

**Étude de la filière du gypse
synthétique au Québec**

Jun 2019

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iii
Liste des sigles et acronymes utilisés	iv
Sommaire exécutif	1
Définition du gypse synthétique	3
Présentation du gypse synthétique	3
Anhydrite	3
Titano-gypse	4
Désulfo-gypse ou gypse FGD (Flue-Gas Desulphurization)	4
Autres sources de gypse synthétique	5
Problématiques et enjeux du gypse synthétique	6
Minéral peu connu	6
Coût d'enfouissement et coût du marché	6
La chaîne de valeur du gypse synthétique au Québec	8
Les étapes de la chaîne de valeur	8
Production	8
Distribution	9
Débouchés	10
Disposition en fin de vie	11
Représentation des flux de la filière québécoise de gypse synthétique	12
Balisage externe	14
La filière du gypse synthétique aux États-Unis	14
Production	14
Usage	15
Disposition en fin de vie	17
La filière du gypse synthétique en Allemagne	17
Production	17
Usage	17

Disposition en fin de vie	18
La filière du gypse synthétique en France	18
Production	18
Usage	18
Disposition en fin de vie	18
Le gypse synthétique en Australie	18
Production	18
Usage	19
Disposition en fin de vie	19
Options d'économie circulaire pour la filière du gypse synthétique au Québec	20
Une filière axée sur la symbiose industrielle	20
Caractérisation de la matière	20
Organisation de projets pilotes pour développer les débouchés potentiels	20
Accroître les informations disponibles sur le marché du gypse synthétique au Québec	21
Faciliter les démarches réglementaires pour l'utilisation du gypse en agriculture	21
Conclusion	22
Annexe A : entrevues réalisées	23
Bibliographie	24

Liste des figures

Figure 1 : Représentation des flux de la filière québécoise de gypse synthétique	12
Figure 2 : Production de gypse synthétique aux États-Unis de 2002 à 2017	14
Figure 3 : Proportion du gypse synthétique dans le total du gypse produit aux États-Unis en 2017	15
Figure 4 : Utilisation du désulfo-gypse aux États-Unis de 2002 à 2017	16
Figure 5 : Débouchés du désulfo-gypse aux États-Unis en 2017	16

Liste des tableaux

Tableau 1 : Production de gypse synthétique au Québec.....	9
--	---

Liste des sigles et acronymes utilisés

ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments
CA	Certificat d'autorisation
FDG	<i>Flue-Gas Desulphurization</i> ou désulfuration des fumées
LES	Lieux d'enfouissement sanitaire
LET	Lieux d'enfouissement technique
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
DMS	Dépôts de matériaux secs
LED CD	Lieux d'enfouissement de débris de construction et démolition
UE	Union Européenne

Sommaire exécutif

Cette étude vise à définir la chaîne de valeur du gypse synthétique au Québec, et à définir la gestion actuelle du gypse synthétique résiduel. Elle inclut les producteurs de gypse, les débouchés, ainsi que la gestion de la matière résiduelle.

La première étape de cette étude a consisté en une revue de la littérature sur le gypse synthétique et la filière québécoise. Le gypse est un minéral sédimentaire utilisé depuis l'antiquité dans le secteur de la construction. Il est composé de sulfates hydratés de Calcium ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$).

Aujourd'hui, on trouve du gypse sous trois formes :

- Le gypse naturel, exploitable en carrière,
- Le gypse synthétique, qui désigne une famille de gypses qui sont des sous-produits de procédés de traitements chimiques industriels, et
- Le gypse recyclé, qui désigne du gypse naturel ou synthétique recyclé suite à un premier usage.

Ces trois formes de gypse ont des compositions chimiques similaires, mais peuvent contenir des impuretés, surtout dans le cas de certains gypses synthétiques¹ et recyclés, qui peuvent limiter leur utilisation. Selon plusieurs spécialistes consultés, le coût de purification pour enlever les impuretés parfois contenues dans le gypse est trop élevé.

Le manque d'information publique sur la filière québécoise de gypse synthétique a nécessité le recours à des entrevues avec les organisations participantes de la chaîne de valeur du gypse synthétique ainsi qu'avec des experts de l'industrie.

Ces recherches ont permis d'identifier trois types de gypse utilisés au Québec : l'anhydrite, le titano-gypse, et le désulfo-gypse. La grande majorité du gypse synthétique produit au Québec est de bonne qualité et est produit par un nombre très restreint d'organisations. Cette observation résulte en un partage limité d'informations sur les quantités produites, les données étant considérées confidentielles.

Le gypse synthétique produit au Québec est utilisé majoritairement dans le secteur agricole et dans la production de panneaux de gypse. L'utilisation de gypse synthétique dans la production de ciment est encore limitée au Québec, même si cette pratique semblait en développement dans plusieurs cimenteries québécoises lors de la réalisation de l'étude.

Le balisage des filières de gypse synthétique aux États-Unis (É-U), en Allemagne, en France et en Australie a permis d'observer que les sources

¹ Certains gypses synthétiques comme le désulfo-gypse ou le titano-gypse contiennent peu d'impuretés, tandis que le phospho-gypse et le citro-gypse contiennent plus d'impuretés.

de production du gypse synthétique varient. D'autre part les débouchés sont généralement les mêmes au Québec en Allemagne et aux É-U, bien que les proportions de chaque débouché varient d'une juridiction à l'autre. De plus ce balisage a permis d'évaluer la gestion du gypse synthétique au Québec et la quantité de gypse synthétique envoyé en site d'enfouissement. Il semblerait que le Québec ait un taux d'utilisation plus élevé que les É-U pour le gypse synthétique puisque seulement une portion minoritaire de la production de gypse synthétique est envoyée en sites d'enfouissement au Québec².

L'utilisation du gypse synthétique au Québec s'inscrit donc dans une démarche d'économie circulaire axée sur la symbiose industrielle. Des options d'optimisations de la filière ont été identifiées et consistent en la production d'information sur le gypse synthétique pour en faciliter l'usage.

Enfin le gypse synthétique produit au Québec pourrait permettre de faciliter le recyclage de panneaux de gypse. Le mélange de gypse recyclé, contenant des impuretés, avec du gypse synthétique très pur³, permettrait de réduire le niveau d'impureté du produit final composé de gypse synthétique et recyclé. Ce mélange de gypse synthétique et recyclé pourrait alors servir aux débouchés identifiés dans le marché québécois.

² Au Québec, moins de 10 % du gypse synthétique produit est envoyé en sites d'enfouissement, tandis que aux É-U en 2017, environ 30 % du désulfo-gypse produit était enfoui.

³ Le gypse synthétique produit au Québec (anhydrite, titano-gypse, désulfo-gypse) contient peu d'impuretés

Définition du gypse synthétique

Présentation du gypse synthétique

Le gypse synthétique est un sous-produit de divers traitements chimiques industriels (L'élémentarium, 2017). Il est notamment produit par l'extraction du soufre des gaz de combustion, par la production d'engrais phosphatés ou encore par la production d'oxyde de titane, un pigment blanc largement utilisé (Claisse, Ganjian, & Tyrer, 2008). Le niveau de pureté du gypse synthétique ainsi que les impuretés qu'il contient dépendent du type de gypse et de son mode de production. Dans certains cas, le gypse synthétique peut avoir des propriétés similaires à celles du gypse naturel et être utilisé en substitut de ce dernier.

Cette étude couvre le gypse synthétique produit et utilisé au Québec, qui provient de plusieurs sources différentes :

- Anhydrite
- Titano-gypse
- Gypse FGD ou désulfo-gypse
- Autres sources de gypse synthétique

Anhydrite

Composition chimique

L'anhydrite a une composition chimique similaire à celle du gypse, mais sans molécule d'eau. La formule chimique de l'anhydrite est : CaSO_4 . (Euro Gypsum, 2007)

Production

L'anhydrite est un sous-produit de l'industrie de l'acide fluorhydrique. Pour produire l'acide fluorhydrique, on chauffe de la fluorite avec de l'acide sulfurique. « La réaction est généralement conduite dans des conditions sèches à des températures élevées, le sulfate de calcium qui est produit est donc sous forme anhydre, ce qui est de l'anhydrite. » (Euro Gypsum, 2007). Chaque tonne d'acide fluorhydrique produite entraîne la production de 3,5 tonnes d'anhydrite (Geology.com, 2019).

