

L'impact économique de l'innovation environnementale

dans les sables bitumineux du Canada –

Concepts économiques et études de cas

Rapport final

Préparé pour

L'Association canadienne des producteurs pétroliers

Par

Pierre Emmanuel Paradis
Économiste et Président
AppEco

30 mai 2019

Table des matières

Résumé	3
Abstract	3
1. Mandat	4
2. Méthodologie	5
3. Principes économiques de l'innovation environnementale intégrée à la chaîne de valeur des sables bitumineux	6
4. Performance économique et environnementale	10
5. Étude de cas d'innovations environnementales	18
6. Conclusion	25
Annexe 1 : Revue de littérature – Études consultées	
Annexe 2 : Études de cas : matériel d'enquête et résultats qualitatifs	

Résumé

Les activités d'innovation et de gestion de l'environnement menées aux sables bitumineux sont considérables, car directement liées avec l'ampleur des activités de production qui s'y déroulent. Cette étude a analysé l'impact économique de l'innovation environnementale réalisée dans les sables bitumineux du Canada, aussi bien de façon globale que par l'entremise d'études de cas. Elle comprend trois parties : une revue de littérature sur l'intégration de l'innovation environnementale dans la chaîne de valeur des entreprises; l'examen d'indicateurs de performance économique et environnementale; et l'analyse de cinq cas d'innovation environnementale : la restauration de l'habitat du caribou; la mesure par satellite des émissions de GES; l'utilisation de capteurs virtuels pour améliorer la vapeur; l'injection et la captation de CO₂ dans les résidus de production; et une turbine au gaz annexée aux injecteurs de vapeur. Dans l'ensemble, ces cinq innovations ont permis d'accroître les revenus des entreprises, de diminuer leurs coûts de production et de créer des emplois. Les projets examinés avaient des applications possibles au-delà du domaine de la production pétrolière dans les sables bitumineux; cependant, seulement deux d'entre eux avaient entrepris des actions en vue de concrétiser ces opportunités. Le partage des connaissances et la publication des résultats obtenus constitue une opportunité certaine pour plusieurs secteurs d'activité du Québec d'explorer ces solutions novatrices, par exemple en foresterie, dans le secteur minier, dans l'industrie de la fabrication lourde, en gestion environnementale, en construction non-résidentielle, ainsi qu'en ingénierie civile et industrielle.

* * *

Abstract

Environmental innovation and management at the oil sands are significant, because they are directly related to the extent of production activities. This study analyzed the economic impact of environmental innovation at Canada's oil sands, both globally and through case studies. It consists of three parts: a literature review on the integration of environmental innovation into the business value chain; a review of economic and environmental performance indicators; and the analysis of five cases of environmental innovation: restoration of caribou habitat; satellite measurement of GHG emissions; the use of virtual sensors to improve steam quality; injection and capture of CO₂ in production residues; and a gas turbine attached to steam injectors. Together, these five innovations have increased business revenues, reduced production costs and created jobs. The projects reviewed had potential applications beyond the oil sands; however, only two of them had initiated actions to follow-up on these opportunities. Knowledge sharing and the publication of results constitute a definite opportunity for several economic sectors in Quebec to explore these innovative solutions, for example in forestry, the mining sector, the heavy manufacturing industry, environmental management, non-residential construction, as well as civil and industrial engineering.

1. Mandat

L'Association canadienne des producteurs pétroliers (ACPP) a confié à AppEco le mandat d'analyser l'impact économique de l'innovation environnementale dans les sables bitumineux du Canada, en utilisant à la fois des données macroéconomiques et des études de cas. Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

- présenter les concepts économiques relatifs à l'intégration de l'innovation environnementale dans la chaîne de valeur des entreprises;
- examiner la performance économique et environnementale des sables bitumineux du Canada depuis 2005;
- décrire les activités économiques et les résultats de cinq cas d'innovations environnementales dans les sables bitumineux du Canada;
- explorer dans quelle mesure des innovations environnementales telles que celles identifiées dans les études de cas peuvent contribuer à améliorer la performance environnementale des industries québécoises comptant de nombreux emplois.

Outre cette introduction, ce rapport comporte cinq (5) sections. La section 2 présente la méthodologie de l'étude. La section 3 présente un survol des principes économiques associés à la chaîne de valeur et aux mécanismes par lesquels l'innovation environnementale peut améliorer à la fois la performance économique et environnementale des entreprises. La section 4 expose des statistiques récentes sur les performances économiques et environnementales globales dans les sables bitumineux, avant et après la création de la Canada's Oil Sands Innovation Alliance (COSIA)¹. La section 5 présente les cinq études de cas d'innovations environnementales, ainsi que les opportunités que représentent ces innovations pour le Québec. La section 6 présente la conclusion de cette analyse.

Ce rapport a été préparé en toute indépendance par AppEco, sans être dirigé ou orienté de quelque façon que ce soit. Tout en ayant bénéficié des suggestions pertinentes de divers intervenants durant sa préparation, les analyses, les constats et les conclusions de ce rapport ont développés librement. Par conséquent, AppEco est entièrement responsable de toute erreur ou omission qui pourrait subsister dans ce rapport.

¹ COSIA est un organisme formé par les producteurs des sables bitumineux pour accélérer le rythme d'amélioration de la performance environnementale des sables bitumineux du Canada grâce à la collaboration et à l'innovation. Lancée en mars 2012, COSIA réunit des experts de l'industrie, des gouvernements, des universités et du grand public afin d'améliorer la mesure, la responsabilité et la performance environnementale dans les sables bitumineux dans quatre domaines prioritaires : les gaz à effet de serre, les sols, les eaux et les résidus.

2. Méthodologie

L'analyse combine les résultats de trois étapes de travail :

- *Revue de littérature* : divers articles portant sur les principes économiques des chaînes de valeur opérationnelle et financière, ainsi que sur leurs composantes liées à la gestion environnementale ont été recueillis et examinés. Les idées principales ont été extraites et sont présentées à la section suivante. De plus, un tableau récapitulatif des sources consultées a été élaboré, comprenant l'auteur, la citation complète, le résumé intégral et les commentaires liant ces études au présent rapport;
- *Collecte et analyse de statistiques officielles* : les sources officielles de données sur la performance environnementale et économique des sables bitumineux ont été consultées, en vue de faire ressortir les principaux indicateurs disponibles à ce sujet. Dans plusieurs cas, seuls des indicateurs qualitatifs étaient disponibles, auquel cas un résumé des constats majeurs est présenté;
- *Études de cas* : pour illustrer les processus par lesquels les innovations environnementales surviennent, leurs résultats, ainsi que leurs applications possibles au-delà des industries associées aux sables bitumineux, les activités et les résultats de cinq projets d'innovation environnementale ont été analysés. Dans ce contexte, AppEco et l'ACPP ont collaboré avec COSIA pour identifier les projets les plus pertinents à étudier. Les étapes de travail ont été les suivantes : contact de chacune des entreprises identifiées pour confirmer leur participation; élaboration de deux questionnaires : un premier demandant des réponses qualitatives sur la description du projet, les domaines environnementaux touchés, la genèse de l'innovation, ses impacts sur les activités et les organisations impliquées, ainsi que les visées futures de l'innovation, dans les sables bitumineux et ailleurs; et un second demandant des données quantitatives sur la performance environnementale et économique de ces innovations, présentées de façon agrégée en vue de préserver la confidentialité des réponses; et analyse des résultats. La liste des participants, les deux questionnaires et les réponses qualitatives complètes sont présentés en annexe.

3. Principes économiques de l'innovation environnementale intégrée à la chaîne de valeur des sables bitumineux

Économie et environnement dans les sables bitumineux

L'opposition entre économie et environnement est un faux débat. Tout comme la physique, la philosophie ou la biologie, l'économie est simplement une façon d'observer et de comprendre le monde qui nous entoure. En ce sens, elle n'est ni favorable, ni défavorable à l'environnement : elle en fait partie intégrante. Par définition, toute activité économique engendre une certaine production de biens ou de services, qui a une certaine valeur monétaire et s'accompagne d'un certain coût en ressources (humaines, naturelles, technologiques, environnementales, etc.) nécessaire pour la réaliser. Par conséquent, l'économie et l'environnement sont deux réalités omniprésentes et interreliées, et non deux concepts qui s'opposent.

Dans ce contexte, la production de pétrole dans les sables bitumineux produit une valeur économique considérable, générant des milliers d'emplois de qualité. En contrepartie, tout comme d'autres activités industrielles lourdes, elle s'accompagne d'une empreinte environnementale significative. Cela implique nécessairement des efforts à grand déploiement de gestion environnementale afin de minimiser son ampleur, aussi bien durant le processus de production qu'après la fin des activités, notamment pour la restauration complète des aires exploitées. De plus, l'ampleur de ces efforts implique beaucoup d'opportunités d'innover, alors que le moindre gain d'efficacité opérationnelle devient rentable grâce à l'ampleur des économies d'échelle. En outre, certaines innovations d'abord développées pour les sables bitumineux pourraient aussi engendrer des retombées positives dans d'autres industries.

Depuis quelques années, la production de pétrole dans les sables bitumineux se déroule dans le contexte de préoccupations grandissantes concernant le réchauffement climatique, dont une part significative est liée à l'utilisation des hydrocarbures dans plusieurs sphères de nos sociétés. En conséquence, les prochaines décennies pourraient être le théâtre d'une « décarbonisation » progressive de l'économie au profit des énergies renouvelables. Certes, la proportion des énergies renouvelables dans le total consommé est appelée à croître au cours des prochaines décennies. Cela dit, les scénarios réalistes prévoient également que la demande mondiale en pétrole augmentera durant cette même période et ce, jusqu'en 2040. L'utilisation de pétrole pour les voitures culminera au milieu des années 2020, notamment avec la présence accrue des véhicules électriques, mais la demande venant de la pétrochimie, du camionnage, des avions et des navires soutiendra la croissance globale jusqu'en 2040². Dans ce contexte, les entreprises pétrolières canadiennes sont appelées à poursuivre leur valorisation des ressources existantes, tout en redoublant d'efforts pour atténuer leur empreinte environnementale autant que faire se peut, d'où l'importance cruciale de l'innovation.

² International Energy Agency, World Energy Outlook 2018 : <https://webstore.iea.org/download/summary/190?fileName=English-WEO-2018-ES.pdf>.

Les paragraphes suivants précisent les mécanismes économiques d'intégration de l'innovation dans la gestion environnementale quotidienne de ces entreprises. Les sources qui y sont citées sont répertoriées en Annexe 1.

Chaînes de valeur : principes de base

Les activités de gestion environnementale s'intègrent dans le processus de production des entreprises, aussi connu sous les termes « chaîne de valeur ». En fait, on distingue deux chaînes de valeur simultanées : d'abord, la chaîne de valeur opérationnelle, décrivant la séquence des étapes de production d'un bien ou d'un service donné, ainsi que la chaîne de valeur financière, soit la valeur monétaire nette qu'ajoute chacune de ces étapes au rendement économique de l'entreprise productrice.

Selon Gereffi et Fernandez-Stark (2016), l'analyse des chaînes de valeur était, à l'origine, limitée à la recherche sur la compétitivité des firmes au sein des industries manufacturières. Le bassin de connaissances accumulées au fil du temps sur l'importance de la création de valeur à chacune des étapes de la production s'est toutefois élargi et permet de nos jours d'éclairer les décisions d'investissement, de guider les opportunités de croissance et de favoriser l'innovation ou l'exploitation de nouveaux créneaux.

Divers auteurs ont exploré des aspects conceptuels liés à la gestion des chaînes de valeur. D'abord, Wagner et al. (2012) ont observé que la gestion de la chaîne d'approvisionnement est efficace lorsque les entreprises s'adaptent efficacement à l'incertitude entourant la demande pour leurs produits et aux besoins des clients qui en découlent. Plus la chaîne logistique est bien adaptée à ces changements impromptus des conditions de l'offre et de la demande, plus on évite le gaspillage de ressources rares et plus le retour sur investissement de l'entreprise est élevé.

Dans la même veine, Holweg et Helo (2014) signalent que l'architecture de la chaîne de valeur peut se modifier avec le temps, lorsque de nouvelles stratégies commerciales doivent être adoptées pour faire face aux aléas du marché et aux défis qui surgissent spontanément. Par ailleurs, Lind (2012) estime que la gestion du fonds de roulement fait partie intégrante du financement à court terme d'une entreprise. Grâce à une gestion efficace du fonds de roulement pour chacun des maillons de la chaîne de valeur, une entreprise peut libérer du capital pour des objectifs plus stratégiques, réduire ses coûts et améliorer sa rentabilité.

Gestion environnementale et chaînes de valeur

Les étapes de gestion et de nettoyage environnementaux font partie intégrante des chaînes de valeur de toutes les entreprises industrielles, incluant celles œuvrant dans les sables bitumineux. Traditionnellement, ces étapes ont été considérées comme des postes de coûts privés générant des avantages publics, donc peu captés par les entreprises elles-mêmes. Toutefois, ces entreprises engagent de plus en plus d'efforts à innover en matière environnementale, aussi bien pour accroître leur performance que pour diminuer les coûts engagés à ce titre.

Des chercheurs ont d'ailleurs récemment montré que des bénéfices environnementaux n'étaient pas incompatibles avec des objectifs de rentabilité financière, bien au contraire (Breyer et al., 2015). Ils ont quantifié les bénéfices d'incorporer une technologie de conversion d'énergie renouvelable au sein de la chaîne de valeur intégrée d'une grande entreprise de pâtes et papier en Finlande. Les résultats de l'analyse ont montré que la technologie était fortement rentable pour l'entreprise, pouvant générer dans certaines circonstances un rendement sur le coût de cet investissement spécifique de l'ordre de 100 %. Toutefois, les auteurs soulignent que pour être économiquement durable et rentable, cette technologie a dû être pleinement intégrée à la chaîne de valeur de l'entreprise.

