



# Impact des émissions de carbone du gypse et gypse à faibles émissions de carbone

Livre blanc

Novembre 2024

Préparé par



Préparé pour



## Sommaire

L'environnement bâti est responsable de 35 % des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) en Amérique du Nord<sup>1</sup>. Bien que des progrès soient réalisés pour réduire les émissions opérationnelles grâce à l'efficacité énergétique et à la décarbonation du réseau électrique, la réduction des émissions intrinsèques commence tout juste à être prioritaire. L'approvisionnement en matériaux à faible teneur en carbone est une solution évidente. En plus de l'acier et du béton, il est désormais possible d'explorer d'autres matériaux couramment utilisés comme le gypse. Le gypse est omniprésent dans les bâtiments de toutes catégories, dans les murs et plafonds extérieurs et intérieurs. Ainsi, l'utilisation de produits à base de gypse à faible teneur en carbone peut conduire à des réductions substantielles du carbone intrinsèque, en particulier pour les rénovations, les murs intérieurs ayant le plus grand impact. Ces produits présentent à leur tour plusieurs avantages, notamment la conformité aux réglementations gouvernementales et de meilleurs scores dans les certifications volontaires de bâtiments écologiques.

## Table des matières

<b>Sommaire</b> .....	<b>2</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>2</b>
<b>Terminologie et définitions</b> .....	<b>4</b>
Gaz à effet de serre (GES).....	4
Decarboneur .....	4
Émissions intrinsèques.....	4
Émissions opérationnelles.....	4
Analyse du cycle de vie (ACV) .....	4
<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
Déclarations environnementales de produits (DEP) .....	5
Politiques .....	6
<b>Fabrication du gypse</b> .....	<b>8</b>
Approvisionnement en gypse .....	8
Fabrication de panneaux de gypse en Amérique du Nord .....	9
Analyse du marché et comparaison des émissions .....	10
<b>Contribution du gypse dans les assemblages de murs</b> .....	<b>12</b>
Produits de gypse fréquents dans les murs.....	12
Revue des assemblages de murs fréquents dans la région de Toronto.....	12
<b>Conclusion</b> .....	<b>18</b>
<b>Annexe</b> .....	<b>21</b>
Assemblage de mur extérieur typique de l'étude comparative 2024 de RDH : nouvelles ressources de conception pour les cibles de carbone intrinsèque .....	21
Assemblage de mur intérieur typique du manuel canadien des systèmes de gypse et d'isolation de Certainteed .....	23
<b>Notes de fin</b> .....	<b>24</b>

---

## Terminologie/définitions

### Gaz à effet de serre (GES)

Gaz présents dans l'atmosphère qui provoquent l'effet de serre, augmentant ainsi la température de la surface de la Terre. Les gaz à effet de serre comprennent le dioxyde de carbone, le méthane et bien d'autres, et sont souvent mesurés en équivalents de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>e) ou en potentiel de réchauffement global (PRG).

### Décarboner

Le processus d'élimination des émissions de gaz à effet de serre d'un système tel que la fabrication, la production d'énergie, le transport ou autre.

### Émissions intrinsèques

Les émissions produites lors de la fabrication, du transport et de l'installation d'un matériau. Les émissions provenant des phases d'extraction des matières premières, de fabrication, de transport et de construction du cycle de vie d'un produit.

### Émissions opérationnelles

Les émissions résultant de l'énergie utilisée pour faire fonctionner un bâtiment ou une infrastructure.

### Analyse du cycle de vie (ACV)

Prise en compte des impacts environnementaux d'un produit tout au long de la chaîne d'approvisionnement, de l'approvisionnement en matières premières à la déconstruction et à la fin de vie.

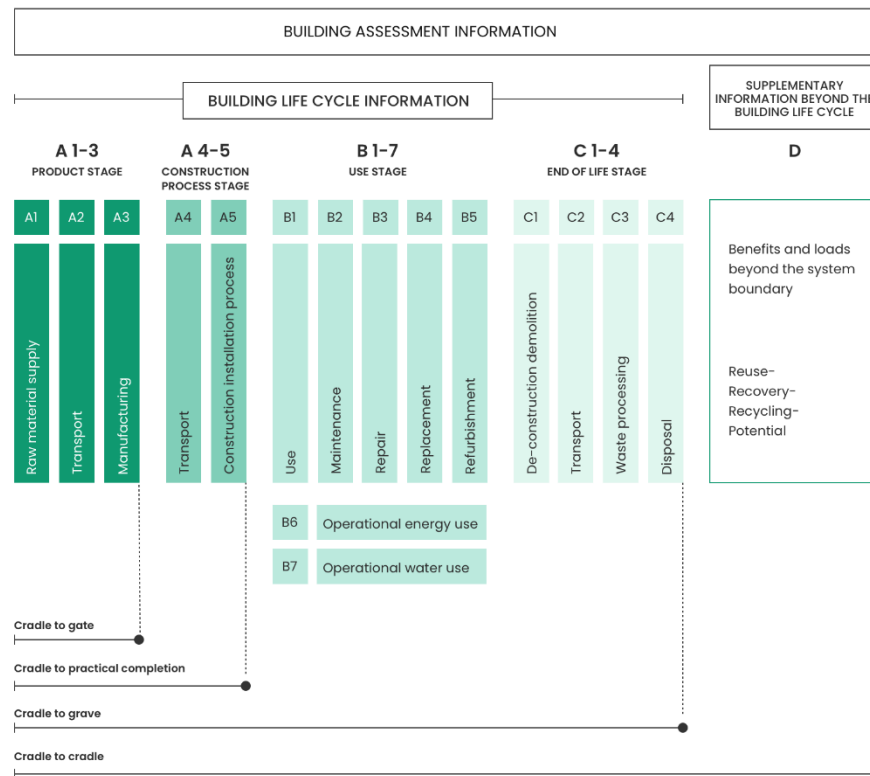
## Introduction

Tous les secteurs doivent contribuer à l'effort mondial de réduction des *émissions de gaz à effet de serre* (GES) afin d'atteindre les objectifs internationaux visant à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels, dans le but de préserver un environnement mondial vivable<sup>2</sup>. Les GES sont une catégorie de gaz présents dans l'atmosphère qui provoquent le réchauffement et d'autres effets climatiques néfastes. Le plus abondant d'entre eux est le dioxyde de carbone. L'impact des autres GES est mesuré à l'aide de « l'équivalent en dioxyde de carbone » d'un GES donné, appelé son potentiel de réchauffement climatique (PRG). Ce rapport fait référence indifféremment au « carbone » et aux « émissions de carbone » pour représenter le PRG total associé aux GES.

Le secteur du bâtiment et de la construction est l'un des plus gros émetteurs de gaz à effet de serre au monde, contribuant à près de 40 % des émissions mondiales<sup>3</sup>. Ces émissions proviennent de l'ensemble du cycle de vie de l'environnement bâti, de l'extraction des ressources et de la production des matériaux à l'énergie utilisée pour chauffer, refroidir, ventiler et éclairer nos bâtiments. Cela fait référence aux *émissions intrinsèques*. Classées dans les émissions de portée 3, il s'agit des émissions produites lors de la fabrication, du transport et de l'installation d'un matériau (c'est-à-dire l'extraction des matières premières, la fabrication, le transport et la construction).

Bien que les efforts historiques visant à réduire les émissions du secteur du bâtiment et de la construction se soient concentrés sur les *émissions opérationnelles* (émissions résultant de l'énergie utilisée pour faire fonctionner un bâtiment), les émissions intrinsèques constituent une part importante des émissions d'un bâtiment. En fait, dans les régions dotées de systèmes énergétiques à faible émission de carbone, comme en Ontario et au Québec, le carbone incorporé peut constituer la majorité des émissions d'un nouveau bâtiment à haut rendement énergétique au cours de sa vie utile<sup>4,5</sup>. Cela est en partie dû au fait que les *émissions opérationnelles* peuvent être réduites tout au long de la vie utile d'un bâtiment (p. ex., en passant à des appareils et des systèmes de refroidissement écoénergétiques, etc.), mais les *émissions intrinsèques* sont réalisées et émises dès les premières étapes de la conception d'un bâtiment, lorsque les matériaux sont choisis, fabriqués et transportés. Une fois ces émissions incorporées générées, la seule façon de les annuler est de les éliminer. En conséquence, des efforts sont actuellement déployés à l'échelle mondiale pour décarboner les matériaux de construction.

L'impact des émissions des matériaux de construction individuels et des bâtiments entiers peut être évalué à l'aide d'une analyse du cycle de vie (ACV). Les ACV concernent les différentes étapes du cycle de vie d'un bâtiment, les produits étant représentés aux étapes A1 à A3 (figure 1).



**Figure 1 :** Étapes du cycle de vie des bâtiments par rapport aux ACV<sup>6</sup>

Un rapport du PNUE et du Yale Center for Ecosystems + Architecture souligne l'importance de la décarbonation des matériaux conventionnels pour atteindre des objectifs de décarbonation plus larges<sup>7</sup>. Ce livre blanc aborde l'impact des GES de l'un des matériaux de construction les plus couramment utilisés : le gypse. Le gypse est un matériau de construction largement utilisé dans les murs, les plafonds et plus encore. En particulier, ce document examine les développements récents du gypse à faible teneur en carbone.

