



UQAC

Chaire en éco-conseil
Université du Québec à Chicoutimi

**Identification de moyens crédibles pour un grand émetteur
final canadien de s'affirmer carboneutre au Québec**

Rapport final

Préparé pour

GNL Québec

**Chaire en éco-conseil
Université du Québec à Chicoutimi
4 septembre 2019**

Auteurs

Claude Villeneuve	Professeur titulaire Directeur de la Chaire en éco-conseil Département des sciences fondamentales
Hélène Côté	Coordonnatrice Membre de la Chaire en éco-conseil Département des sciences fondamentales
Pierre-Luc Dessureault	Professionnel de recherche Membre de la Chaire en éco-conseil Département des sciences fondamentales
Patrick Faubert	Professeur chercheur sous octroi Membre de la Chaire en éco-conseil Département des sciences fondamentales
Rémi Morin Chassé	Professeur Département des sciences économiques et administratives

Avec la participation de M. Olivier Fradette, professionnel de recherche pour l'infrastructure de recherche Carbone boréal.

Chaire en éco- conseil

Département des sciences fondamentales
Université du Québec à Chicoutimi
555, boul. de l'Université
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1
Canada

Citation de ce document :

Villeneuve C, Côté H, Dessureault PL, Faubert P, Morin Chassé R. 2019. Identification de moyens crédibles pour un grand émetteur final canadien de s'affirmer carboneutre au Québec. Chaire en éco-conseil, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Canada.

Sommaire

Le présent rapport est le résultat d'un mandat donné par GNL Québec à la Chaire en éco-conseil pour répondre à la question de recherche : « Comment une entreprise qui sera un grand émetteur final canadien peut-elle trouver des moyens crédibles pour devenir carboneutre dans le contexte mondial actuel. Quelles solutions peuvent être mises en œuvre et selon quel ordre de priorité? ». La recherche s'est faite entre décembre 2018 et août 2019.

La carboneutralité est une approche comptable qui permet de soustraire d'un inventaire d'émissions de gaz à effet de serre un nombre égal d'absorptions ou de réductions effectuées au-delà du cours normal des affaires par un émetteur ou par des tiers de manière à afficher un bilan net égal à zéro. Pour être crédible, le bilan doit être basé sur un inventaire détaillé effectué selon une méthode normalisée et vérifié par un tiers indépendant et crédible. Le périmètre opérationnel retenu pour l'étude concerne uniquement les émissions du terminal de liquéfaction méthanier Énergie Saguenay. Les émissions prévues totalisent 421 000 tonnes d'équivalent CO₂ composées de 420 000 tonnes de CO₂ et de 1 000 tonnes d'équivalent CO₂ lié à des émissions fugitives de méthane.

Une revue de la littérature scientifique a permis de constater que les moyens existent à l'échelle mondiale pour atteindre d'ici 2030 les cibles de l'Accord de Paris grâce à des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des mesures d'absorption, de stockage et d'utilisation du CO₂. Par la suite, des efforts supplémentaires devront être déployés pour que l'ensemble des activités anthropiques deviennent carboneutres à l'horizon 2050 de manière à maintenir l'augmentation de la température globale sous le seuil de 1,5 °C au-dessus de la référence préindustrielle à l'horizon 2100. Ces méthodes peuvent être appliquées dans les secteurs de l'agriculture, du bâtiment, de l'énergie, de la foresterie, de l'industrie, du transport et d'autres secteurs. Des centaines de méthodologies existent pour quantifier ces réductions et les échanger sur les marchés du carbone.

Après discussion avec GNL Québec, quatre secteurs prioritaires ont été retenus pour établir un bilan carboneutre du terminal de liquéfaction Énergie Saguenay.

