément et qui permettent de mieux comptabiliser et réduire l'empreinte carbone. Une quantification méthodique et précise suppose donc que concepteurs, constructeurs et producteurs unissent leurs efforts.

Une manière plus efficace de quantifier le PRP total consiste à utiliser les DEP de type II ou III, où les conceptions de mélange sont décrites plus précisément et qui permettent de mieux comptabiliser et réduire l'empreinte carbone.



« The Met », Berkley, Quadrangle Architects, Plaza, Vaughan

ÉTAPE 4. CALCUL DE LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GES

Connaissant l'empreinte théorique finale du projet (10 661,9 tonnes CO₂) et son empreinte réelle (9 440,6 tonnes CO₂), on en déduit que les émissions de GES ont été réduites de :

$$10\ 661,9 - 9\ 440,6 = 1\ 221,3 \text{ tonnes CO}_2$$

ÉTAPE 5. CALCUL DU TAUX DE RÉDUCTION

La dernière étape consiste à exprimer la réduction des émissions de GES en pourcentage, soit :

$$(1\ 221,3 * 100) / 10\ 661,9 = 11,5 \%$$

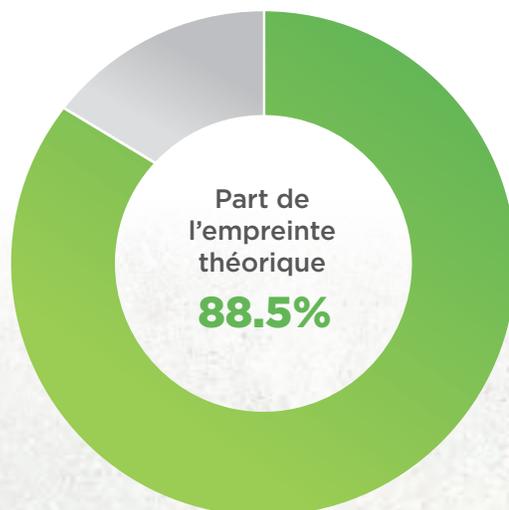
Récapitulatif

Le concept de BCPB et la procédure suivie tout au long de l'étude de cas ont permis d'établir que la réalisation du projet « The Met » a permis une réduction de 11,5 % des émissions de CO₂. On trouvera ci-après une comparaison d'ensemble entre l'empreinte théorique et l'empreinte réelle du projet.

La diminution obtenue est d'autant plus substantielle que les objectifs de réduction et le

calendrier du projet n'avaient pas été optimisés en vue de l'utilisation de bétons faiblement carbonés. Si le projet avait été conçu aujourd'hui, avec des objectifs de réduction de l'empreinte carbone définis dès le départ et contrôlés tout au long des travaux, une diminution beaucoup plus marquée aurait probablement été enregistrée, d'autant que l'emploi de ciment de type GUL se généralise à présent.

Tableau d'ensemble pour le type GU



Chiffres clés

Bilan carbone total du projet

● **10 661,9 tonnes CO₂**

Empreinte carbone totale du projet

● **9 440,6 tonnes CO₂**

Réduction totale de l'empreinte carbone

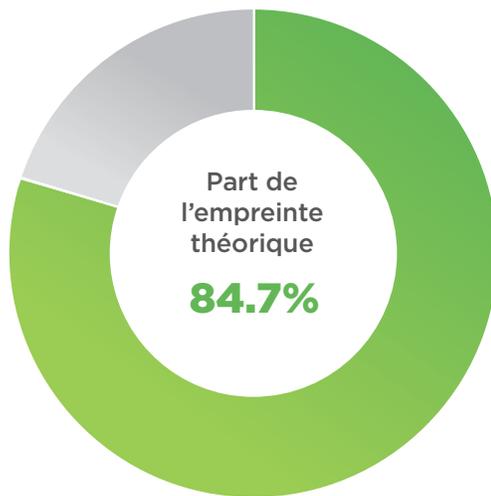
1 221,3 tonnes CO₂

Taux de réduction

11,5 %



Tableau d'ensemble pour le type GUL



Chiffres clés

Bilan carbone total du projet

● **10 661,9 tonnes CO₂**

Empreinte carbone totale du projet

● **9 032,4 tonnes CO₂**

Réduction totale de l'empreinte carbone

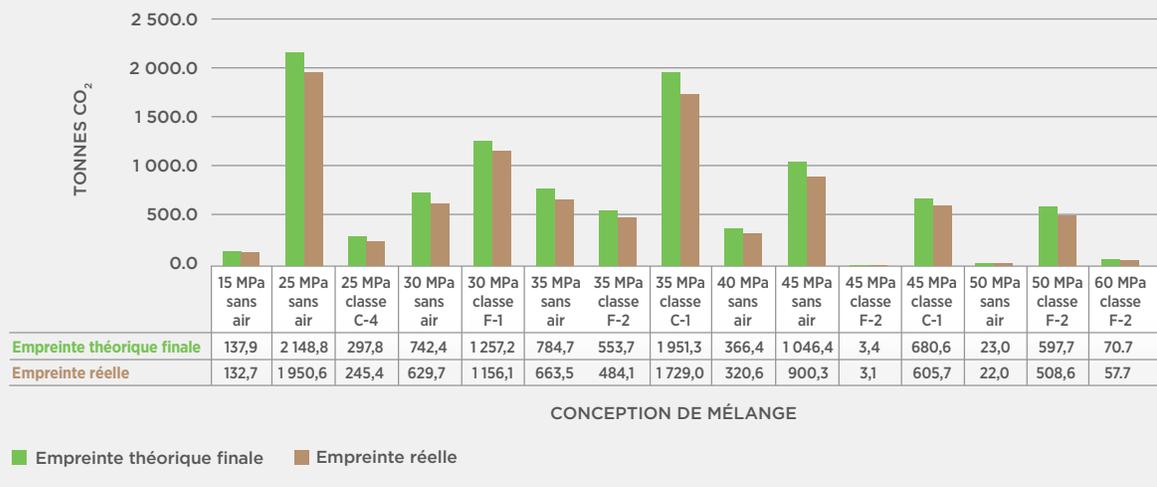
1 629,5 tonnes CO₂

Taux de réduction

15,3 %



Comparaison empreinte théorique finale/empreinte réelle



Pour des spécifications adaptées

Le concept de BCPB montre clairement que la quantification de l'empreinte carbone ne doit pas reposer sur les valeurs de PRP associées à des utilisations particulières du béton car, bien souvent, les conceptions de mélange doivent être revues, et ce, pour toutes sortes de raisons légitimes; de plus, une fois les utilisations spéciales prises en compte, les valeurs de PRP dépassent les moyennes génériques. Dans le cas des appartements « The Met », les valeurs types associées aux mélanges pour utilisations

standard étaient en deçà de la réalité, du fait des exigences des mélanges pour utilisations spéciales. Le fait d'imposer tel ou tel PRP avait un impact dont le consultant, le contracteur et le producteur de béton auraient dû tenir compte.

Les bétons 30 MPa de classe F-1 (pour balcons, terrasses et toit de l'édicule technique) sont un exemple parfait de dépassement des PRP types, comme le montre le tableau suivant, où le cas des utilisations spéciales est particulièrement éloquent.