## Déclarations environnementales de produits (DEP)

Un outil important dans les efforts visant à comprendre, divulguer et décarboner les matériaux de construction est une *déclaration environnementale de produit* (DEP). Il s'agit de rapports vérifiés par des tiers fournissant des informations sur l'empreinte carbone d'un matériau spécifique, alignés sur l'une des nombreuses normes internationales telles que l'ISO 21930, l'ISO 14025, l'ISO 14040, l'ISO 14044 et les règles nord-américaines de catégorie de produits<sup>8</sup>. Pour qu'un produit soit commercialisé comme étant à faible teneur en carbone, il doit disposer d'une DEP pour justifier ses allégations environnementales. Cela garantit la transparence et permet aux consommateurs de prendre des décisions éclairées en fonction de la performance environnementale des matériaux qu'ils utilisent. Comme la plupart des grands fabricants établissent désormais des DEP pour leurs produits, celles-ci sont un outil utile pour comprendre l'impact environnemental des produits.

Il est important de noter que les DEP peuvent être créées à différents niveaux de spécificité. Une DEP peut utiliser des moyennes mondiales comme proxy pour les données manquantes, ou utiliser des données spécifiques à un pays, une entreprise ou même une usine de fabrication individuelle. Étant donné que les DEP sont destinées à indiquer l'impact carbone, plus une DEP peut être spécifique et donc précise, mieux c'est. Ainsi, une DEP idéale du point de vue de la précision est une DEP spécifique à une usine (également appelée spécifique à une installation). Les DEP sont de plus en plus courantes et fournissent des données utiles sur les émissions intrinsèques d'un produit ou d'un matériau. L'augmentation des DEP est en partie une réponse à un certain nombre d'exigences réglementaires et/ou de mesures volontaires exigeant que le carbone incorporé dans les bâtiments et les matériaux soit divulgué et réduit.

## Politiques

Les politiques constituent un outil important pour encourager le marché à prendre des décisions à faible émission de carbone et pour orienter l'industrie vers des objectifs climatiques nationaux et internationaux. Au Canada, il existe un certain nombre de politiques clés de décarbonation des bâtiments aux niveaux fédéral, provincial et municipal<sup>9</sup>. Voici quelques exemples.

### Fédéral

- La Stratégie canadienne pour les bâtiments verts favorise la décarbonation du secteur du bâtiment en éliminant progressivement les systèmes de chauffage au mazout.
- Le Code national du bâtiment et le Code national de l'énergie garantissent la réduction des émissions grâce à des exigences minimales d'efficacité énergétique dans les bâtiments et devraient inclure des exigences en matière d'émissions opérationnelles en 2025 et des exigences en matière d'émissions intrinsèques en 2030.
- La Norme sur le carbone intrinsèque en construction du gouvernement du Canada exige que des matériaux à faible teneur en carbone soient utilisés dans les projets fédéraux, mais se limite actuellement au béton prêt à l'emploi. D'autres matériaux devraient être ajoutés au fil du temps.

### Provincial

- En vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement du Québec, la réglementation interdit le chauffage au mazout dans les bâtiments résidentiels.

### Municipal

- Vancouver a exigé que tous les nouveaux systèmes de climatisation permanents dans les maisons existantes soient alimentés à l'électricité à faible teneur en carbone.
- Vancouver a introduit des normes de rendement des bâtiments exigeant la déclaration de l'énergie et du carbone et des limites de GES.
- La Norme verte de Toronto exige que les nouveaux bâtiments soient conçus et construits de manière durable afin de réduire leur consommation d'énergie et

leurs émissions, et de contribuer à d'autres résultats positifs pour le climat<sup>10</sup>. Des exigences en matière de carbone intrinsèque existent actuellement pour les nouvelles constructions appartenant à la Ville. Elles devraient s'appliquer plus largement dans les années à venir.

Au-delà des organismes gouvernementaux, des organisations indépendantes ont élaboré diverses normes et programmes pour guider les acteurs du secteur du bâtiment vers les objectifs de décarbonation.

### **Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)**

- LEED est un système international de vérification volontaire par un tiers qui certifie que les projets de construction atteignent des rendements élevés dans six catégories, notamment l'efficacité énergétique et le choix des matériaux<sup>11</sup>. Ce faisant, LEED guide et encourage les bâtiments à impact positif sur le climat, tout en soulignant l'importance des matériaux et des opérations de construction à faible émission de carbone.

### **Normes du bâtiment à carbone zéro (BCZ)**

- Le Conseil du bâtiment durable du Canada (CAGBC) a élaboré les normes du bâtiment à carbone zéro, un autre programme volontaire visant à certifier les bâtiments écoénergétiques et à carbone zéro. Le programme offre une certification sous deux volets : la norme de performance et la norme de design. La première se concentre sur le fonctionnement zéro carbone d'un bâtiment, tandis que la norme de design reconnaît les efforts zéro carbone dans la phase de conception qui peuvent optimiser le choix des matériaux de construction pour lutter contre les émissions intrinsèques<sup>12</sup>.

### **Normes du Protocole des GES**

- Le Protocole des GES définit les normes de déclaration des GES des entreprises dans les chaînes de valeur des entreprises (c'est-à-dire portée 3/carbone intrinsèque) et les opérations<sup>13</sup>. Au sein des normes du Protocole des GES se trouve la norme de la chaîne de valeur d'entreprise (portée 3). Elle guide spécifiquement les entreprises pour comptabiliser et déclarer les émissions tout au long de leurs chaînes d'approvisionnement, tout en identifiant les occasions de réduction des émissions de carbone<sup>14</sup>.

### **Initiative Science-Based Targets (SBTi)**

- Le SBTi est un cadre qui guide les acteurs des entreprises pour établir les objectifs climatiques fondés sur la science nécessaires pour aligner leurs opérations sur le mandat de 1,5 °C de l'Accord de Paris. En août 2024, le SBTi a publié les critères de définition d'objectifs fondés sur la science du secteur du bâtiment - un cadre de décarbonation de l'ensemble du bâtiment spécifiquement

destiné aux entreprises du secteur de la construction. Ce cadre comprend des objectifs de réduction du carbone intrinsèque et opérationnel<sup>15</sup>.

Certaines entreprises, comme Gensler, élaborent leurs propres normes, ce qui montre à quel point il est important de prendre en compte les matériaux de structure et l'intérieur des bâtiments.

## Fabrication du gypse

### Approvisionnement en gypse

Le gypse est un minéral sulfaté naturel aux multiples utilisations, notamment dans le secteur de la construction. Le gypse est utilisé pour les panneaux de gypse et pour fabriquer du ciment, ainsi que pour d'autres utilisations accessoires en raison de ses qualités de résistance à l'eau et au feu et d'insonorisation. La matière première de gypse peut être obtenue de deux manières : le gypse extrait des mines et le gypse désulfuré des gaz de combustion (désulfuration).

**Le gypse extrait** est la méthode la plus courante pour obtenir du gypse brut en Amérique du Nord. Le gypse est un minéral tendre, ce qui le rend facile à extraire des carrières par forage et dynamitage ou par des méthodes d'exploitation à ciel ouvert<sup>16</sup>. Il est extrait dans plus de 90 pays<sup>17</sup>.

**Le gypse désulfuré des gaz de combustion** est un sous-produit de la production d'électricité à partir du charbon<sup>18</sup>. La combustion du charbon libère du dioxyde de soufre (c'est-à-dire des gaz de combustion), qui réagit avec d'autres éléments pour produire des boues de sulfite de calcium (c'est-à-dire du gypse désulfuré). Les gaz de combustion restants de ce processus sont rejetés dans l'air et le gypse désulfuré est raffiné davantage pour être prêt à l'utilisation industrielle.

En plus des sources primaires, le **gypse recyclé** gagne en popularité. Bien qu'il soit plus courant en Europe, les fabricants nord-américains commencent également à s'approvisionner davantage en gypse recyclé. Cette source est généralement préférée, car les méthodes courantes de comptabilisation du carbone considèrent que les matériaux recyclés n'ont pas ou peu de carbone intrinsèque.

Parmi les sources primaires, le gypse extrait est le plus courant en Amérique du Nord. Les centrales au charbon étant progressivement abandonnées en Amérique du Nord en raison de leurs fortes émissions de GES, le gypse désulfuré continue de perdre de sa popularité sur le marché. Entre les États-Unis et le Canada, les États-Unis produisent la majorité du gypse désulfuré en circulation, car ils ont des marchés du gypse beaucoup plus importants dans l'ensemble et dépendent beaucoup plus du charbon que le Canada. À l'échelle mondiale, les États-Unis sont l'un des plus grands pays producteurs de gypse, aux côtés de l'Iran, de la Chine et de l'Espagne<sup>19</sup>. Le Canada est un producteur important de gypse extrait, avec des opérations



minières en Nouvelle-Écosse, en Ontario, au Manitoba et en Colombie-Britannique, et des fabricants de produits à base de gypse dans de nombreuses provinces<sup>20</sup>.