Mesure des résultats et collaboration

Les entreprises engagent des efforts croissants pour améliorer la mesure de leurs effets et leurs pratiques environnementaux, au-delà même de leurs obligations réglementaires. En effet, un nombre accru d'entreprises se sont engagées au fil des dernières années à publier des rapports environnementaux, en plus de leurs rapports financiers annuels. Même si la publication de tels rapports demeure volontaire, on observe une tendance à la hausse du pourcentage d'entreprises adhérant à de tels principes de transparence. Des chercheurs ont constaté que 80 % des compagnies pétrolières analysées publiaient des rapports sur leurs pratiques en matière de développement durable (Cunha et Moneva, 2016).

Un survol de la littérature permet également de constater que de la valeur et des bénéfices sociétaux semblent tout autant, sinon plus susceptibles d'être créés dans le secteur pétrolier lorsque des entreprises privées sont au cœur de l'exploration et de l'exploitation de la ressource, contrairement à des contextes de nationalisation susceptibles de freiner les incitations à innover, tant sur le plan environnemental qu'opérationnel (Tordo et al. 2011). C'est précisément le cas dans les sables bitumineux, où COSIA a été créée par les producteurs afin de stimuler l'innovation environnementale, ainsi que le partage des fruits de ces innovations à travers l'ensemble de l'industrie. À travers cette approche collaborative de type « open source », COSIA travaille à identifier des nouvelles technologies ou approches ayant pu être créées pour d'autres contextes que les sables bitumineux, mais pouvant y être intégrées afin de combler certaines lacunes. N'importe qui peut soumettre une idée à COSIA via son portail Environmental Technology Assessment Portal (E-TAP), qu'il s'agisse d'une multinationale ou d'un inventeur dans son garage.

Depuis sa création en 2012, les entreprises-membres de COSIA ont partagé 981 technologies et innovations distinctes, pour un coût total de développement de 1,4 G \$. En 2017 seulement, l'organisme comptait 308 projets actifs pour une valeur totale de 545 M \$. COSIA finance également en partie le concours international NRG COSIA Carbon XPrize doté d'une bourse de 20 M \$ visant à créer des techniques innovatrices qui convertissent le CO₂ en produits de grande valeur. Ce genre d'innovation a des applications bien au-delà des sables bitumineux et est susceptible de profiter à n'importe quel pays, secteur, entreprise ou particulier produisant du CO₂.

En somme, il est tout à fait compatible de parler à la fois de gestion environnementale et de rentabilité économique, dans la mesure où l'innovation peut faire en sorte que (a) une même dépense produit un meilleur résultat; (b) un résultat donné s'obtient en dépensant moins; ou (c) une combinaison de ces deux effets. À ce titre, l'intégration à part entière de la gestion environnementale dans la chaîne de valeur des entreprises pétrolières des sables bitumineux, l'ampleur de ces activités et des économies d'échelle dans cette industrie, de même que l'engagement commun et public à financer l'innovation environnementale sous toutes ses formes sont autant d'aspects positifs et porteurs, non seulement pour cette industrie, mais aussi pour la société canadienne en général.

4. Performance économique et environnementale

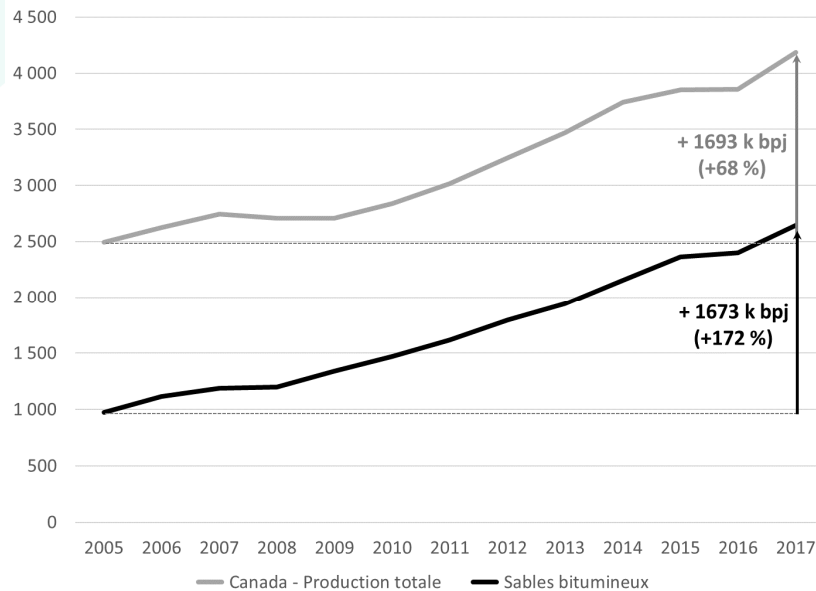
Cette section condense les grandes lignes de la performance économique et environnementale des sables bitumineux depuis 2005. Elle a été élaborée à partir des données publiques disponibles auprès de Statistique Canada, Environnement Canada et Ressources naturelles Canada, ainsi que des données sur la production des producteurs pétroliers et gaziers de l'ACPP.

D'entrée de jeu, si toutes les données nécessaires à la présentation de la performance économique de l'industrie existent, ce n'est pas le cas pour le rendement environnemental. En effet, peu d'indicateurs sont disponibles pour appuyer l'évidence anecdotique à l'effet que des efforts importants ont été réalisés pour minimiser les effets environnementaux de la production. Dans certains cas, il s'agit même carrément d'inverser les perturbations passées, par exemple lors de la restauration complète d'habitats naturels. Néanmoins, voici les données disponibles pour caractériser ces deux volets, ainsi que certains éléments d'information complétant ce portrait.

Performance économique

La Figure 1 présente la croissance comparée de la production pétrolière des sables bitumineux et de celle de l'ensemble du Canada de 2005 à 2017. Au cours de la période, la production dans les sables bitumineux a crû très rapidement, soit de 172 % en un peu plus d'une décennie. Pratiquement toute la croissance de la production pétrolière canadienne depuis plus d'une décennie est attribuable à celle enregistrée dans les sables bitumineux.

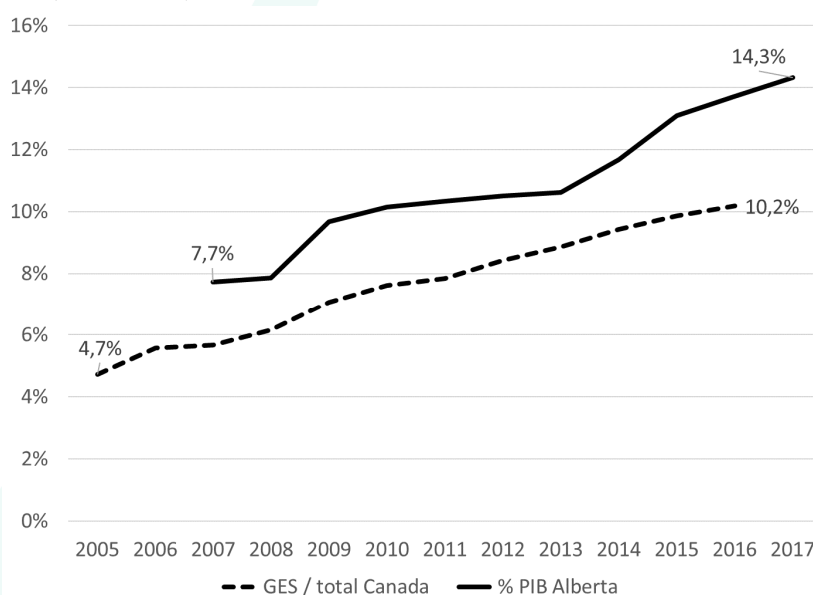
Figure 1. Évolution de la production pétrolière au Canada, totale et sables bitumineux, 2005-2017



Source : ACPP (2018).

La Figure 2 met en parallèle les croissances de la production économique (exprimée par le produit intérieur brut, ou « PIB ») et des émissions de gaz à effet de serre (« GES ») (% du total canadien) engendrées par les activités économiques dans les sables bitumineux. Naturellement, les hausses parallèles de ces deux indicateurs vont de pair avec la forte croissance de la production physique (+172 %) durant la même période : +125 % pour le PIB et +107 % pour les émissions de GES. L'exploitation des sables bitumineux nécessite beaucoup d'énergie, ce qui a entraîné des émissions de gaz à effet de serre à hauteur de 10,2 % du total canadien en 2016. Cependant, ces émissions ont crû moins rapidement que la production, résultat cumulatif des améliorations à la gestion environnementale de la chaîne de valeur opérationnelle.

Figure 2. Évolutions comparées du produit intérieur brut (PIB, 2007-2017) et des émissions de gaz à effet de serre (2005-2016) des sables bitumineux



Sources : Environnement Canada, Émissions de GES pour Canada par secteurs économiques canadiens, 1990-2016; et Statistique Canada (PIB : Tableau 36-10-0402-01; et emploi : Tableau 14-10-0202-01).

Du côté de l'emploi, l'intensité en capital de la production, de même que les économies d'échelle font en sorte que la croissance de l'emploi a aussi été forte, mais plus modérée que celle de la production. Ainsi, l'emploi direct en activités de production pétrolière dans les sables bitumineux en Alberta est passé de 15 200 en 2007 à environ 25 000 travailleurs en 2017 (+64 %).

Les sables bitumineux et l'économie du Québec

Les activités des producteurs pétroliers des sables bitumineux du Canada génèrent des retombées économiques considérables au Québec, via leurs dépenses auprès des fournisseurs québécois.

Au total, 371 fournisseurs québécois avaient obtenu des contrats pour une valeur totale de 1,2 milliard \$ en 2014-2015, dont environ 80 % dans la grande région de Montréal. Les principaux

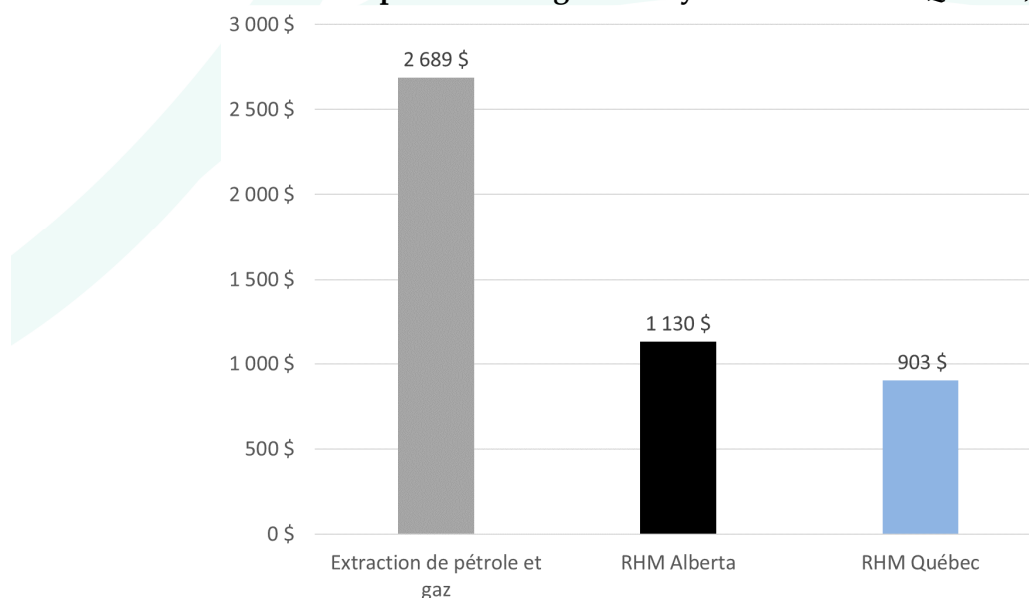
secteurs économiques de ces fournisseurs ont été le transport, la fabrication de machines et le commerce de détail.

Globalement, ces dépenses ont entraîné des retombées significatives pour l'économie du Québec. Environ 16 200 emplois ont été créés ou maintenus par les dépenses des producteurs auprès des fournisseurs du Québec, dont 8 600 emplois directs. Plus de 7 500 emplois sur l'île de Montréal sont associés directement ou indirectement aux montants reçus par ces fournisseurs. En moyenne, un emploi a été créé ou maintenu pour chaque tranche de 76 100 \$ en dépenses. La portion du PIB aboutissant dans les coffres des gouvernements en fiscalité et parafiscalité totalise 288 millions \$, dont 215 millions \$ pour le gouvernement du Québec.

Ces retombées sont récurrentes et, dans la mesure où la production augmente et que les innovations technologiques se poursuivent dans les sables bitumineux, elles pourraient croître au cours des années à venir.

Clairement, l'importance relative de l'emploi dans les sables bitumineux est plus faible que celle de la production, qu'elle soit mesurée en unités produites ou en dollars. En fait, chaque emploi produit plus de dix fois sa part relative du PIB. Il s'agit donc d'emplois très productifs et, par conséquent, très bien rémunérés, comme le démontre la Figure 3. Ces données de Statistique Canada incluent aussi l'extraction de type conventionnelle.

Figure 3. Rémunération hebdomadaire moyenne (RHM), incluant le temps supplémentaire – Industrie de l'extraction de pétrole et de gaz et moyennes Alberta et Québec, 2017

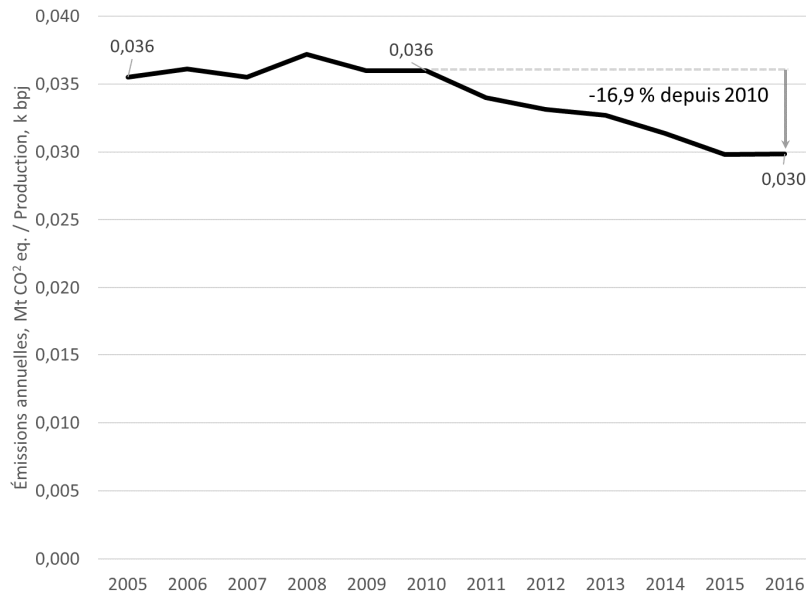


Source : Statistique Canada, Tableau 14-10-0204-01.

