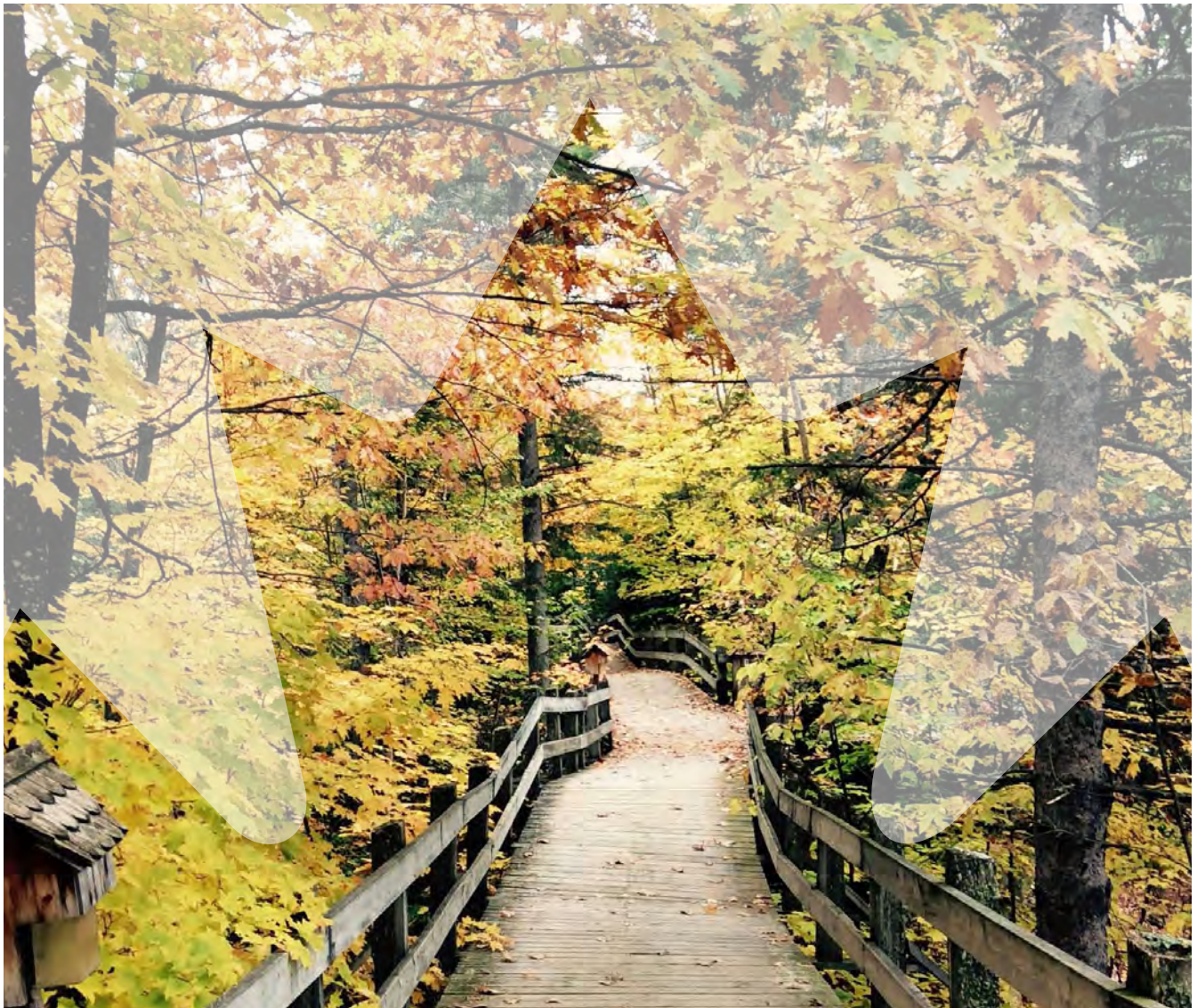




Gouvernement
du Canada

Government
of Canada



STRATÉGIE CANADIENNE DE **DÉVELOPPEMENT**
À FAIBLE ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE
À LONG TERME POUR LE MILIEU DU SIÈCLE

Canada 

N° de cat. : 978-0-660-06579-3
ISBN: En4-291/2016F-PDF

À moins d'avis contraire, il est interdit de reproduire le contenu de cette publication, en totalité ou en partie, à des fins de diffusion commerciale sans avoir obtenu au préalable la permission écrite de l'administrateur du droit d'auteur d'Environnement et Changement climatique Canada. Si vous souhaitez obtenir du gouvernement du Canada les droits de reproduction du contenu à des fins commerciales, veuillez demander l'affranchissement du droit d'auteur de la Couronne en communiquant avec :

Environnement et Changement climatique Canada
Centre de renseignements à la population
7^e étage, édifice Fontaine
200, boulevard Sacré-Cœur
Gatineau (Québec) K1A 0H3
Téléphone : 819-997-2800
Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)
Courriel : ec.enviroinfo.ec@canada.ca

Photos : © Environnement et Changement climatique Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par la ministre de l'Environnement et du Changement climatique, 2016