Usage

L'anhydrite peut être utilisée dans la production de ciment, en remplacement du gypse naturel. L'anhydrite peut également être utilisée en application sur les sols dans l'industrie agricole en apport de calcium. Un usage moins répandu de l'anhydrite est le traitement des sols pollués pour limiter la propagation des contaminants (Anhydritech, 2014).

Titano-gypse

Composition chimique

Le titano-gypse est composé de sulfates de calcium ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (L'élémentarium, 2017), il est identique au désulfo-gypse.

Production

Le titano-gypse est un sous-produit de l'industrie du dioxyde de titane. Le dioxyde de titane est produit selon deux procédés : le procédé au chlore qui produisait 3,4 millions de tonnes d'oxyde de titane en 2014 à échelle mondiale et le procédé sulfurique qui produisait 3,8 millions de tonnes d'oxyde de titane dans le monde la même année. Le procédé au chlore ne produit pas de gypse. Le procédé sulfurique utilise principalement de l'ilménite qui est broyée et attaquée à l'acide sulfurique. Les réactions chimiques entraînent ensuite la production d'un effluent constitué par des ions Fe^{2+} . La neutralisation de cet effluent par de la chaux et du calcaire permet d'éliminer les rejets acides et de fer. Après neutralisation, le procédé produit du sulfate de calcium mélangé avec des oxyhydroxydes de titane et de fer (L'élémentarium, 2019) (L'élémentarium, 2017). Parmi le gypse produit par le procédé à l'acide sulfurique, 50 % est appelé titano-gypse et peut-être utilisés comme substitut au gypse naturel. L'autre 50% est du gypse rouge qui contient 75 % de gypse et 25 % d'amas ferreux en masse sèche. Ces impuretés empêchent l'utilisation du gypse rouge dans l'industrie du gypse. (Claisse, Ganjian, & Tyrer, 2008)

Le processus à l'acide sulfurique représente 70 % de la production en Europe et 52 % de la production en Chine, mais n'est pas utilisé aux É-U. Les trois premiers pays producteurs de titano-gypse sont la Chine, les États-Unis et l'Allemagne (L'élémentarium, 2019).

Usage

Le titano-gypse est un substitut au gypse naturel, il entre dans la composition de planches de gypse et de ciment (Claisse, Ganjian, & Tyrer, 2008) (Authority of the Minister of the Environment, 2000).

Désulfo-gypse ou gypse FGD (Flue-Gas Desulphurization)

Composition chimique

Le désulfo-gypse est composé de sulfates de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

Production

Le désulfo-gypse est un sous-produit de l'extraction du soufre des gaz de combustion, procédé principalement utilisé dans les usines thermiques au charbon. « Le processus de désulfuration a lieu dans des tours de lavage. Les gaz de combustion y sont mis en contact avec une suspension aqueuse contenant du calcaire ou du lait de chaux comme composant alcalin. Le dioxyde de soufre (SO_2) est lavé par l'eau et oxydé en sulfates SO_3 dans la solution aqueuse. Il est ensuite précipité avec du calcium à partir de calcaire ou de chaux vive en sulfate de calcium dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ce qui produit du gypse. » (Euro Gypsum, 2007). Les cristaux de gypse sont séparés de la suspension sous forme de fine poudre cristalline humide à l'aide de centrifugeuses ou de filtres. (Euro Gypsum, 2007)

Le désulfo-gypse étant principalement issu de centrales de charbon, au Canada il est produit notamment au Nouveau-Brunswick. Aux États-Unis, il est produit en grande quantité (22 millions de tonnes en 2017), de même qu'en Europe du Nord et de l'Est (18 millions de tonnes en 2012) (L'élémentarium, 2017).

Usage

Le désulfo-gypse est composé de gypse à 95 % en moyenne, ce qui le rend plus pur que les gisements de gypse naturel, lesquels fournissent un gypse pur à 80% en moyenne (Euro Gypsum, 2007). Le niveau de pureté du désulfo-gypse et son faible coût de production contribuent au fait que ce soit le principal substitut au gypse naturel. Aux États-Unis, 30 % du désulfo-gypse est enfoui, 48 % est utilisé dans l'industrie du gypse, 7 % dans celle du ciment, et 4 % en agriculture (L'élémentarium, 2017). Le niveau de pureté du désulfo-gypse permet également d'exploiter des gisements naturels à faible concentration en gypse, ou du gypse recyclé contenant des contaminants. Le mélange du désulfo-gypse avec du gypse moins pur permet d'augmenter le niveau de pureté du produit final et de le rendre utilisable par l'industrie du gypse.

Autres sources de gypse synthétique

Phospho-gypse

La composition chimique du phospho-gypse est : $6 \text{ H}_3\text{PO}_4 + 10 \text{ CaSO}_4, 2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ HF}$. La présence d'acide phosphorique ($6 \text{ H}_3\text{PO}_4$) et de fluorure d'hydrogène (2 HF) constitue des impuretés du phospho-gypse.

Le phospho-gypse est un sous-produit de la production d'acide phosphorique à partir de phosphate de calcium naturel (Euro Gypsum, 2007). La production mondiale de phospho-gypse était estimée à 185 millions de tonnes en 2017 (L'élémentarium, 2017), ce qui en fait le gypse synthétique produit en plus grande quantité.

Les contaminants présents dans le phospho-gypse et les coûts de traitements requis rendent son utilisation trop coûteuse et potentiellement dangereuse dans la majorité des cas. Les contaminants généralement retrouvés dans le phospho-gypse sont de l'arsenic, du chrome, du cadmium, du sodium, du fluor, du manganèse, du thorium, et de l'uranium (Laganière, 2002). La radioactivité potentielle du phospho-gypse, due à sa teneur en uranium dans certains cas, peut également en limiter parfois l'usage.

En 2002, le principal débouché mondial de réutilisation du phospho-gypse était le secteur de la construction, où 70 % du phospho-gypse réutilisé entrainait dans la composition de panneaux. On observait également que 19 % du phospho-gypse réutilisé entrainait dans la composition du ciment, en remplacement du gypse naturel. C'est le cas au Japon, en Autriche et en Belgique. Ces pays n'ont pas de gisement de gypse naturel et ont développé une industrie de recyclage du phospho-gypse qui en extrait les impuretés mentionnées précédemment. Le phospho-gypse recyclé peut ainsi être utilisé dans la production de panneaux de gypse (L'élémentarium, 2017) (Laganière, 2002).

Gypse issu de la production d'adjuvants chimiques

Le gypse peut également être un sous-produit de l'industrie des adjuvants chimiques. Ce gypse peu connu a une composition chimique s'approchant de l'anhydrite, puisqu'il est majoritairement composé de sulfate de calcium (CaSO_4), ne contient pas d'eau, mais contient des contaminants en faible proportion. Le nom de ce gypse n'est pas qualifié et décrit dans la littérature consultée (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Citro-Gypse

Le citro-gypse est un sous-produit du processus de purification de l'acide citrique à l'aide d'eau de chaux. Il est techniquement utilisable par l'industrie du plâtre, mais contient généralement des contaminants ferreux. L'extraction de ces contaminants consomme beaucoup d'énergie et produit de l'anhydrite, utilisable par l'industrie cimentière (Euro Gypsum, 2007).

Il n'y a pas de source connue de citro-gypse au Québec.

Problématiques et enjeux du gypse synthétique

Le gypse synthétique est soumis à des contraintes spécifiques qui impactent le marché du gypse synthétique et la réduction de déchets.