La rémunération hebdomadaire moyenne dans l'industrie d'extraction du pétrole et gaz d'Alberta approche les 2 700 \$, soit tout près de 3 fois celle de la moyenne des emplois du Québec et 2,4 fois celle de l'Alberta – gonflée par l'ensemble des emplois des industries du pétrole. La productivité

n'est pas réservée qu'aux emplois, elle se transfère aussi à la réduction des émissions de GES par baril produit (Figure 4).

Figure 4. Émissions de GES par milliers de barils par jour – 2005-2016, Mt CO₂ eq. / k bpj



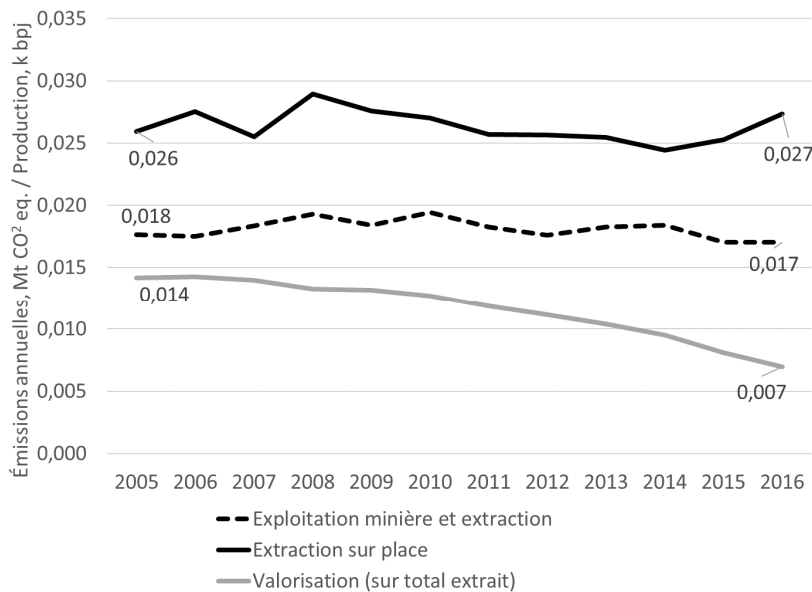
Sources : Environnement et Changement climatique Canada (émissions) et ACPP (production).

Les émissions de GES sont globalement en hausse, en raison de la croissance des volumes produits. Cependant, les mêmes émissions de GES par baril produit sont en recul, surtout depuis 2010. En particulier, les émissions par baril produit ont diminué de près de 17 % entre 2010 et 2016. Cela dit, d'autres estimés plus globaux des émissions de GES démontrent que des progrès encore plus significatifs ont été réalisés, notamment en incorporant les émissions non réalisées du côté de la production électrique albertaine grâce à certaines technologies novatrices exposées plus loin dans ce rapport. En tenant compte de ce dernier aspect, la firme IHS Markit estime que l'intensité des émissions de GES a en fait diminué de 0,038 à 0,028 Mt CO₂ eq. / k bpj entre 2010 et 2016, soit une baisse totale de 26,7 %³.

Il est possible de ventiler ces émissions selon la source d'émission de GES, soit le type de production (in situ ou minière) et la valorisation (Figure 5). Résultat : l'essentiel de la réduction des émissions unitaires, qui ont été divisées par deux depuis 11 ans, est attribuable aux efforts accrus en matière de valorisation de la ressource. Du côté des deux processus de production, les émissions de GES sont demeurées stables depuis 2005.

³ IHS Markit, Greenhouse gas intensity of oil sands production Today and in the future, September 2018.

Figure 5. Émissions de GES par milliers de barils par jour, selon la source – 2005-2016, Mt CO₂ eq. / k bpj



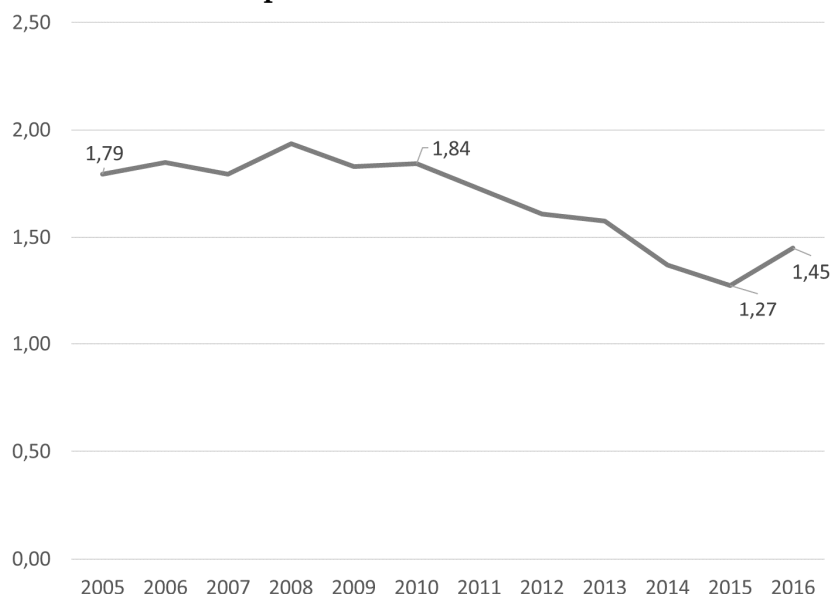
Sources : Environnement et Changement climatique Canada (émissions) et ACPP (production).

Un aspect additionnel de ce portrait concerne la variabilité des émissions par site d'exploitation. En 2017, l'écart entre les émissions minimales et maximales de GES dans les installations de sables bitumineux s'élevait à 88 kilogrammes (kg) d'équivalent en CO₂ par bbl (donc, 39 à 127 kgCO₂e / bbl)⁴. Par conséquent, l'intensité des émissions de GES pour l'ensemble du cycle de vie (« du puits aux roues ») variait alors d'environ 1% en dessous à 16% au-dessus de la moyenne du pétrole brut raffiné aux États-Unis. Autrement dit, les installations les plus performantes sur le plan environnemental des sables bitumineux génèrent moins de GES par baril que la moyenne des puits aux États-Unis.

La Figure 6 compare l'intensité des émissions dans les deux grandes industries pétrolières canadiennes. Par rapport à la production conventionnelle de pétrole, le bilan des émissions de GES s'améliore plus rapidement dans les sables bitumineux. Entre 2005 et 2015, le ratio des émissions de GES par baril produit dans les sables bitumineux divisé par celles venant de la production conventionnelle est passé de 1,8 à 1,3 (-27,8 %). En 2018, ce même ratio est remonté à 1,45, ce qui représente une première inversion de tendance depuis les six dernières années. Comme l'intensité absolue des émissions de GES dans les sables bitumineux n'a pratiquement pas bougé entre 2015 et 2016, cela signifie qu'il y a eu une diminution d'intensité du côté du pétrole conventionnelle.

⁴ Ibid note 4.

Figure 6. Ratio des émissions de GES par baril produit (Mt CO₂ eq. / k bpj), sables bitumineux sur production conventionnelle de pétrole, 2005-2016



Sources : Environnement et Changement climatique Canada (émissions) et ACPP (production).

Les résultats les plus récents indiquent que ces améliorations se poursuivent activement. D'ici 2030, l'intensité en émissions de GES de la production des sables bitumineux pourrait être de 16 à 23% inférieure aux niveaux de 2017. Sur l'ensemble du cycle de vie du pétrole, ces avancées réduiraient l'intensité des émissions dans les sables bitumineux jusqu'à 2-7 % de plus que celles liées à l'extraction de pétrole brut raffiné moyen aux États-Unis. D'autres technologies non intégrées dans ces prévisions sont présentement à l'essai et représentent un potentiel de changement transformationnel et, partant, un impact encore plus marqué sur la réduction des émissions de GES⁵.

Rappelons aussi l'adoption du Plan de leadership climatique par le gouvernement d'Alberta en novembre 2015, qui prévoit, entre autres, éliminer les émissions de charbon d'ici 2030; proposer des mesures incitatives à l'innovation; instaurer un prix sur le carbone à l'échelle de l'ensemble de l'économie; décréter un plafond de 100 mégatonnes sur les émissions provenant des sables bitumineux; et implanter un nouveau système d'allocations pour les grands émetteurs, ce qui entraînera des réductions d'émissions supplémentaires.

Performance environnementale – Autres renseignements

Voici d'autres renseignements généraux relatifs au rendement environnemental de la production pétrolière dans les sables bitumineux :

⁵ Ibid note 4.

- les sables bitumineux du Canada couvrent une superficie de 142 000 km², soit environ un cinquième du territoire de l'Alberta. Environ 3 % de cette superficie, soit 4 800 km², est utilisée pour l'extraction minière. Les réserves de pétrole restantes sont présentes sur 97 % de la surface d'exploitation des sables bitumineux et peuvent être extraites par des méthodes de forage « in situ » nécessitant peu de perturbation de la surface des terrains et aucun résidu⁶. Fait à noter, les entreprises doivent restaurer et remettre en état la totalité des sols à la suite de l'extraction des sables bitumineux. Le sol doit alors retrouver un écosystème autorégulateur capable d'accueillir la flore et la faune locales. Dans la zone des sables bitumineux, le gouvernement de l'Alberta s'est engagé à conserver et à protéger plus de 2 M d'hectares, qui s'ajoute aux 4,5 M d'hectares de territoire protégé au nord des sables bitumineux⁷;
- comme tout travail d'exploitation en découverte pratiqué à l'échelle de la planète, l'extraction du bitume des sables bitumineux produit des restes (résidus) constitués d'eau, d'argile, de bitume non récupéré, d'agents solvants et de produits chimiques dissous. Ces résidus sont stockés dans de grands bassins semblables à des réservoirs où les matières solides peuvent décanter. Une des technologies les plus récentes est la production de résidus secs empilables, présentant de grands avantages par rapport aux technologies existantes car elle réduit de moitié les besoins en eau et accélère la remise en état des terrains perturbés⁸. Des règlements exigent que le volume de résidus fluides fins soit réduit et que les bassins soient prêts pour la remise en état au plus tard cinq ans après leur mise hors service⁹;
- la production pétrolière dans les sables bitumineux requiert beaucoup d'eau¹⁰. Dans des conditions normales, il faut environ de 3 à 4,5 m³ de nouvelle eau pour chaque m³ de bitume produit¹¹. De 80 à 95 % de l'eau utilisée lors de l'exploitation des sables bitumineux est recyclée. L'industrie continue à investir en recherche et développement afin de réduire la consommation d'eau douce nécessaire à la production de chaque baril, en améliorant son taux de recyclage, en utilisant de l'eau de qualité inférieure (par exemple, de l'eau salée) si possible et en développant de nouvelles technologies. Le cadre de gestion de l'eau pour la rivière Athabasca prévoit la restriction, la surveillance et les prélèvements dans la rivière sur une base hebdomadaire, ainsi que la préservation de la qualité des ressources régionales en eau de surface et en eau souterraine. Entre autres, les quantités d'eau prélevées ne doivent pas dépasser 3 % du débit de la rivière Athabasca; en pratique, elles sont souvent inférieures à 1 %.

⁶ ACPP (https://issuu.com/capp/docs/les_faits_sur_les_sables_bitumineux, version août 2015).

⁷ Ressources naturelles Canada : <https://www.rncan.gc.ca/energie/petrole-brut/18153>.

⁸ Ressources naturelles Canada : <https://www.rncan.gc.ca/energie/sables-bitumineux/5856>.

⁹ Ressources naturelles Canada : <https://www.rncan.gc.ca/energie/publications/18753>.

¹⁰ Si les sables bitumineux sont près de la surface du sol, ils sont simplement extraits (exploitation minière à ciel ouvert), puis mélangés à de l'eau, ce qui fait remonter le bitume à la surface du mélange de sable et d'eau. Si les gisements de bitume se trouvent dans le sous-sol, l'extraction est réalisée de façon souterraine (extraction in situ). L'extraction s'effectue généralement en injectant de la vapeur dans un puits horizontal, ce qui chauffe le bitume qui s'écoule dans un second puits, duquel il est alors pompé à la surface.

¹¹ Ressources naturelles Canada : <https://www.rncan.gc.ca/energie/sables-bitumineux/gestion-eau/5870>.

En somme, la production pétrolière issue des sables bitumineux représente une activité économique d'envergure et en croissance, aussi bien pour les provinces de l'Ouest (principalement l'Alberta) qu'à l'échelle de tout le Canada. Cela génère une part importante du produit intérieur brut (PIB) de l'Alberta, ainsi que des milliers d'emplois très bien rémunérés. Comme toute activité industrielle d'envergure, la production pétrolière dans les sables bitumineux génère une empreinte environnementale proportionnelle à son ampleur, touchant principalement à l'air, l'utilisation du territoire, l'eau et les résidus d'extraction. Depuis plusieurs années, la combinaison des efforts de l'industrie et de l'instauration de réglementations permet de contenir, voir réduire cette empreinte autant que faire se peut. Toutefois, peu de données macroéconomiques permettent de fournir un portrait global de cette performance environnementale. Néanmoins, les études de cas suivantes donnent des exemples concrets de projets qui changent les façons de faire en matière d'environnement, en plus de présenter un potentiel économique indéniable.

5. Études de cas d'innovations environnementales

COSIA identifie, élabore et partage des innovations environnementales ayant cours dans les sables bitumineux, pour qu'elles soient partagées et diffusées autant que possible à l'ensemble de l'industrie. En particulier, les 308 innovations actives répertoriées par COSIA sont catégorisées selon leur domaine environnemental (GES, eau, territoire et gestion des résidus) et leur degré d'avancement en vue d'être implantées dans les installations de production (découverte, design, développement, déploiement).