## Fabrication de panneaux de gypse en Amérique du Nord

L'une des principales utilisations du gypse est la fabrication de panneaux de gypse, un matériau utilisé pour les murs et les plafonds. Traditionnellement, la fabrication de panneaux de gypse implique un processus en plusieurs étapes de déshydratation, d'hydratation et de réhydratation du gypse brut. Le gypse brut est calciné, purifié et transformé en une bouillie qui peut être façonnée en panneaux et déposée entre des couches de papier. Une fois façonné, le matériau est retourné à son état solide, désormais lié aux couches de papier et déshydraté de tout excès d'humidité<sup>21</sup>. Ce processus, en plus de l'extraction initiale du gypse ou de la production de gypse désulfuré, nécessite de l'énergie généralement dérivée de combustibles fossiles. Bien que le gypse ne fasse pas partie des matériaux produisant le plus de carbone, il est très couramment utilisé, car il a de nombreuses applications en construction. Par conséquent, son impact carbone peut s'accumuler, et il est important de s'attaquer aux émissions de carbone intrinsèques des panneaux de gypse.

En Amérique du Nord, le marché du gypse à faible teneur en carbone est inexistant, à une exception près. La première **usine de fabrication de gypse à faible teneur en carbone** gérée par le producteur international de gypse Saint-Gobain, par l'intermédiaire de sa filiale CertainTeed Canada, commencera ses activités en 2025 à Montréal, au Québec. Pour atteindre des émissions de portées 1 et 2 près de zéro, l'installation réduit sa consommation d'énergie de 30 % et est entièrement alimentée par le réseau québécois, qui est principalement hydroélectrique<sup>22</sup>. Cela remplacera les systèmes d'alimentation au gaz naturel traditionnels qui émettent des GES, notamment du dioxyde de carbone, des oxydes d'azote, des monoxydes de carbone, des composés organiques volatils et bien encore<sup>23</sup>.

Dans l'ensemble, l'usine de Montréal va :

- Remplacer les brûleurs au gaz naturel par des éléments chauffants efficaces alimentés par l'hydroélectricité.
- Mettre en œuvre la récupération de chaleur.
- Améliorer la conception de l'air comprimé.
- Installer des compteurs d'énergie et des systèmes de gestion de l'énergie.
- Améliorer l'isolation des équipements.
- Ajouter des capteurs de traitement pour surveiller et améliorer la qualité de la production.
- Augmenter le contenu recyclé en utilisant des déchets pré et post-consommation.

Les prochaines étapes pour réduire les émissions de portée 3, en plus des portées 1 et 2, impliqueraient de trouver des solutions de rechange à faible émission de carbone dans la chaîne d'approvisionnement du gypse brut et dans les méthodes de fabrication.

---

## Analyse du marché et comparaison des émissions

Alors que certains des plus grands fabricants de gypse au monde se trouvent en Europe et en Asie, l'Amérique du Nord devient un acteur de plus en plus important avec de nombreuses grandes entreprises opérant aux États-Unis et au Canada.

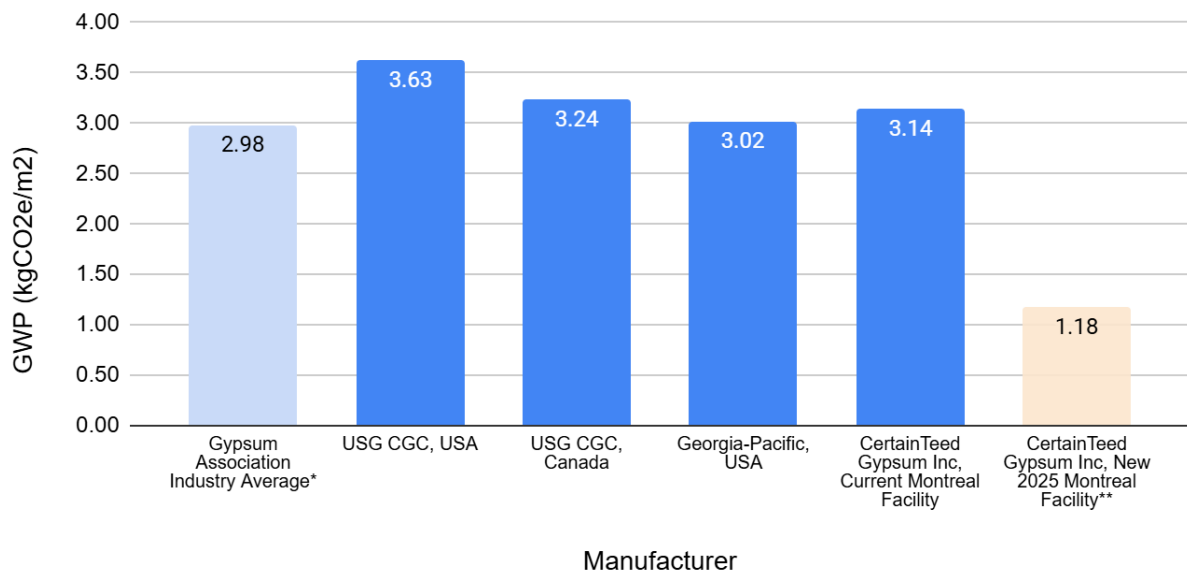
Saint-Gobain est l'un des plus grands fabricants de produits de gypse au monde. L'entreprise basée en France utilise à la fois du gypse extrait et du contenu recyclé. Elle fabrique dans le monde entier et de plus en plus en Amérique du Nord. Saint-Gobain propose des produits à base de gypse au sein de cinq marques : Gyproc, Placo, Rigips, British Gypsum et CertainTeed. Leurs produits à base de gypse comprennent des panneaux de gypse, du plâtre et des plafonds avec des utilisations individualisées, notamment pour les conditions météorologiques extérieures difficiles, pour améliorer la qualité de l'air intérieur et d'autres applications standard du gypse. Saint-Gobain se concentre depuis de nombreuses années sur la production durable de gypse et étend désormais ces pratiques en Amérique du Nord avec une nouvelle usine de gypse à faible émission de carbone à Montréal.

Les autres grands producteurs de gypse comprennent Knauf/USG, National Gypsum et Georgia-Pacific Building Products. USG a fusionné sous Knauf en 2019 et Knauf/USG représente une part importante de l'industrie du gypse. USG est la société mère américaine de ses produits de gypse canadiens, qui sont sous la marque Canadian Gypsum Company Inc. (CGC). USG CGC met l'accent sur le développement durable grâce à l'efficacité des ressources et à la réduction des déchets. Sa stratégie Ecoblueprint est accessible au public et décrit son parcours vers la réduction des émissions, le détournement des déchets et la réalisation d'ACV sur toutes les gammes de produits. De plus, USG CGC publie des déclarations environnementales de produit (DEP) pour plusieurs de ses produits de gypse.

National Gypsum possède cinq marques produisant des produits de gypse : Gold Bond, PermaBASE, ProForm, DEXcell et Purple Drywall Board. Ces marques produisent des cloisons sèches, du plâtre, des produits industriels, des panneaux de ciment, des produits prêts à l'emploi et d'autres produits de finition, ainsi que des produits de toiture pour diverses utilisations industrielles et résidentielles préfabriquées. La marque Gold Bond Building Products de National Gypsum possède et exploite certaines des plus grandes carrières de gypse aux États-Unis et au Canada, et contrôle donc son propre approvisionnement en gypse.

Alors que National Gypsum ne publie pas beaucoup sur ses efforts en matière de développement durable, Georgia-Pacific Building Products effectue des ACV du berceau à la tombe pour tous ses produits et produit des DEP. Georgia-Pacific Building Products propose entre autres des panneaux de gypse, du plâtre et des panneaux de plafond standards et plus spécialisés. Ses produits de poids et de durabilité variables démontrent une résistance au feu, une résistance aux moisissures et d'autres caractéristiques souhaitables des produits en gypse.

### GWP of 5/8" Type X Gypsum Boards (A1-A3)



**Figure 2 :** Comparaison du potentiel de réchauffement planétaire (PRP) des panneaux de gypse de type X de 5/8 po de certaines entreprises nord-américaines

\*La moyenne de l'industrie de l'association du gypse comprend les entreprises non présentées ci-dessus

\*\*Cette valeur est une estimation préliminaire basée sur le plan d'action de l'ACV des panneaux de gypse de Montréal de Saint-Gobain. Ce chiffre pourrait changer une fois que des données réelles seront disponibles<sup>24</sup>

Ces grandes entreprises ont l'occasion d'être des leaders en production de gypse durable, comme ces pratiques sont toujours émergentes dans l'industrie. Pour commencer, on peut s'inspirer des procédés de Saint-Gobain à Montréal pour identifier les domaines dans lesquels il est possible de réduire les émissions. Parmi les étapes du cycle de vie d'un bâtiment, Saint-Gobain a identifié les plus grandes occasions de réduction des émissions dans l'usine de Montréal aux étapes A2 et A3<sup>24</sup>. L'objectif est de démarrer la production en 2025.