Minéral peu connu

Le gypse synthétique est un sous-produit de procédés industriels. Il peut alors à ce titre être considéré comme un déchet dans certains cas. La composition du gypse synthétique ainsi que son niveau de pureté varient en fonction du procédé industriel dont il est le sous-produit. Le niveau de pureté affecte les caractéristiques du gypse synthétique ainsi que son potentiel de réutilisation. Très peu d'informations sont publiquement disponibles sur le gypse synthétique et ses caractéristiques. Les informations détenues par les organisations productrices de gypse synthétique sont maintenues confidentielles à titre de secret industriel, ce qui limite l'échange d'information et la collaboration au sein de l'industrie. Il est nécessaire de développer une meilleure connaissance du gypse synthétique produit par une compagnie pour estimer son potentiel de réutilisation, mais cela requiert une analyse de ses composantes chimiques et dans certains cas des adaptations des processus de production pour les marchés cibles.

Coût d'enfouissement et coût du marché

Le coût d'enfouissement du gypse synthétique a augmenté dans les deux dernières années. Auparavant, le gypse était fréquemment utilisé comme matière de recouvrement en sites d'enfouissement et était donc admis à un coût proche de zéro (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). En site d'enfouissement, le gypse est en milieu anaérobie (sans oxygène) et sa décomposition anaérobie entraîne des émissions de soufre. Celles-ci entraînent le dégagement d'odeurs nauséabondes aux abords des sites d'enfouissement, ce qui cause de fréquentes plaintes du voisinage, et contamine les gisements potentiels de biogaz issus de ces sites d'enfouissements. Ces inconvénients ont contribué à l'augmentation des coûts d'enfouissement du gypse naturel et synthétique pour atteindre en moyenne entre 130 \$ et 150 \$ par tonne (taxes et transport inclus) (Deloitte, 2018).

Le gypse naturel utilisé dans l'industrie des panneaux de gypse, dans le secteur agricole et dans la composition du ciment se valorise entre 30 \$ et 50 \$ la tonne (Deloitte, 2018). Compte tenu du coût d'enfouissement élevé, les producteurs de gypse synthétique cherchent constamment des alternatives et le vendent à très bas coût pour concurrencer le gypse naturel dans ses débouchés (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Les gypses synthétiques contenant des impuretés requièrent une étape de traitement pour être utilisés dans l'industrie du gypse. Le coût du traitement étant élevé, le gypse synthétique purifié serait trop coûteux pour le marché, il est donc généralement enfoui (Laganière, 2002). Aucun gypse synthétique qui requiert un traitement de purification n'a été identifié au Québec, mais il est possible qu'il en existe un et qu'il ne soit pas exploité.

Le gypse, qu'il soit d'origine synthétique ou naturelle, est un matériau lourd et qui a une faible valeur massique. Les frais de transport du gypse peuvent ainsi sensiblement impacter son coût, et tendent à limiter son commerce entre des organisations situées à proximité l'une de l'autre (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). Le poids du gypse et les coûts de transport pourraient aussi expliquer en partie le faible commerce de gypse entre pays. L'existence d'échanges entre le Québec et le Nouveau-Brunswick par voies maritimes démontre toutefois que ce mode de transport permet le commerce de gypse synthétique entre organisations éloignées (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

La chaîne de valeur du gypse synthétique au Québec

Les étapes de la chaîne de valeur

Production

La production de gypse synthétique au Québec est concentrée entre un petit nombre d'acteurs produisant majoritairement un gypse de bonne qualité (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). La production totale de gypse synthétique au Québec est estimée entre 150 000 et 170 000 tonnes par an, la majorité de ce gypse est réutilisé dans l'économie québécoise (Deloitte, 2018) (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Compte tenu du faible nombre d'intervenants et pour préserver la confidentialité des informations obtenues, les volumes de production et les débouchés sont indiqués sous la forme d'ordres de grandeur.

Tableau 1 : Production de gypse synthétique au Québec

	Anhydrite	Titano-gypse	Désulfo-gypse	Autre
Proportion du gypse synthétique	Plus de 50 %	Moins de 50 %	Inconnu	Moins de 1 %
Description	<p>L’anhydrite est le principal gypse d’origine synthétique produit au Québec, il représente plus de 50 % de la production.</p> <p>Un changement de processus industriels devrait réduire la consommation d’anhydrite dans les sites de production et augmenter l’offre d’anhydrite sur le marché au Québec (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2018).</p>	<p>Le titano-gypse est la seconde source de gypse synthétique au Québec, et représente moins de la moitié de la production (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).</p>	<p>Deux sources de désulfo-gypse ont été identifiées au Québec, une partie est importée au Québec par voie maritime. Ce gypse est produit dans des centrales de charbon du Nouveau-Brunswick et entre dans la composition de panneaux de gypse (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). L’autre source est la production de désulfo-gypse au Québec. Les volumes importé et produit au Québec sont inconnus et ne sont pas comptabilisés dans le total du gisement de gypse synthétique au Québec.</p>	<p>D’autres sources de gypse synthétique existent au Québec, mais elles sont marginales et représenteraient environ 1 % ou 2 % du total de la production au Québec (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).</p>

Distribution

Le gypse synthétique produit au Québec et qui se destine au secteur agricole est distribué par l’entremise de firmes-conseils spécialisées en agronomie. Le gypse synthétique utilisé en engrais agricole dispose d’un agrément de l’Agence canadienne d’inspection des aliments (ACIA) pour être utilisé sur le conseil d’un agronome. Sans cet agrément un certificat d’autorisation (CA) est nécessaire avant chaque utilisation et doit être demandé auprès du Ministère de l’Environnement et de la lutte contre les changements climatiques par l’agriculteur (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Le gypse synthétique utilisé par l’industrie cimentière et l’industrie des panneaux de gypse est transigé de gré à gré entre les organisations productrices et les cimenteries et fabricants de panneaux de gypse (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Débouchés

Agriculture

Traditionnellement, le gypse naturel était utilisé dans le milieu agricole en apport de calcium et de soufre au sol et pour en stabiliser le pH. Ce secteur exige un gypse de bonne qualité et utilise du gypse principalement de manière saisonnière.

Le gypse synthétique produit au Québec est principalement utilisé par le secteur agricole. Le gypse synthétique vendu au secteur agricole détient un permis de l'ACIA délivré par le gouvernement du QC. Ce permis le classifie comme engrais pouvant être utilisé par les agriculteurs sur recommandation d'un agronome sans que ceux-ci aient à demander de CA au Ministère de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MELCC) (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Il est à noter que des recherches sont présentement menées à l'Université de Laval pour démontrer les effets positifs de l'anhydrite sur différentes cultures (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Les enjeux identifiés pour l'utilisation du gypse synthétique en agriculture sont le besoin d'avoir un gypse synthétique de haute qualité et sans contaminants ainsi que le manque d'information sur le gypse synthétique. Le fait que les professionnels du milieu agricole ne connaissent pas le gypse synthétique entraîne une crainte à l'utilisation. En effet, selon un spécialiste consulté, de nombreux agriculteurs craignent que l'utilisation de gypse synthétique dans les cultures limite leurs rendements. Un autre élément observé est la cyclicité de la demande du milieu agricole en fonction des saisons et les délais de traitement administratif des demandes de permis (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Cimenteries

Le gypse entre dans la composition du ciment comme agent retardateur lors de la prise du ciment. Le gypse traditionnellement utilisé est du gypse naturel qui représente environ 6 % de la composition du ciment (Deloitte, 2018). Le gypse qui entre dans la composition du ciment doit être de bonne qualité pour rencontrer les normes et critères de qualités attendus par les clients (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Selon les experts et rapports consultés, le gypse synthétique peut entrer dans la composition du ciment et remplacer jusqu'à 50 % de gypse naturel (soit 3 % de la production de ciment) (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). Au Québec l'utilisation de gypse synthétique en remplacement de gypse naturel dans la composition du ciment est pratiquée dans certaines cimenteries depuis quelques années. Cette pratique n'est toutefois pas généralisée et faisait l'objet d'essais dans les cimenteries consultées.