CAS DU BÉTON 30 MPA DE CLASSE F-1

Conception de mélange	Utilisation	Volume total (m ³)	Proportion du volume total	PRP type (kg CO ₂ /m ³)	PRP type actualisé (kg CO ₂ /m ³) (+30 %)	Empreinte théorique	PRP type selon la DEP ontarienne (kg CO ₂ /m ³)	Écart entre PRP type standard et PRP type de la DEP	Empreinte réelle (tonnes CO ₂)	Taux final de réduction des GES avec PRP actualisé (+30 %)
30MPa classe F-1	Standard	1 090,6	31 %	292,72	N/A	319,2	292,72	0,0 %	319,24	0,0 %
30MPa classe F-1	Spéciale	809,8	23 %	292,72	380,53	308,2	292,72	0,0 %	237,04	23,1 %
30MPa classe F-1 (75 % à 24 h)	Spéciale	69,6	2 %	292,72	380,53	26,5	379,45	29,6 %	26,41	0,3 %
30MPa classe F-1 (75 % à 48 h)	Spéciale	1 585,4	45 %	292,72	380,53	603,3	361,65	23,5 %	573,36	5,0 %
Total		3 555,4								

Si le PRP type standard associé au béton 30 MPa de classe F-1 avait été prescrit uniformément pour l'ensemble du volume coulé (3 555,4 m³), le PRP final aurait dépassé **292,72 kg CO₂/m³** pour 47 % de ce béton et son empreinte carbone aurait été nettement plus élevée. Les contraintes du calendrier et du temps froid, qui ont conduit à utiliser les mélanges accélérateurs « 24 heures » et « 48 heures », ont entraîné respectivement une hausse de PRP de **29,6 %** et de **23,5 %**.

Si l'on avait prescrit de ne pas dépasser le PRP type, le calendrier n'aurait pas pu être respecté. En ce qui concerne les mélanges pour utilisations standard, la norme habituelle suppose une résistance de 75 % au bout de 7 jours (tout dépendant de la teneur en ajouts cimentaires); or les mélanges utilisés pour les appartements « The Met » devaient assurer ce résultat en 24 heures pour les unes et en 48 heures pour les autres. C'est ce qui a permis au constructeur de respecter les délais.

Malgré tout, les PRP finalement appliqués aux mélanges utilisés pour accélérer le gain de résistance ont permis respectivement une réduction de **0,3 %** et de **5,0 %** de l'empreinte, par

rapport au PRP actualisé de **380,53 kg CO₂/m³**. Quant au mélange utilisé pour accélérer la prise, le PRP finalement appliqué a permis une réduction de **23,1 %** (il s'agissait d'un mélange optimisé).

Actuellement, quand les PRP prescrits dans les spécifications sont dépassés, il n'y a pas moyen de déterminer ce qu'entraîne le non-respect des critères de rendement ni de faire en sorte qu'ils soient satisfaits. Le fait de laisser le producteur de béton optimiser ses mélanges en fonction du BCPB permet d'obtenir un béton non seulement meilleur, mais aussi présentant une moindre empreinte carbone. Notre étude de cas montre clairement que le dépassement de certains PRP n'a pas empêché de réduire de 11,5 % l'empreinte générale du projet. Le fait d'avoir augmenté de 30 % le PRP limite pour les mélanges destinés aux utilisations spéciales a aussi permis au constructeur d'obtenir plus rapidement les caractéristiques recherchées, donc de respecter les délais.

Les rédacteurs de spécifications doivent donc comprendre ce qui risque de se passer sur le terrain s'ils prescrivent des PRP indifférenciés.

ÉTUDE DE CAS - ALBERTA



Image fournie gracieusement par Masson (2023)

LES APPARTEMENTS « DEVILLE »



PROMOTEUR : REMINGTON DEVELOPMENT CORPORATION

ÉTUDE DE CAS – ALBERTA

La deuxième étude de cas concerne également un projet de construction d'appartements, mais de trois tours cette fois-ci. Rappelons que ce type de projet de construction, de longue durée, entraîne souvent une évolution des exigences en matière de mélanges, ce qui crée des défis par rapport au calendrier et à la constructibilité au fil de l'avancement des travaux. Il a également été mentionné, dans la précédente étude, que cette évolution peut avoir un impact sur le carbone intrinsèque du béton.

Pour atténuer ces impacts potentiels, les équipes de projet peuvent envisager une approche qu'on qualifiera « d'ingénierie de valeur de l'empreinte carbone » (Carbon Value Engineering). Le terme « ingénierie de la valeur » est déjà bien établi dans le secteur du béton. La collaboration avec les fournisseurs et les entrepreneurs peut souvent créer de la valeur en termes d'économies de coûts, de main-d'œuvre ou de délais. Plus souvent qu'autrement, la qualité des résultats en matière d'ingénierie de la valeur dépend de la vitesse avec laquelle les fournisseurs ont été inclus dans le cycle du projet.

Cette tendance s'applique également à l'empreinte carbone du béton. L'idéal est de communiquer et de collaborer avec les fournisseurs de béton prêt à l'emploi le plus tôt possible, de

préférence à l'étape de la conception ou de la préparation. Cela donne l'occasion aux acteurs de l'industrie du béton prêt à l'emploi de discuter des détails, de hypothèses, des restrictions, des occasions et des défis liés au projet, puis de proposer des solutions de réduction de l'émission de CO₂ que l'on pourrait mettre en œuvre dans le cadre du projet, ajoutant ainsi de la valeur en matière de carboneutralité.

Appartements DeVille de Quarry Park – Calgary

Le projet **DeVille dans Quarry Park** visait la construction de trois tours de 13 étages abritant chacune une centaine de logements locatifs, ainsi qu'un stationnement commun de deux niveaux. Cet ajout de résidences à la communauté de Quarry Park est le fruit d'une collaboration entre trois membres clés de l'équipe du projet, à savoir GGA-Architecture, Remington Development Corporation et RJC Engineers. La construction de ce complexe, engendrant des coûts de plus de 100 M\$ et couvrant 275 000 pi² (25 550 m²), a été réalisée en trois étapes : tour 1 et stationnement (terminée en août 2021), tour 2 (terminée en avril 2022) et tour 3 (terminée en août 2022).

Image fournie gracieusement par Masson (2023)



Bien que les objectifs de réduction des émissions de carbone n'étaient pas au centre des préoccupations des concepteurs et des rédacteurs, Lafarge a eu l'occasion de présenter un bel échantillonnage de sa gamme de produits durables. L'objectif principal de la présente étude de cas est de démontrer comment il est possible de respecter le calendrier d'un projet typique tout en atteignant des objectifs concrets de réduction des émissions de carbone bien supérieurs à la moyenne de l'industrie. Aujourd'hui, les concepteurs et les rédacteurs de spécifications peuvent se fixer des objectifs de réduction de l'empreinte carbone en se servant du présent guide et des autres outils existants (les DEP, notamment) et en collaborant avec leurs producteurs de béton prêt à l'emploi.