Also available in English

Table des matières

Avant-propos	1
Sommaire	3
1 Contexte	10
2 Analyses existantes sur la décarbonisation	16
3 Décarbonisation et expansion du réseau d'électricité au Canada	22
4 La consommation d'énergie par les utilisations finales	39
5 Émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone	62
6 Forêts	69
7 Agriculture	75
8 Gestion des déchets	80
9 Secteur des technologies propres	85
10 Atteindre un futur à faibles émissions de carbone par des investissements dans les infrastructures	90
Conclusion	92
Liste de références	93
Annexe 1 - Résultats détaillés de la modélisation des scénarios de 2050	101



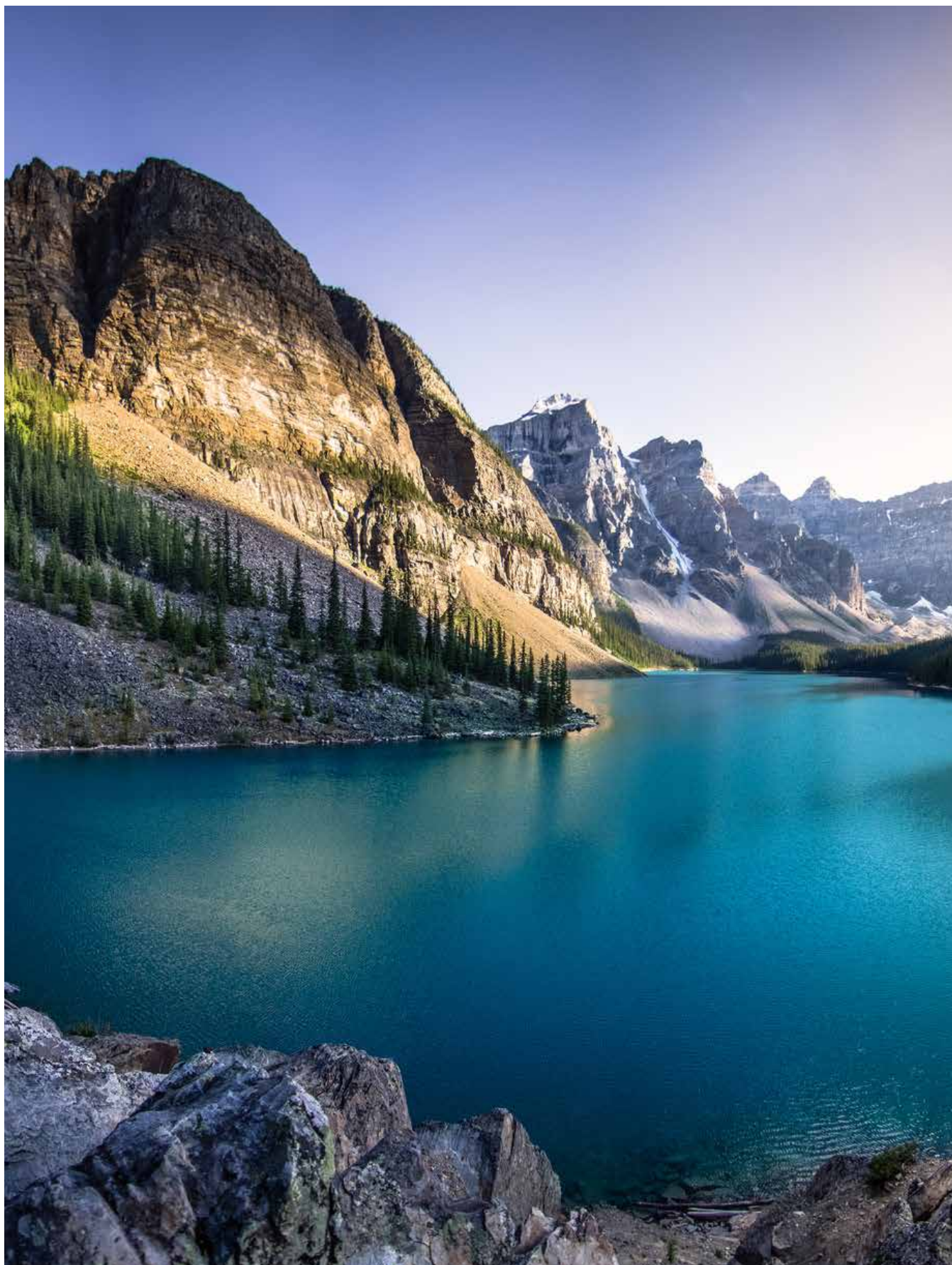


Avant-propos

Le Canada considère le présent rapport sur la Stratégie pour le milieu du siècle comme une occasion de lancer la conversation sur les mesures nécessaires à l'établissement d'une société à faible émission de gaz à effet de serre (GES) à long terme. Le rapport fournit un cadre de base sur les défis et les possibilités cernés à ce jour dans la documentation scientifique et les analyses d'experts en ce qui concerne les réductions importantes des émissions à moyen et à long terme.

Le Canada présente cette stratégie à la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* (CCNUCC) en partant du principe que le rapport continuera d'être mis à jour et ajusté à mesure que le Canada progressera dans la voie d'un développement sobre en carbone. Ainsi, le Canada considère que la soumission des stratégies pour le milieu du siècle devrait se faire selon un processus itératif ou cyclique, dans lequel les parties offrent des mises à jour périodiques au fil de l'évolution des technologies à faible émission de GES et des changements dans les circonstances nationales.