Le principal enjeu pour l'utilisation de gypse dans le ciment est la présence potentielle de contaminants dans le gypse synthétique et naturel qui peut nuire à la qualité du ciment produit en modifiant ses propriétés (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). D'autres enjeux ont été

identifiés pour l'utilisation de gypse synthétique en cimenteries incluant la difficulté mécanique de mélanger le gypse naturel et synthétique qui représente un coût additionnel. Les besoins spécifiques à chaque cimenterie concernant la taille des roches de gypse accepté sont également un problème puisque les équipements installés en cimenterie ne conviennent pas toujours au gypse synthétique. Un autre enjeu est le besoin d'approvisionnement du gypse synthétique en flux tendu puisque le gypse synthétique stocké en extérieur peut devenir boueux si il est exposé aux intempéries, ce qui nuit à son utilisation (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Fabricants de panneaux de gypse

Deux producteurs de panneaux de gypse, CertainTeed (filiale de Saint-Gobain) et CGC (filiale de *United States Gypsum Corporation* - USG) représentent la majorité de la production de panneaux de gypse au Québec (Deloitte, 2018). CGC et CertainTeed utilisent tous deux du gypse synthétique pour la production de panneaux. L'un utilise du gypse synthétique produit au Québec tandis que l'autre utilise du gypse synthétique importé par voie maritime du Nouveau-Brunswick où il est produit dans deux centrales électriques au charbon (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Pour la fabrication de panneaux, le gypse synthétique doit être de bonne qualité et contenir peu d'impuretés. Les propriétés d'un panneau fait de gypse synthétique et naturel sont les mêmes, mais le gypse synthétique permet de réduire le coût de production et d'offrir aux consommateurs un matériel de construction à plus faible empreinte environnementale⁴, ce qui permet d'obtenir des certifications pour l'éco-construction de type LEED (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019).

Disposition en fin de vie

La gestion du gypse synthétique en fin de vie varie en fonction de l'usage qui en est fait. Le gypse synthétique qui est utilisé en engrais dans le milieu agricole est intégré au sol et n'est donc plus récupérable ou recyclable. Le gypse qui entre dans la composition du ciment est recyclé indirectement si le béton est recyclé⁵. Le gypse synthétique utilisé dans la production de panneaux de gypse au Québec est traité de la même manière que les panneaux faits de gypse naturel (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). Selon un rapport sur le gypse résiduel au Québec publié en 2018, 7,1 % du gypse résiduel contenu dans les panneaux de gypse est recyclé et utilisé en engrais agricole (6,3 %) ou en cimenterie (0,7 %) (Deloitte, 2018). Le recyclage des panneaux de gypse était assuré en 2017 par trois recycleurs, dont deux en banlieue de Montréal (Recycle Gypse et Recyclage Gypse Green) et un dans la région

⁴ L'utilisation de gypse synthétique permet de réduire la production de déchets et constitue une symbiose industrielle entre le producteur de gypse synthétique et les fabricants de panneaux de gypse. Cela participe au développement de l'économie circulaire au Québec.

⁵ Au Québec en 2010, on estimait que 74 % des volumes de déchets de construction-démolition étaient recyclés, et que le béton représentait entre 60 % et 80 % de ces volumes (ICRIQ, 2010).

du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Gypse du Fjord)⁶. Le reste du gypse résiduel, soit 92,9 % étaient enfouis au Québec, ce gypse provenait majoritairement des professionnels de construction démolition et était enfoui dans l'un des 52 lieux d'enfouissement du Québec. Les lieux d'enfouissement incluent les lieux d'enfouissement technique (LET), dépôts de matériaux secs (DMS) et lieux d'enfouissement de débris de construction et démolition (LEDCD). Le gypse synthétique et naturel est refusé dans un nombre croissant de sites d'enfouissement à cause des odeurs qui s'en dégagent, dues à la transformation du soufre contenu dans le gypse en sulfure d'hydrogène (H₂S) en milieu anaérobie. Ce soufre contamine également les gisements potentiels de biogaz présent dans les sites d'enfouissements (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019) (Deloitte, 2018).

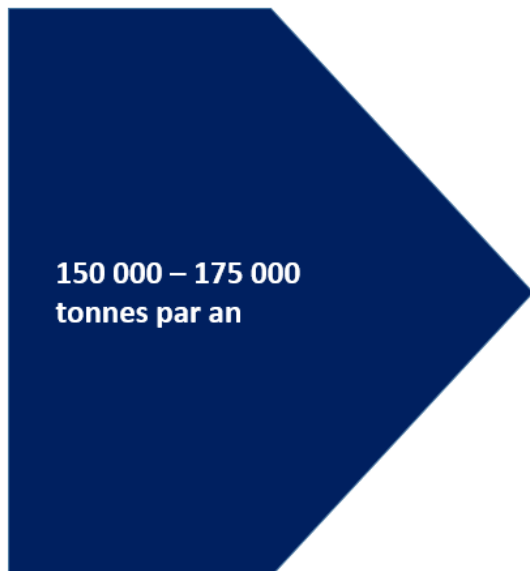
Malgré les contraintes à son enfouissement identifiées, les panneaux de gypse résiduels sont majoritairement enfouis, compte tenu du bas coût du gypse sur le marché et du coût de transport élevé. De plus, les résidus de gypse sont fréquemment mélangés avec d'autres déchets de démolition ce qui nuit à son potentiel de traitement. Enfin il n'y a pour l'instant pas suffisamment de compagnies faisant du recyclage de panneaux de gypse au Québec (Deloitte, 2018).

Représentation des flux de la filière québécoise de gypse synthétique

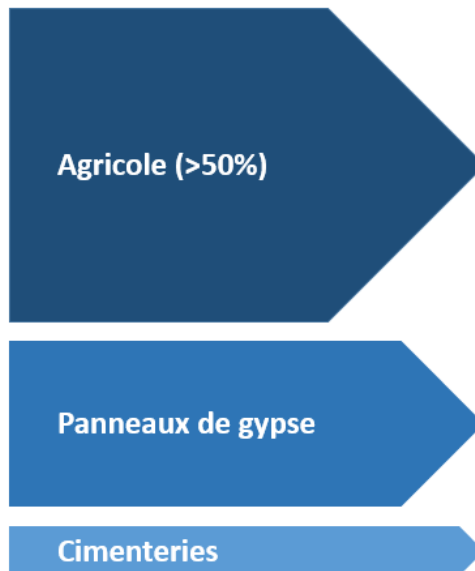
Figure 1 : Représentation des flux de la filière québécoise de gypse synthétique

⁶ Les compagnies Recycle Gypse et Recycle Gypse Green ne sont plus en activités. Recycle Gypse a cessé ses opérations dans l'attente de résultats d'analyses environnementales menés par le gouvernement du Québec qui pourraient autoriser la reprise des opérations ou y mettre fin. Au moment de la rédaction du rapport, il était incertain que la compagnie Gypse du Fjord soit en activité ou non.

Production de gypse synthétique au Québec



Débouchés



Les flèches de débouchés sont classées par ordre d'importance mais leur taille n'est pas proportionnelle à l'importance des débouchés du gypse synthétique au Québec, cette donnée est confidentielle.

Balisage externe

Le balisage de filières de gypse synthétique étrangères nous permet d'étudier les sources de production ainsi que les débouchés qui sont couramment utilisés. Cette revue est également l'occasion d'identifier des débouchés qui pourraient s'appliquer au Québec et de faire des recommandations pour limiter l'enfouissement de gypse synthétique au Québec. Enfin le balisage fournit une référence pour évaluer la performance du Québec en termes d'utilisation du gypse synthétique et d'observer si les données publiques sur le marché du gypse synthétique sont de meilleure qualité dans d'autres juridictions.