Parmi les divers projets actifs de COSIA, quatre entreprises ont fourni des informations sur un total de cinq innovations. Ces cinq cas ont été retenus pour leur diversité, aussi bien dans les domaines touchés que le degré d'avancement et d'implantation de leur innovation. De plus, même si ces innovations concernent au premier chef les sables bitumineux, elles pourraient toutes avoir des applications dans d'autres secteurs d'activité, tels que les mines, l'électricité, la foresterie, la fabrication, etc. Voici un bref profil des cinq innovations¹² :

- **Cas 1 : LiDea – Restauration de l'habitat du caribou** : ce projet utilise des méthodes éprouvées de restauration typiquement utilisées dans l'industrie de la foresterie, auxquelles s'ajoutent deux innovations. D'abord, des véhicules amphibies sont utilisés pour restaurer l'habitat du caribou, ce qui permet de travailler le terrain toute l'année. Également, la modification du peuplement forestier est effectuée en modulant les troncs d'arbres pour créer une barrière physique le long des lignes sismiques. Cela contraint les déplacements des loups le long de ces corridors et permet au caribou de se reproduire davantage.
- **Cas 2 : GHGSat – Mesure des gaz à effet de serre** : ce projet consiste à utiliser des satellites pour mesurer les émissions de GES provenant des bassins de résidus et des mines, connues sous le nom de « émissions fugitives ». Cette technologie testée pourrait remplacer la méthode courante utilisée pour estimer les émissions en améliorant la précision des mesures et en augmentant leur fréquence. Le projet pourrait aussi réduire les risques possibles pour les employés appelés à effectuer les mesures au sol et donc réduire les coûts financiers et humains reliés à ces opérations.
- **Cas 3 : Capteurs virtuels–Injecteurs de vapeur à passage unique (once-through steam generators ou « OTSG »)** : la majorité des OTSG opèrent avec une vapeur de qualité variant de 75 à 80 %, soit le pourcentage d'eau converti en vapeur. Il est très important d'optimiser la qualité de la vapeur autour de 80 %, car si le ratio est trop élevé, il y a risque d'entartrage et d'encrassement des tubes du générateur, réduisant alors son efficacité. Un modèle mathématique prédisant la qualité de la vapeur d'un OTSG a été développé par la technologie des capteurs virtuels, qui utilisent les mesures existantes pour calculer les valeurs inconnues d'une quantité d'intérêt à l'aide d'algorithmes avancés. L'objectif est de réduire le temps d'arrêt des OTSG et d'optimiser les opérations de maintenance.

¹² Les descriptions complètes des projets, de même que leurs réponses aux questions qualitatives sont présentées en Annexe 2.

- **Cas 4 : Gestion des résidus par l'ajout et la capture de CO₂** : le procédé « NST » (résidus non-ségrégués) permet d'assécher les résidus des sables bitumineux par l'entremise par centrifugation avant leur envoi dans le bassin de déchets. Le CO₂ issu de l'installation de captage est injecté et séquestré dans les résidus. L'ajout de CO₂ aux déchets ainsi traités améliore encore la capture des particules fines et accélère leur déshydratation. L'eau ainsi retirée est déjà chauffée et peut être utilisée dans la production¹³.
- **Cas 5 : Turbine à gaz naturel OTSG** : la turbine à gaz naturel OTSG (GT-OTSG) fonctionne selon le même principe qu'un OTSG traditionnel, auquel s'ajoute une unité de production électrique au gaz naturel pouvant alimenter ses installations. Cette technologie a fait l'objet d'un projet pilote à Surmont. Elle permet aux unités d'opérer avec une plus grande flexibilité et plus efficacement. De plus, cela réduit la dépendance des installations de production d'électricité de l'Alberta (dont la majorité est produite par des usines au charbon), diminuant du coup les émissions nettes de GES.

Dans ces cinq cas, les opérations de production pétrolière dans les sables bitumineux ont été à l'origine des innovations. Dans les deux premiers cas, les innovations avaient des applications possibles ou immédiates dans d'autres industries (foresterie, électricité), mais l'effort initial de développement a été réalisé et adapté au contexte spécifique des sables bitumineux. Les OTSG sont une composante majeure des opérations d'extraction du bitume, ce qui explique que plusieurs innovations (dont les trois dernières présentées ici) se soient développées pour et autour de ces équipements.

Impact environnemental et économique des innovations

Les réponses reçues concernant l'impact des innovations sont fort variées et souvent plus qualitatives qu'autre chose, aussi bien pour l'environnement que pour les indicateurs économiques portant sur les entreprises engagées dans les projets. Cela reflète en partie les différences d'avancement et d'ampleur des innovations. Certains cas sont encore en attente de données à publier sur les mesures d'impact, tandis que d'autres engrangent déjà des baisses de coûts de production ou des revenus additionnels de l'ordre des dizaines de millions de dollars.

Un autre facteur expliquant l'absence d'impact organisationnel pour certains projets est le fait que plusieurs projets sont réalisés dans un contexte d'innovation continue, c'est-à-dire où des équipes sont dédiées à chercher et développer des innovations technologiques en gestion environnementale, en procédés de production, etc. Dans certains cas, le travail est réalisé à l'interne, alors que dans d'autres, les entreprises pétrolières collaborent avec des sous-traitants et des universitaires pour concrétiser leur projet. Un des commentaires exprimés à ce sujet était le

¹³ À son site Horizon, l'entreprise Canadian Natural a établi l'Applied Process Innovation Center (APIC), un centre d'innovation visant à accélérer le développement et la mise en œuvre à l'échelle commerciale de nouvelles technologies prometteuses. Ce centre facilite aussi la collaboration directe entre les pairs de l'industrie, du milieu universitaire et du gouvernement.

suivant : « notre équipe est constamment à la recherche d'innovations environnementales. Toutefois, à la base, elles doivent présenter un potentiel de rentabilité financière pour être implantées, sans quoi l'innovation ne voit jamais le jour. »

Le Tableau 1 présente les domaines d'impact environnemental des cinq innovations étudiées. En principe, les cinq projets permettent de diminuer les émissions de GES ou de les capter; cependant, les mesures effectives de l'ampleur de ces effets n'étaient pas disponibles pour tous ces projets. La gestion de l'eau et le suivi étaient touchés chacun par deux projets innovants, tandis que le territoire et les résidus étaient visés par un projet chacun. Ainsi, chaque projet touchait en moyenne à deux domaines environnementaux.

Tableau 1. Domaines environnementaux visés par les études de cas

Domaine environnemental	1	2	3	4	5	Description des composantes / processus / mécanismes des innovations
Gaz à effet de serre	√	√	√	√	√	(Cas 1) Conversion des sites exploités de source de CO ₂ à puits de CO ₂ – données empiriques pas encore publiées. (Cas 2) Augmentation possible de la précision et la fréquence des mesures en provenance des opérations de sables bitumineux, en vue de faciliter la réduction des émissions de gaz à effet de serre. (Cas 3) Opération plus précise et efficace des générateurs de vapeur, menant à une réduction de la variabilité de la qualité des vapeurs et une réduction des émissions de GES. (Cas 4) Capture du CO ₂ via l'unité de valorisation et injection dans les résidus, ce qui réduit les GES. (Cas 5) Réduction indirecte des émissions de GES causée par la dépendance réduite envers l'électricité produite par l'Alberta.
Territoire	√					(Cas 1) Restauration des forêts et de l'habitat du caribou.
Gestion des résidus				√		(Cas 4) Capture plus efficace des particules fines et réduction de l'aire requise des bassins de résidus.
Eau			√	√		(Cas 3) Amélioration de la qualité de la vapeur, impliquant une utilisation plus efficace de la chaleur (latente) pour récupérer le pétrole. Diminution de la quantité d'eau requise pour la production. (Cas 4) L'ajout de CO ₂ aux résidus augmente la clarté de l'eau, réduisant ainsi l'eau requise pour les bassins de résidus.
Suivi	√	√				(Cas 1) Fourniture de données utiles sur la croissance de la végétation, les mouvements et le comportement de la faune dans les zones restaurées. (Cas 2) Utilisation de la technologie satellite pour mesure l'émission de GES par les bassins de résidus et les mines.

Note : (Cas 1) : LiDea – Restauration de l'habitat du caribou; (Cas 2) : GHGSat – Mesure des gaz à effet de serre; (Cas 3) : Capteurs virtuels – Vapeur des OTSG*; (Cas 4) Gestion des résidus par l'ajout et la capture de CO₂; (Cas 5) Turbine à gaz naturel OTSG. * OTSG : Once-Through Steam Generator (générateurs de vapeur à passage unique).

Globalement, compte tenu des divers facteurs et nuances qui précèdent, ces cinq innovations ont permis de générer les impacts économiques nets suivants (annuels et récurrents) :

- des économies totales minimales d'au moins 45 M \$ en coûts de production, notamment en améliorant l'efficacité des opérations de reboisement et en économies en gaz naturel¹⁴;
- des revenus additionnels pour les entreprises pétrolières en raison d'une plus grande efficacité de production¹⁵;
- la création ou le maintien de 20 à 25 emplois nets, résultat de l'accroissement du financement pour la réalisation de divers projets moins la baisse des travailleurs requis avant l'implantation de ces innovations. Ces emplois s'ajoutent au total déjà engagé dans les activités continues et courantes liées à ces cinq innovations.

Avancement, application à d'autres secteurs et diffusion des innovations

Ces innovations sont présentement implantées à divers degrés, variant du projet-pilote à l'exploitation des pleins avantages économiques et environnementaux de l'innovation. Le projet 1 de restauration de l'habitat du caribou est en cours et devrait se poursuivre jusqu'en 2026. Pour le projet 2, les satellites sont déjà en opération, des mesures ont été recueillies pour une année complète et la recherche sur l'utilisation de la technologie satellite est en cours pour évaluer la précision et la fréquence requise des mesures des émissions de GES. Pour le projet 3, le nouveau modèle est déployé pour 8 OTSG et un déploiement est prévu pour les 23 OTSG restants, en plus d'un générateur de vapeur à récupération de chaleur. L'innovation 4 a été mise en œuvre par Canadian Natural et partagée avec l'industrie des sables bitumineux par le biais de COSIA. Le projet 5 est implanté en phase test aux installations de Surmont seulement.

Toutes ces innovations environnementales ont des applications pouvant déborder les sables bitumineux :

- les méthodes novatrices appliquées pour la restauration de l'habitat du caribou peuvent servir dans tout contexte nécessitant la restauration de grandes aires de la forêt boréale;
- GHGSat, qui opère les satellites d'analyse des émissions de GES, compte plusieurs clients actifs dans divers secteurs d'activités émetteurs, dont les mines, les sites d'enfouissement et l'agriculture;
- les capteurs virtuels peuvent être utiles dans tout autre secteur générant de la vapeur à l'aide d'OTSG, tout comme l'unité GT-OTSG pourrait être annexée à des équipements semblables utilisés ailleurs que dans les sables bitumineux;
- quant à la capture de CO₂ dans les résidus non-ségrégés, cette technologie est applicable à toute industrie minière générant des résidus entreposés dans des bassins semblables à ceux des sables bitumineux.

¹⁴ Certaines économies sont manifestes, mais n'ont pas été monétisées.

¹⁵ Données confidentielles.

Seulement deux des cinq innovations ont des projets actifs de diffusion hors des sables bitumineux. Premièrement, GHGSat accélère ses efforts de commercialisation de l'innovation. De nouveaux investissements ont été annoncés pour bâtir deux nouveaux satellites et un capteur pour aéronef, développer des outils d'analyse et livrer les mesures à un nombre rapidement croissant de clients à travers le monde. Quant aux capteurs virtuels, Canadian Natural a entrepris des discussions avec d'autres grandes entreprises pétrolières à ce sujet. Pour les trois autres innovations, aucune diffusion active vers d'autres industries n'est prévue. Les informations publiques sur ces innovations sont publiées sur le site de COSIA et dans des publications de l'industrie. Ce faisant, tous ont accès aux innovations ainsi développées et les répondants demeurent généralement ouverts à la collaboration sur divers projets de même nature.

Une raison possible du peu d'intérêt pour la diffusion extérieure de certaines innovations est que la charge productive dans les sables bitumineux est déjà prenante et profitable. Pourquoi développer ailleurs quand les opérations locales prennent tout le temps disponible ? Également, dans le cas d'innovations initiées par des entreprises pétrolières, il est logique pour elles de poursuivre les efforts d'innovation dans son propre domaine d'activité, plutôt que de chercher à se diversifier ailleurs. Cela dit, les opportunités de collaboration existent certainement pour les entreprises d'autres secteurs dont les processus présentent des similitudes étroites avec ceux utilisés dans les sables bitumineux.

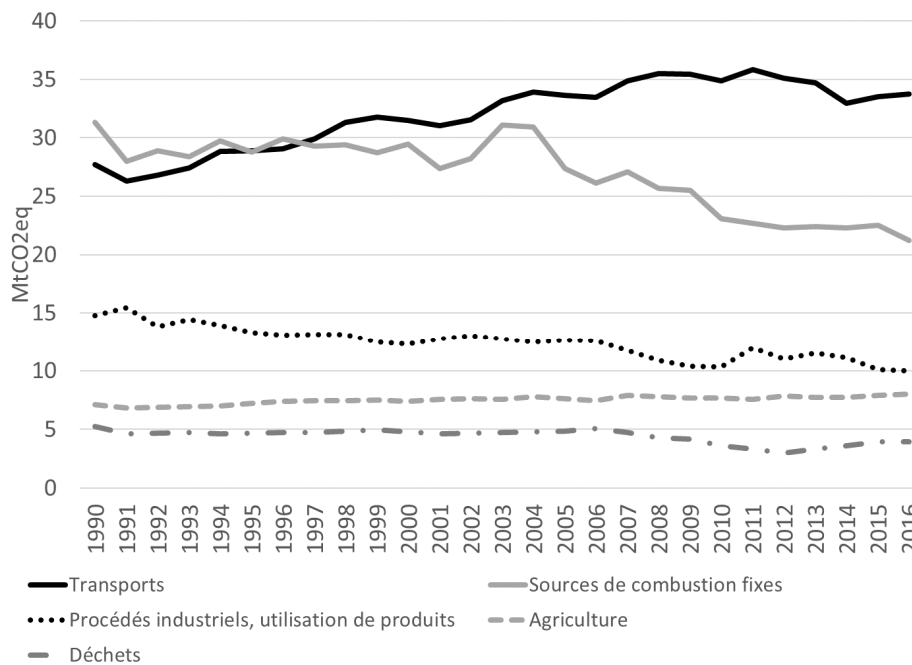
Applicabilité à l'économie du Québec

D'entrée de jeu, il faut rappeler que le Québec émet plus de deux fois moins de GES par habitant que le reste du Canada, notamment en raison de son vaste parc hydroélectrique. Cela était vrai en 1990 et l'est d'autant plus aujourd'hui, alors que le Québécois moyen émet 9,3 tCO₂éq comparativement à une moyenne de 22,4 pour les autres Canadiens¹⁶.