1. L'afforestation présente peu de potentiel et seulement après 2040, en raison du temps nécessaire pour que les arbres accumulent le CO₂ émis par l'usine et du peu de territoire disponible en terres privées pour l'établissement de plantations compensatoires.
2. Le captage, la purification et l'utilisation du CO₂ émis présente le plus fort potentiel et pourrait permettre à lui seul la carboneutralité, mais il exigerait la mise en place d'un parc industriel d'innovation permettant de valoriser à la fois le CO₂ et la chaleur industrielle du terminal de liquéfaction. Cela demanderait de modifier les installations du terminal de liquéfaction et de trouver des partenaires pour valoriser ces ressources dans une approche d'écologie industrielle. Ce secteur a le potentiel de contribuer à la carboneutralité à l'horizon 2030.
3. L'achat de gaz naturel renouvelable (GNR) produit à partir de résidus forestiers présente aussi un bon potentiel pour compenser les émissions de l'usine. Toutefois, la maturité technologique de la filière de pyrolyse, les distances à parcourir pour approcher les résidus du pipeline Gazoduc et la compétition pour d'autres usages des résidus forestiers et pour l'achat de GNR par Énergir pour distribution au Québec, dans le contexte où cette ressource est requise pour l'atteinte des cibles du Québec, rendent ce potentiel très incertain. Il est peu probable qu'il puisse contribuer à la carboneutralité avant 2030.
4. L'achat de crédits compensatoires sur les marchés du carbone sera nécessaire pour qu'Énergie Saguenay puisse montrer un bilan carboneutre. Ces crédits peuvent être achetés sur le marché réglementaire SPEDE ou sur les marchés volontaires. Il existe suffisamment de crédits sérialisés crédibles actuellement disponibles sur les marchés volontaires pour assurer la carboneutralité au moins pour la période 2025-2030 et il est probable qu'au fur et à mesure du déploiement des

autres mesures, il sera possible de compléter par des achats de crédits compensatoires le solde des émissions d'Énergie Saguenay annuellement pour la durée de ses opérations.

Le rapport fait état des considérations économiques permettant à GNL Québec d'établir une stratégie de mise en œuvre. Il met en perspective différentes considérations quant aux résultats de recherche et des obstacles législatifs et réglementaires qui devront être pris en considération.

En conséquence, la Chaire recommande que GNL Québec :

- Maintienne son objectif de carboneutralité pour son projet de terminal de liquéfaction Énergie Saguenay;
- Porte une attention particulière aux technologies potentielles permettant d'éviter les émissions fugitives de ses opérations;
- Étudie les possibilités de purification et de mise en marché du CO₂ qui sera produit par le terminal Énergie Saguenay;
- Étudie la possibilité de capter et de valoriser la chaleur résiduelle de son procédé;
- S'engage avec les partenaires gouvernementaux, municipaux, industriels et institutionnels concernés dans un projet de parc d'innovation en écologie industrielle permettant de valoriser ses rejets de CO₂ et de chaleur;
- S'engage avec les partenaires gouvernementaux, municipaux, industriels et institutionnels dans la mise en place de la filière de production de GNR à partir des résidus forestiers;
- Appelle les parties prenantes intéressées à participer à une analyse multicritère permettant de fixer des priorités pour l'achat de crédits compensatoires;
- Engage avec le Gouvernement du Québec et d'autres acteurs du marché du carbone des démarches pour ajuster les règles du SPEDE pour favoriser le développement de projets de compensation sur le territoire québécois.

Tables des matières

Sommaire	2
Liste des annexes.....	10
Liste des acronymes et abréviations	11
Chapitre 1	13
1. Introduction.....	14
1.1 Mise en contexte	14
1.2 Le mandat.....	16
1.3 Devenir carboneutre?	16
1.4 Le périmètre organisationnel	18
1.4.1 Les émissions liées au procédé.....	20
1.5 Importance de la carboneutralité d'Énergie Saguenay pour l'atteinte des cibles du Québec ...	20
Chapitre 2	22
2. Cadre méthodologique.....	23
2.1 Objectifs de l'étude	23
2.2 Étapes de réalisation	23
2.2.1 Revue de la littérature.....	23
2.2.2 Solutions envisageables	25
2.2.3 Analyse de l'application des solutions potentielles	25
Chapitre 3	26
3. Revue de littérature	27
3.1 Moyens de réduction des GES : principaux secteurs économiques.....	27
3.1.1 Moyens de réduction des GES en agriculture	28
3.1.2 Moyens de réduction des GES pour les bâtiments	28
3.1.3 Moyens de réduction des GES pour l'énergie	28
3.1.4 Moyens de réduction des GES applicables par la foresterie	29
3.1.5 Moyens de réduction des GES applicables à l'industrie.....	29
3.1.6 Moyens de réduction des GES pour le transport	29
3.1.7 Moyens de réduction des GES pour les autres secteurs	29
3.2 Méthodes d'élimination du CO ₂ de l'atmosphère.....	29
3.2.1 Méthodes d'élimination du CO ₂ basées sur les puits de carbone naturels – les écosystèmes terrestres ²⁹	
3.2.2 Méthodes d'élimination du CO ₂ basées sur la technologie	30