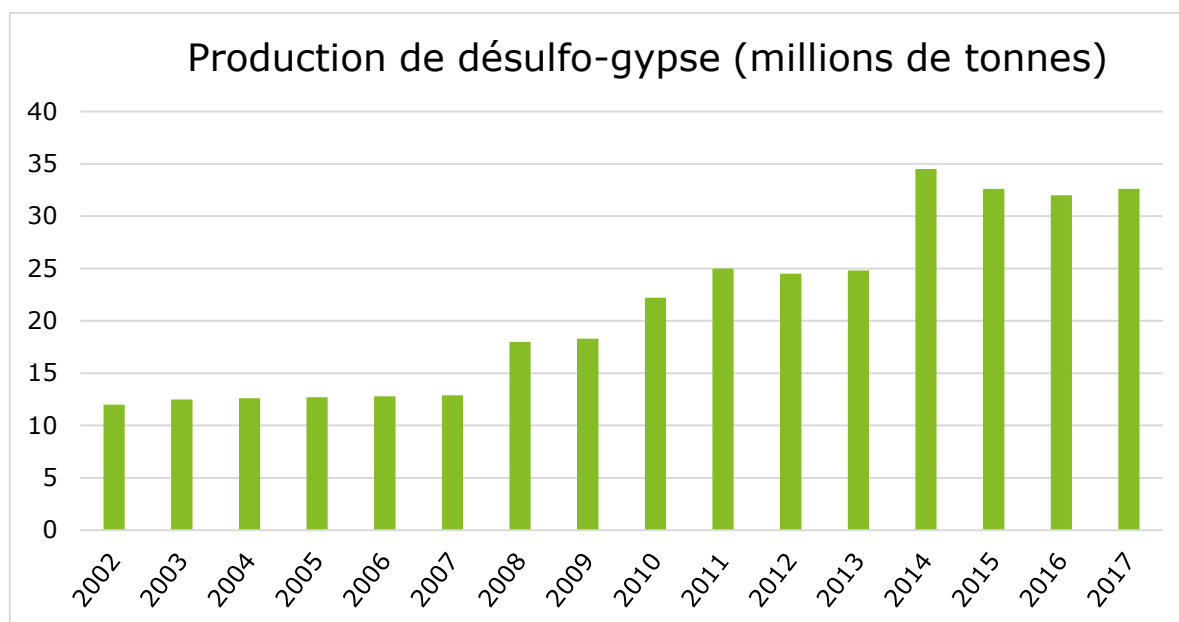
La filière du gypse synthétique aux États-Unis

Production

Aux États-Unis, le gypse synthétique est utilisé dans la production de planches de gypse depuis plus de 30 ans (Gypsum Association, 2013). En 2017, le pays comptait 381 unités de production de désulfo-gypse et la production totale atteignait 32,7 millions de tonnes (L'élémentarium, 2017). La forte proportion de désulfo-gypse s'explique notamment par le nombre élevé de centrales thermiques utilisant du charbon (L'élémentarium, 2017).

La production historique de désulfo-gypse aux États-Unis nous permet d'observer une croissance de la production entre 2008 et 2017.

Figure 2 : Production de gypse synthétique aux États-Unis de 2002 à 2017

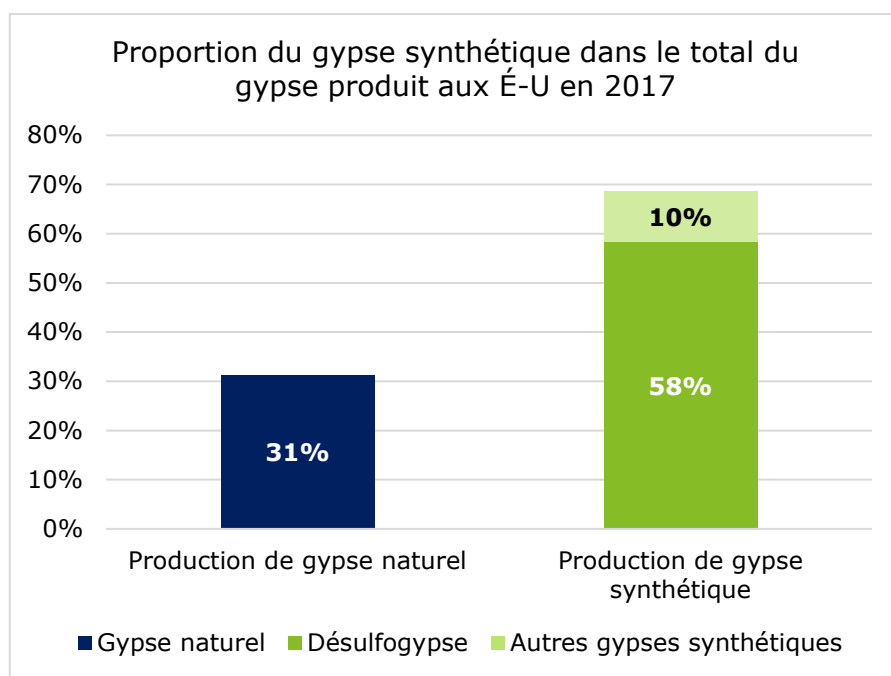


Source : (American Coal Ash Association, 2017)

Le désulfo-gypse représente 85 % du gypse synthétique produit aux États-Unis, les autres formes de gypse produites incluent le fluoro-gypse,

le citro-gypse, le titano-gypse et le phospho-gypse (Gypsum Association, 2010). La production de gypse naturel était de 17,5 millions de tonnes en 2017 aux États-Unis, soit un tonnage inférieur à la production de gypse synthétique (L'élémentarium, 2017).

Figure 3 : Proportion du gypse synthétique dans le total du gypse produit aux États-Unis en 2017



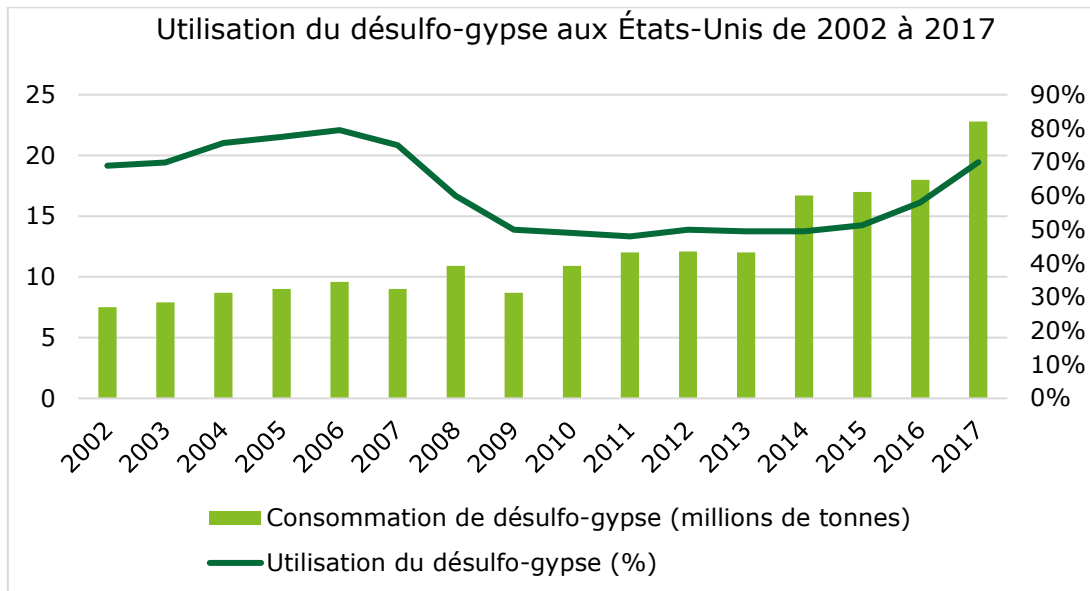
Source : (L'élémentarium, 2017)

L'essor du gaz de schiste aux États-Unis entraîne une substitution du charbon par du gaz naturel dans les centrales thermiques. Ce dernier contient moins de soufre que le charbon ce qui entraîne une diminution de la production de désulfo-gypse (L'élémentarium, 2017).