Cela dit, le Québec doit néanmoins continuer à mettre en place des actions porteuses en vue de réduire ses émissions de GES, faisant ainsi sa part pour contrer le réchauffement climatique. À ce titre, la Figure 7 montre l'évolution des émissions québécoises de GES, ventilées selon leurs cinq grandes sources. Les transports sont la principale source d'émissions, soit 34 M tCO₂éq en 2016. À l'intérieur de cette catégorie, les plus grands émetteurs sont le transport routier, ainsi que les véhicules hors route, dont principalement ceux affectés aux activités de fabrication, de mines et de construction. Ils sont suivis des sources de combustion fixes (21 M tCO₂éq), qui comprennent principalement les industries manufacturières, les secteurs résidentiel, commercial et institutionnel, les industries de raffinage du pétrole et les mines. Les trois autres sources d'émissions de GES du Québec sont, dans l'ordre, les procédés industriels et l'utilisation de produits; l'agriculture; et les déchets.

¹⁶ Source : Environnement et Changement climatique Canada.

Figure 7. Émissions de GES par secteur – Québec, 1990 à 2016



Source : Environnement et Changement climatique Canada.

Outre les émissions de GES, il est également possible pour le Québec d’améliorer son rendement environnemental sur d’autres plans, par exemple la gestion du territoire, l’utilisation d’eau dans les processus industriels ou les méthodes de suivi des impacts environnementaux. Tous ces domaines pourraient bénéficier directement des investissements privés considérables réalisés dans les sables bitumineux. Le Québec compte bon nombre d’entreprises pouvant profiter de ces innovations environnementales, donc plus spécifiquement celles œuvrant dans les industries identifiées au Tableau 2.

Tableau 2. Emplois dans les industries susceptibles de bénéficier des innovations environnementales développées dans les sables bitumineux, Québec 2017

Industrie	2017
Fabrication - industries lourdes	308 307
Autres industries	766 677
Services professionnels, scientifiques et techniques	194 735
Construction	186 174
Services administratifs, services de soutien, services de gestion des déchets et services d'assainissement	167 557
Transport et entreposage	162 699
Services publics	28 580
Extraction minière, exploitation en carrière, et extraction de pétrole et de gaz	17 659
Foresterie, exploitation et soutien	9 273

Source : Statistique Canada. Tableau 14-10-0202-01 Emploi selon l'industrie, données annuelles.

Entre autres, plus de 300 000 travailleurs québécois évoluent dans l'industrie manufacturière dite « lourde » (produits métalliques, matériel de transport, machines, produits en bois, pâtes et papiers, etc.), tandis que plus de 760 000 autres travailleurs œuvrent dans des industries telles que les services professionnels et techniques (notamment les bureaux d'ingénieurs), la construction, la gestion environnementale, le transport, etc.

À ce sujet, le Tableau 3 apparie les domaines environnementaux touchés par les cinq innovations décrites précédemment avec ces industries québécoises. Pour ces cinq innovations comme pour les 303 autres présentement répertoriées par COSIA, les résultats concrets sont publiés (<https://www.cosia.ca/resources/project-research>) afin que toutes les entreprises puissent bénéficier des progrès réalisés et ainsi accélérer l'implantation de ces nouvelles technologies.

Tableau 3. Appariement des industries québécoises et des domaines environnementaux visés par les activités d'innovation dans les sables bitumineux

Domaine environnemental	Gaz à effet de serre	Territoire	Gestion des résidus	Eau	Suivi
Fabrication	√	√	√	√	√
Services professionnels et techniques		√	√	√	√
Construction	√		√		√
Gestion des déchets	√		√		√
Transport	√				√
Services publics					√
Mines	√	√	√	√	√
Foresterie, exploitation, soutien	√	√			√

Pour l'essentiel, les entreprises pétrolières ayant développé ces innovations se contentent généralement de les appliquer le mieux possible à leurs propres opérations. Toutefois, les fournisseurs tels que GHGSat profitent de cette occasion de démontrer leur savoir, et développent leurs entreprises vers d'autres secteurs pouvant aussi améliorer leur rendement environnemental. Malgré tout, il demeure que ces laboratoires d'innovation environnementale en temps réel, financés entièrement par le privé, représentent un potentiel certain et inexploité pour les entreprises d'ici, qui peuvent ne pas connaître l'étendue de ces activités innovatrices et la probité des résultats obtenus à ce jour. À ce titre, le gouvernement du Québec et les acteurs du développement économique semblent idéalement positionnés pour servir de catalyseur à la diffusion de ces innovations, pour le bénéfice de nos entreprises, notre économie et notre environnement.

6. Conclusion

Cette étude a analysé l'impact économique de l'innovation environnementale réalisée dans les sables bitumineux du Canada, aussi bien de façon globale que par l'entremise d'études de cas.

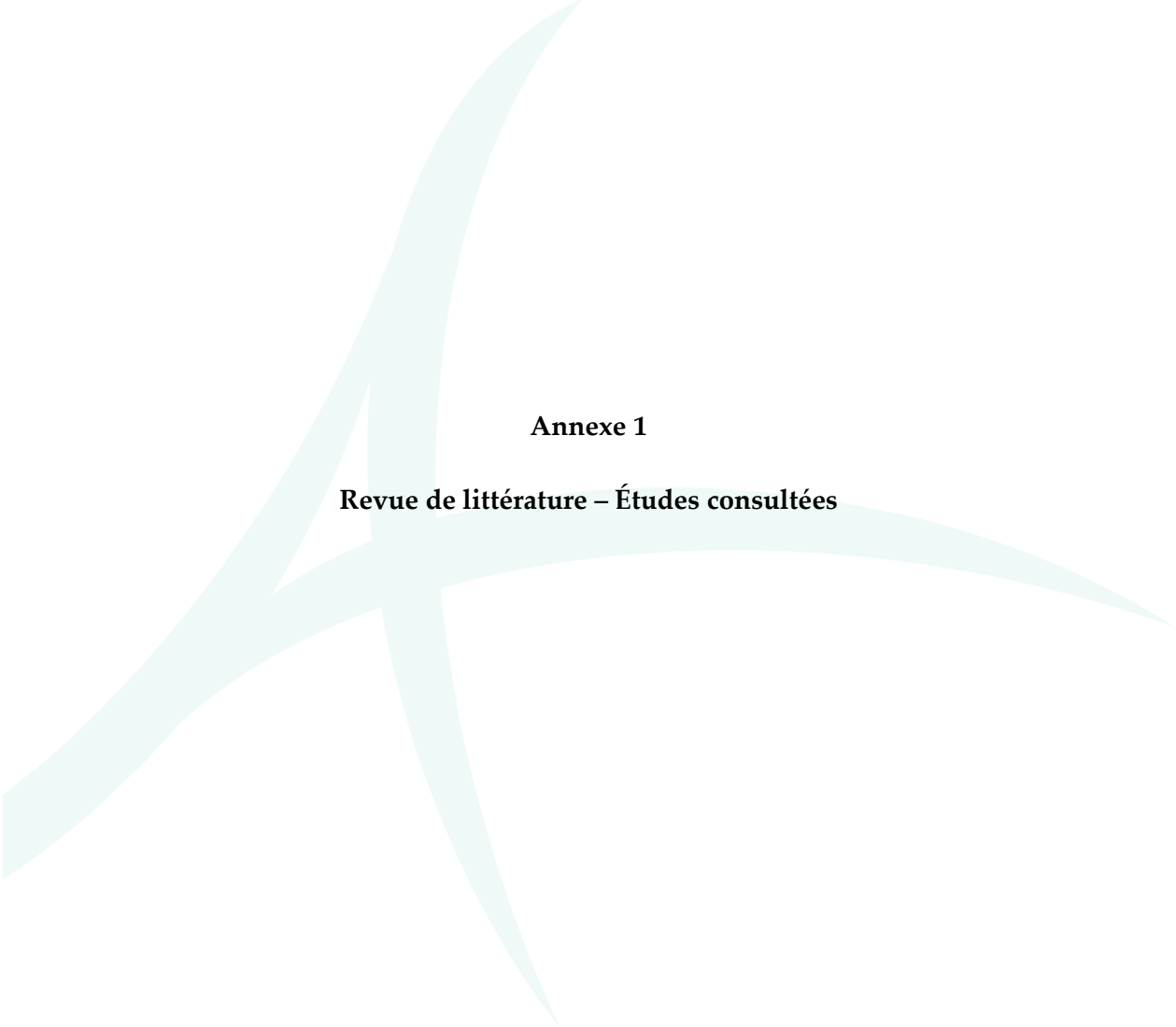
D'abord, une revue de littérature sur l'intégration de l'innovation dans la chaîne de valeur des entreprises a été réalisée. Un constat : il est tout à fait compatible de parler à la fois de gestion environnementale et de rentabilité économique, dans la mesure où la gestion environnementale est intégrée à part entière dans la chaîne de valeur des entreprises. L'approche collaborative de COSIA permet à l'ensemble des entreprises de maximiser l'efficacité de leurs activités de gestion environnementale dans un horizon de moyen terme, soit le temps d'évaluer et de s'approprier les solutions technologiques. Cela permet de minimiser leurs coûts, de maximiser leur rendement environnemental, ou les deux à la fois, en plus de générer des avantages environnementaux pour l'ensemble du pays comparativement au statu quo. De plus, l'ampleur de ces activités et des économies d'échelle dans cette industrie, de même que l'engagement commun et public à financer l'innovation environnementale sous toutes ses formes sont autant d'aspects positifs et porteurs pour cette industrie et la société canadienne en général.

Ensuite, divers indicateurs de performance ont été examinés. Dans l'ensemble, la production pétrolière issue des sables bitumineux représente une activité économique d'envergure et en croissance, aussi bien pour les provinces de l'Ouest (principalement l'Alberta) qu'à l'échelle de tout le Canada. Cela génère une part importante du produit intérieur brut (PIB) de l'Alberta, ainsi que des milliers d'emplois très bien rémunérés. Comme toute activité industrielle d'envergure, la production pétrolière dans les sables bitumineux génère une empreinte environnementale proportionnelle à son ampleur. Depuis plusieurs années, la combinaison des efforts de l'industrie et de l'instauration de réglementations permet de réduire cette empreinte. À ce titre, il serait souhaitable d'avoir davantage de données macroéconomiques sur la performance environnementale, ce qui permettrait de quantifier de façon plus complète les avancées de l'industrie.

Parmi les 308 projets actifs répertoriés par COSIA, cinq cas d'innovations ont été identifiés et analysés : la restauration de l'habitat du caribou au moyen de méthodes innovatrices; la mesure par satellite des émissions de GES; l'utilisation de capteurs virtuels pour rehausser la qualité de la vapeur; l'injection et la captation de CO₂ dans les résidus de production; et le développement d'une turbine au gaz annexée aux injecteurs de vapeurs aux fins d'efficacité énergétique. Ces cinq innovations avaient toutes des effets positifs démontrés (ou en cours de démonstration) sur la réduction des GES, en plus de favoriser la restauration des sols, d'utiliser l'eau plus efficacement, de concentrer les résidus de production et d'économiser l'énergie. De plus, dans l'ensemble, ces cinq innovations ont permis d'accroître les revenus des entreprises, de diminuer leurs coûts de production et de créer des emplois. Les cinq projets examinés avaient des applications possibles au-delà du domaine de la production pétrolière dans les sables bitumineux; cependant, deux d'entre eux ont entrepris des actions en vue de concrétiser ces opportunités.

Enfin, le partage des connaissances et la publication des résultats obtenus constitue une opportunité certaine pour des entreprises de plusieurs autres secteurs d'activité d'explorer ces solutions novatrices, par exemple en foresterie, dans le secteur minier, dans l'industrie de la fabrication lourde, en gestion environnementale, en construction non-résidentielle, ainsi qu'en ingénierie civile et industrielle. Pour le Québec, ces laboratoires d'innovation environnementale en temps réel, financés entièrement par le privé, représentent un potentiel certain et inexploité pour les entreprises d'ici. À ce titre, le gouvernement du Québec et les acteurs du développement économique semblent idéalement positionnés pour servir de catalyseur à la diffusion de ces innovations, pour le bénéfice de nos entreprises, notre économie et notre environnement.

En définitive, il ressort trois principaux constats de cette analyse. D'abord, les activités d'innovation et de gestion de l'environnement menées aux sables bitumineux sont considérables, car directement liées avec l'ampleur des activités d'extraction qui s'y déroulent. Deuxièmement, ces innovations contribuent à améliorer à la fois la performance environnementale des opérations des producteurs et leur rentabilité, par le développement de nouvelles technologies « coût-efficaces ». Enfin, certaines de ces innovations peuvent également être adoptées par des secteurs économiques du Québec, augmentant ainsi leur potentiel global de performance environnementale.