#### 1. Transport de matières premières (A2)

- Augmenter le contenu recyclé jusqu'à 30 % pour réduire le besoin de transport de nouveaux matériaux, ce qui peut réduire le PRP de la production dans cette phase du cycle de vie jusqu'à 30 %.

#### 2. Fabrication (A3)

- Remplacer les systèmes de chauffage au gaz par des systèmes électriques à haut rendement branchés sur le réseau électrique québécois largement composé d'énergie renouvelable, ce qui peut réduire de près de 100 % le PRP de la production dans cette phase du cycle de vie.

## Contribution du gypse dans les assemblages de murs

La contribution des produits à base de gypse au carbone intrinsèque des bâtiments est rarement abordée dans un contexte nord-américain. Jusqu'à présent, le béton et l'acier ont dominé le débat sur les matériaux à faible teneur en carbone. Bien que ce soient des facteurs importants d'émissions de carbone intrinsèque, atteindre les objectifs de zéro émission nette nécessitera des réductions de carbone provenant de tous les matériaux. La section suivante détaille l'impact des produits à base de gypse sur le carbone intrinsèque des systèmes muraux typiques de la région de Toronto.

### Produits de gypse fréquents dans les murs

Le gypse est principalement utilisé dans les murs en raison de ses propriétés ignifuges, de sa résistance à la moisissure et de sa légèreté relative par rapport aux autres solutions ignifuges<sup>25</sup>. Les produits couramment utilisés pour les murs intérieurs sont les panneaux de gypse standard, de type X et de type C.

- Les panneaux de gypse standard recouverts de papier contiennent généralement du gypse sans aucun autre additif ignifuge.
- Le type X, afin d'obtenir un indice de résistance au feu tel que défini par la norme ASTM C1396, contient des fibres de verre incluses dans le mélange de gypse<sup>26</sup>. Ces fibres réduisent la fissuration lorsque les températures élevées déshydratent le gypse.
- Les panneaux de gypse de type C ne sont pas réglementés par la norme ASTM C1396, mais sont testés par UL. Ils ont une résistance au feu plus élevée, pour la même épaisseur, grâce à l'inclusion d'une plus grande quantité de fibres de verre en poids ainsi que de vermiculite<sup>27</sup>.

Les segments de murs extérieurs peuvent aussi comprendre des produits en gypse. Le revêtement extérieur en gypse comprend un panneau de gypse de type X recouvert de feuilles de fibre de verre. Ces panneaux offrent une excellente résistance au feu, à l'eau et à la moisissure, ce qui peut être précieux pour les assemblages de murs qui nécessitent une étanchéité supplémentaire pendant et au-delà de la phase de construction.

### Revue des assemblages de murs fréquents dans la région de Toronto

Les assemblages muraux de la région de Toronto utilisent une variété de matériaux. Ils sont généralement recouverts de briques, de pierre ou de béton, les constructions plus récentes utilisant également des tôles métalliques. En 2024, RDH Building Science et la Toronto Metropolitan University ont mené un examen complet des assemblages muraux les plus couramment utilisés<sup>28</sup>. Ils ont tenu compte des nouvelles constructions, du revêtement extérieur à la finition de la peinture intérieure. Ils ont également pris en compte les assemblages de murs ajoutés sur ou derrière la maçonnerie existante, que ce livre blanc utilise comme indicateur pour les rénovations de revêtement. La rénovation des bâtiments suscite de plus en plus d'intérêt en tant que solution aux émissions élevées de carbone liées au fonctionnement des bâtiments anciens tout en minimisant le carbone intrinsèque. Les considérations en matière de carbone

intrinsèque pour les rénovations sont assez différentes de celles des nouvelles constructions en raison du manque relatif de nouveaux matériaux à fortes émissions. Dans ce cas, d'autres matériaux, comme le gypse, ont une part d'émissions plus élevée.

Cette section donne un aperçu des résultats de l'étude de RDH en ce qui concerne le gypse à faible teneur en carbone, compte tenu des nouvelles constructions (murs intérieurs et extérieurs) et des rénovations. Les murs intérieurs, tels que spécifiés dans le manuel des systèmes de gypse et d'isolation de Certainteed, sont également inclus. Pour plus de détails sur les méthodologies utilisées et les assemblages de murs étudiés, voir l'annexe.

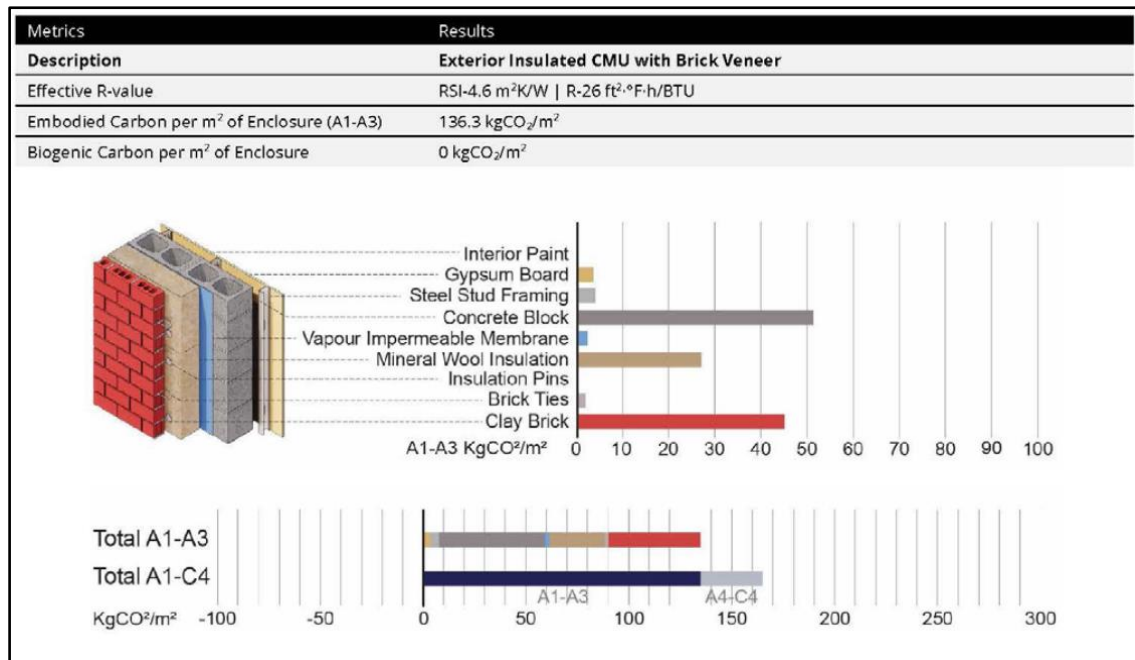
L'étude se concentre sur le carbone intrinsèque afin de fournir des conseils aux développeurs effectuant des comparaisons de conception à un stade précoce. Afin de réaliser des calculs représentatifs du carbone intrinsèque, une section de mur de 3 mètres sur 3 mètres est considérée afin d'inclure les structures internes répétitives pertinentes. Un segment de cette taille comprend plusieurs montants. Les étapes du cycle de vie A1 à A5 sont incluses. La majeure partie des émissions de tous les assemblages de murs provient du traitement des matières premières, de la fabrication et du transport (A1-A3), le transport vers le chantier de construction (A4) et la construction (A5) étant des sources d'émissions relativement plus petites.

Chaque assemblage mural peut être décomposé selon les éléments suivants :

- Revêtement – peut comprendre du gypse
- Isolant
- Structure de soutien
- Finition intérieure – comprend toujours du gypse

La figure 3 fournit des renseignements sur un assemblage de mur de briques typique. Il montre toutes les couches de matériaux, leur PRP total et la répartition par phase de l'ACV. Consultez l'annexe pour voir tous les assemblages muraux typiques.

La majeure partie du PRP d'un assemblage mural provient du revêtement, de l'isolation et de la structure de secours.



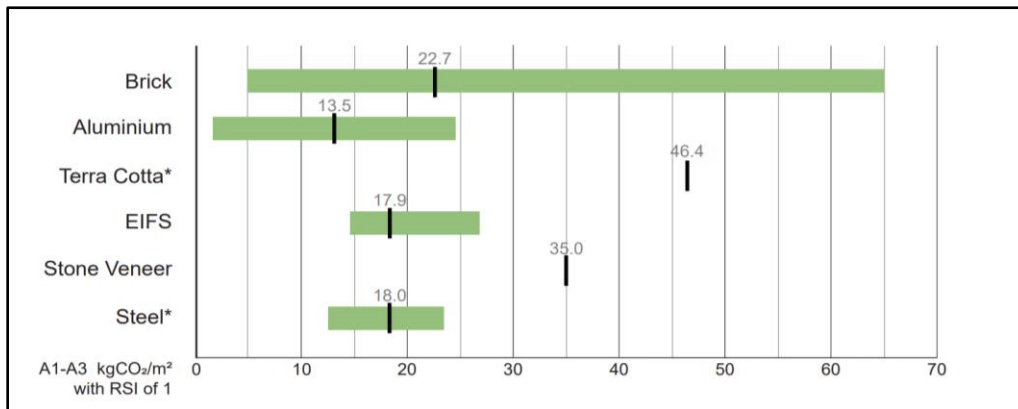
**Figure 3 :** Répartition des matériaux et du PRP d'un assemblage de mur typique -CMU isolé par l'extérieur avec parement de brique<sup>28</sup>

### Impact carbone des composants muraux qui ne sont pas en gypse

Dans la plupart des assemblages muraux typiques considérés, la quantité de gypse utilisée est généralement très constante. Les variations du carbone intrinsèque sont donc dues aux autres composants du mur. Afin de mieux comprendre l'impact du gypse sur les assemblages muraux, une brève description de tous les composants des murs est présentée.