Ce processus itératif permettra au public, aux experts et aux groupes d'intervenants du Canada d'enrichir ce cadre de travail au fil des avancées du pays vers un objectif commun de réduction des émissions de GES à l'échelle internationale.



Sommaire

Le Canada est déterminé à créer une économie plus propre et plus innovatrice qui réduit les émissions et protège l'environnement tout en créant des emplois bien rémunérés et en favorisant une robuste croissance économique.

Un avenir à faibles émissions de GES représente une occasion d'accroître la prospérité et le bien-être des Canadiens, d'améliorer l'habitabilité de l'environnement bâti, de moderniser les transports et d'améliorer l'environnement naturel.

Les mesures prises par le Canada pour lutter contre les changements climatiques apporteront une aide concrète et utile aux collectivités du pays, car la croissance propre ne profite pas uniquement à la planète, elle profite aussi à l'économie. Les avantages comprennent les suivants : réduction de la pollution atmosphérique et de la congestion, modernisation des infrastructures permettant une amélioration du caractère inclusif et durable des villes, amélioration de la modernité et de la propreté de collectivités, croissance du secteur canadien des technologies propres, augmentation de la productivité et du rendement économiques, économies d'énergie et réduction des coûts de l'énergie, et amélioration de la résilience aux conséquences des changements climatiques.

Les mesures de lutte contre les changements climatiques ouvrent la voie à l'innovation et à l'emploi dans les secteurs de l'énergie propre et des technologies et créent des occasions d'adopter des innovations qui amélioreront la qualité de vie. Le Canada investit dans un avenir plus propre pour nos enfants et nos petits enfants, et il tente de créer pour les collectivités du pays des conditions qui favorisent la création d'emplois de qualité dans une économie mondiale moderne et propre.

Dans le cadre de sa Stratégie pour le milieu du siècle, le Canada vise une réduction nette des émissions de 80 % en 2050 par rapport aux niveaux de 2005. Cette réduction est compatible avec l'objectif prévu par l'Accord de Paris de limiter la hausse de la température à 2 °C à 1,5 °C.

Pour la première fois de l'histoire, avec l'Accord de Paris conclu à l'occasion de la 21^e Conférence des Parties (COP 21) de la CCNUCC, presque tous les pays du monde se sont entendus pour poursuivre

dans un cadre commun leurs plus hautes ambitions pour lutter contre les changements climatiques. Dans le cadre de l'Accord de Paris, plus de 195 pays rejetant 97 % des émissions mondiales de GES acceptent de renforcer la réponse internationale à la menace que représentent les changements climatiques, y compris en limitant l'augmentation de la température moyenne de la planète à un niveau nettement inférieur à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels, et en poursuivant leurs efforts pour limiter la hausse des températures à 1,5 °C au-dessus des niveaux préindustriels.

À partir d'analyses issues du cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUÉ) avance que des réductions d'émissions de GES de l'ordre de 70 à 95 % sous les niveaux de 2010 devraient être réalisées d'ici 2050 afin de rester sur une voie permettant de maintenir à plus de 50 % les chances de limiter l'augmentation moyenne de la température planétaire à 1,5 °C. L'atteinte de cet objectif de température n'est possible que par l'adoption de mesures ciblant conjointement le dioxyde de carbone et les polluants de courte durée de vie ayant un effet sur le climat (PCDV). Pour les besoins de sa Stratégie pour le milieu du siècle, le Canada envisage une réduction nette des émissions de 80 % par rapport aux niveaux de 2005.

Il ne sera pas facile de réduire les émissions de GES à des niveaux laissant des probabilités raisonnables d'atteindre l'objectif de température. L'atteinte de notre objectif nécessitera des efforts considérables de la part de tous les Canadiens et une restructuration fondamentale de plusieurs secteurs de l'économie. Il importera de saisir les occasions rentables de réduction, et ce, pour pratiquement toutes les sources de GES et toutes les activités rejetant des GES. Dans le secteur de l'énergie, ces efforts exigeront d'améliorer l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie, de trouver des moyens plus propres de produire et de stocker l'électricité, et de se tourner vers l'électricité sans émission ou d'autres solutions à faible émission de GES.

Bien que ces objectifs nécessiteront des efforts réfléchis et significatifs de la part de tous les Canadiens (y compris des politiques



gouvernementales solides comme la tarification du carbone, des mesures réglementaires et du soutien au développement technologique), le coût de l'inaction représente un risque trop sérieux pour l'ignorer. L'inaction pose un risque sur trois plans :

- Des émissions continues de GES anthropiques entraîneront l'augmentation des concentrations atmosphériques, ce qui fera augmenter la température moyenne de la planète et déclenchera une cascade de répercussions, y compris l'augmentation des conditions climatiques extrêmes et la hausse du niveau de la mer.
- Le fait de ne pas agir aujourd'hui implique que les coûts de demain seront fort probablement plus élevés, alors que la décarbonisation devra se faire à un rythme plus soutenu. Cela augmente les risques de mal allouer les investissements et les infrastructures et de voir des actifs délaissés.
- À l'heure où la planète se mobilise pour s'attaquer à la question des changements climatiques, le Canada ne doit pas être à la

traîne des marchés internationaux émergents liés à une économie propre et aux biens et services connexes.