Annexe 1

Revue de littérature – Études consultées

Tableau A.1 Études consultées dans le cadre de la revue de littérature

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
1	Breyer (2015)	Christian Breyer <i>et al.</i> , « Power-to-Gas as an Emerging Profitable Business through Creating an Integrated Value Chain », <i>Energy Procedia</i> , vol. 73, 2015, p. 182-189.	Power-to-gas (PtG) technology has received considerable attention in recent years. However, it has been rather difficult to find profitable business models and niche markets so far. PtG systems can be applied in a broad variety of input and output conditions, mainly determined by prices for electricity, hydrogen, oxygen, heat, natural gas, bio-methane, fossil CO2 emissions, bio-CO2 and grid services, but also full load hours and industrial scaling. Optimized business models are based on an integrated value chain approach for a most beneficial combination of input and output parameters. The financial success is evaluated by a standard annualized profit and loss calculation and a subsequent return on equity consideration. Two cases of PtG integration into an existing pulp mill as well as a nearby bio-diesel plant are taken into account. Commercially available PtG technology is found to be profitable in case of a flexible operation mode offering electricity grid services. Next generation technology, available at the end of the 2010s, in combination with renewables certificates for the transportation sector could generate a return on equity of up to 100% for optimized conditions in an integrated value chain approach. This outstanding high profitability clearly indicates the potential for major PtG markets to be developed rather in the transportation sector and chemical industry than in the electricity sector as seasonal storage option as often proposed.	<p>Dans cet article, les auteurs se penchent sur la rentabilité de la technologie de conversion d'électricité en gaz (<i>power-to-gas technology</i>) et sur son rôle bénéfique en matière environnementale, notamment en ce qui concerne l'atteinte de cibles d'utilisation d'énergies renouvelables. La technologie de conversion d'électricité en gaz peut être utilisée de différentes manières, nous rappelent les auteurs: stockage saisonnier d'énergie, production d'hydrogène et de méthane dans le domaine du transport, du chauffage ou de l'industrie chimique, pour n'en nommer que quelques-uns.</p> <p>Concrètement, les auteurs ont cherché à évaluer les bénéfices d'incorporer une technologie de conversion d'électricité en gaz au sein de la chaîne de valeur intégrée d'une entreprise de pâtes et papier située à Lappeenranta en Finlande. Les résultats de l'analyse montrent qu'il s'agit d'une technologie fortement rentable, pouvant générer dans certaines circonstances un retour sur investissement de l'ordre de 100 %. Toutefois, les auteurs insistent sur le fait que pour être commercialement viable, cette technologie doit être pleinement intégrée à la chaîne de valeur de l'entreprise.</p> <p>Enfin, les auteurs concluent que les cibles de réduction de CO2 dans le secteur des transports pourraient être difficiles à atteindre dans les délais requis, sans innovation dans les technologies actuelles. Pour certaines industries cependant, la technologie de conversion d'électricité en gaz propose, selon eux, une option économiquement durable et financièrement rentable. Le cas de l'usine de pâte et papier analysé par les auteurs illustre l'utilité de la technologie pour l'industrie chimique, laquelle dispose d'un grand potentiel de conversion aux énergies renouvelables dans tous les processus utilisant l'hydrogène comme matière</p>

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
				première. Il ne s'agirait là, selon eux, que d'un exemple de créneaux rentables parmi d'autres, qu'il conviendrait d'identifier dans des recherches futures.
2	Cunha et Moneva (2016)	Darliane Ribeiro Cunha et Jose M. Moneva, « Environmental reporting of global oil companies », <i>International Research Journal of Finance and Economics</i> , no 158, 2016, p. 84-99.	<p>The growing demand for environmental information from the stakeholders and the interest of companies in making their commitment to the environment visible have contributed to the increase of environmental reporting by companies, either voluntary or compulsory, through the annual reports and in other reports. The aim of this paper is to analyze the practices of disclosure environmental non-financial information of 40 companies from the global oil sector. The content-analysis research technique was used. The results show an increase in the publication of the sustainability reports of the global oil companies, and at the same time a low level of environmental non-financial information reported when analyzing the individual environmental indicators. The lack of standardization and non-mandatory reporting of environmental information limits the homogeneity and transparency of the information. It is verified that having the sustainability report with the use of standards such as ISAE 3000 and AA1000AS can provide greater reliability and evidence that these group of companies try to operate in accordance with market parameters. This procedure is another mechanism that a group of investigated global oil companies use to legitimize themselves. However, the study shows that the level of assurance of the sustainability report in most companies is low</p>	<p>Les auteurs du présent rapport se sont penchés sur les mécanismes utilisés par les compagnies pétrolières pour légitimer leurs pratiques en matière environnementale devant les parties prenantes. L'étude a été réalisée auprès d'un échantillon de 40 compagnies internationales du domaine pétrolier, entre 2007 et 2013.</p> <p>Les auteurs ont noté qu'un nombre croissant d'entreprises se sont engagées au fil des dernières années à rendre public des rapports environnementaux, en sus de leurs rapports financiers annuels. Même si la publication de tels rapports demeure volontaire, les auteurs ont observé une tendance à la hausse du pourcentage d'entreprises adhérant à ce principe de transparence de 2007 à 2013.</p> <p>L'étude a permis de constater que 80 % des compagnies publiaient des rapports sur leurs pratiques en matière de développement durable. Les indicateurs environnementaux les plus fréquemment divulgués par les compagnies analysées portaient sur l'utilisation de l'énergie, la qualité de l'eau, la biodiversité, le volume d'émissions, de rejets et de résidus industriels.</p> <p>En outre, les auteurs ont observé que 28 des 40 compagnies (70 %) suivaient en 2013 les lignes directrices du <i>Global Reporting Initiative</i>, le guide international des standards favorisant le développement durable élaboré conjointement par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et le CERES (Coalition for Environmentally Responsible Economies).</p>
3	Gereffi (2016)	Gary Gereffi et Karina Fernandez-Stark, <i>Global</i>	Pas de résumé disponible.	Les auteurs du rapport présentent les fondements analytiques de base des chaînes de valeur mondiales

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
		<p><i>Value Chain Analysis: A Primer</i>, 2nd edition, Duke Center on Globalization, Governance & Competitiveness, Social Science Research Institute, juillet 2016.</p>		<p>(Global value chains). Les auteurs élaborent un cadre d'analyse à l'intention de chercheurs voulant étudier le fonctionnement des chaînes de valeur mondiales, comprendre les déterminants de la création de valeur au sein de celles-ci dans diverses industries et mieux tirer profit des opportunités qui en découlent.</p> <p>Ils expliquent comment s'opère le processus de création de valeur à travers les étapes de confection d'un produit, en partant du projet de conception initial jusqu'à la livraison auprès du consommateur, et même au-delà. Ils présentent une vision holistique de ce processus dans un contexte d'entreprises multinationales ayant des ramifications dans divers pays à l'échelle mondiale. Ils insistent sur le fait que les segments de la chaîne peuvent être identifiés et distingués par la valeur qu'ils ajoutent dans le processus de fabrication du produit et/ou de fourniture du service.</p> <p>Les auteurs soulignent qu'à l'origine, l'analyse des chaînes de valeur mondiales était limitée à la recherche sur la compétitivité des firmes au sein des industries manufacturières. De nos jours, cette analyse s'est élargie dans plusieurs directions et permet notamment d'éclairer la politique industrielle, guider les opportunités d'insertion des PME dans ces chaînes de valeur, ou encore englober les industries émergentes comme les services d'impartition offshore.</p> <p>Selon les auteurs, la mondialisation a pavé la voie à une nouvelle ère de concurrence internationale que l'on comprend mieux en examinant l'organisation mondiale des industries et la place qu'occupent les acteurs clés des chaînes de valeur au sein de celles-ci.</p> <p>Les auteurs notent toutefois que beaucoup de PME, en particulier dans les pays en voie de développement, font face à toute une série de contraintes limitant leur capacité</p>

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
				<p>de participer activement aux activités des chaînes de valeur mondiales. Le Duke Center on Globalization, Governance & Competitiveness, au sein duquel œuvrent les auteurs, a élaboré un modèle visant à favoriser l'élaboration d'interventions efficaces pour permettre aux PME de tirer leur épingle du jeu au sein de ce milieu.</p> <p>Pour les auteurs, la première étape d'une intervention réussie nécessite d'établir le lien entre producteurs et acheteurs pour faciliter l'accès au marché pour les PME. Ce lien requiert d'informer les acheteurs ou les grandes entreprises qui agissent comme chefs de file sur le potentiel commercial que représente l'approvisionnement auprès de petits producteurs, et faciliter ensuite les interactions jusqu'à ce que ces derniers soient en mesure de gérer la relation de manière autonome et durable.</p>
4	Harger (1994)	J. R. E. Harger et D. Troost, "Environmental education and training of global scientists for sustainability", dans David Waddington (ed.), <i>Global Environment Change in Science Education and Training, Series I: Global Environmental Change</i> , vol. 29. Springer-Verlag, 1994, p. 59-69.	Pas de résumé disponible.	<p>Pour ces auteurs, il est important de débiter l'éducation à propos de la science de l'environnement le plus tôt possible dans le parcours scolaire des individus, idéalement dès le secondaire. Cette éducation doit mettre l'accent sur l'importance d'évaluer l'état réel du monde (« reality checks ») pour voir s'il correspond à l'image dépeint dans le discours public. Cette éducation doit favoriser le développement de l'esprit scientifique (chercher par l'entremise de la science des réponses aux questions environnementales) et de l'esprit critique (remettre en question les idées reçues au sujet de l'état de l'environnement).</p> <p>Selon l'auteur, les institutions d'enseignement doivent faire en sorte que les étudiants sont exposés dès le jeune âge à des expériences de terrain nécessitant de développer un sens aigu de l'observation et une attention fine aux détails lorsqu'il est question de mener une analyse environnementale. Selon l'auteur, « les études de terrain devraient faire partie intégrante d'un programme</p>

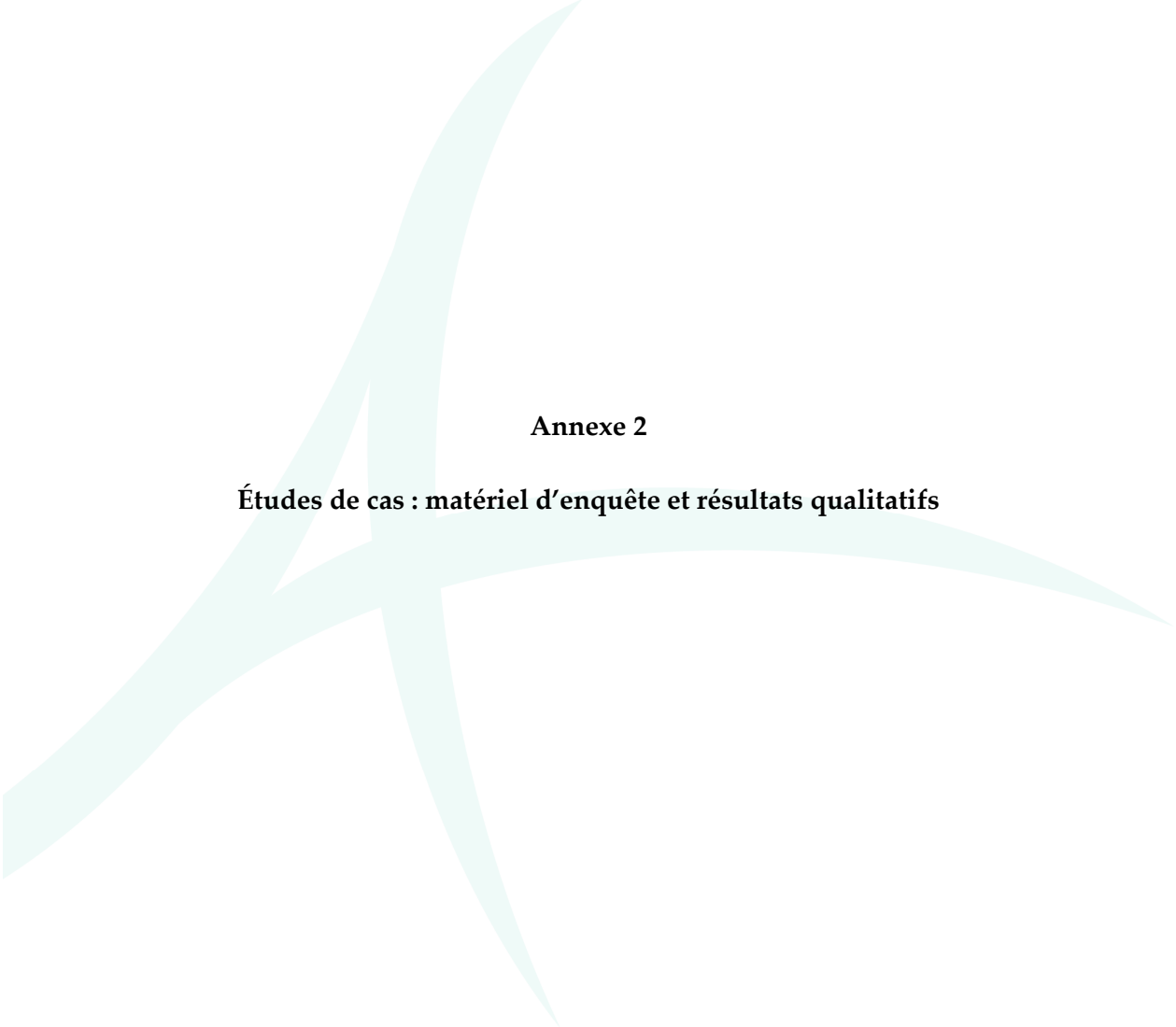
N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
				interdisciplinaire permettant aux générations actuelles et futures de se familiariser avec les notions des écosystèmes marin, terrestre et atmosphérique, dans la mesure où elles se rapportent à un développement écologique et durable dans un monde en perpétuelle mutation. »
5	Holweg (2014)	Matthias Holweg et Petri Helo, « Defining value chain architectures: Linking strategic value creation to operational supply chain design », <i>International Journal of Production Economics</i> , vol. 147, 2014, p. 230-238.	Over the past three decades scholars have developed comprehensive insights into the operational and strategic aspect of designing and managing the supply chain. Reviewing this ample body of knowledge however one cannot help but notice a persistent disunion between the “value chain” view that considers aspects of value creation and appropriation, and the operational “supply chain” view that considers strategies and tools for designing and operating efficient inter-firm networks. Commonly these views do not interact: value creation has the aim of capturing the maximum value-added in financial terms, the supply chain view aims for designing operationally efficient supply chains. In contrast to their treatise within the academic literature, from a practical point of view these two aspects are both necessary (and thus in their own right insufficient) components to a firm's supply chain strategy. In this paper we thus turn to an exploratory case study to identify what such a combined view of the value and supply chain would entail. We refer to this purposeful creation as the “value chain architecture” and propose five fundamental decisions that define the latter: (1) the nature of value provision (driven by the core competence of the firm), (2) the operational footprint decisions for manufacturing, sourcing and distribution, (3) the approach to risk management, (4) the order fulfillment strategy (and implicit in that, the type of product	<p>Dans cet article, les auteurs montrent que les décisions en ce qui a trait à « l'architecture de la chaîne de valeur » changent avec le temps. Elles s'adaptent aux changements externes ou contextuels en fonction de l'évolution de la stratégie commerciale.</p> <p>Pour illustrer leur point, les auteurs présentent une étude de cas longitudinale permettant d'analyser l'évolution de l'architecture de la chaîne de valeur chez l'entreprise multinationale ABB de 2004 à 2009. Ils utilisent des données qualitatives basées sur des entretiens avec des parties prenantes clés du département de gestion de la chaîne d'approvisionnement de l'entreprise, ainsi que des données quantitatives sur les structures et les performances du réseau de distribution au sein de celle-ci.</p> <p>Les auteurs en déduisent cinq dimensions fondamentales définissant l'architecture d'une chaîne de valeur :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. L'offre de valeur - la séparation des usines d'alimentation en pièces et des usines d'assemblage des produits au niveau régional contribue à modifier le lieu de création de valeur et spécialise les rôles au sein de la chaîne. 2. L'empreinte des opérations est déterminée par les domaines d'activités en vigueur sur le marché, de concert avec des mesures de rentabilité, de délai et d'autres indicateurs de performance opérationnelle.