Usage

Selon les statistiques du marché des États-Unis, l'offre de désulfo-gypse est supérieure à la demande (FPIInnovations, 2013), ce qui se traduit par une sous-utilisation du désulfo-gypse. Sur la production de désulfo-gypse de 32,7 millions de tonnes, seulement 22,8 millions sont utilisées.

Figure 4 : Utilisation du désulfo-gypse aux États-Unis de 2002 à 2017

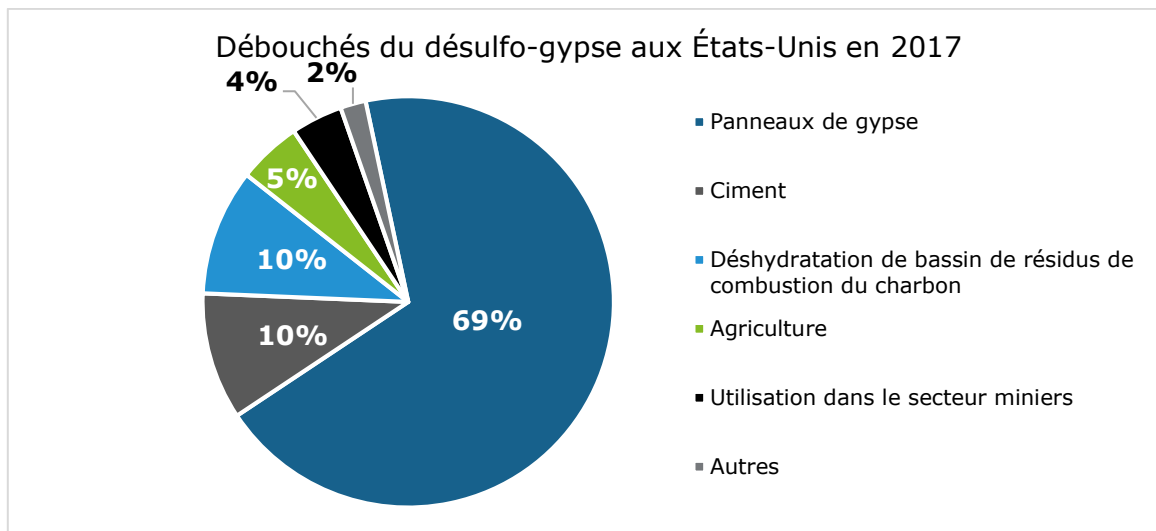


Source : (American Coal Ash Association, 2017)

Le désulfo-gypse non utilisé est enfoui, et les données sur les autres gypses synthétiques ne sont pas disponibles. Le gypse synthétique représentait 50% du gypse utilisé en 2017 aux É-U (L'élémentarium, 2017). Selon la *American Coal Ash Association*, la production de planches de gypse aux États-Unis est réalisée à 50 % avec du gypse synthétique (American Coal Ash Association, 2014).

Les principaux débouchés du désulfo-gypse sont l'industrie de fabrication de panneaux de gypse (69 %), l'industrie cimentière (10 %), le traitement des sols (10 %) et le secteur agricole (5 %)

Figure 5 : Débouchés du désulfo-gypse aux États-Unis en 2017



Source : (American Coal Ash Association, 2017)

Disposition en fin de vie

L'usage qui est fait du gypse en fin de vie est défini par l'utilisation du matériel. Tout comme dans le contexte québécois, le gypse synthétique qui est utilisé en engrais dans le milieu agricole est intégré au sol et n'est donc plus récupérable ou recyclable. Le gypse synthétique qui entre dans la composition du ciment est recyclé indirectement si le béton est recyclé. Selon l'*Environment Protection Agency* (EPA) environ 50 % à 60 % du béton est recyclé aux États-Unis, tandis que le reste est envoyé en sites d'enfouissement (Environment Protection Agency, 2016). Le gypse synthétique contenu dans les panneaux de gypse est traité de la même manière que les panneaux faits de gypse naturel.

Les sources de panneaux de gypse résiduel aux États-Unis sont : les nouvelles constructions (64 %), les démolitions (14 %), les producteurs de panneaux de gypse (retailles - 12 %) et les rénovations (10 %) (Environment Protection Agency, 2016). La majeure partie des panneaux de gypse résiduels est enfouie aux États-Unis (Environment Protection Agency, 2016). Le volume recyclé était estimé à 4 millions de tonnes en 2016 sans distinction du gypse naturel ou synthétique (L'élémentarium, 2017). Il existe deux débouchés pour les panneaux de gypse recyclé, soient : l'utilisation en milieu agricole pour 81 % du gypse recyclé, et la fabrication de nouveaux panneaux pour 19 % du gypse recyclé (Environment Protection Agency, 2016).

La filière du gypse synthétique en Allemagne

Production

La production d'énergie de l'Allemagne reposait à 38 % sur la combustion de charbon en 2018. Cela explique la forte production de désulfo-gypse du pays (Connaissance des énergies, 2019). L'Allemagne est le premier producteur de désulfo-gypse en Europe, avec 7,03 millions de tonnes produites en 2014, tandis que l'ensemble des pays membres de l'Union Européenne (UE) en produisaient 18 millions de tonnes la même année (L'élémentarium, 2017). Le gypse synthétique est produit en plus grande quantité que le gypse naturel, dont la production était de 4,3 millions de tonnes en 2014 (Global Gypsum, 2019).

Usage

L'Allemagne est majoritairement un exportateur de gypse synthétique. En 2014, le pays a importé 87 000 tonnes de gypse synthétique et a exporté 1,2 million de tonnes de désulfo-gypse auprès d'autres pays européens (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2014).

La production annuelle moyenne de gypse naturelle et synthétique de 2009 à 2013 en Allemagne était de 11,74 millions de tonnes. (Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen, 2017). Les deux types de gypse ont été utilisés en moyenne à 25 % dans l'industrie du ciment, et à 75 % dans l'industrie des panneaux de gypse (Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen, 2017). Le gypse synthétique totalise 60 % du gypse utilisé par l'industrie allemande des panneaux de gypse (Global Gypsum, 2019). D'autres utilisations du gypse synthétique en Allemagne sont le secteur agricole en engrais, et le reconditionnement de mines à ciel ouvert

(Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen, 2017). Il apparaît que le gypse synthétique non utilisé est enfoui, bien que les quantités enfouies ne soient pas disponibles.

Disposition en fin de vie

Comme ailleurs, la gestion du gypse synthétique en fin de vie en Allemagne dépend de l'usage qui en est fait. Le gypse utilisé en engrais agricole entre dans la composition du sol et n'est pas récupérable ni recyclable. Le gypse d'origine synthétique contenu dans le ciment est recyclé lorsque le ciment est recyclé. Le taux de recyclage élevé du ciment, qui était de 91 % en 2012 en Allemagne, assure un taux de recyclage semblable pour le gypse qui le compose (European Cement Research Academy, 2015). Il apparaît qu'en Allemagne, seuls les déchets de production de l'industrie du gypse sont recyclés, tandis que le recyclage du gypse résiduel post consommateur est marginal (Gypsum Waste: Differences across Ten European Countries, 2015). Les données précises de recyclage des panneaux de gypse en Allemagne ne sont pas disponibles.

La filière du gypse synthétique en France

Production

La France est essentiellement un producteur de gypse naturel, avec une production annuelle estimée à 3 millions de tonnes en 2017 (L'élémentarium, 2017). Le faible nombre de centrales au charbon en France⁷ entraîne une faible production de gypse synthétique qui représente 2,5 % de la production totale de gypse en France (Placoplatre, 2014). La France produit également du phospho-gypse qui n'est pas utilisé dans l'industrie du gypse française, les quantités précises ne sont pas disponibles (Placoplatre, 2014).