Une économie axée sur une croissance propre à l'échelle mondiale offre des opportunités économiques et des avantages connexes considérables, notamment une croissance du secteur canadien des technologies propres, une amélioration de l'efficacité des technologies à l'échelle mondiale, une atténuation d'autres types de polluants, une amélioration de la santé et de la qualité de l'air ainsi qu'une hausse de la productivité grâce à une amélioration de l'efficacité du cycle de vie de la production.

Le fait de s'attaquer aux changements climatiques représente pour le Canada une occasion de découvrir et d'adopter des façons nouvelles et innovantes d'améliorer notre qualité de vie tout en nous assurant que cette prospérité est durable en regard du caractère limité de nos ressources naturelles et de notre souci pour l'environnement. Par exemple, la conception de bâtiments sobres en carbone peut permettre d'économiser sur le plan de la demande en énergie et des coûts de chauffage,

de climatisation et d'électricité, tout en augmentant la lumière naturelle et la circulation de l'air. Autre exemple : réduire la congestion routière par le recours à des moyens de transport des personnes et des biens plus durables nous permettrait de réduire les émissions de GES tout en diminuant la pollution atmosphérique et sonore ainsi que les temps de déplacement, et en permettant l'émergence de villes plus saines et plus productives. Souvent, en analysant les chaînes d'approvisionnement ou en évaluant le cycle de vie des produits finaux, il est possible de trouver des solutions qui sont préférables sur le plan environnemental, social et économique.

Le développement de solutions à faible émission de GES offrira également au Canada l'occasion d'aider d'autres pays dans leurs efforts en ce sens. Le secteur canadien des technologies propres a connu une croissance considérable dans les dernières années, et les perspectives de croissance à long terme dans ce secteur continuent d'être bonnes. Des investissements plus importants en recherche, en développement et en déploiement de technologies propres soutiendront la compétitivité du Canada à court et à long terme, tant pour les marchés émergents que traditionnels, créant des emplois mieux rémunérés et stimulant les exportations.

Dans le cadre de « Mission Innovation », le Canada, de concert avec 20 autres pays et l'Union européenne, a accepté de doubler en cinq ans ses investissements dans les technologies de transformation et dans la recherche et le développement en matière d'énergie propre, tout en encourageant le secteur privé à investir dans les technologies liées à l'énergie propre. Cette initiative vise également à accroître la collaboration entre les pays participants. Le Canada investit stratégiquement dans l'énergie propre et les technologies de réduction des émissions dans le but d'accélérer leur adoption au pays et de déployer notre savoir-faire et nos technologies énergétiques sur les marchés de la planète. L'adoption de technologies novatrices dans les secteurs des ressources naturelles (énergie, exploitation forestière, exploitation minière, agriculture, pêches) favorisera le leadership international du Canada en matière d'exploitation des ressources, et apportera prospérité aux Canadiens.

Il est possible d'atteindre des réductions considérables d'émissions grâce aux technologies et connaissances existantes, mais l'innovation, l'augmentation des investissements en recherche, en développement et en déploiement, ainsi que des investissements du secteur privé peuvent favoriser

la transition vers une économie à faible émission de carbone.

La plupart des analyses canadiennes et internationales sur la réduction des GES d'ici le milieu du siècle soulignent que d'importantes réductions des émissions sont possibles grâce aux technologies existantes, bien que les coûts de réduction demeurent élevés dans certains secteurs. Par exemple, une évaluation du Conseil des académies canadiennes publiée en 2015 indique que le Canada peut réduire ses rejets de GES de façon significative en ayant recours à des technologies disponibles sur le marché dans des secteurs clés de l'économie. Des études présentent systématiquement les technologies déployées comme faisant partie intégrante de la lutte aux changements climatiques, par exemple en généralisant le recours à l'électricité sans émission dans les secteurs d'utilisation finale, en accroissant l'utilisation des carburants de remplacement et en améliorant la conservation de l'énergie et l'efficacité énergétique.

Nombre d'études soulignent également que les technologies nouvelles et émergentes peuvent faciliter notre transition vers une économie à faible émission de GES. Par exemple, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) démontre qu'un virage vers une utilisation durable de l'énergie est possible grâce aux technologies déjà déployées ou au stade précommercial, mais que la transition à long terme sera facilitée (sur le plan des investissements requis et du moment de la mise en œuvre) par l'accélération à court terme de la mise en place de technologies énergétiques propres ou par la mise au point de technologies plus novatrices. L'AIE souligne que les investissements mondiaux actuels en recherche, en développement et en déploiement sont bien inférieurs à ce qui serait nécessaire pour atteindre nos objectifs internationaux en matière de climat.

De même, des investissements financiers importants sont requis de la part du secteur privé pour nous aider à nous rapprocher d'un avenir à faible émission de GES, et les risques et possibilités associés à ces investissements devraient être établis tôt dans le processus. La tarification du carbone peut donner au marché le signal nécessaire pour attirer les investissements du secteur privé et encourager l'innovation. Les développeurs et utilisateurs de technologies sont les intervenants les mieux placés pour amener de nouvelles technologies qui finiront par réussir. L'innovation en matière de technologies propres – qu'il s'agisse d'une percée technologique ou de l'amélioration d'un procédé existant – peut permettre

une réduction considérable des GES à l'échelle mondiale avec la généralisation de son usage.