Besoins en béton de la construction du DeVille

Dans le cadre du processus de soumission et d'évaluation, le producteur de béton prêt à l'emploi a soumis 11 conceptions de mélange à l'examen du constructeur. Les discussions préliminaires avec le fournisseur de béton prêt à l'emploi ont porté sur le calendrier et les rendements des mélanges et ont soulevé la possibilité d'éliminer les mélanges spéciaux à haute résistance au début de l'application. Cela permettrait non seulement de réduire la diversité des mélanges, mais aussi d'éviter l'utilisation de bétons standard et à haute résistance initiale au contenu en carbone élevé.



Image fournie gracieusement par Masson (2023)

Soumissions initiales des mélanges

Conception de mélange	Utilisation	Volumes d'avant ingénierie de la valeur du carbone (m ³)	Volumes réels (m ³)
25MPa sans air (N-CF)	Standard	428	428
32MPa (C-2)	Standard	13	13
35MPa avec air (F-2)	Standard	0	138,5
45MPa sans air (N)	Standard	3 575,5	3 575,5
45MPa sans air (C-1)	Standard	259,5	259,5
35MPa sans air (N)	Standard	1 570	2 070
35MPa (C-1)	Standard	300	300
35MPa (C-1) à 56 jours	Standard	1 699	1 699
35MPa sans air (N)*	Spéciale	500	0
35MPa avec air (F-2)*	Spéciale	138,5	0
20MPa sans air	Standard	130	130

*25 MPa en 24 h

Ingénierie de la valeur pour la réduction de l’empreinte carbone

Une fois le projet lancé, les premiers résultats des essais sur le terrain, ainsi que la coordination du calendrier, ont permis d’éliminer l’utilisation des mélanges de béton à haute résistance initiale. La collaboration entre le producteur de béton prêt à l’emploi et l’équipe du projet à cet égard a facilité la mise en œuvre de cette possibilité d’ingénierie de la valeur pour la réduction des émissions de

carbone, comme le montre le tableau suivant. Bien que cela ne fasse pas officiellement partie du processus du BCPB, il est intéressant de noter que la discussion sur l’ingénierie de la valeur visant à réduire les émissions de carbone, qui a eu lieu au début du projet, a permis une diminution notable de l’émission de carbone totale du béton dans le projet.

Bien que cela ne fasse pas officiellement partie du processus du BCPB, il est intéressant de noter que la discussion sur l’ingénierie de la valeur visant à réduire les émissions de carbone, qui a eu lieu au début du projet, a permis une diminution notable de l’émission de carbone totale du béton dans le projet.

Réduction des émissions de carbone résultant de l’ingénierie de la valeur du CO₂ initiale

Conception de mélange	Utilisation	PRP de DEP de type III pour le béton prêt à l’emploi conservées à l’usine de production (kg CO ₂ /m ³)	Mélange de référence (DEP générique albertaine – kg CO ₂ /m ³)	PRP type actualisé (kg CO ₂ /m ³) (+30 %)	Volumes d’avant ingénierie de la valeur du carbone (m ³)	Volumes réels (m ³)	Mélange de référence d’avant ingénierie de la valeur du CO ₂ (m ³)	PRP d’après ingénierie de la valeur (tonnes CO ₂)
35MPa avec air (F-2)	Standard	290	409.82	N/A	0	138,5	0	40,2
35MPa sans air (N)	Standard	259	328.02	N/A	1 570	2 070	515,0	536,1
35MPa sans air (N)*	Spéciale	342	328.02	426,43	500	0	213,2	0,0
35MPa avec air (F-2)*	Spéciale	308	409.82	532,77	138,5	0	73,8	0,0
						Total	802,0	576,3
Réduction des émissions de carbone due à l’ingénierie de la valeur								225,7

*25 MPa en 24 h



Image fournie gracieusement par Masson (2023)

Processus BCPB

L'étude de cas « The Met » décrit en détail, étape par étape, la manière d'appliquer le processus BCPB à un projet.

Une fois que le processus est bien compris, on peut organiser ces étapes critiques dans un tableau consolidé.

Dans le cas du projet « The DeVille », tous les mélanges spéciaux ont pu être retirés grâce à l'ingénierie de la valeur visant à réduire les émissions de carbone.

Il est également intéressant de noter que, dans le cas du DeVille, le producteur du béton prêt à l'emploi disposait de DEP de type III propre à l'usine pour les mélanges requis par le projet. C'est Climate Earth qui a réalisé l'analyse du cycle de vie sur laquelle ont été basées les DEP, et c'est ASTM International qui a validé ces dernières.

Les propriétés du projet « DeVille » étant idéales pour viser la réduction de l'empreinte carbone (selon les normes CSA basées sur le rendement), le producteur de béton prêt à l'emploi a pu se servir de plusieurs leviers afin de diminuer ses émissions de CO₂. Ainsi, en utilisant du ciment Portland au calcaire de Type GUL et des cendres volantes de type F, au taux minimum de remplacement (25 %), le producteur a fait passer l'empreinte carbone du béton (valeurs PRP) en dessous des valeurs de référence de la DEP générique. Les calendriers de construction ont été respectés grâce à l'application ponctuelle d'accélérateurs de prise et à l'utilisation efficace de superplastifiants visant à augmenter la maniabilité et l'efficacité des matériaux cimentaires. Les inhibiteurs de corrosion n'ont été utilisés que lorsque nécessaire. Le projet a utilisé des objectifs de conception à 56 jours pour la plupart des bétons C-1. Ce délai supplémentaire pour atteindre la résistance visée a permis de réduire la quantité de ciment dans le mélange et donc de diminuer les émissions de CO₂ du projet.

On suppose que les étapes suivantes ont été réalisées au début du projet :

ÉTAPE 1. CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE INITIALE

Une fois le projet achevé, on peut analyser le BCPB afin de déterminer l'impact des différents mélanges utilisés sur l'atteinte des objectifs de réduction de l'empreinte carbone. Le calcul de l'empreinte théorique est rendu possible par le recours aux DEP de type III propres aux cimenteries, ainsi que par la collaboration entre le concepteur, le constructeur et le producteur de béton prêt à l'emploi.

Le tableau ci-dessous met en évidence l'application des deux dernières étapes du processus, à savoir :

ÉTAPE 2. CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE FINALE

ÉTAPE 3. CALCUL DE L'EMPREINTE RÉELLE DU PROJET

L'étape 2B (**CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE INITIALE DES MÉLANGES POUR UTILISATIONS SPÉCIALES**) n'est pas requise.