Usage

Compte tenu de la faible proportion de gypse synthétique dans l'industrie française du gypse, les données relatives à l'utilisation du gypse synthétique ne sont pas disponibles.

Disposition en fin de vie

La gestion du gypse synthétique en fin de vie en France dépend de l'utilisation qui en est faite, cette information n'est pas disponible

Le gypse synthétique en Australie

Production

L'Australie est un grand producteur et consommateur de charbon pour la production d'énergie domestique. En 2016, le charbon représentait 74,5 % du mix énergétique du pays (Connaissance des énergies, 2018). D'autre part, l'Australie est un grand producteur d'oxyde de titane avec 260 milliers de tonnes produites en 2018 (L'élémentarium, 2019). Ces deux industries ont le potentiel de produire beaucoup de désulfo-gypse et de Titano-gypse, cependant les données publiques sur la production de gypse

⁷ seulement 1,4% de la production énergétique en France métropolitaine provient de centrales au charbon (Connaissance des énergies, 2017)

synthétique en Australie sont très rares. Ce manque d'information est probablement dû au fait que le charbon utilisé en Australie à une faible concentration en soufre, et qu'il ne semble pas y avoir d'opération d'extraction du soufre des gaz de combustion. D'autre part, l'industrie de dioxyde de titane repose largement sur le procédé au Chlore, et ce procédé ne produit pas de gypse synthétique (L'élémentarium, 2019).

Usage

inconnu

Disposition en fin de vie

Inconnu

Options d'économie circulaire pour la filière du gypse synthétique au Québec

Une filière axée sur la symbiose industrielle

La filière du gypse synthétique au Québec est déjà bien développée dans une logique de symbiose industrielle. La grande majorité du gypse synthétique produit au Québec (plus de 90 %) est réutilisé dans d'autres industries telles que le secteur agricole et la production de panneaux de gypse. Des options d'amélioration existent cependant pour faciliter les échanges de gypse résiduel et faciliter son utilisation comparée à du gypse naturel :

Caractérisation de la matière

Selon l'étude de la filière québécoise de gypse synthétique, quatre types de gypse sont produits et utilisés au Québec. Chacun de ces types de gypse a des spécificités en termes de volume produit et de débouchés possibles, mais l'identification de débouchés requiert une meilleure connaissance des caractéristiques de ces gypses. Bien que ces informations soient considérées confidentielles, le recours à des organisations spécialisées en analyse de caractérisation chimique et en symbiose industrielle peut permettre de développer une meilleure compréhension du gypse synthétique produit et des débouchés éventuels. Cette approche permettrait de valoriser le gypse synthétique pour les organisations productrices et de réduire les quantités envoyées en site d'enfouissement.

Organisation de projets pilotes pour développer les débouchés potentiels

L'organisation de projets pilotes avec les cimenteries et les fabricants de panneaux de gypse permettrait d'évaluer le potentiel de consommation de gypse synthétique de ces industries ainsi que les démarches nécessaires pour faciliter l'augmentation du débouché potentiel et son opérationnalisation. De la même manière, cette démarche pourrait permettre d'évaluer le potentiel d'utilisation de gypse recyclé issu de panneaux de gypse résiduel en cimenterie et dans la composition de nouveaux panneaux de gypse. Cette démarche contribuerait au développement de l'économie circulaire dans l'industrie du gypse au

Québec et permettrait de réduire l'enfouissement de panneaux de gypse résiduel au Québec.

Accroître les informations disponibles sur le marché du gypse synthétique au Québec

L'étude de la filière québécoise de gypse synthétique a démontré que les producteurs et consommateurs de gypse synthétique ont, dans la majorité des cas, une connaissance et une compréhension limitées du marché au Québec ainsi que des débouchés possibles pour ce gypse. Ce manque d'information ne permet pas de prendre en compte de manière optimale l'offre et la demande de gypse synthétique au Québec et peut occasionner une sous-estimation de la valeur de la matière ainsi qu'une sous-utilisation du gisement disponible. Le développement d'information sur le marché du gypse synthétique et des débouchés potentiels du gypse synthétique pourrait contribuer à une utilisation plus efficace du gypse et à une baisse de la quantité envoyée en sites d'enfouissements.

Faciliter les démarches réglementaires pour l'utilisation du gypse en agriculture

L'accroissement d'informations disponibles sur le marché du gypse synthétique au Québec et sur la caractérisation des gypses synthétiques sur le marché québécois pourrait également s'accompagner d'une réduction des freins réglementaires à l'utilisation du gypse. Le gypse synthétique est largement utilisé dans le secteur agricole, mais cette utilisation est limitée par la nécessité d'obtenir un permis de l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA). Ce permis est délivré par le gouvernement du Québec et classe le gypse synthétique comme engrais pouvant être utilisé par les agriculteurs sur recommandation d'un agronome. En l'absence de ce permis, les agriculteurs voulant utiliser du gypse synthétique doivent demander un certificat d'autorisation (CA) au Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (Entrevue, Entrevue avec les parties prenantes, 2019). La caractérisation des gypses synthétique sur le marché québécois permettrait de savoir quel gypse peut être utilisé en engrais agricole sans représenter de risques pour l'environnement et réduire le besoin d'obtenir un permis de l'ACIA. Le fait que les agriculteurs ou producteurs de gypse n'aient plus besoin de ce permis permettrait potentiellement d'augmenter l'utilisation de gypse synthétique en agriculture. L'application de la caractérisation du gypse synthétique pour en faciliter l'usage et diminuer les réglementations qui entourent son utilisation peut également s'appliquer au gypse issu de panneaux de gypse recyclés.

Conclusion

Au Québec, la production de gypse synthétique est issue d'un nombre réduit d'organisations⁸. La grande majorité de la production est réutilisée pour produire des panneaux de gypse, pour la production d'amendement agricole ou pour la production de ciment⁹. Le taux d'utilisation élevé du gypse synthétique semble être dû aux coûts d'enfouissement élevé appliqué au Québec.

L'étude des filières de gypse synthétique aux États-Unis, en Allemagne, en France et en Australie a permis d'observer des différences dans les sources de gypse synthétique et des débouchés similaires mais en proportion différente d'un pays à un autre dans son utilisation. Au Québec comme aux États-Unis et en Allemagne, le gypse synthétique est considéré comme une matière ayant un fort potentiel de réutilisation dans trois industries : l'industrie des panneaux de gypse où la forme synthétique peut-être un substitut du gypse naturel; l'industrie du ciment où le gypse synthétique peut remplacer jusqu'à 50 % du gypse naturel; et l'industrie agricole, où le gypse synthétique peut-être un substitut du gypse naturel. Ce balisage externe a également permis de constater que les informations sur le gypse synthétique sont généralement peu répandues.

Les échanges de gypse synthétique observés au Québec s'inscrivent dans une démarche de symbiose industrielle permettant de réduire la quantité de déchets envoyés en site d'enfouissement. Sur ce point, le marché québécois du gypse synthétique apparaît plus performant que son équivalent étatsunien, puisque seulement une fraction du gypse synthétique produit au Québec est enfoui. Certains axes d'améliorations existent toutefois au Québec et devraient permettre d'accroître les échanges de gypse synthétique et de réduire tant que possible la portion envoyée en sites d'enfouissement. Ces axes d'amélioration consistent à : développer plus d'information sur le marché du gypse et les gypses synthétiques produits au Québec; favoriser la collaboration entre producteurs et consommateurs; réduire les réglementations pour faciliter l'usage. D'autre part le gypse synthétique pourrait potentiellement être utilisé en support à l'industrie du recyclage des panneaux de gypse. Le mélange de gypse synthétique très pur avec du gypse recyclé contenant des impuretés comme du papier permettrait d'augmenter le niveau de pureté global de la matière finale et faciliter son usage dans l'industrie des panneaux de gypse et en agriculture.