L'atteinte des objectifs du Canada pour le milieu du siècle et à long terme passera par la réalisation de mesures concrètes à court terme.

La Stratégie pour le milieu du siècle du Canada ne constitue pas un plan d'action et n'est pas de nature prescriptive. Le rapport vise plutôt à éclairer les discussions sur la façon dont le Canada peut atteindre une économie à faible émission de carbone. Il décrit notamment des analyses de modélisation qui illustrent divers scénarios de réductions profondes des émissions. La Stratégie présente des possibilités de réduction des GES ainsi que les principales technologies émergentes, et définit les domaines où la réduction des émissions sera plus difficile et qui devront être ciblés par des politiques – dans le contexte des efforts pour atteindre les objectifs de faibles émissions de GES d'ici 2050.

Pour concrétiser ses mesures à court terme, le gouvernement du Canada collabore étroitement avec les provinces, les territoires et des organisations autochtones nationales afin de parachever un cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique, qui comprendra des mesures visant à réduire les émissions, à favoriser la résilience, à stimuler l'innovation et à créer des emplois.

Ce cadre présente le plan du Canada pour atteindre son objectif de réduction des émissions de GES de 30 % sous les niveaux de 2005 d'ici 2030, et il comprend aussi un cadre pour la tarification du carbone. Le cadre pancanadien ouvrira la voie vers l'innovation et l'emploi dans le secteur de l'énergie propre, et il aidera les Canadiens à gérer les effets des changements climatiques en renforçant la capacité d'adaptation et la résilience.

Le 3 mars 2016, les premiers ministres du Canada et les dirigeants autochtones se sont réunis à Vancouver et se sont engagés à élaborer un plan concret pour réaliser les engagements internationaux du Canada en matière de réduction des GES au moyen d'un cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques. Les premiers ministres du Canada ont publié la Déclaration de Vancouver, dans laquelle ils ont convenu de tirer profit des mesures et des engagements déjà pris par les provinces et les territoires pour atteindre ou dépasser les objectifs du Canada en matière d'émissions de GES. Ils ont souligné la nécessité d'encourager les investissements pour promouvoir une croissance

économique propre et créer des emplois soutenant le virage vers une économie sobre en carbone, tout en offrant des avantages aux Canadiens et en s'attaquant aux incidences sur la compétitivité des entreprises. Ils se sont engagés à prendre des mesures d'atténuation en adoptant un large éventail de mesures internes, y compris des mécanismes de tarification du carbone, adaptées aux circonstances particulières de chaque province et territoire. Des engagements ont également été pris relativement à l'élaboration et à la mise en œuvre de politiques et de mesures d'adaptation solides et complémentaires pour la résilience face au climat, afin de s'attaquer aux risques climatiques qui touchent les populations, les infrastructures, les économies et les écosystèmes du Canada, particulièrement dans les régions nordiques du pays.

La Stratégie pour le milieu du siècle contribuera à l'orientation du cadre pancanadien, et la planification à long terme est essentielle aux investissements dans les infrastructures et le secteur de l'énergie, ces éléments traçant la voie pour un futur à faibles émissions de carbone.

L'élaboration d'une stratégie pour le milieu du siècle représente un pas important sur la route menant à une économie sobre en carbone, puisqu'elle orientera la planification et les investissements à plus long terme. La planification à long terme est fondamentale pour la création et la gestion de systèmes énergétiques solides, et une élaboration minutieuse et clairvoyante des politiques est essentielle pour lutter de façon efficace et socialement acceptable contre les changements climatiques. Vu la longue durée de vie de certains équipements en matière d'offre et de demande énergétiques, les investissements qui sont faits aujourd'hui et les décisions en matière de politiques qui sont prises actuellement auront un impact sur les niveaux de GES en 2050. Par exemple, plusieurs des immeubles et des installations productrices d'électricité bâtis aujourd'hui seront toujours en activité en 2050. Une fois ces actifs immobilisés, il sera encore plus coûteux et complexe de les remplacer par des solutions plus propres. De même, les politiques gouvernementales devraient être conçues pour viser autant le court que le long terme, afin de s'assurer que les émissions de GES continuent de baisser en vue d'un futur à faible émission.

En harmonisant ses objectifs avec les objectifs en matière de température de la CCNUCC, le Canada a maintenant l'occasion d'intégrer ses objectifs de lutte aux changements climatiques à ses processus de planification à long terme. Bien que le présent

rapport ne propose pas de politiques précises, il énonce les principales options qui s'offrent à nous pour un développement à faible émission de GES au Canada. Par exemple, la prévision d'une croissance significative de la demande pour l'électricité canadienne devrait sous-tendre les investissements et la planification pour le milieu du siècle. Les planificateurs devraient garder en tête que cette demande accrue viendra tout autant d'une utilisation canadienne – à mesure que nous nous éloignerons des sources d'énergie à émissions de carbone plus intensives – que d'un possible approvisionnement en électricité propre de nos voisins continentaux. Pour donner un autre exemple, les planificateurs devraient également noter que les différences régionales représenteront une considération clé en raison des variations, d'une administration à l'autre, des portefeuilles de production d'électricité et des capacités techniques.

L'élimination du dioxyde de carbone est essentielle pour limiter la hausse de la température planétaire moyenne à un niveau bien en dessous de 2 °C .