Image fournie gracieusement par Masson (2023)

Appliquer les étapes BCPB

	Volumes réels (m ³)	Mélange de référence (DEP générique albertaine)	Mélange de référence (DEP générique albertaine – kg CO ₂ / m ³)	ÉTAPE 2	ÉTAPE 3	
				Empreinte théorique (tonnes CO ₂)	PRP de DEP de type III pour le béton prêt à l'emploi conservées à l'usine de production (kg CO ₂ / m ³)	Empreinte réelle (tonnes CO ₂)
25MPa sans air (N-CF)	428	GU 10FA	306,32	131,1	232	99,3
32MPa (C-2)	13	GU 10FA	396,85	5,2	313	4,1
35MPa avec air (F-2)	138,5	GU 15FA	409,82	56,8	290	40,2
45MPa sans air (N)	3 575,5	GU 15FA	418,44	1 496,1	286	1 022,6
45MPa sans air (C-1)	259,5	GU 15FA	464,66	120,6	393	102,0
35MPa sans air (N)	2070	GU 20FA	328,02	679,0	259	536,1
35MPa (C-1)	300	GU 20FA	363,13	108,9	339	101,7
35MPa (C-1) à 56 jours	1699	GU 20FA	363,13	617,0	308	523,3
20MPa sans air	130	GU 10FA	260,95	33,9	128	16,6
			Total	3 248,6		2 445,9

Résumé du projet et considération pour les rédacteurs de spécifications

Connaissant l'empreinte théorique finale du projet et son empreinte réelle, on peut déduire de combien les émissions de GES ont été réduites (en tonnes CO₂) et calculer le taux de réduction pour l'ensemble du projet. Puisque l'équipe du projet « DeVille » a appliqué le concept BCPB et suivi le processus, le taux de réduction des émissions est de 24,7 % et augmente de 7 % si on prend en compte l'ingénierie de la valeur. On trouvera ci-après une comparaison d'ensemble entre l'empreinte théorique et l'empreinte réelle du projet.

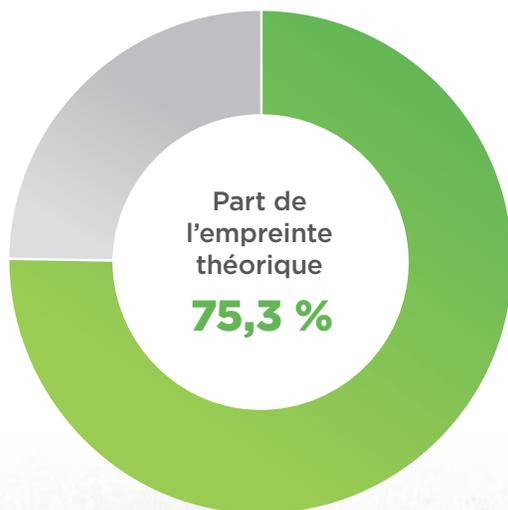
La diminution obtenue n'est pas négligeable. Les clés pour atteindre ce degré de réduction sont les suivantes :

- Le recours à des critères de rendement basés sur l'approche de la CSA, ce qui

permet au producteur de béton prêt à l'emploi d'utiliser de manière efficace des MCS, des adjuvants et du béton GUL afin de réduire l'empreinte carbone et d'augmenter l'efficacité du ciment.

- Les conceptions faisant appel au béton à résistance tardive réduisent la quantité de ciment requise dans certains mélanges.
- L'ingénierie de valeur pour la réduction de l'empreinte carbone, réalisée par des discussions de collaboration avec le producteur de béton prêt à l'emploi dès le début du projet, élimine avec succès la nécessité d'utiliser des mélanges pour des applications spéciales.
- La collaboration permet de discuter des occasions de réduction des émissions de carbone tout au long du projet.

Bilan carbone du projet



Chiffres clés

Bilan carbone total du projet

● **3 248,6 tonnes CO₂**

Empreinte carbone totale du projet

● **2 445,9 tonnes CO₂**

Réduction totale de l'empreinte carbone
802,7 tonnes CO₂

Taux de réduction
24,7 %



L'ingénierie de la valeur visant à réduire les émissions de carbone, étudiée avec le fournisseur de béton prêt à l'emploi au début du cycle du projet, a permis de réduire les émissions de carbone du béton de **7 % (225,7/3 248,6)** supplémentaires.

ÉTUDE DE CAS - QUÉBEC



Image fournie gracieusement par Lafond Côté Architectes

ALBEDO ET CPE MISTIGRI



MAÎTRES D'ŒUVRE : LE GRT QUÉBÉCOIS ACTION-HABITATION

QUÉBEC : ÉTUDE DE CAS D'UNE RÉSIDENCE POUR AÎNÉS

La troisième étude de cas porte sur un projet de résidence pour aînés. Il a été choisi pour démontrer l'évolution possible des spécifications au cours du processus d'appel d'offres vers l'efficacité du rendement permettant de maximiser le nombre de soumissionnaires et de promouvoir l'innovation et la transparence dans la construction d'un bâtiment dont le maître d'œuvre désire réduire l'empreinte carbone.

Le processus d'établissement de devis de ce projet a eu lieu avant la publication de la DEP générique du Québec. À ce stade, peu de projets non LEED, voire aucun, avaient été réalisés en suivant des exigences de réduction des gaz à effet de serre pour le béton.

Le fait que les spécifications initiales du projet étaient extrêmement prescriptives, exigeant notamment des distances maximales par rapport aux sources de ciment et des émissions maximales de CO₂, rend l'étude de cas encore plus intéressante.

Afin de rendre le projet accessible au plus grand nombre de soumissionnaires possible, et d'obtenir les meilleurs résultats possibles sur les plans du rendement et de l'empreinte carbone, le producteur de béton a suggéré au concepteur d'opter pour une spécification basée sur le rendement. Une annexe aux spécifications a donc été publiée afin de préciser que la valeur moyenne du ciment pour l'ensemble du projet était de 300 kg/m³.

ALBÉDO et CPE MISTIGRI - SAINTE-FOY

ALBÉDO est un projet de résidence pour aînés de 128 unités faisant 23 729 m², incluant les aires communes et les aires de déplacement. Le projet fait partie du programme AccèsLogis de la Société d'habitation du Québec (SHQ). Il est jumelé à la double installation des garderies La petite cour de Mistigri I et II, qui comprend 148 places, à Sainte-Foy.



Photo : Christian Gingras

La période de construction était de juillet 2022 à mars 2024, et les partenaires du projet étaient les suivants :

**Maîtres d'œuvre : Le GRT québécois
Action-Habitation**

Architecte : Lafond Côté Architectes

Ingénieur : CIME Consultants Inc.

Constructeur : Concrea

Producteur de béton : Béton Provincial

L'étude de cas présente deux situations concrètes de calcul de réduction de gaz à effet de serre basés sur :

- DEP de type III, propres à un produit, conformes aux normes ISO 14025 (DEP précises)
- DEP générique de type III conformes aux normes ISO 14025 (DEP génériques)

Besoins en béton

Le projet a nécessité sept principaux types de béton pour un volume total d'environ 7 150 m³. Le tableau ci-dessous contient l'information sur les mélanges. Il est possible que certains aspects de mélanges aient varié en fonctions des conditions du site :

- dosage du superplastifiant visant à ajuster l'affaissement du béton;
- adjuvants accélérant ou retardateurs en fonction des conditions atmosphériques;
- autres modifications mineures.

La norme du gouvernement canadien sur le carbone intrinsèque en construction n'avait pas encore été publiée au moment où les spécifications du projet ont été établies. Ainsi, les calculs présentés ici sont ceux qui ont servi pendant le projet et, par conséquent, aucun de ces calculs de mélange n'utilise la catégorie « Applications spéciales » pour les émissions de gaz à effet de serre supérieure à 130 % comparativement à la moyenne de l'industrie pour les bétons spécialisés (c.-à-d. résistance initiale élevée ou application par temps froid).