3.3	Méthodes d'élimination du CO ₂ combinant les puits de carbone naturels et la technologie	30
3.4	Le choix des moyens de réduction et d'élimination : aspects et enjeux économiques	30
3.5	Les méthodologies de réduction et de séquestration des GES	31
Chapitre 4		32
4.	Analyse des solutions applicables au projet Énergie Saguenay	33
	Projet de réduction	33
4.1	Afforestation	33
4.1.1	Compensation des émissions par l'afforestation	33
4.1.2	Notion d'afforestation.....	34
4.1.3	Comptabilisation des absorptions.....	34
4.1.4	Affirmations ex-ante et ex-post	35
4.1.5	Potentiel de carboneutralité d'Énergie Saguenay par la plantation d'arbres.....	36
4.1.6	Autres potentiels	38
4.1.7	Conclusion	38
4.2	Valorisation du CO ₂ capté directement de l'usine	39
4.2.1	Contexte et objectifs	39
4.2.2	Définition du CCU et du potentiel de production menant à une réduction de GES	39
4.2.3	Description des produits et technologies de production par CCU à partir du CO ₂ produit par l'usine	42
4.2.3.1	Conversion chimique en produits chimiques, matières premières et carburants	44
4.2.3.1.1	Minéralisation accélérée par carbonatation des roches.....	46
4.2.3.2	Photosynthèse : matériaux provenant des algues	47
4.2.4	Produits les plus prometteurs en fonction des marchés et de la maturité technologique des procédés	48
4.2.4.1	Meilleures entreprises canadiennes en CCU.....	52
4.2.5	Suivi de l'évolution du CCU	54
4.2.5.1	Ressources à suivre	54
4.2.5.2	Préoccupations environnementales et sanitaires	54
4.2.6	Conclusions.....	55
4.3	Production de biogaz à partir de la biomasse forestière : potentiel de réduction des émissions de gaz à effet par le gaz naturel renouvelable	56
4.3.1	Contexte et objectifs	56
4.3.2	Définition du GNR et principe de substitution menant à une réduction de GES.....	56
4.3.3	Production de GNR à partir de la biomasse forestière.....	56

4.3.4	Maturité technologique de la production de GNR à partir de biomasse forestière	58
4.3.5	États des lieux : dispositions règlementaires sur l'utilisation du GNR comme projet de réduction de GES	59
4.3.6	Estimations des potentiels de réduction de GES par la liquéfaction de GNR produit à partir de biomasse forestière	61
4.3.7	Perspectives de recherche pour la production de GNR à l'échelle industrielle à partir de la biomasse forestière	63
4.4	Crédits compensatoires	65
4.4.1	Devenir carboneutre dans le cadre du SPEDE	65
4.4.2	CSA Registered Carbon Neutral™	65
4.4.3	Réaliser des projets compensatoires en dehors des frontières du SPEDE	66
4.4.4	Acheter des crédits compensatoires sur le marché volontaire	66
4.4.5	Programmes sur le marché volontaire et types de projet	67
4.4.6	Carbone boréal	74
4.4.7	Établir le portefeuille de crédits compensatoires pour la carboneutralité	74
4.5	Émissions évitées par la substitution de carburants	75
Chapitre 5		77
5.	Enjeux économiques	78
5.1	Approches d'évaluation économique des coûts	78
5.2	Aspects économiques des priorités de moyens de réduction de GES retenues par GNL Québec	79
5.2.1	Afforestation	79
5.2.2	Captation et cession du CO ₂ résiduel	80
5.2.2.1	Captation et utilisation de la chaleur résiduelle	81
5.2.3	Option GNR	82
5.2.4	Options de marché	83
5.2.4.1	Marchés volontaires	85
5.2.4.2	Conditions temporelles	86
5.3	Conclusion	86
Chapitre 6		87
6.	Discussion	88
6.1	Limites de l'approche	88
6.2	Carboneutralité du projet Énergie Saguenay dans le cadre du SPEDE	89
6.3	Cession ou vente de CO ₂ et de chaleur à des tiers	90

6.4	Carboneutralité et développement durable	90
6.5	Une panoplie d'outils à déployer dans le temps	91
6.6	Nouvelles pistes de recherche	92
Chapitre 7		93
7.	Conclusions et recommandations	94
Références		96