Les forêts jouent un rôle clé dans la séquestration du carbone. Cet effet peut être intensifié par des activités de gestion forestière ainsi que par l'utilisation accrue des produits forestiers de longue durée et de la biomasse de déchets ligneux.

Pour accroître la probabilité de limiter la hausse de la température mondiale à un niveau bien en dessous de 2 °C, des émissions «négatives» nettes de dioxyde de carbone (lorsque plus d'émissions sont séquestrées par des moyens anthropiques que d'émissions sont rejetées dans l'atmosphère) devront être obtenues au cours du siècle. Des émissions négatives de dioxyde de carbone peuvent être obtenues grâce au boisement à grande échelle, ou grâce à la bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECSC); cette dernière mesure représente un facteur clé dans la grande majorité des scénarios de hausse de 1,5 °C et de 2,0 °C dans la documentation actuelle.

Les technologies de captage et stockage du carbone (CSC) offrent un moyen de prévenir le rejet d'émissions dans l'atmosphère. Par exemple, le secteur pétrolier et gazier peut tirer avantage de sa proximité avec les réservoirs géologiques pour stocker les émissions de carbone captées sur place. Les secteurs de la sidérurgie, des pâtes et papiers, des produits chimiques et du ciment ont aussi la possibilité de réduire leurs émissions grâce aux technologies de CSC. Des émissions négatives de dioxyde de carbone peuvent être obtenues lorsque

les technologies de captage et de stockage du carbone sont combinées à l'utilisation de l'énergie de la biomasse (BECSC). Dans un tel cas, le carbone qui est capté dans l'atmosphère et séquestré par la croissance de la végétation est capté et stocké lorsque la matière végétale est utilisée pour produire de l'énergie. Si la BECSC était mise en œuvre à une échelle adéquate, il serait possible d'obtenir des émissions négatives mondiales de dioxyde de carbone, quoique le potentiel du déploiement à grande échelle des technologies permettant des émissions négatives soit encore inconnu.

Certaines autres options avec le potentiel d'éliminer le dioxyde de carbone dans l'atmosphère, contribuant à l'obtention d'émissions négatives nettes à l'échelle de la planète, font aussi l'objet d'évaluations (p. ex. conversion du dioxyde de carbone en biomasse algale). Ces options en sont à divers stades de recherche, de développement et de déploiement. Beaucoup plus d'investissements et d'innovations sont nécessaires pour évaluer pleinement la potentielle contribution de ces mesures pour l'atteinte des objectifs de température mondiale et de développement durable.

L'ensemble des régions et des secteurs doivent prendre des mesures pour réduire les émissions, mais les trajectoires précises de réduction pourraient varier entre les provinces et les territoires. La coopération régionale sera la clé de notre réussite.

La Stratégie que nous présentons reprend des avenues faisant l'objet d'un consensus croissant en matière de développement sobre en carbone, orientées par des analyses d'experts indépendants.

Cette stratégie détermine les objectifs clés et les pierres d'assise sur lesquels pourrait reposer notre transition vers une économie à faible émission de GES. Ces composantes de base établissent les fondations de la stratégie canadienne d'atténuation des changements climatiques à long terme :

- Toutes les analyses en matière de réduction profonde des GES considèrent que l'électrification constitue une étape essentielle. L'électrification des utilisations finales qui reposent actuellement sur des combustibles fossiles est fondamentale. Par exemple, il peut s'agir d'alimenter des voitures, camions, électroménagers et systèmes de chauffage, ou encore la demande en énergie de certaines industries.
- Une tendance simultanée vers la décarbonisation du secteur de la production d'électricité est

nécessaire. La production d'électricité au Canada est déjà à plus de 80 % à émissions nulles, et cette tendance devrait se poursuivre, notamment grâce à une intervention gouvernementale accrue.