#### Influence du type de revêtement

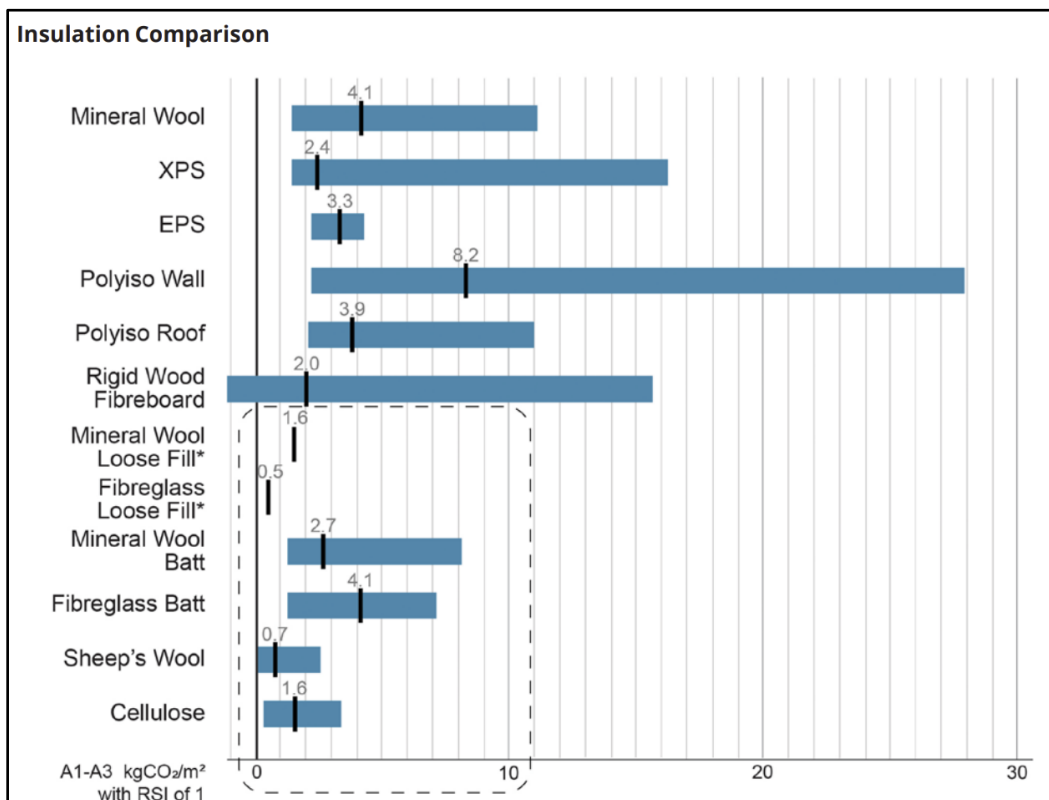
Le type de revêtement influence fortement le PRP total de chaque assemblage mural. Les matériaux considérés vont des éléments de maçonnerie aux tôles métalliques en passant par les systèmes d'isolation par l'extérieur avec enduit de finition (EIFS). Dans l'ensemble, les éléments plus minces ont des émissions associées plus faibles. Les différents procédés de fabrication du revêtement ont également un impact considérable sur le PRP du revêtement et de l'assemblage des murs.



**Figure 4 :** Comparaison des émissions intrinsèques des produits de revêtement pour les étapes A1-A3<sup>29</sup>

### Influence du type d'isolation

La laine minérale est de loin le type d'isolant le plus courant. XPS, EPS et polyiso sont aussi utilisés. La teneur en carbone intrinsèque de chacun varie considérablement selon les technologies utilisées pour fabriquer et installer chaque produit. Des précautions particulières doivent être prises lors de l'installation du XPS pour choisir un agent gonflant à faible PRP.



**Figure 5 :** Comparaison des émissions intrinsèques des matériaux isolants pour les étapes A1-A3<sup>30</sup>

### Influence de la structure de soutien

Les structures de soutien couramment utilisées dans la région de Toronto sont des poteaux en acier et en bois, ainsi que du béton. L'acier et le béton sont généralement utilisés pour les bâtiments plus hauts tandis que le bois est utilisé pour les maisons individuelles et les maisons de ville. Le bois a un PRP considérablement inférieur à celui des autres options et stocke également du carbone biogénique.

### Influence du gypse dans les assemblages de murs extérieurs – Nouvelle construction

Tous les assemblages de murs étudiés dans la région de Toronto comportent des panneaux de gypse dans la partie intérieure du mur. Les quantités utilisées sont identiques, de sorte que l'impact relatif du gypse sur le PRP de chaque segment de mur est déterminé par les autres composants du mur. Le PRP des panneaux de gypse pour les segments de mur de 3 m x 3 m étudiés est de 26 kg de CO<sub>2</sub>e. Certains assemblages de murs nécessitent des éléments ignifuges supplémentaires, comme un revêtement en gypse ou en béton. Le gypse a une teneur en carbone intrinsèque nettement inférieure à celle du béton, contribuant à hauteur de 42 kg de CO<sub>2</sub>e pour le segment de mur étudié. Les émissions associées aux produits à base de gypse varient de 1,7 % à 5,8 % pour tous les nouveaux assemblages de murs de construction considérés.

Il s'agit d'un pourcentage non négligeable du PRP d'un mur, et le choix d'un gypse à faible teneur en carbone est un moyen simple de favoriser la décarbonation totale du bâtiment sans affecter les délais de construction. De plus, la contribution relative du gypse au carbone intrinsèque augmente considérablement lorsqu'on prend en compte les rénovations de bâtiments qui n'impliquent pas de nouveaux systèmes de revêtement.

### Influence du gypse dans les assemblages de murs extérieurs - Rénovations de bâtiments

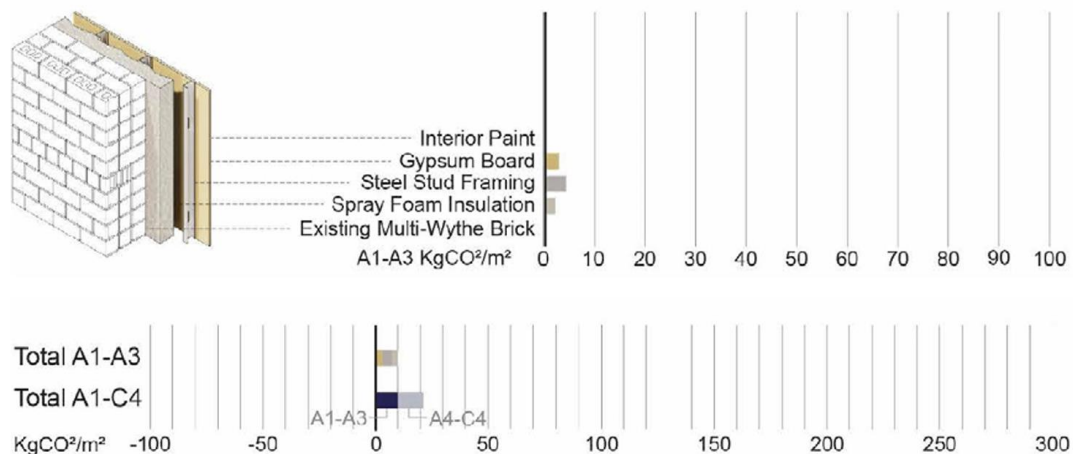
Un nombre croissant de juridictions à tous les niveaux de gouvernement, y compris la ville de Toronto, mettent l'accent sur les rénovations comme stratégie double favorisant les réductions opérationnelles et intrinsèques du carbone. Lorsqu'on envisage une rénovation de bâtiment qui préserve le revêtement extérieur, les matériaux traditionnels à fort impact comme le béton et l'acier sont en grande partie absents. Naturellement, cela mène à des réductions significatives des émissions de carbone intrinsèque par rapport à la démolition de bâtiments traditionnels et à la construction de nouveaux bâtiments.

Les considérations en matière de carbone intrinsèque dans les rénovations sont bien différentes de celles des nouvelles constructions. Outre les matériaux les plus émetteurs, d'autres, comme l'isolation, les panneaux de gypse et les finitions intérieures, dominent le tableau du carbone intrinsèque. Pour ceux qui souhaitent réduire l'impact carbone de leurs rénovations, il est donc essentiel de tenir compte des choix de matériaux qui pourraient autrement être négligés. Étant donné que les panneaux de gypse à faible teneur en carbone ont les mêmes propriétés



fonctionnelles et la même chaîne d'approvisionnement que les produits à base de gypse traditionnels, il s'agit d'un premier pas facile là où l'approvisionnement existe.