Processus BCPB

DEP de type III propres à une usine

Dans le cadre du projet, le producteur de béton a fourni des DEP de type III pour les diverses formules de béton. L'objectif d'une moyenne maximale de 300 kg/m³ de CO₂ a été respecté avec une moyenne de 276 kg éq. CO₂/m³.

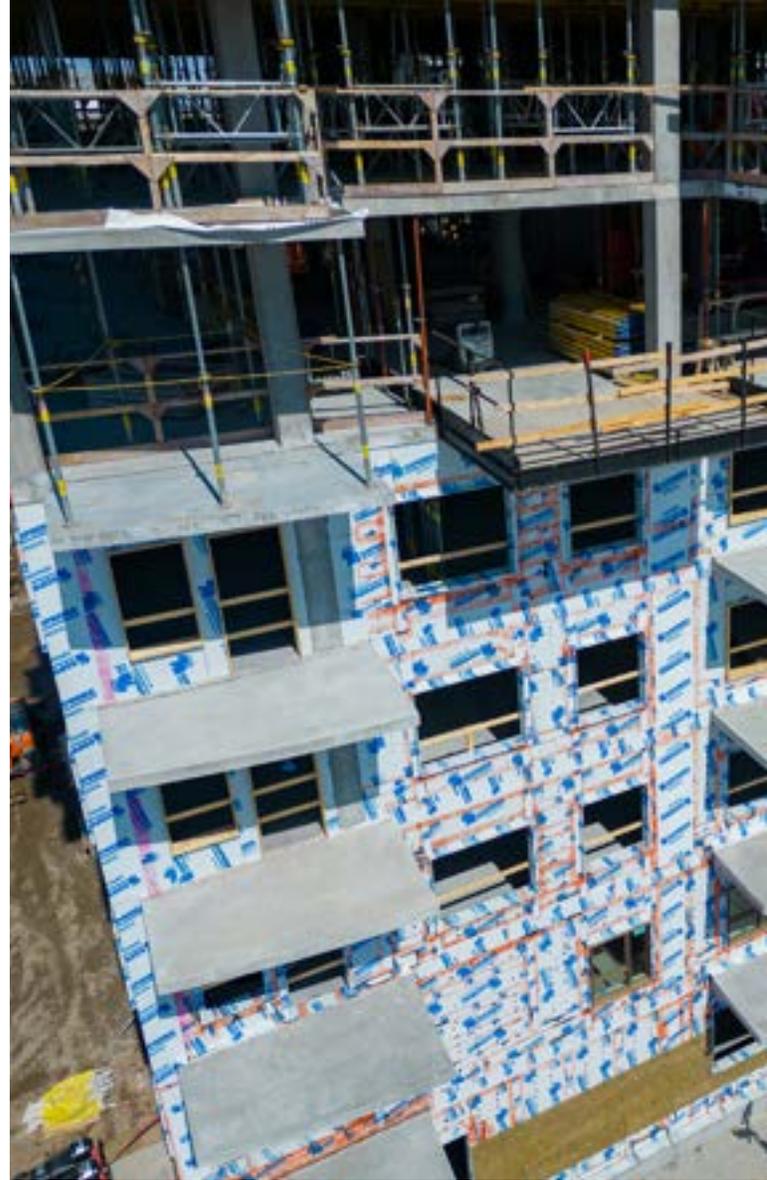


Photo : Christian Gingras

Le projet aura permis de réduire les émissions d'équivalent CO₂ de 14 % par rapport au cas où le béton aurait été livré avec une empreinte carbone correspondant au mélange générique de l'industrie.

Afin de rendre le projet accessible au plus grand nombre de soumissionnaires possible, et d'obtenir les meilleurs résultats possibles sur les plans du rendement et de l'empreinte carbone, le producteur de béton a suggéré au concepteur d'opter pour une spécification basée sur le rendement.

Utilisation	Volume (m ³)	Conception de mélange	Type de ciment	Type d'ajouts cimentaires
Coulis de béton	247	20 MPa classe N	GU	-
Mur de fondation, semelle filante	912	25 MPa classe N	GU	S
Dalle porteuse, colonne, mur de contreventement	4 185	30 MPa classe N; N-CF	GU	S
Trottoir extérieur, structure de balcon, etc.	392	32 MPa classe C-2	GU	-
Rampe de stationnement, terrasse, dalle	530	35 MPa classe C-1	GUb-F/SF	F et SF
Colonne	40	40 MPa classe C-1	GUb-F/SF	F et SF
Colonne de contreventement, mur	845	40 MPa classe N	GU et GUb-SF	SF

S : laitier granulé de haut fourneau moulu F : cendres volantes de type F SF : fumées de silice

Calcul de l'empreinte réelle et de l'empreinte théorique au moyen des DEP propres à l'usine

Utilisation	Volume (m ³)	PRP par m ³		PRP du project	
		DEP québécoise (kg CO ₂ / m ³)	Béton prêt à l'emploi conservées à l'usine de production (kg CO ₂ / m ³)	ÉTAPE 2. Empreinte théorique (tonnes CO ₂)	ÉTAPE 3. Empreinte réelle (tonnes CO ₂)
Coulis de béton	247	264	250	65,16	61,75
Mur de fondation, semelle filante	912	287	254	262,13	231,65
Dalle porteuse, colonne, mur de contreventement	4185	311	265	1303,29	1109,03
Trottoir extérieur, structure de balcon, etc.	392	363	388	142,22	152,10
Rampe de stationnement, terrasse, dalle	530	380	269	201,64	142,57
Colonne	40	397	259	15,87	10,36
Colonne de contreventement et mur	845	364	317	307,78	267,87
Total				2298,09	1975,31
				ÉTAPE 4 : réduction du taux d'émissions de GES	322,78
				ÉTAPE 5 : réduction du taux d'émissions de GES	14,0 %
				Moyenne d'émissions de GES par m³	276

DEP génériques (cas hypothétique)

Si le projet avait été réalisé en suivant les données des DEP génériques du Québec, le béton utilisé aurait eu une moyenne d'émission de GES de 288 kg CO₂/m³. Cette valeur correspond à une réduction de 10,5 % des émissions de gaz à effet de serre associés au béton, par rapport aux moyennes de référence de l'industrie québécoise.

Il convient de noter que les hypothèses ou approches suivantes ont été utilisées pour déterminer l'importance des émissions de gaz à effet de serre associés aux mélanges proposés par la DEP québécoise :

- Des régressions linéaires ont été réalisées grâce à la DEP générique du Québec pour déterminer le PRP de chacun des mélanges.

- Lorsqu'on utilise du ciment ternaire contenant des fumées de silice, leur présence est exprimée en un pourcentage équivalent au calcul des autres additifs utilisés dans le mélange. Dans le cas du projet à l'étude, la quantité de fumées de silice et de cendres volantes de type F équivaut à 23 % des MCS utilisés. Les calculs des émissions de CO₂ éq. sont donc basés sur un dosage équivalent de cendres volantes de 23 %.