- L'augmentation importante de la demande d'électricité qui découlera des politiques d'électrification (la demande devrait au moins doubler d'ici 2050), de même que l'exportation de l'électricité, devra être comblée grâce à des sources à faible émission de carbone.
- L'avenir de l'électricité au Canada, ainsi qu'en Amérique du Nord, sera façonné par la coopération interprovinciale et intercontinentale. L'amélioration des interconnexions entre les réseaux électriques de différentes administrations pourrait permettre à des régions produisant de l'hydroélectricité ou d'autres formes de production à émissions nulles de vendre leur électricité à d'autres provinces canadiennes ou États américains qui dépendent des combustibles fossiles.
- L'efficacité énergétique et la gestion de la demande sont essentielles pour réussir une réduction radicale des GES. Par exemple, l'AIE estime que 38 % de la réduction nécessaire des émissions mondiales associée à une trajectoire de 2 °C pourrait être accomplie grâce à des progrès en matière d'efficacité énergétique. Les gains d'efficacité constituent aussi des moteurs importants en matière de progrès des techniques d'électrification et d'économies pour les consommateurs.
- Certains secteurs, tels que les industries lourdes, le transport maritime, le transport de marchandises lourdes et l'aéronautique, pourraient adopter des carburants à plus faibles émissions, tels que des biocarburants de seconde génération ou à base d'hydrogène. À défaut, des technologies nouvelles et émergentes dans le domaine des hydrocarbures synthétiques ou du stockage de l'énergie seraient nécessaires.
- La réduction des GES autres que le CO₂, tels que le méthane ou les hydrofluorocarbures, constitue une priorité étant donné leur important potentiel de réchauffement planétaire. Une réduction de ces polluants peut souvent aider à ralentir le réchauffement à court terme et contribuer à atteindre l'objectif de température planétaire. Même si le carbone noir n'est pas classé comme un GES, il a des effets de réchauffement planétaire importants qui doivent aussi être atténués.
- Des changements dans les comportements aideront aussi à obtenir une économie à faible émission de GES. Par exemple, des stratégies novatrices de transport des personnes et des marchandises se généraliseront au cours des 35 prochaines années, tout comme des changements des habitudes de vie, de travail et de consommation.
- Les villes produisent 70 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone liées à l'énergie. Les villes canadiennes abritent aujourd'hui 80 % de la population nationale, par rapport à 62 % il y a 60 ans. Dans le cadre d'une tendance soutenue vers l'urbanisation dans les prochaines décennies, les villes du Canada ne peuvent se permettre d'attendre pour augmenter leurs efforts d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation.
- Les forêts et les terres du Canada continueront à jouer un rôle important en matière de séquestration de grandes quantités de dioxyde de carbone. Cette séquestration peut être accrue grâce à des politiques et des mesures offrant une meilleure gestion de nos forêts et produits forestiers. Il sera très difficile d'atteindre les cibles de température planétaire de 1,5 °C à 2 °C si l'on ne tient pas compte du secteur terrestre mondial.
- L'innovation sera aussi d'importance capitale. Un virage vers les énergies durables est possible compte tenu des technologies actuellement déployées ou au stade précommercial, mais la transition à long terme sera facilitée par l'accélération à court terme de la mise en place de technologies énergétiques propres ou par la mise au point de technologies plus novatrices. Le secteur privé a un rôle important à jouer à cet égard, notamment en orientant les investissements et l'innovation vers les options à faibles émissions. La tarification du carbone sera importante pour atteindre cet objectif.
- La collaboration avec les provinces et les territoires, les peuples autochtones, les municipalités, les entreprises et d'autres intervenants sera essentielle au succès à long terme du Canada en vue de favoriser une croissance propre, de réduire les émissions et de profiter des possibilités découlant d'une économie globale à faible émission de carbone.



1 Contexte

MESSAGES CLÉS :

- La plupart des Canadiens reconnaissent la nécessité d'atténuer les changements climatiques et de limiter la hausse de la température planétaire moyenne, mais l'ampleur du défi est moins bien comprise, notamment la nécessité de couper profondément dans les émissions de tous les secteurs d'ici le milieu du siècle.
- Il est nécessaire d'atténuer les émissions de GES pour écarter la menace grandissante posée par les changements climatiques. Les avantages de l'action pour réduire les risques climatiques surpasseront les coûts, et la communauté internationale effectue un virage vers des économies à faible émission. Il importe aussi d'accorder une attention particulière aux polluants à courte durée de vie ayant un effet sur le climat pour respecter l'objectif de température de 1,5 à 2 °C.
- Le Canada a travaillé étroitement avec les États Unis et le Mexique pour élaborer le présent rapport. Nos partenaires continentaux ont aussi décrit des mesures d'atténuation ambitieuses pour 2050 dans leurs stratégies respectives.
- La promotion des efforts internationaux, y compris la réduction des émissions dans les autres pays, sera essentielle à la réussite des mesures prises à l'échelle mondiale.
- Il sera essentiel de collaborer avec les peuples autochtones en soutenant leurs efforts soutenus de mise en place d'initiatives en matière de changements climatiques. Les consultations avec les collectivités autochtones doivent respecter les obligations constitutionnelles, juridiques et internationales du Canada envers les Autochtones.
- La Stratégie pour le milieu du siècle aidera à éclairer le cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.

1.1 **Même si la plupart des Canadiens reconnaissent la nécessité d'atténuer les changements climatiques et de limiter la hausse de la température planétaire moyenne, un engagement envers une réduction des émissions qui respecte la cible de température mondiale exigera de couper profondément dans les émissions de tous les secteurs d'ici le milieu du siècle.**

Le Canada a joué un rôle de chef de file en faisant progresser l'adoption de l'Accord de Paris et en appuyant les objectifs consistant à limiter la croissance de la température planétaire moyenne à un niveau bien inférieur à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels ainsi qu'à poursuivre les efforts visant à limiter la hausse de la température à 1,5 °C au-dessus de ces niveaux. Pour assurer que la hausse de la température mondiale reste bien au-dessous de 2 °C, il faudra que les émissions de GES à l'échelle planétaire atteignent leur sommet dès que possible et connaissent ensuite une baisse rapide. Des mesures simultanées et opportunes en matière de PCDV seront aussi nécessaires (voir le chapitre 5).

Dans son dernier rapport d'évaluation, le GIEC s'appuyait sur une gamme de modèles pour examiner des scénarios possibles portant sur les trajectoires des émissions planétaires correspondant à une limite du réchauffement de la planète inférieure à 2 °C. S'appuyant sur cette analyse, le Programme des Nations Unies pour l'environnement a constaté dans une étude récente (2015)¹ que les scénarios qui envisagent de limiter le réchauffement à 2 °C, selon une probabilité de 66 %, atteignent une cible nette de zéro émission anthropique de dioxyde de carbone vers 2070, alors que ceux qui placent la limite à 1,5 °C, selon une probabilité de 50 %, atteignent cette cible vers 2050.