Metrics	Results
<b>Description</b>	<b>Existing Masonry with Interior Spray Foam Insulation</b>
Effective R-value	RSI-4.7 m <sup>2</sup> K/W   R-26.8 ft <sup>2</sup> ·°F·h/BTU
Embodied Carbon per m <sup>2</sup> of Enclosure (A1-A3)	9.8 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Biogenic Carbon per m <sup>2</sup> of Enclosure	0 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>

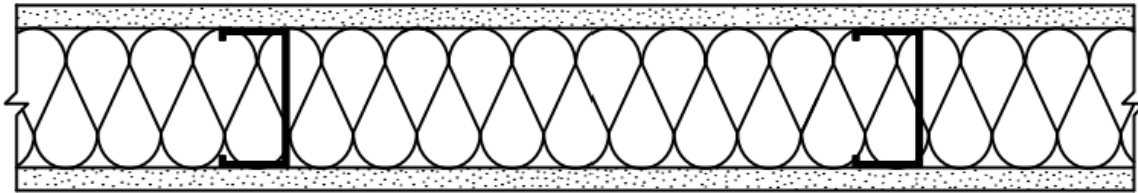


**Figure 6** : Répartition des matériaux et du PRP d'un mur rénové - maçonnerie existante avec isolation intérieure en mousse pulvérisée <sup>28</sup>

Lorsqu'un assemblage mural complet est ajouté sur une structure de maçonnerie existante, comme le montre la figure 6 ci-dessus, les panneaux de gypse peuvent représenter près de 30 % du PRP total<sup>31</sup>. Ce chiffre exclut le carbone intrinsèque dans la maçonnerie elle-même. De nombreuses rénovations de bâtiments conserveront le revêtement extérieur, à des fins de préservation historique ou de réduction des coûts. Dans une telle construction, il est clair que les panneaux de gypse ont un impact plus important sur le PRP, ce qui rend l'approvisionnement en matériaux ici important pour le carbone intrinsèque du projet.

### Influence du gypse dans les assemblages de murs intérieurs

Les assemblages de murs intérieurs sont des éléments de construction contenant beaucoup de gypse. Ils sont assez standards, comprenant généralement des montants en acier ou en bois et des panneaux de gypse de type X des deux côtés. Selon les exigences acoustiques, une isolation peut être ajoutée pour atténuer le bruit. La figure 7 ci-dessous montre un assemblage mural typique utilisant des panneaux de gypse de type X.



**Figure 7 :** Assemblage de mur intérieur résistant au feu pendant 1 heure avec montants en acier et isolation en fibre de verre (ULC U411) <sup>32</sup>

La contribution relative du gypse au PRP des murs intérieurs est beaucoup plus élevée que pour les assemblages de murs extérieurs, allant de 66 % à 80 % pour les assemblages de murs coupe-feu typiques (ULC U411 et cUL U309, respectivement. Voir les détails de l'assemblage des murs dans l'annexe) <sup>32,33</sup>. Par conséquent, l'impact potentiel de l'utilisation de gypse à faible teneur en carbone est important. Lors de la rénovation d'un bâtiment, le remplacement des murs intérieurs représentera également une part importante des émissions de carbone intrinsèques du projet.

## Conclusion

Les matériaux à base de gypse sont présents partout dans l'environnement bâti. Leur résistance au feu et à la moisissure, ainsi que leurs bonnes propriétés d'amortissement acoustique, les rendent extrêmement utiles pour les finitions intérieures. Dans la région de Toronto, les panneaux de gypse sont omniprésents dans les assemblages muraux. La réduction de l'impact du gypse sur le réchauffement climatique pourrait donc accélérer la réduction des émissions à mesure que l'industrie de la construction se décarbone. Un examen des assemblages de murs courants a démontré que les premiers choix de conception peuvent avoir un impact important sur le carbone intrinsèque de l'ensemble du produit. D'importantes économies de carbone proviennent de changements dans les matériaux de revêtement, les matériaux d'isolation et la structure de soutien. La contribution du gypse aux assemblages de murs extérieurs, bien qu'inférieure à celle des autres composants des murs, est néanmoins significative, se situant entre 1,7 % et 5,8 %.

Le gypse contribue au carbone intrinsèque dans les nouvelles constructions. Toutefois, une plus grande attention est désormais portée à la rénovation des bâtiments existants où l'impact du gypse est plus élevé. Les rénovations ont généralement des émissions intrinsèques inférieures à celles des nouvelles constructions, car les systèmes structurels à haute teneur en carbone intrinsèque sont souvent conservés et, dans certains cas, l'enveloppe est également conservée. Pour que le secteur de la construction se décarbone, il faut mettre davantage l'accent sur les rénovations. En règle générale, ces projets laissent le noyau et l'enveloppe d'un édifice intacts. Lorsqu'on considère les éléments intérieurs d'un bâtiment, des matériaux tels que le gypse contribuent beaucoup plus aux émissions globales intrinsèques du projet. Dans

cette situation, l'utilisation de panneaux de gypse à faible teneur en carbone intrinsèque entraînera des réductions significatives des émissions de carbone.

De plus, l'adoption précoce de gypse et de matériaux de construction à faible teneur en carbone contribue à stabiliser la chaîne d'approvisionnement d'une entreprise. Développer des relations matures avec des fournisseurs à faibles émissions de carbone sera avantageux à mesure que la demande de matériaux spécifiques à faibles émissions de carbone augmente. Cet avantage concurrentiel sera crucial à mesure que ces matériaux deviendront courants. L'adoption précoce et la familiarité avec les matériaux à faible émission de carbone positionneront les entreprises comme des chefs de file du secteur.

### Gypse vert et autres initiatives à faibles émissions de carbone

Outre la contribution du gypse au PRP des façades et notamment des murs intérieurs, le gypse à faible teneur en carbone complète et peut stimuler d'autres initiatives à faible teneur en carbone. La décarbonation a de multiples facettes, et le gypse à faible teneur en carbone représente une occasion importante d'ajouter une nouvelle pièce au casse-tête.

Le gypse à faible teneur en carbone contribue à un certain nombre de crédits de qualité environnementale dans le cadre du **système d'évaluation LEED**, notamment, mais sans s'y limiter :

- Qualité de l'environnement intérieur : rendement acoustique
- Qualité de l'environnement intérieur : matériaux à faibles émissions
- Qualité de l'environnement intérieur : gestion de la qualité de l'air intérieur en construction
- Matières et ressources : approvisionnement en matières premières
- Matières et ressources : divulgation et optimisation des produits de construction - ingrédients des matériaux
- Matières et ressources : déclarations environnementales de produits

Avec des crédits LEED possibles dans de nombreuses catégories, le gypse à faible teneur en carbone peut contribuer à un score LEED global et à une certification plus élevés.

En plus de la certification LEED, le gypse à faible teneur en carbone peut jouer un rôle important dans les efforts et les normes de décarbonation régionales. Par exemple, la version 4 de la **Norme verte de Toronto** exige des matériaux de construction à faible teneur en carbone pour limiter le carbone intrinsèque provenant des nouveaux développements appartenant à la ville et, éventuellement, des projets de construction privés. L'utilisation de gypse à faible teneur en carbone peut aider à réduire les émissions. La Norme verte de Toronto est une norme juridictionnelle de premier plan en Amérique du Nord et elle prévoit l'orientation d'une réglementation plus répandue à venir. En fait, d'autres juridictions en Amérique du Nord mettent déjà en œuvre des politiques d'achat responsable, dont certaines s'appliqueront probablement aux intérieurs et au gypse<sup>34</sup>. Cela démontre l'importance de trouver des solutions de rechange à faible émission de carbone dans les étapes de conception, d'approvisionnement et de construction. Le gypse à faible teneur en carbone offre une opportunité à cet égard.

De plus en plus, les organisations publiques et privées fixent également des **objectifs internes de réduction des émissions de GES**. Ces normes sont souvent alignées sur des normes de rendement et des orientations volontaires comme le Protocole des GES et le SBTi.

Parallèlement à d'autres normes acceptées par l'industrie, le protocole des GHG et le SBTi se concentrent sur la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et sur les réductions du carbone intrinsèque. La contribution du gypse à faible teneur en carbone à la réduction des GES au cours des étapes A2-A3 du cycle de vie démontre l'importance de ce matériau dans la réalisation des initiatives internes et externes de réduction des émissions de carbone.

Comme mentionné précédemment, la décarbonation est multiforme et la décarbonation du secteur de la construction nécessitera des efforts sur tous les fronts. Il sera nécessaire d'explorer des solutions de rechange à faibles émissions de carbone pour tous les matériaux de construction, parallèlement aux considérations relatives à l'approvisionnement, à la construction et à l'exploitation des bâtiments. Le déploiement de versions à faible émission de carbone de matériaux très courants tels que le gypse sera essentiel pour parvenir à une décarbonation à l'échelle du secteur. Le gypse à faible teneur en carbone est un exemple important des progrès qui peuvent être réalisés aujourd'hui à partir de matériaux de construction courants.