Calcul du PRP basé sur le DEP québécoise (régression linéaire)

Utilisation	PRP par m ³		PRP du projet		
	DEP générique du Québec (kg CO ₂ /m ³)	Mélange de la DEP québécoise - régression linéaire (kg CO ₂ /m ³)	ÉTAPE 2. Empreinte théorique (tonnes CO ₂)	ÉTAPE 3. Empreinte réelle du mélange de la DEP québécoise - régression linéaire (tonnes CO ₂)	
Coulis de béton	264	272	65,16	67,23	
Mur de fondation, semelle filante	287	250	262,13	227,81	
Dalle porteuse, colonne, mur de contreventement	311	271	1 303,29	1 132,05	
Trottoir extérieur, structure de balcon, etc.	363	374	142,22	146,77	
Rampe de stationnement, terrasse, dalle	380	313	201,64	165,68	
Colonne	397	325	15,87	13,02	
Colonne de contreventement et mur	364	360	307,78	304,28	
Total			2 298,09	2 056,82	
Taux de réduction =				10,5 %	
Moyenne d'émissions de GES par m ³			321	288	

Récapitulatif

La spécification visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre à $300 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2 \text{ éq.}$ pour le projet Albédo a été respectée. Grâce au recours à la DEP propre à l'usine concernée, la réduction des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux mélanges de référence est de 14 %. Si le projet avait été construit en fonction des DEP génériques, la réduction associée aurait été de 10,5 %. Dans les deux cas, le projet aurait satisfait à l'exigence de réduction minimale de 10 % de la norme du gouvernement canadien sur le carbone intrinsèque en construction.

La norme du gouvernement canadien sur le carbone intrinsèque en construction n'avait pas encore été publiée au moment où les spécifications du projet ont été établies. Ainsi, les calculs présentés ici sont ceux qui ont servi pendant le projet et, par conséquent, aucun de ces calculs de mélange n'utilise la catégorie « Applications spéciales » pour les émissions de gaz à effet de serre supérieure à 130 % comparativement à la moyenne de l'industrie pour les bétons spécialisés (c.-à-d. résistance initiale élevée ou application par temps froid). Les réductions de l'empreinte carbone obtenues auraient été encore plus élevées que si ces normes avaient été suivies.

Malgré cela, les délais liés au bétonnage par temps froid ont ajouté une semaine au calendrier du projet. Les parties concernées ont su s'adapter pour réduire le plus possible l'impact du temps froid. Grâce à l'expertise de l'entrepreneur général en matière de planification et de coordination des travaux dans des conditions hivernales, et aux équipes de travail qui ont été à l'œuvre malgré les tempêtes hivernales, le calendrier a été respecté pratiquement au jour prêt.

En résumé, cette étude de cas constitue un excellent exemple de l'importance de la prise en compte des SPÉCIFICATIONS FONDÉES SUR LE RENDEMENT dans les processus de rédaction d'un BILAN CARBONE DES PROJETS RECOURANT AU BÉTON (BCPB). Dès le début du projet, il faut viser une réduction globale des émissions de gaz à effet de serre par rapport à la moyenne de

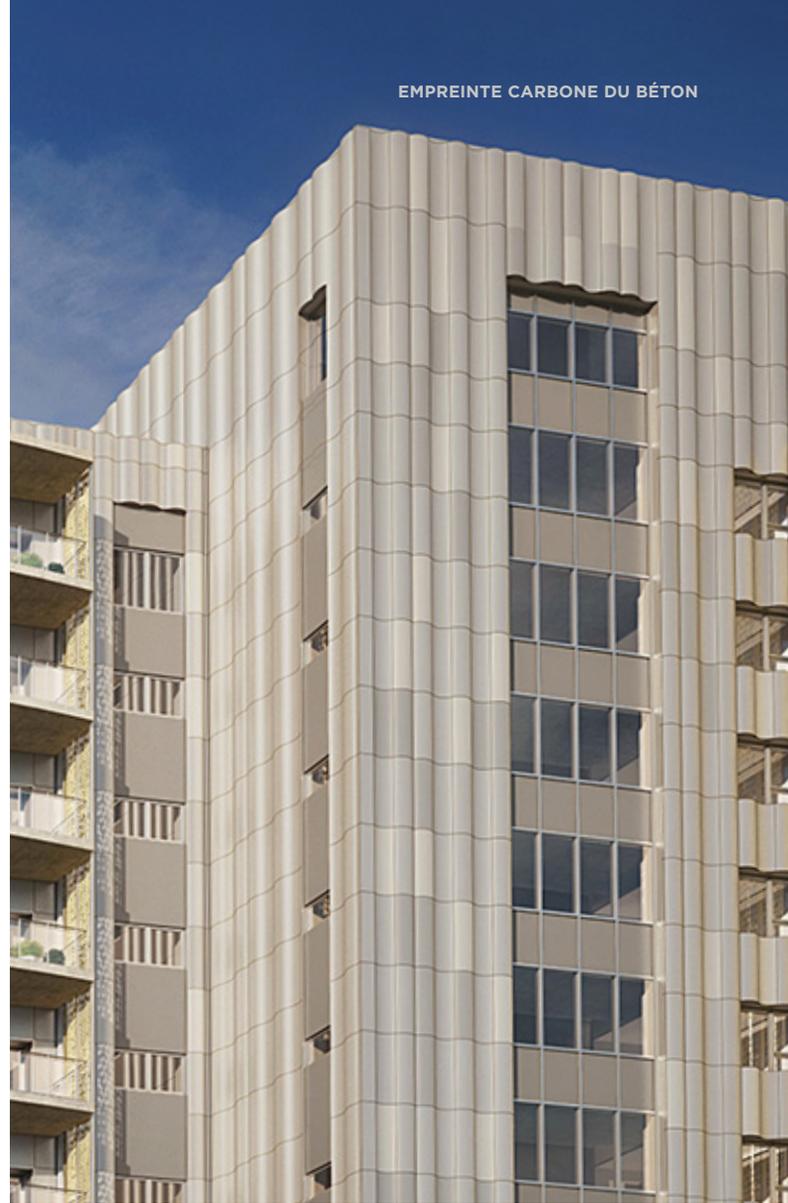
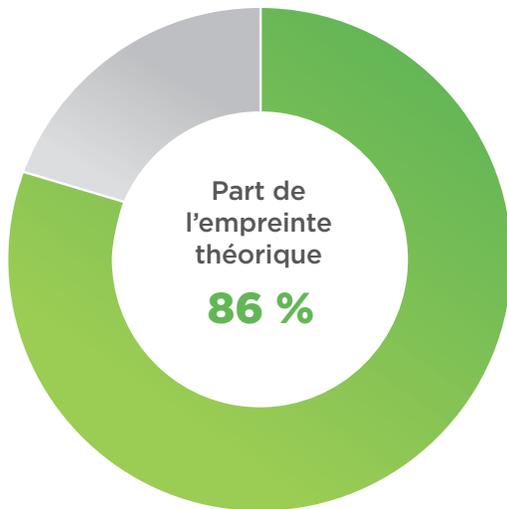


Image fournie gracieusement par Lafond Côté Architectes

référence. Par exemple, on peut exiger une réduction minimale de 10 % (ou d'autres pourcentages) des émissions de gaz à effet de serre associés au béton, par rapport à la moyenne générique, et appliquer cette réduction à l'ensemble du projet.