⁸ Moins de cinq organisations productrices de gypse synthétique ont été identifiées au Québec

⁹ Selon les informations collectées pour cette étude, environ 1% du gypse synthétique produit au Québec est envoyé en sites d'enfouissement

Annexe A : entrevues réalisées

Une grande partie des informations utilisées dans ce rapport proviennent d'entrevues réalisées du 9 au 26 avril 2019 avec les personnes suivantes :

Nom	Entreprise	Statut
François Dupuis	Ruetger	Appel fait
Sylvain Paquette	Kronos Canada Inc	Appel fait
Marc-André Séguin	Rio Tinto Alcan	Rencontre en personne
Yves Pépin	Rio Tinto Alcan	Appel fait
Nathalie Le May	Rio Tinto Alcan	Appel fait
Jean Giroux	Rio Tinto Alcan	Appel sans réponse
Kirby Ramsay	Lafarge	Appels et courriels sans réponse
René Bernier	Certainteed	Appels sans réponse
Pierre Alexandre Collin	Certainteed	Appel fait
Yannick Munger	Cimenterie Joliette	Appel fait
Guy Desautels	Lafarge	Appel fait
Kamal Rahoui	Lafarge	Appel fait
Pascale Poulin	Lafarge	Appel fait
Gille Bernardin	3RMCDQ	Appel fait
Katy Major	Recycle Gypse	Appel fait
Emmanuel B. Cosgrove	Écohabitation	Appel fait
Claude Maheux Picard	CTTEI	Appel fait

Bibliographie

Les principales sources documentaires publiques consultées dans le cadre de cette étude sont indiquées ci-dessous.

American Coal Ash Association. (2014). *Sustainable construction*.
Récupéré sur [https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/Sustainability_Construction_w_CCPS\(Consolidated\).pdf](https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/Sustainability_Construction_w_CCPS(Consolidated).pdf)

American Coal Ash Association. (2017). *Coal Combustion product Production and use survey report*. Récupéré sur <https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/2017-Survey-Results.pdf>

American Coal Ash Association. (2017). *Production and use charts*.
Récupéré sur <https://www.aaa-usa.org/Portals/9/Files/PDFs/2017-Charts.pdf>

Anhydritech. (2014). *What is anhydrite*. Récupéré sur <https://www.anhydritec.com/>

Authority of the Minister of the Environment. (2000). *Kronos Canada, Inc.*
Récupéré sur http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/En153-6-22-1996-eng.pdf

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (2014). *Deutschland – Rohstoffsituation*. Récupéré sur https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Claisse, P., Ganjian, E., & Tyrer, M. (2008). *The Use of Secondary Gypsum to Make a Controlled Low Strength Material*. Récupéré sur <http://www.claisse.info/My%20papers/Paper%2033.pdf>

Connaissance des énergies. (2017). *Mix énergétique de la France*.
Récupéré sur <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/mix-energetique-de-la-france>

Connaissance des énergies. (2018). *La situation énergétique de l'Australie en 3 grandes données*. Récupéré sur <https://www.connaissancedesenergies.org/la-situation-energetique-de-laustralie-en-3-grandes-donnees-180226>

- Connaissance des énergies. (2019). *Allemagne*. Récupéré sur <https://www.connaissancedesenergies.org/allemande-un-mix-electrique-plus-renouvelable-que-charbonne-en-2018-190107>
- Deloitte. (2018). *Étude sur le gypse résiduel au Québec*. Récupéré sur <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/etude-gypse-residuel-deloitte.pdf>
- Entrevue. (2018). Entrevue avec les parties prenantes. (C. Ménigault, Intervieweur)
- Entrevue. (2019). Entrevue avec les parties prenantes. (C. Bastard, Intervieweur)
- Environment Protection Agency. (2016). *Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model Construction and Demolition Materials Chapters*. Récupéré sur https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/warm_v14_construction_demolition_materials.pdf
- Euro Gypsum. (2007). *What is Gypsum ?* Récupéré sur <http://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/04/070716whatsgypsum.pdf>
- European Cement Research Academy. (2015). https://www.theconcreteinitiative.eu/images/Newsroom/Publications/2016-01-16_ECRA_TechnicalReport_ConcreteReuse.pdf. Récupéré sur https://www.theconcreteinitiative.eu/images/Newsroom/Publications/2016-01-16_ECRA_TechnicalReport_ConcreteReuse.pdf
- FPIinnovations. (2013). *Product Category Rules for North American Gypsum Boards*.
- Geology.com. (2019). *Anhydrite*. Récupéré sur <https://geology.com/minerals/anhydrite.shtml>
- Global Gypsum. (2019). *Global Syngypsum review*. Récupéré sur <http://www.globalgypsum.com/conferences/global-syngyp/past/gsgc-2017>
- Gypsum Association. (2010). *The gypsum industry*. Récupéré sur https://www.gypsum.org/wp-content/uploads/2011/11/Industry_Brochure_5-18-10_Final.pdf
- Gypsum Association. (2013). *Life-cycle assessment summary*. Récupéré sur <https://www.gypsum.org/2011/11/new-gypsum-industry-brochure/>
- (2015). *Gypsum Waste: Differences across Ten European Countries*. Récupéré sur

https://www.researchgate.net/publication/292354194_Gypsum_Waste_Differences_across_Ten_European_Countries

- ICRIQ. (2010). *Le recyclage des bétons au Québec et à l'étranger*. Récupéré sur http://www.icriq.com/fr/productique_tfp.html/-/asset_publisher/0tMf/content/le-recyclage-des-betons-au-quebec-et-a-l-etranger/maximized
- Laganière, D. (2002). *Caractérisation, stabilisation et valorisation des phosphogypses marocains*. Récupéré sur <https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/1230/MQ94856.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- L'élémentarium. (2017). *Le Gypse*. Récupéré sur <https://www.lelementarium.fr/product/gypse/>
- L'élémentarium. (2019). *Dioxyde de titane*. Récupéré sur <https://www.lelementarium.fr/product/dioxyde-de-titane/>
- Ofrir. (2006). *Phosphogypses*. Récupéré sur <http://ofrir2.iftstar.fr/materiaux/categories-de-materiaux/residus-sous-produits-industriels-miniers/phosphogypses-ofrir1/>
- Placoplatre. (2014). *Le gypse, formation et caractéristiques*. Récupéré sur <https://www.placoplatre.fr/L-ENVIRONNEMENT/Le-gypse/Le-gypse-formation-et-caracteristiques>
- Regionale Planungsgemeinschaft Nordthüringen. (2017). *Hydrogeologische Dokumentation*. Récupéré sur http://www.regionalplanung.thueringen.de/imperia/md/content/rp_g/nord/rpaend14plus/rpn-1ao-2018/rpn14-e1ao-03-zwu-12-1-rohstga-text.pdf
- Société chimique de France. (2017). *Acide phosphorique*. Récupéré sur <http://www.societechimiquedefrance.fr/acide-phosphorique.html>
- World Intellectual Property Organisation. (s.d.). *Conversion of Fluoroanhydrite to Plaster*. Récupéré sur 2006: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO1983002266>



www.deloitte.ca

Deloitte, l'un des cabinets de services professionnels les plus importants au Canada, offre des services dans les domaines de la certification, de la fiscalité, de la consultation et des conseils financiers. Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l., société à responsabilité limitée constituée en vertu des lois de l'Ontario, est le cabinet membre canadien de Deloitte Touche Tohmatsu Limited.

Deloitte désigne une ou plusieurs entités parmi Deloitte Touche Tohmatsu Limited, société fermée à responsabilité limitée par garanties du Royaume-Uni, ainsi que son réseau de cabinets membres dont chacun constitue une entité juridique distincte et indépendante. Pour obtenir une description détaillée de la structure juridique de Deloitte Touche Tohmatsu Limited et de ses sociétés membres, voir www.deloitte.com/ca/apropos.

© Deloitte S.E.N.C.R.L./s.r.l. et ses sociétés affiliées.