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
			<p>customization), and (5) the buffering strategy. We conclude with an exploration of the application and utility of the “value chain architecture” concept in both academia and practice.</p>	<p>3. Les aspects liés à la gestion des risques concernent l'approvisionnement local/mondial en termes de capacité à fournir certaines composantes au sein du réseau ABB de manière fiable.</p> <p>4. La stratégie de traitement des commandes et le service personnalisé – le fait de modifier l'emplacement du centre de traitement des commandes a une incidence sur l'éventail de produits proposés au client ainsi que sur l'efficacité interne.</p> <p>5. Le mécanisme de tampon, qui peut être changé en définissant un emplacement stratégique et sécurisé des stocks et en améliorant l'efficacité des performances de livraison dans les usines situées à proximité des clients.</p>
6	Lind (2012)	Lotta Lind, « Working capital management in the automotive industry: financial value chain analysis », <i>Journal of Purchasing & Supply Management</i> , vol. 18, 2012, p. 92-100.	<p>Financial value chain analysis is used to examine working capital management by cycle times in the value chain of the automotive industry during 2006–2008. The applied method offers a holistic view of the value chain from raw materials to the end customers. The average cash conversion cycle of the value chain of the automotive industry was 67 days. According to the study, the change of cycle times of working capital followed mainly the change of cycle time of inventories. The position of the stages of the value chain measured by the cash conversion cycle did not change substantially from 2006 to 2008.</p>	<p>Dans cet article, les auteurs rappellent que la gestion du fonds de roulement fait partie intégrante du financement à court terme d'une entreprise. Grâce à une gestion efficace du fonds de roulement, une entreprise peut libérer du capital pour des objectifs plus stratégiques, réduire les coûts financiers et améliorer sa rentabilité.</p> <p>L'objectif des auteurs de cette étude était d'examiner la gestion du fonds de roulement dans la chaîne de valeur de l'industrie automobile au cours des années 2006-2008 à l'aide d'une analyse de la chaîne de valeur financière. Ils ont cherché à analyser la gestion du fonds de roulement tout au long de la chaîne de valeur, des fournisseurs de matières premières aux clients finaux.</p> <p>Les résultats de leur analyse ont montré que le cycle de conversion de la trésorerie (défini comme étant le ratio fonds de roulement/ventes) était positif à chacune des étapes de la chaîne de valeur de l'industrie automobile, et s'élevait en moyenne à 67 jours. Ils ont noté que de légères différences dans les moyennes du cycle de conversion de la</p>

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
				trésorerie entre 2006 et 2008, ce qui montre selon eux que la relation entre les ventes et le fonds de roulement peut être considérée constante au sein de la chaîne de valeur de cette industrie.
7	Tordo (2011)	Silvana Tordo, Brandon S. Tracy et Noora Arfaa, <i>National Oil Companies and Value Creation</i> , World Bank Working Paper, mars 2011, 139 p.	Pas de résumé disponible.	<p>Les auteurs rappellent que contrairement à la plupart des produits de base, le pétrole est fortement influencé par la politique internationale et peut constituer un élément majeur du développement socio-économique d'un pays. Ces caractéristiques du secteur pétrolier expliquent en grande partie, selon eux, pourquoi de nombreux pays producteurs ont opté, du moins à un moment ou un autre de leur histoire, pour une participation directe de l'État plutôt que pour un régime de gouvernance plus libéral.</p> <p>Pour illustrer leur propos, ils révèlent que les sociétés pétrolières nationales (SPN) contrôlent environ 90 % des réserves mondiales de pétrole et 75 % de la production (des chiffres similaires s'appliquent au gaz naturel), ainsi que de nombreux grands systèmes d'infrastructures pétrolières et gazières. L'exclusion totale de la participation de l'industrie privée aux activités d'exploration et de production pétrolière serait toutefois rare.</p> <p>Les auteurs ont examiné les données disponibles concernant les objectifs, la gouvernance et les performances de 20 SPN à l'échelle mondiale, et tirent des conclusions sur les règles et politiques les plus susceptibles de générer de la valeur sociale provenant des SPN. Dans leur article, les auteurs définissent qu'une SPN crée de la valeur sociale si elle permet de générer des bénéfices pour la société qui excèdent la maximisation du rendement financier des investissements découlant de l'exploitation de la ressource.</p> <p>Leur analyse a visé notamment à répondre aux questions suivantes: Certaines approches ou politiques gouvernementales sont-elles plus aptes que d'autres à</p>

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
				<p>promouvoir la création de valeur? Une bonne géologie est-elle une condition préalable à la création de valeur pour la SPN? Y a-t-il des avantages à exposer les SPN à la concurrence des compagnies pétrolières privées?</p> <p>Ainsi, les auteurs ont cherché à identifier les facteurs pouvant influencer sur la création de valeur de la SPN. À cette fin, ils ont ciblé cinq classes de facteurs potentiels: la géologie et la géographie, la situation contextuelle de l'État, la gouvernance et l'organisation du secteur pétrolier, les stratégies d'affaires du SPN et la gouvernance d'entreprise du SPN. Une analyse de régression a été réalisée afin de comprendre les liens entre ces variables et la création de valeur par la SPN. L'analyse a confirmé l'importance de la géologie, de la gouvernance du secteur pétrolier et de la gouvernance d'entreprise des SPN pour la création de valeur. Cependant, les auteurs insistent sur l'importance de demeurer prudent dans l'interprétation de ces résultats, étant donné la piètre qualité des données disponibles.</p> <p>Enfin, les auteurs concluent que protéger les SPN de la concurrence d'entreprises privées a des effets délétères sur la création de valeur au fil du temps et peut les décourager le développement des stratégies efficaces et soutenables.</p>
8	Wagner (2012)	Stephan M. Wagner et al., « The link between supply chain fit and financial performance of the firm », <i>Journal of Operations Management</i> , vol. 30, 2012, p. 340-353.	The bottom-line financial impact of supply chain management has been of continuing interest. Building on the operations strategy literature, Fisher's (1997) conceptual framework, a survey of 259 U.S. and European manufacturing firms, and secondary financial data, we investigate the relationship between supply chain fit (i.e., strategic consistencies between the products' supply and demand uncertainty and the underlying supply chain design) and the financial performance of the firm. The findings indicate that	Dans cet article, les auteurs ont donc cherché à examiner si les priorités de la chaîne d'approvisionnement des entreprises est efficace et correspond bien à leurs objectifs commerciaux. Selon eux, la gestion de la chaîne d'approvisionnement est efficace lorsque les entreprises s'adaptent efficacement à l'incertitude entourant la demande pour leurs produits et aux besoins des clients qui en découlent. Pour y parvenir, elles doivent connaître les caractéristiques et les capacités de leur chaîne d'approvisionnement à réagir adéquatement lorsque des changements imprévus se manifestent au sujet de la demande ou de l'offre de leur produit. Ainsi, plus la chaîne

N°	Auteur (année)	Référence complète	Résumé (texte intégral tel que publié)	Faits saillants de l'étude
			<p>the higher the supply chain fit, the higher the Return on Assets (ROA) of the firm, and that firms with a negative misfit show a lower performance than firms with a positive misfit.</p>	<p>logistique est bien adaptée, plus le retour sur investissement de l'entreprise est élevé.</p> <p>Les auteurs ont donc cherché à mesurer l'impact financier d'une gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement et l'ampleur de sa performance à l'aide de données financières objectives. De septembre 2007 à avril 2008, ils ont colligé des données auprès de dirigeants d'entreprises manufacturières aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Allemagne, en Autriche, en Suisse et en France. Ils ont ainsi obtenu des données portant sur 259 des plus grandes entreprises manufacturières de ces pays.</p> <p>L'analyse des auteurs a montré que l'adéquation de la chaîne d'approvisionnement, c'est-à-dire la corrélation entre l'incertitude eu égard à l'offre et la demande du produit et la réactivité de la chaîne logistique, est étroitement liée au rendement financier de l'entreprise.</p> <p>Ils concluent qu'il est impératif pour les entreprises de s'efforcer à concevoir leurs chaînes d'approvisionnement de manière à mieux faire face aux aléas de la demande pour leurs produits. Au lieu de surinvestir dans des mesures visant à accroître la réactivité de la chaîne d'approvisionnement, elles devraient investir dans des mesures visant à accroître l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement (par exemple, par la réduction des stocks).</p>



Annexe 2

Études de cas : matériel d'enquête et résultats qualitatifs

Répondants aux études de cas

Projet 1 : « LiDea »

Nom: Sonja Franklin, Cenovus

Partenaires : Alberta Innovates, BP Canada, Canadian Natural, Devon, Suncor, MEG Energy, Huskey, Shell / Devon Canada, Imperial, Canadian Natural

Projet 2 : GHGSat – mesure des émissions de GES

Nom: Laura Frank, Imperial

Partenaires : Suncor, GHGSat, Technologies du développement durable Canada, Boeing, LOOKNorth, Agence spatiale canadienne

Projets 3-4 : Capteurs virtuels / Résidus CO₂

Nom: Julie Woo, Canadian Natural

Partenaires : University of Alberta, Suncor

Projet 5 : Turbine au gaz et générateur de vapeur

Nom: Katherine Springall, ConocoPhillips

Partenaires : Total E&P Canada

Economic impact of environmental innovation at Canada's oil sands Case studies of environmental innovation

Instructions

This survey comprises two parts: (1) textual questions (please write your answers below): your answers will be reported at length, plus a supplementary analysis / synthesis; and (2) numerical questions: your answers will remain confidential, only consolidated results will be shown for the 5 cases combined.

Please complete both parts of the survey and return them. We will then plan a call to review and complete your answers.

* * *

Text questions

Description of project / innovation / technology / process / activities

1. The attached description of your project / innovation was obtained via COSIA (*description inserted at last page of questionnaire*). Would you like to add to, comment on, or change anything from this description?

Your answer to Q.1:

NOTE: TO SIMPLIFY, YOUR PROJECT / INNOVATION / ETC. WILL BE REFERRED AS "INNOVATION" IN THE QUESTIONS BELOW.

2. Please indicate the environmental area(s) to which your innovation contributes significantly, and explain how, using short bullet-point descriptions?

Environmental Area	√		Description of innovation component(s) / process(es) / mechanism(s)
	Yes	No	
Greenhouse gases			
Land			
Tailings			
Water			
Monitoring			

Innovation history

3. Year of inception

Your answer to Q.3:

4. Did your innovation begin with the oil sands or with another industry? Please specify.

Your answer to Q.4:

5. What sparked the innovation? Specifically, which aspect(s) of the “old way of doing things” led you to your current solution?

Your answer to Q.5:

6. How did the innovation change your firm’s activities and organization: size, investments, employment, etc.? Please provide a descriptive answer, as specific figures are requested in numerical questions.

Your answer to Q.6:

Project results – complete Excel spreadsheet

Project future

7. Describe your innovation’s current implementation at oil sands, i.e., upcoming, one or many company(s), new industry standard?

Your answer to Q.7:

8. Has your innovation generated spin-off applications into other economic sectors, or do you expect it to do so?

Your answer to Q.8:

9. Please elaborate on your current plans to follow-up on these spin-off opportunities?

Your answer to Q.9:

Thank you for your collaboration!

Questionnaire sur la performance environnementale et économique

a. Volet environnemental

Impact of innovation on economic and environmental performance					
Environmental performance					
Instructions : in the green cells below, break down your innovation into its main components and their respective contribution to environmental performance. Example : Component A of the innovation has reduced GHG emissions from 2 t CO ₂ eq. / day					
Areas	Nature of intervention (if breakdown is possible)	Indicator (name)	Unit	Before intervention (value)	After intervention (value)
Greenhouse gases	Component A	GHG emissions	t CO ₂ eq. / day	2,0	1,0
Areas	Nature of intervention (if breakdown is possible)	Indicator (name)	Unit	Before intervention (value)	After intervention (value)
Greenhouse gases					
Land					
Tailings					
Water					
Monitoring					

Questionnaire sur la performance environnementale et économique

b. Volet économique

Impact of innovation on economic and environmental performance		
Economic performance		
	Before intervention (value)	After intervention (value)
Production costs (only associated to project / technology), \$		
Oil company		
Third party(ies)		
Revenues (only associated to project / technology), \$		
Oil company		
Third party(ies)		
Employment (net creation associated to project / technology), n FTE		
Oil company		
Third party(ies)		
* FTE : full-time equivalent.		