Lorsque les spécifications contiennent des exigences en matière de réduction des émissions de GES qui ne sont pas prescriptives, mais plutôt basées sur le rendement, les producteurs de béton prêt à l'emploi sont en mesure de tirer parti de tous les leviers éprouvés de réduction des émissions de carbone tout en satisfaisant aux exigences de rendement et de durabilité d'un projet de construction en béton, le tout en encourageant la concurrence et l'innovation sur le marché libre.

Bilan carbone du projet



Chiffres clés

Bilan carbone total du projet

● **2 298,1 tonnes CO₂**

Empreinte carbone totale du projet

● **1 975,3 tonnes CO₂**

Réduction totale de l'empreinte carbone

322,8 tonnes CO₂

Taux de réduction

14,0 %



Photo : Christian Gingras



ÉTUDE DE CAS - COLOMBIE-BRITANNIQUE



Photo : hcma architecture + design | WHM Structural Engineers

ÉCOLE HENRY HUDSON



COLOMBIE-BRITANNIQUE : ÉTUDE DE CAS DE L'ÉCOLE HENRY HUDSON

L'étude de cas suivante démontre comment la collaboration entre les équipes de projet et les fournisseurs de béton prêt à l'emploi peut contribuer à la réalisation, par les propriétaires et les promoteurs, des réductions potentielles de carbone exigées par le gouvernement comparativement aux empreintes théoriques équivalentes.

Dans cet exemple, le projet de l'école Henry Hudson dans le quartier de Kitsilano en Colombie-Britannique est mis en évidence.

Informations sur le projet :

Volume du projet : \$45 million replacement project

Lieu : Henry Hudson Elementary School, 1551 rue Cypress, Vancouver (C.-B.) V6J 3L3

Taille : Bâtiment de trois étages. Les deux premiers étages sont destinés à l'école et le troisième, à un « centre communautaire d'apprentissage » - un important établissement de garde d'enfants

Capacité : 400 élèves, 69 places en garderie



Photo : hcma architecture + design | WHM Structural Engineers

Ce projet de 45 millions de dollars devrait être achevé au printemps 2025.

Le projet prévoit la construction d'un bâtiment de trois étages, dont les deux premiers sont réservés à l'école et le troisième à un « centre communautaire d'apprentissage ». Cet espace innovant servira d'établissement majeur de garde d'enfants. Il pourra accueillir 400 élèves et offrir 69 places en garderie pour répondre aux besoins de la communauté locale.

Photo : hcma architecture + design | WHM Structural Engineers

En intégrant des notions de conception moderne et des pratiques de construction durable, le projet de remplacement de l'école primaire Henry Hudson vise à créer un environnement d'apprentissage stimulant et à favoriser l'engagement et le soutien de la communauté.

Le projet devrait respecter les directives relatives au carbone intrinsèque énoncées dans le règlement de construction de la ville de Vancouver, qui entrera en vigueur le 1^{er} janvier 2025, soit après la construction.

Cette étude de cas appliquera le concept de bilan carbone des projets recourant au béton du Conseil du Trésor du Canada, comme expliqué en détail dans le document des Lignes directrices pour exiger l'utilisation du béton prêt à l'emploi faiblement carboné au Canada afin de calculer la contribution de la réduction du carbone intrinsèque comparativement aux empreintes théoriques équivalentes, en utilisant des déclarations environnementales de produits (DEP) vérifiés par des tiers.

Besoins en béton de l'école Henry Hudson

La commission scolaire de Vancouver, en Colombie-Britannique, a pris la *décision stratégique de passer d'une spécification normative à une approche non prescriptive* pour le projet de l'école primaire Henry Hudson. Ce changement vise à obtenir une solution de renforcement sismique authentiquement durable pour ce nouveau bâtiment de trois étages.

Le bureau de gestion de projet de Vancouver, en collaboration avec les représentants de Heidelberg Materials et l'entrepreneur Heatherbrae Builders, a analysé et approuvé l'utilisation d'environ 2700 m³ de béton EvoBuild MC à faible empreinte carbone. Cette décision est conforme aux spécifications de la ville de Vancouver, notamment en ce qui concerne les seuils de potentiel de réchauffement de la planète (PRP) pour chaque élément en béton, ce qui permet d'atteindre les objectifs de durabilité et de performance.



Le résumé suivant présente les mélanges de béton et les applications correspondantes prévues dans le cadre de ce projet :

Conception de mélange	Utilisation
35 MPa classe S-3	Coulage ou épaissement d'une dalle flottante
25 MPa classe F-2	Mur en béton
30 MPa classe F-2	Colonne en béton
35 MPa sans air	Dalle suspendue
32 MPa classe C-2	Socles d'aménagement de béton
25 MPa sans air	Escaliers

Application du bilan carbone des projets recourant au béton (BCPB)

ÉTAPE 1 : CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE INITIALE

L'empreinte théorique prévue pour le projet est déterminée à l'aide de la DEP générique de Concrete BC relative au béton prêt à l'emploi (27 juillet 2022 [EPD348]). Le tableau suivant présente les calculs prévus de l'empreinte théorique basés sur les conceptions de mélange et les volumes attendus :

Conception de mélange	Volume prévu (m ³)	Mélange de référence (DEP générique britanno-colombien - kg de CO ₂)	Empreinte théorique (tonnes CO ₂)
25 MPa sans air	22	219,70	4,8
25 MPa avec air	435	230,52	100,3
30 MPa avec air	77	269,83	20,8
32 MPa avec air	6	285,31	1,7
35 MPa avec air	797	310,51	247,5
35 MPa sans air	1422	293,75	417,7
Total	2759	Empreinte théorique totale	792,8

L'empreinte théorique prévue pour ce projet s'élève à 792,8 tonnes.

ÉTAPE 2 : CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE FINALE

Afin de calculer l'empreinte théorique finale, il faut connaître les volumes réels et les conceptions de mélange utilisés dans le cadre du projet. La section suivante présente en détail le bilan carbone des projets recourant au béton (BCPB) basé sur les volumes réels et les conceptions de mélange utilisés dans le projet.

Conception de mélange	Volume prévu (m ³)	Mélange de référence (DEP générique britanno-colombien - kg de CO ₂)	Empreinte théorique (tonnes CO ₂)
25 MPa sans air	0	219,70	0
25 MPa avec air	54	230,52	12,4
30 MPa avec air	0	269,83	0
32 MPa avec air	0	285,31	0
35 MPa avec air	849,8	310,51	263,9
35 MPa sans air	1827,2	293,75	536,7
Total	2731	Empreinte théorique totale	813,1

Il est important de noter qu'il n'est pas nécessaire de suivre l'étape 2B : CALCUL DE L'EMPREINTE THÉORIQUE INITIALE DES MÉLANGES POUR UTILISATIONS SPÉCIALES, puisqu'il n'y a pas de mélange pour ce projet qui entre dans cette catégorie.