## Considérations de la politique

Bien que la Norme verte de Toronto demeure un instrument réglementaire de premier plan en Amérique du Nord, une politique plus complète et plus répandue est nécessaire pour guider l'industrie vers la décarbonation des matériaux de construction.

Les politiques susmentionnées n'encouragent pas encore explicitement les matériaux à faible teneur en carbone, se concentrant pour l'instant presque exclusivement sur le béton et l'acier. Des politiques plus fortes visant à décarboner les matériaux de construction tels que le gypse sont nécessaires pour pousser l'industrie à faire des solutions à faible émission de carbone la norme. De telles politiques sont également nécessaires pour donner une orientation plus claire et plus standardisée à ceux qui sont prêts à commencer la décarbonation aujourd'hui, mais ne savent peut-être pas par où commencer. Une politique approfondie peut également mieux relier les efforts de décarbonation des matériaux de construction entre les secteurs public et privé, et entre les acteurs du secteur de la construction, afin de couvrir la décarbonation « du berceau à la tombe ».

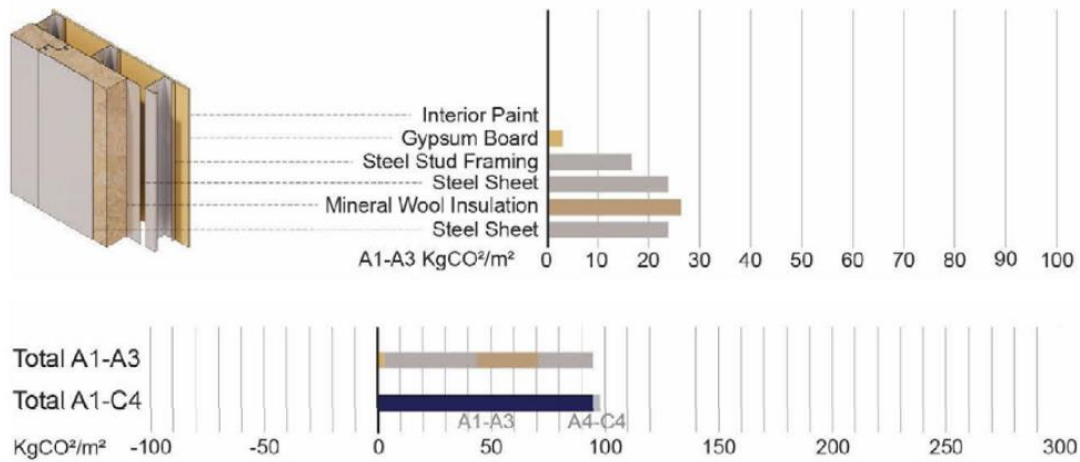
La réduction des émissions de portée 3 est un élément nécessaire de la décarbonation du secteur de la construction et du monde d'aujourd'hui en général. Les matériaux de construction jouent un rôle important dans les étapes A1 à A5 du cycle de vie des bâtiments et sont donc nécessaires pour atteindre les étapes de la portée 3. Le gypse joue un rôle important à cet égard, car les produits à base de gypse sont parmi les plus couramment utilisés dans les bâtiments.

## Annexe

### Assemblage de mur extérieur typique de l'étude comparative 2024 de RDH : nouvelles ressources de conception pour les cibles de carbone intrinsèque

**Figure 8 :** assemblage mural typique : panneau métallique isolé avec isolation en laine minérale<sup>28</sup>

Metrics	Results
<b>Description</b>	<b>Insulated Metal Panel with Mineral Wool Insulation</b>
Effective R-value	RSI-4.4 m <sup>2</sup> K/W   R-24.9 ft <sup>2</sup> ·°F·h/BTU
Embodied Carbon per m <sup>2</sup> of Enclosure (A1-A3)	94.49 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Biogenic Carbon per m <sup>2</sup> of Enclosure	0 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>



**Figure 9 :** émissions de carbone intrinsèques (A1-A3) pour une zone d'assemblage de 9 m<sup>2</sup> <sup>28</sup>

Category	Material	Description (from EPD)	Thickness	Material Volume	Carbon Emissions (A1-A3)	% of total
Units			mm	m <sup>3</sup>	kgCO <sub>2</sub> e	%
Finish	Interior Paint	Eggshell acrylic paint, 1294.29 kg/m <sup>3</sup>	-	0.0014	0.6	0.07%
Finish	Gypsum Board	Gypsum plaster board, regular, generic, 6.5-25 mm, 10.725 kg/m <sup>2</sup> (for 12.5 mm), 858 kg/m <sup>3</sup>	12.7 (0.5")	0.114	26.04	3.06%
Interior finish support	Steel Stud Framing	Steel stud framing for drywall/gypsum plasterboard per sq. meter of wall area (incl. air gaps per m <sup>3</sup> ), C-profile: 152.4 mm x 76.2 mm, gauge 20 (40 cm) spacing	152.4 (6")	*	158.39	18.62%
Interior Finish	Steel sheet	Steel façade panel (Metal Construction Association)	1 (0.039")	0.009	211.62	24.88%
Exterior Insulation	Exterior Insulation Mineral Wool (Semi-rigid)	Heavy density mineral wool board, 1 m <sup>2</sup> K/W, 34 mm, 4.2 kg/m <sup>2</sup> , 123.52 kg/m <sup>3</sup> , Industry average US (NAIMA)	152.4 (6")	1.37	242.18	28.48%
Exterior Finish	Steel sheet	Steel façade panel (Metal Construction Association)	1 (0.04")	0.009	211.62	24.88%
<b>TOTAL</b>					<b>850.45</b>	<b>100.0%</b>

**Figure 10 :** émissions environnementales (A1-C4) pour une zone d'assemblage de 9 m<sup>2</sup> <sup>28</sup>







Lifecycle Stage		A1 to C4	A1-A3	A4-A5	B1-B5	C1-C4	A1-A3 Contribution to total
Category	Units	Total	Construction Materials	Transport to Site & Construction	Material Replacement & Refurbishment	Deconstruction	%
Global Warming	kg CO2e	<b>880.78</b>	850.44	7.08	8.78	14.48	<b>96.56%</b>
Acidification	kg SO	<b>3.02</b>	2.89	0.04	0.05	0.05	<b>95.60%</b>
Eutrophication	kg Ne	<b>0.18</b>	0.16	0.01	0.0028	0.01	<b>88.71%</b>
Ozone Depletion	kg CFC11e	<b>0.00002</b>	0.000012	0.000002	0.000001	0.000009	<b>77.91%</b>
Formation of Tropospheric Ozone	kg O3e	<b>59.42</b>	56.44	1.14	0.98	0.86	<b>94.98%</b>
Fossil Fuel Primary Energy	MJ	<b>8,324.56</b>	7,913.47	201.28	68.36	141.45	<b>95.06%</b>
Biogenic Carbon Storage	kg CO2e	<b>0</b>	0	0	0	0	

Pour plus d'informations sur d'autres assemblages de murs extérieurs typiques, veuillez consulter le [rapport de RDH lié ici](#).

## Assemblage de mur intérieur typique du manuel canadien des systèmes de gypse et d'isolation de Certainteed

Figure 11 : spécifications techniques du type de mur intérieur ULC U411 <sup>32</sup>

**Indice de résistance au feu d'une heure - (1 heure)**

Conception antifeu d'une heure ULC U411	Détails du système coupe-feu
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panneaux de gypse de type X CertainTeed</li> <li>• Montants d'acier de 92 mm (3 5/8 po) sur 0,45 mm (0,018 po) min., espacés de 610 mm (24 po) c. à c. max.</li> <li>• Isolant en fibre de verre de CertainTeed facultatif</li> <li>• Profilé résilient facultatif</li> <li>• Apposer du ruban et finir la couche extérieure avec les produits CertainTeed</li> <li>• Assemblage similaire cUL U465</li> </ul>
Assemblage	Détails acoustiques
	Une couche de type X de chaque côté Montants de 92 mm (0,45 mm) espacés de 610 mm c. à c.
	Une couche de type X de chaque côté Montants de 92 mm (0,45 mm) espacés de 610 mm c. à c. et isolant en fibre de verre de 89 mm
	Une couche de type X d'un côté Deux couches de type X de l'autre côté Montants de 92 mm (0,45 mm) espacés de 610 mm c. à c. et isolant en fibre de verre de 89 mm
	Une couche de panneaux SilentFX™ QuickCut™ de type X d'un côté et une couche de type X de l'autre côté Montants de 92 mm (0,45 mm) espacés de 610 mm c. à c. et isolant en fibre de verre de 89 mm
	Une couche SilentFX™ QuickCut™ de type X de chaque côté, montants de 92 mm (0,45 mm), espacés de 610 mm c. à c. et isolant en fibre de verre de 89 mm
	Profilés résiliants à 610 mm c. à c. avec une couche SilentFX™ QuickCut™ de type X d'un côté Deux couches de type X de l'autre côté Montants de 92 mm (0,45 mm) espacés de 610 mm c. à c. et isolant en fibre de verre de 89 mm

Pour plus d'informations sur d'autres assemblages de murs intérieurs typiques, veuillez consulter le [Manuel des systèmes de gypse et d'isolation de CertainTeed](#).