Tableau A2. Réponses qualitatives aux études de cas

	LiDea – Restauration de l’habitat du caribou	GHGSat – Mesure des gaz à effet de serre	Capteurs virtuels – Vapeur des OTSG*	Gestion des résidus par l’ajout et la capture de CO ₂	Turbine à gaz naturel OTSG
Année de démarrage	À l’origine, Cenovus a expérimenté avec diverses techniques de reboisement en 2008. Le projet LiDea (pour « Linear Deactivation ») a initié entre 2013 et 2015. En 2016, l’entreprise a annoncé l’utilisation de la technologie LiDea pour son projet de restauration de l’habitat du caribou (2016-2026).	GHGSat a été fondée en 2011. Le projet avec COSIA a démarré en 2015.	Début en 2015 avec le développement de capteurs virtuels (« soft sensors ») en collaboration avec l’Université d’Alberta. Cette solution inédite a été développée et testée à l’interne chez Canadian Natural entre 2016 et 2018, laquelle est plus simple à mettre en œuvre et à utiliser.	L’injection de CO ₂ au procédé de non-ségrégation des déchets (non-segregating tailings, ou « NST ») a été mis en œuvre à la fin de 2015. La capture de CO ₂ depuis l’unité de valorisation a débuté en 2017.	La technologie existe depuis au moins 2009 mais a été implantée récemment dans le contexte spécifique des sables bitumineux.
Description abrégée	<p>Des habitats de la forêt boréale ont été fragmentés par les activités de prospection pétrolière et gazière.</p> <p>Le projet se base sur des méthodes éprouvées de restauration typiquement utilisées dans l’industrie de la foresterie. Elles incluent la création de monticules, la dispersion de débris de bois et la plantation d’arbres.</p> <p>Des essais ont été réalisés avec des véhicules amphibies pour restaurer l’habitat du caribou, ce qui permet de travailler le terrain toute l’année.</p>	<p>Les exploitants de mines de sables bitumineux doivent mesurer annuellement les émissions provenant des bassins de résidus et des mines, connues sous le nom de « émissions fugitives ». Ces émissions représentent une partie significative des émissions totales des mines. Toutes les émissions sont rapportées annuellement au gouvernement provincial à des fins de conformité.</p> <p>Ce projet développera une modélisation pour permettre aux membres COSIA d’utiliser la</p>	<p>La majorité des OTSG (injecteurs de vapeur dans le bitume) opèrent avec une vapeur de qualité à 75-80% (= pourcentage d’eau est converti en vapeur). Il est très important d’optimiser la qualité de vapeur autour de 80 %, car si le ratio est trop élevé, il y a risque d’entartrage et d’encrassement des tubes du générateur, réduisant son efficacité.</p> <p>Un modèle mathématique prédisant la qualité de la vapeur d’un OTSG a été développé par la technologie des capteurs virtuels, qui utilisent les</p>	<p>Les résidus sont un mélange d’eau, de sable et d’argile se retrouvant naturellement dans les sables bitumineux et qui demeurent après le processus d’extraction. La majorité des résidus solides se dépose au fond des bassins de résidus et le reste est constitué de résidus liquides.</p> <p>Le procédé NST permet d’assécher les résidus par l’entremise par centrifugation avant leur envoi dans le bassin de déchets. Le CO₂ issu de l’installation de captage d’Horizon est injecté et séquestré dans les résidus.</p>	<p>La turbine à gaz OTSG (GT-OTSG) fonctionne sur le même principe que les OTSG traditionnels, en plus de produire de l’électricité pouvant être utilisée pour fournir de l’énergie aux installations.</p> <p>Les GT-OTSG sont la clé pour produire de l’électricité en même temps que de la vapeur. Cette technologie a fait l’objet d’un projet pilote à Surmont.</p> <p>Le GT-OTSG permet aux unités d’opérer avec une plus grande flexibilité d’opération et plus efficacement. De plus, cela</p>

	LiDea – Restauration de l’habitat du caribou	GHGSat – Mesure des gaz à effet de serre	Capteurs virtuels – Vapeur des OTSG*	Gestion des résidus par l’ajout et la capture de CO ₂	Turbine à gaz naturel OTSG
	Également, la modification du peuplement forestier est effectuée en modulant les troncs d’arbres pour créer une barrière physique le long des lignes sismiques.	<p>technologie de GHGSat pour mesurer les émissions dans l’atmosphère au-dessus des bassins de résidus et de la surface d’une mine. La technologie testée pourrait remplacer la méthode courante utilisée pour estimer les émissions en améliorant la précision des estimés et augmenter la fréquence des mesures.</p> <p>Le projet pourrait aussi éviter les risques liés à la sécurité des employés appelés à effectuer les mesures au sol et réduire les coûts reliés aux opérations de mesures.</p>	<p>mesures existantes pour calculer les valeurs inconnues d’une quantité d’intérêt à l’aide d’algorithmes avancés.</p> <p>Les capteurs virtuels sont utilisés là où les conditions rendent les capteurs matériels inappropriés ou trop coûteux à utiliser.</p> <p>Canadian Natural fait aussi de la recherche sur les paramètres de contrôle et de prévision de l’encrassement et de l’entartrage. L’objectif est de réduire le temps d’arrêt des OTSG et d’optimiser les opérations de maintenance.</p>	<p>L’ajout de CO₂ aux déchets ainsi traités améliore encore la capture des particules fines et accélère leur déshydratation. L’eau ainsi retirée est déjà chauffée et peut être utilisée dans la production.</p> <p>Toujours à Horizon, Canadian Natural a bâti l’Applied Process Innovation Center (APIC), un centre d’innovation visant à accélérer le développement et la mise en œuvre à l’échelle commerciale de nouvelles technologies prometteuses. Ce centre facilite aussi la collaboration directe entre les pairs de l’industrie, du milieu universitaire et du gouvernement.</p>	réduit la dépendance des installations de production envers l’électricité produite par l’Alberta (dont la majorité est produite par des usines au charbon), diminuant du coup les émissions nettes de GES.
Origine : sables bitumineux ou autre industrie ?	Le projet LiDea se base sur des méthodes éprouvées de reforestation utilisées couramment dans l’industrie de la foresterie. Toutefois, ses deux aspects novateurs (véhicules amphibies, barrières d’arbres le long des lignes sismiques) ont	L’innovation a pour origine les sables bitumineux et la production d’électricité (spécifiquement l’hydroélectricité).	L’innovation a pour origine les sables bitumineux, puisque les OTSG sont principalement utilisés dans cette industrie.	L’innovation a pour principale origine la recherche appliquée aux sables bitumineux. Après avoir établi l’usine actuelle de NST, des tests ont été effectués pour raffiner leur compréhension des limites de la ségrégation, des taux d’addition de CO ₂ , de	Ce projet-pilote a été développé spécifiquement pour cadrer dans le contexte des opérations des sables bitumineux de ConocoPhillips et Total E&P Canada.

	LiDea – Restauration de l’habitat du caribou	GHGSat – Mesure des gaz à effet de serre	Capteurs virtuels – Vapeur des OTSG*	Gestion des résidus par l’ajout et la capture de CO ₂	Turbine à gaz naturel OTSG
	été développées pour le contexte spécifique des sables bitumineux.			l’épaississant (« thickener ») et des propriétés géotechniques des déchets NST produits au CO ₂ .	
Élément déclencheur de l’innovation	Le constat que les techniques traditionnelles de perturbation minimale qui sont appropriées dans d’autres contextes ne le sont pas pour la forêt boréale. La méthode LiDea est maintenant appliquée à l’ensemble des efforts de reboisement de la forêt boréale de l’entreprise, qui est l’habitat des caribous.	Lorsque le Québec a annoncé sa participation au marché du carbone en 2010, GHSat a compris que les émetteurs industriels seraient financièrement motivés à mieux comprendre, contrôler et ultimement réduire leurs émissions. L’Alberta avait déjà un mécanisme de tarification du carbone et l’exploitation des sables bitumineux pose des défis particuliers avec les méthodes de mesure existantes requises pour la déclaration des émissions.	Aux installations de Primrose et Wolf Lake, les OTSG étaient contrôlés seulement sur la base du débit et de la température de l’alimentation en eau. La variation de la qualité de la vapeur de l’OTSG n’était pas utilisée. L’opportunité d’améliorer la qualité de la vapeur a été réalisée en créant une technique de mesure/prévision novatrice moins dispendieuse et plus facile à utiliser.	Le scénario de référence pour Horizon était le procédé NST. Lorsque le projet a été reporté, Canadian Natural voulait mettre en place un procédé sécuritaire et facile à utiliser, qui permettrait de maintenir une couverture d’eau pure sur le bassin de résidus. Le CO ₂ a été choisi pour sa réduction des GES, le fait qu’il n’affectait pas la chimie de l’eau utilisée dans la production, la sécurité et la facilité d’utilisation.	Le constat qu’il pourrait être possible de récupérer une partie de l’énergie de la vapeur résiduelle, en la combinant à la combustion de gaz naturel, ce qui est plus efficace que les configurations usuelles de cogénération.
Impact sur les activités et les organisations	Dans le cadre du projet de restauration de l’habitat du caribou, Cenovus s’est engagé à investir environ \$32 million entre 2016 et 2026. Plusieurs membres du personnel travaillent sur le projet. De plus, quelques entrepreneurs sont	Le satellite GHGSat a complété une année de mesures. Le projet a été étendu pour inclure un deuxième satellite pour recueillir des données additionnelles. Les détails sur ce second lancement ne sont pas finalisés.	Cette innovation a divers avantages, incluant une augmentation de l’encaisse, des coûts opérationnels réduits et des avantages environnementaux. Comme le développement et la mise en œuvre ont été exécutés à l’interne dans le	L’impact est difficile à quantifier. Cette stratégie de gestion des résidus a été incluse dans les plans de construction d’Horizon. Horizon produit 250 k bpj et compte plus de 3 000 travailleurs sur le terrain, en plus des travailleurs	Mise en place du projet pilote aux installations de Surmont, analyses en cours pour déterminer l’ampleur des avantages économiques et environnementaux.

	LiDea – Restauration de l’habitat du caribou	GHGSat – Mesure des gaz à effet de serre	Capteurs virtuels – Vapeur des OTSG*	Gestion des résidus par l’ajout et la capture de CO ₂	Turbine à gaz naturel OTSG
	engagés pour le travail mécanique sur le terrain et la plantation d’arbres subséquente.		cadre d’activités d’amélioration continue, aucun investissement ou personnel additionnel n’a été requis.	basés à Calgary qui supportent les opérations.	
Degré d’implantation en 2018	<p>Le projet de restauration de l’habitat du caribou devrait se poursuivre jusqu’en 2026.</p> <p>Par notre contribution à COSIA, nos pairs ont accès à cette technologie et nous demeurons ouverts à la collaboration avec eux sur des projets de restauration à grande échelle.</p>	<p>La recherche sur l’utilisation de la technologie satellite pour mesurer les émissions de gaz à effet de serre augmente possiblement la précision et la fréquence des mesures, et offre la possibilité de réduire ces émissions.</p> <p>L’objectif de ce projet est de démontrer que cette technologie peut être utilisée avec les technologies régulières de l’industrie pour améliorer la quantification globale des émissions fugitives de GES.</p>	<p>Le nouveau modèle est déployé pour 8 OTSG et le plan en place prévoit le déploiement pour les 23 OTSG restants, en plus d’un générateur de vapeur à récupération de chaleur.</p> <p>Cette innovation pourrait mener à des innovations futures sur la prévision de l’entartrage et l’encrassement des OTSG.</p> <p>Canadian Natural recueille des données et les compare aux registres de nettoyage des OTSG. Cette information aidera à optimiser les calendriers d’entretien et de maintenance, en vue d’optimiser le temps d’opération, de réduire les coûts de maintenance et de réduire l’empreinte environnementale de la maintenance.</p>	L’innovation est mise en œuvre par Canadian Natural et partagée avec l’industrie des sables bitumineux par le biais de COSIA.	Implanté en phase test aux installations de Surmont seulement.
Applications à d’autres	Notre innovation a répondu au besoin de restaurer de grandes aires	GHGSat a plusieurs clients actifs dans divers secteurs.	Puisque cette innovation travaille sur la vaporisation de l’eau	En théorie, cette technologie est applicable à toute industrie minière	Possible en théorie, à finaliser toutefois dans les sables bitumineux.

	LiDea – Restauration de l’habitat du caribou	GHGSat – Mesure des gaz à effet de serre	Capteurs virtuels – Vapeur des OTSG*	Gestion des résidus par l’ajout et la capture de CO ₂	Turbine à gaz naturel OTSG
secteurs d’activités	de la forêt boréale dans le nord de l’Alberta, et il existe maintenant une opportunité importante dans ce secteur.	La technologie a des applications dans plusieurs autres secteurs émetteurs de GES.	saline, elle peut certainement être utile dans tout autre secteur utilisant cette eau pour générer de la vapeur à l’aide d’OTSG.	qui doit gérer des résidus via des bassins semblables à ceux des sables bitumineux.	
Diffusion prévue de l’innovation	Le déploiement par l’entreprise couvre leurs territoires d’exploitation. Pas de diffusion active prévue à d’autres industries.	GHGSat accélère les efforts de commercialisation de l’innovation. De nouveaux investissements ont été annoncés par des membres de la Oil and Gas Climate Initiative, lesquels seront utilisés pour bâtir deux nouveaux satellites et un capteur pour aéronef, développer des outils d’analyse et livrer les mesures à un nombre rapidement croissant de clients à travers le monde.	L’information sur l’innovation est publiée sur le site de COSIA et dans des publications de l’industrie. L’entreprise interagit aussi avec les représentants de l’industrie en provenance d’autres pays. Des représentants de Chevron USA ont exprimé de l’intérêt pour cette innovation et des discussions sont en cours à ce sujet.	Pas de diffusion active prévue hors de l’industrie.	La première phase de diffusion concernerait les installations de l’entreprise.