STEP 3 : CALCUL DE L'EMPREINTE RÉELLE DU PROJET

Le calcul de l'empreinte réelle du projet prend en compte les volumes réels et la valeur de la DEP associés aux mélanges réels. Dans notre cas, le producteur du béton prêt à l'emploi disposait de DEP de type III propres à l'usine pour les mélanges requis. Le tableau suivant présente les volumes réels et les valeurs de l'empreinte réelle pour chaque mélange utilisé dans le cadre du projet :



Photo : hcma architecture + design | WHM Structural Engineers

Conception de mélange		Volumes réels (m ³)	PRP selon la DEP de type III pour le béton prêt à l'emploi conservé à l'usine de production (kg CO ₂)	Empreinte réelle (tonnes CO ₂)
25 MPa avec air	GENERAL 25MPA 20MM F2 5 % EVB*	47	199	9,4
25 MPa avec air	GENERAL 25MPA 14MM F2 5 % EVB*	7	199	1,4
30 MPa avec air	-	0	-	-
32 MPa avec air	-	0	-	-
35 MPa avec air	GENERAL 35MPA 14MM C1 6 % EVB*	262,5	257	67,5
35 MPa avec air	GENERAL 35MPA 14MM F2 5 % EVB*	23,6	248	5,9
35 MPa avec air	GENERAL 35MPA 20MM C1 6 % EVB*	556,1	257	142,9
35 MPa avec air	WG GEN 35MPA 20MM C1 6 % 56D	7,6	199	1,5
25 MPa sans air	-	0	-	-
35 MPa sans air	GENERAL 35MPA 20MM N EVB*	1 505,2	235	353,7
35 MPa sans air	GENERAL 35MPA 14MM N EVB*	322	235	75,7
Total		2 731		657,9

(* EVB = EvoBuild^{MC} de Heidelberg Materials)

Pour ce projet, un total de 2 731 m³ de béton a été fourni, ce qui représente une empreinte réelle totale de 657,9 tonnes.

Récapitulatif

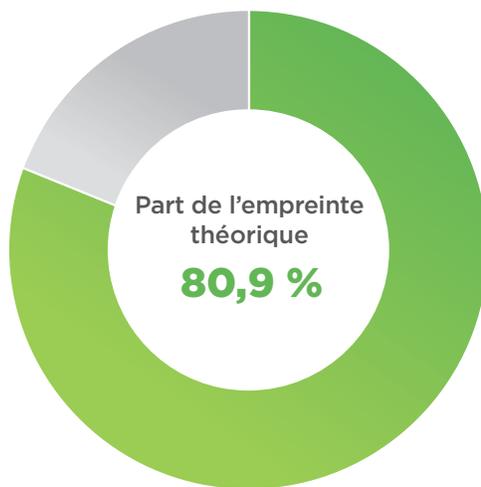
Connaissant l’empreinte théorique finale du projet et son empreinte réelle, on peut déduire de combien les émissions de GES ont été réduites (en tonnes CO₂) et calculer le taux de réduction pour l’ensemble du projet.

Réduction des GES = 813,1 - 657,9 = 155,2 tonnes

% de la réduction des GES = (155,2*100)/813,1 = 19,1 %

Grâce à l’application du concept du BCPB et du processus dans toute l’étude de cas, le projet de l’école Henry Hudson a atteint une réduction notable de 19,1 % de CO₂. On trouvera ci-après une comparaison d’ensemble entre l’empreinte théorique et l’empreinte réelle du projet.

Bilan carbone du projet



Chiffres clés

Bilan carbone total du projet

● **813,1 tonnes CO₂**

Empreinte carbone totale du projet

● **657,9 tonnes CO₂**

Réduction totale de l’empreinte carbone

155,2 tonnes CO₂

Taux de réduction

19,1 %



Malgré l’utilisation d’un volume plus important de béton à plus haute résistance que prévu initialement, le bilan carbone des projets recourant au béton (BCPB) a été réduit de 19 %.

Notons que cette réduction a été obtenue sans modification majeure de l’échéancier ou de la portée du projet, ce qui témoigne de la faisabilité et des avantages de l’utilisation de béton à faible teneur en carbone lors de projets de construction. Notons également l’importance des éléments suivants :

- Le recours aux normes de la CSA basées sur le rendement qui ont permis au producteur de béton prêt à l’emploi d’utiliser efficacement les MCS, les adjuvants, les ciments de type GUL et d’autres leviers pour réduire les émissions de carbone dans le cadre d’une approche innovante pour la marque;
- Un dialogue collaboratif entre l’équipe de projet et le fournisseur de béton prêt à l’emploi avant et pendant le projet.

Cette réduction est très importante, à plus forte raison dans le contexte des exigences du règlement de construction de la ville de Vancouver, qui devrait être finalisé en 2024 et entrer en vigueur le 1er janvier 2025. En vertu de ce règlement, il faudra démontrer pour chaque projet une réduction du carbone pour l’ensemble du bâtiment comparativement aux empreintes théoriques équivalentes.

Assistance offerte

Les associations provinciales membres de la CRMCA offrent du soutien complémentaire et des services d'évaluation des spécifications en matière de béton faiblement carboné. Les présentations se font en personne ou en format virtuel, et sont organisées sur demande.

Pour plus d'informations, veuillez communiquer avec l'équipe provinciale concernée :

 <p>Association Canadienne du Ciment</p>	<p>STAMATINA CHASIOTI, Ph. D. Directrice, codes et normes schasioti@cement.ca</p> <p>TIM J SMITH, ing., M. Sc. Directeur principal, environnement bâti, transports et travaux publics tsmith@cement.ca</p>
 <p>CONCRETE ALBERTA</p>	<p>DAN HANSON Directeur exécutif dan.hanson@concretealberta.ca</p> <p>PAUL MASSON Directeur des services techniques et de la formation paul.masson@concretealberta.ca</p>
 <p>Concrete Atlantic / béton Atlantique</p>	<p>PAMELA WOODMAN Directrice exécutive pam@atlanticconcrete.ca</p>
 <p>CONCRETEBC</p>	<p>JASON SAUNDERSON Directrice exécutive jsaunderson@concretebc.ca</p>
 <p>concrete manitoba</p>	<p>AHMED YASIEEN SOLIMAN, Ph. D. Cadre exécutif ahmed.soliman@concretemanitoba.ca</p>
 <p>CONCRETE ONTARIO</p>	<p>ALEN KERI, ing. Directeur des services techniques akeri@concreteontario.org</p> <p>BART KANTERS, ing. M.B.A. Président bkanters@concreteontario.org</p> <p>LUCAS BROMERCHENKEL Représentant des services techniques lbromerchenkel@concreteontario.org</p>
 <p>Association Béton Québec LA référence</p>	<p>LUC BÉDARD, ing., M.Ing., M.B.A. Directeur général lbedard@betonabq.org</p> <p>YVES DÉNOMMÉ, ing., M.Sc.A. Directeur technique ydenomme@betonabq.org</p>
 <p>CONCRETE SASK</p>	<p>ASHLEY CAMPBELL Directrice exécutive acampbell@concretesask.org</p>



EMPREINTE CARBONE DU BÉTON

LIGNES DIRECTRICES POUR EXIGER
L'UTILISATION DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI FAIBLEMENT CARBONÉ
AU CANADA



JUILLET 2024