## Notes de fin

1. Shoemaker, S. (n.d.). *NREL researchers reveal how buildings across United States do-and could-use energy*. NREL. <https://www.nrel.gov/news/features/2023/nrel-researchers-reveal-how-buildings-across-the-united-states-do-and-could-use-energy>.
2. Nations Unies. (n.d.). *1,5 °C : ce que ça signifie et pourquoi c'est important*. Nations Unies. <https://www.un.org/fr/climatechange/science/climate-issues/degrees-matter>
3. *Matériaux de construction et climat : Construire un nouvel avenir*. ONU. (n.d.). <https://www.unep.org/fr/resources/rapport/materiaux-de-construction-et-climat-construire-un-nouvel-avenir>
4. *Défi du carbone*. Carbon Leadership Forum. (26 août 2024). <https://carbonleadershipforum.org/fr/carbon-challenge/>
5. Conseil du Bâtiment Durable du Canada. (2021). (rep.). *Carbone intrinsèque : un bilan pour les bâtiments au Canada*. Récupéré en 2024 de <https://www.cagbc.org/wp-content/uploads/2022/03/Embodied-carbon-white-paper-March-2022.pdf>.
6. Masson, S. (2023). *Life Cycle Stages*. <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064999-Life-Cycle-Stages>. Récupéré en 2024.
7. ONU. (12 septembre 2023). *Matériaux de construction et climat : Construire un nouvel avenir*. ONU. <https://www.unep.org/fr/resources/rapport/materiaux-de-construction-et-climat-construire-un-nouvel-avenir>
8. Lewis, M., Waldman, B. et Lambert, M. (juin 2024). *2 - EPD 101 : Embodied Carbon Accounting for Materials (DEP 101 : comptabilisation du carbone intrinsèque des matériaux)*. <https://carbonleadershipforum.org/environmental-product-declarations-epd-101/>
9. Vérin, A., & Poirier, M. (2024). (rep.). *La décarbonation du chauffage des bâtiments Analyse juridictionnelle*. Récupéré en 2024, de [https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://buildingdecarbonization.ca/wp-content/uploads/2024/09/ADB\\_Analyse\\_Juridictionnelle\\_V2.0\\_FR.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://buildingdecarbonization.ca/wp-content/uploads/2024/09/ADB_Analyse_Juridictionnelle_V2.0_FR.pdf).
10. *Toronto Green Standard: Overview (Norme verte de Toronto : aperçu)*. Ville de Toronto. (22 décembre 2021). <https://www.toronto.ca/city-government/planning-development/official-plan-guidelines/toronto-green-standard/toronto-green-standard-overview/>
11. *LEED*. Conseil du Bâtiment Durable du Canada (CAGBC). (n.d.). <https://www.cagbc.org/fr/notre-travail/certifications/leed/>
12. *Normes du bâtiment à carbone zéro*. Conseil du Bâtiment Durable du Canada (CAGBC). (24 juin 2024). <https://www.cagbc.org/fr/notre-travail/certifications/normes-du-batiment-a-carbone-zero/>
13. *For companies and organizations: GHG protocol. (Pour les entreprises et les organisations : protocole des GES)* (n.d.). <https://ghgprotocol.org/companies-and-organizations>



14. *Corporate value chain (scope 3) standard: GHG protocol.* (Norme relative à la chaîne de valeur de l'entreprise [portée 3] : Protocole des GES) (1<sup>er</sup> mai 2013). <https://ghgprotocol.org/corporate-value-chain-scope-3-standard>
15. *The SBTi unveils framework to accelerate buildings sector's alignment with net-zero targets* (Le SBTi dévoile un cadre visant à accélérer l'alignement du secteur du bâtiment sur les objectifs de zéro émission nette). Science Based Targets Initiative. (28 août 2024). <https://sciencebasedtargets.org/news/the-sbti-unveils-framework-to-accelerate-buildings-sectors-alignment-with-net-zero-targets>
16. *Infrastructure and construction materials guide – gypsum* (Guide des infrastructures et des matériaux de construction – gypse). Minerals Education Coalition. (n.d.). <https://mineralseducationcoalition.org/mining-minerals-information/guide-gypsum/>
17. *Gypsum* (Gypse). Minerals Education Coalition. (n.d.). <https://mineralseducationcoalition.org/minerals-database/gypsum/>
18. *FGD Gypsum Production Process (Processus de production de gypse désulfuré)*. Gypsum Association. (n.d.). <https://gypsum.org/fgd-gypsum-production-process/>
19. Jaganmohan, M. (22 mai 2024). *Gypsum mine production top countries 2023 (principaux pays producteurs de mines de gypse en 2023)*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/264936/global-gypsum-production-by-major-countries/>
20. *Gypse*. L'Encyclopédie canadienne. (7 février 2006). <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/gypse>
21. *Making Gypsum Board* (Fabrication de panneaux de gypse). Gypsum Association. (n.d.). <https://gypsum.org/making-gypsum-board/>
22. CertainTeed Canada, Inc. (2024). *Transformer nos promesses en actions concrètes*. Mississauga; CertainTeed Canada. Récupéré en 2024, de <https://certainteed.widen.net/s/q5wznrjvdr/montreal-low-carbon-brochure-08-00-4309-ca-fr-2407ctg-2>.
23. EPA. (n.d.). (rep.). *1.4 Natural Gas Combustion* (Combustion du gaz naturel). Récupéré en 2024, de [https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.4\\_natural\\_gas\\_combustion.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.4_natural_gas_combustion.pdf).
24. D'après les estimations préliminaires fournies par Saint-Gobain.
25. Kubba, S. (2017). Green Building Materials and Products (Matériaux et produits de construction écologiques). *Handbook of Green Building Design and Construction*, 257–351. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810433-0.00006-x>
26. Équipe USG. (n.d.). *Type X vs. type C: Not all gypsum boards are created equal* (Type X contre type C : tous les panneaux de gypse ne s'équivalent pas). USG. [https://www.usg.com/content/usgcom/en\\_CA\\_east/blog/type-x-vs-type-c-wallboard.html](https://www.usg.com/content/usgcom/en_CA_east/blog/type-x-vs-type-c-wallboard.html)
27. Équipe USG. (n.d.). *Type X vs. type C: Not all gypsum boards are created equal* (Type X contre type C : tous les panneaux de gypse ne s'équivalent pas). USG.

---

[https://www.usg.com/content/usgcom/en\\_CA\\_east/blog/type-x-vs-type-c-wallboard.html](https://www.usg.com/content/usgcom/en_CA_east/blog/type-x-vs-type-c-wallboard.html)

28. Beznogova, Anna, Chris Magwood, Christina Pascoa, Doug Webber, Duncan Rowe et Ghazal Sonboli. « New Design Resources for Embodied Carbon Targets » (Nouvelles ressources de conception pour les objectifs en matière de carbone intrinsèque). RDH Building Science, Toronto Metropolitan University, The Atmospheric Fund, 2024.
29. Beznogova, Anna, Chris Magwood, Christina Pascoa, Doug Webber, Duncan Rowe et Ghazal Sonboli. « New Design Resources for Embodied Carbon Targets » (Nouvelles ressources de conception pour les objectifs en matière de carbone intrinsèque). RDH Building Science, Toronto Metropolitan University, The Atmospheric Fund, 2024.
30. Beznogova, Anna, Chris Magwood, Christina Pascoa, Doug Webber, Duncan Rowe et Ghazal Sonboli. « New Design Resources for Embodied Carbon Targets » (Nouvelles ressources de conception pour les objectifs en matière de carbone intrinsèque). RDH Building Science, Toronto Metropolitan University, The Atmospheric Fund, 2024.
31. Beznogova, Anna, Chris Magwood, Christina Pascoa, Doug Webber, Duncan Rowe et Ghazal Sonboli. « New Design Resources for Embodied Carbon Targets » (Nouvelles ressources de conception pour les objectifs en matière de carbone intrinsèque). RDH Building Science, Toronto Metropolitan University, The Atmospheric Fund, 2024.
32. Saint-Gobain. Manuel canadien des systèmes de gypse et d'isolation – Conception de résistance au feu et d'insonorisation. n.d. <https://certainteed.widen.net/content/5y5bn3ne94/pdf/gypsum-systems-manual-07-00-1739-CA-EN-2404ctg.pdf?u=nwk4fd>.
33. Les calculs du PRP ont été effectués à l'aide de la base de données EPD de One Click LCA - « OneClick LCA », 2024.
34. Pour plus d'informations, voir l'annonce de la Maison-Blanche d'octobre 2024 sur les matériaux de construction propres ici : <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2024/10/16/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-new-commitments-to-bolster-innovative-and-clean-construction-materials-across-the-united-states/>.