Liste des tableaux

Tableau 1. Potentiel de séquestration de plantations pour un IQS médian (2000 tiges par hectare).	34
Tableau 2. Superficie et âge de plantations nécessaires pour atteindre l'objectif de carboneutralité d'Énergie Saguenay en 2040.	37
Tableau 3. Potentiel de compensation par un programme décennal de plantations de 1000 ha d'épinettes blanches sur un site IQS 9.	38
Tableau 4. Technologies liées au CCU et à la production de produits chimiques, matières premières et carburants.	45
Tableau 5. Marché potentiel mondial, tiré de (Norhasyima et Mahlia 2018).	49
Tableau 6. Avantages et inconvénients des utilisations de CO ₂ les plus prometteuses selon (Norhasyima et Mahlia 2018).	49
Tableau 7. Description des technologies pouvant générer du GNR.	57
Tableau 8. Estimations des potentiels technico-économiques en 2030 et potentiels bruts de réduction de GES par l'utilisation de GNR produit à partir de la biomasse forestière en lien avec les cibles de réduction de GNL Québec.	61
Tableau 9. Exemple de protocoles génériques des différents projets de réduction/absorption par rapport au programme/registre nord-américain et au MDP catégorisés par secteur d'activités.	67
Tableau 10. Programmes auxquels participent des promoteurs de projets québécois.	73
Tableau 11. Émissions de combustion de différents carburants (Source : BioGrace version 4d 2015) (BioGrace 2019).	76
Tableau 12. Estimation du coût de l'afforestation sur un horizon de 50 ans selon différentes hypothèses (Gorte 2009, BMMB 2014).	80
Tableau 13. Évolution possible du prix plancher des droits d'émission du SPEDE.	85
Tableau 14. Libellé des cibles des Objectifs de développement durable applicables (Nations Unies 2015b) en lien avec le projet du terminal Énergie Saguenay.	91

Liste des figures

Figure 1. Évolution des émissions de CO ₂ provenant de la combustion, des procédés industriels et du ciment de 1990 à 2017 (Le Quéré et al. 2018).	14
Figure 2. Évolution des concentrations des principaux gaz à effet de serre mesurées à l’Observatoire de Mauna Loa Hawaï (NOAA 2019).	15
Figure 3. Évolution de la température moyenne planétaire depuis 1880 (NASA 2019).	15
Figure 4. La notion de carboneutralité.	16
Figure 5. Les composantes de l’empreinte carbone d’une entreprise (ADEME 2019).	18
Figure 6. Émissions annuelles de GES, selon les facteurs du rapport AR-5 du GIEC pour un horizon de 100 ans (IPCC 2013), du terminal de liquéfaction du Saguenay selon la méthode ÉICV IMPACT World+. Cette figure est tirée de l’analyse de cycle de vie réalisée par le CIRAIG (figure 4.1 du rapport) pour le compte de GNL Québec (WSP 2019).	19
Figure 7. Évolution projetée des émissions de GES au Québec (Dunsky et al. 2019).	21
Figure 8. Équation de la photosynthèse.	33
Figure 9. Séquestration brute de CO ₂ par une plantation d’un hectare d’épinettes blanches selon trois IQS.	37
Figure 10. Marché potentiel du CO ₂ dans le monde (David Suzuki Foundation & Pembina Institute 2009).	40
Figure 11. Projets d’utilisation du carbone par pays, tiré de (David Suzuki Foundation & Pembina Institute 2009).	42
Figure 12. Évolution des concentrations de CO ₂ mesurées à l’Observatoire de Mauna Loa Hawaï (NOAA 2019).	43
Figure 13. Quelques-unes des différentes utilisations possibles pour le CO ₂ , tiré de (Styring et al. 2011).	44
Figure 14. Processus de croissance des algues par utilisation du CO ₂ , tiré de (Styring et al. 2011).	48
Figure 15. Possibles routes permettant l’utilisation du carbone classées selon leur degré de maturité (David Suzuki Foundation & Pembina Institute 2009).	50
Figure 16. Utilisations potentielles du CO ₂ les plus prometteuses en volumes (gigatonnes) selon ou non que des actions stratégiques sont entreprises (CO ₂ Sciences and the Global CO ₂ Initiative 2016).	51
Figure 17. Utilisations potentielles du CO ₂ les plus prometteuses en revenus (milliards de dollars) selon ou non que des actions stratégiques sont entreprises (CO ₂ Sciences and the Global CO ₂ Initiative 2016).	52
Figure 18. La carboneutralité d’une entreprise soumise au SPEDE, figure adaptée de MELCC (2019a).	65
Figure 19. Exemple de portefeuille de carboneutralité.	75
Figure 20. Exemple de coût marginal de réduction des émissions de GES (Nordrum et al. 2011).	79
Figure 21. Coût médian de captation du carbone dans différents processus industriels (IOGP 2019).	81
Figure 22. Volume de bois rond récolté au Québec (CCMF 2019).	82
Figure 23. Différentiel de prix entre le GNR et le gaz naturel (CGA 2019).	83

Liste des annexes

Annexe 1. Glossaire

Annexe 2. Revue de littérature sur le portrait des moyens visant à atteindre la carboneutralité

Annexe 3. Présentation des priorités des moyens de réduction de GES