Des émissions nettes « négatives » de dioxyde de carbone (autrement dit, plus d'émissions sont séquestrées que produites par l'action humaine) deviendraient alors nécessaires plus tard au cours du siècle afin d'atteindre l'objectif de température. Des émissions de dioxyde de carbone négatives pourraient être obtenues, par exemple, grâce à un boisement à grande échelle ou à la bioénergie avec captage et stockage du carbone. Des émissions de CO₂ négatives seraient nécessaires dans ces scénarios pour compenser les émissions d'autres GES difficiles à atténuer (p. ex. les émissions de méthane et d'oxyde de diazote associées à la production alimentaire), afin d'en arriver à des émissions nettes de GES d'origine humaine nulles à l'échelle planétaire.

Sur le plan des émissions totales de GES, d'après le cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, un nombre limité d'études fournit des scénarios qui sont susceptibles de limiter le réchauffement à 1,5 °C d'ici 2100; ces scénarios sont caractérisés par des concentrations de GES inférieures à 430 ppm d'éq. CO₂ d'ici 2100 et par une réduction des émissions d'ici 2050 de 70 % à 95 % sous les niveaux de 2010².

Dans ce contexte, les États-Unis ont affirmé que leur contribution prévue (cible) déterminée au niveau national s'accordait avec une voie de réduction des émissions en ligne droite à partir de 2020, de manière à obtenir des réductions profondes des émissions à l'échelle de l'économie de l'ordre de 80 % ou plus d'ici 2050. D'autres administrations comme le Japon et l'UE ont adopté des buts semblables. Pour les besoins de sa Stratégie pour le milieu du siècle, le Canada envisage une réduction nette des émissions de 80 % par rapport aux niveaux de 2005.

1 Programme des Nations Unies pour l'Environnement, *Rapport 2015 sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction d'émissions*.
2 GIEC, *Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Résumé à l'intention des décideurs*.

1.2 Il est nécessaire d'atténuer les émissions de GES pour écarter la menace grandissante posée par les changements climatiques. Les avantages de l'action pour réduire les risques climatiques surpasseront les coûts, et la communauté internationale effectue un virage vers des économies à faible émission. Il importe aussi d'accorder une attention particulière aux polluants à courte durée de vie ayant un effet sur le climat pour respecter l'objectif de température de 1,5 à 2 °C.

Les conséquences de l'inaction sont graves, et elles toucheront à l'environnement, à la santé et à la qualité de vie à l'échelle de la planète. On prévoit que la température planétaire moyenne continuera d'augmenter bien au-delà de 2 °C au cours du 21^e siècle si aucune mesure supplémentaire n'est prise. Certaines régions du monde connaîtront des effets graves avant les autres, notamment dans les zones les plus vulnérables.

Le GIEC conclut que les risques posés par les changements climatiques sont élevés ou très élevés dans le cas d'une augmentation de température planétaire moyenne de 4 °C ou plus au-dessus des niveaux préindustriels, ce qui correspond au niveau qui serait atteint en 2100 dans un scénario de maintien du statu quo. Ces risques comprennent la disparition de nombreuses espèces, de graves risques pour la sécurité alimentaire mondiale et régionale, et des obstacles aux activités humaines normales telles que l'agriculture ou le travail à l'extérieur, en raison d'une combinaison de température et d'humidité élevées. Ces risques sont considérablement réduits dans les scénarios qui limitent le réchauffement climatique à 2 °C ou moins³.

Plusieurs études ont montré que le coût des mesures de lutte contre les changements climatiques diminue lorsque ces mesures sont entreprises rapidement. Par exemple, en 2014, le Council of Economic Advisers de la Maison-Blanche a publié un rapport affirmant que, pour le même niveau de stabilisation de la température, chaque décennie de retard dans les efforts d'atténuation entraîne une hausse de 40 % dans le coût de ces derniers⁴. Un rapport de Navius Research de 2012, qui a examiné les répercussions d'un retard dans l'adoption des politiques dans le contexte d'une cible audacieuse pour 2050, suggère qu'un retard dans les initiatives

3 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, *Changements climatiques 2014; Incidences, adaptation et vulnérabilité*.
4 Executive Office of the President of the United States, *The Cost of Delaying Action to Stem Climate Change*.

d'orientation du pays en matière de GES entre 2012 et 2020 pourrait coûter au Canada 87 milliards de dollars supplémentaires entre 2020 et 2050, ce qui représente une augmentation d'environ 27 % du coût de l'atténuation⁵.

De plus, plusieurs études montrent que les avantages des mesures d'atténuation peuvent souvent surpasser leur coût à long terme, en raison des économies d'énergie et de carburant qui découlent des gains d'efficacité. Par exemple, un rapport récent de *New Climate Economy* montre que les villes à l'échelle planétaire pourraient économiser 16,6 milliers de milliards de dollars entre 2015 et 2050 grâce à des investissements dans des projets tels que le transport collectif et les bâtiments écoénergétiques⁶. Même s'il existe une incertitude inhérente aux prévisions à très long terme, le consensus dans la documentation renforce l'argument qu'une action rapide en matière de changements climatiques est cruciale pour réduire leurs coûts généraux à long terme.

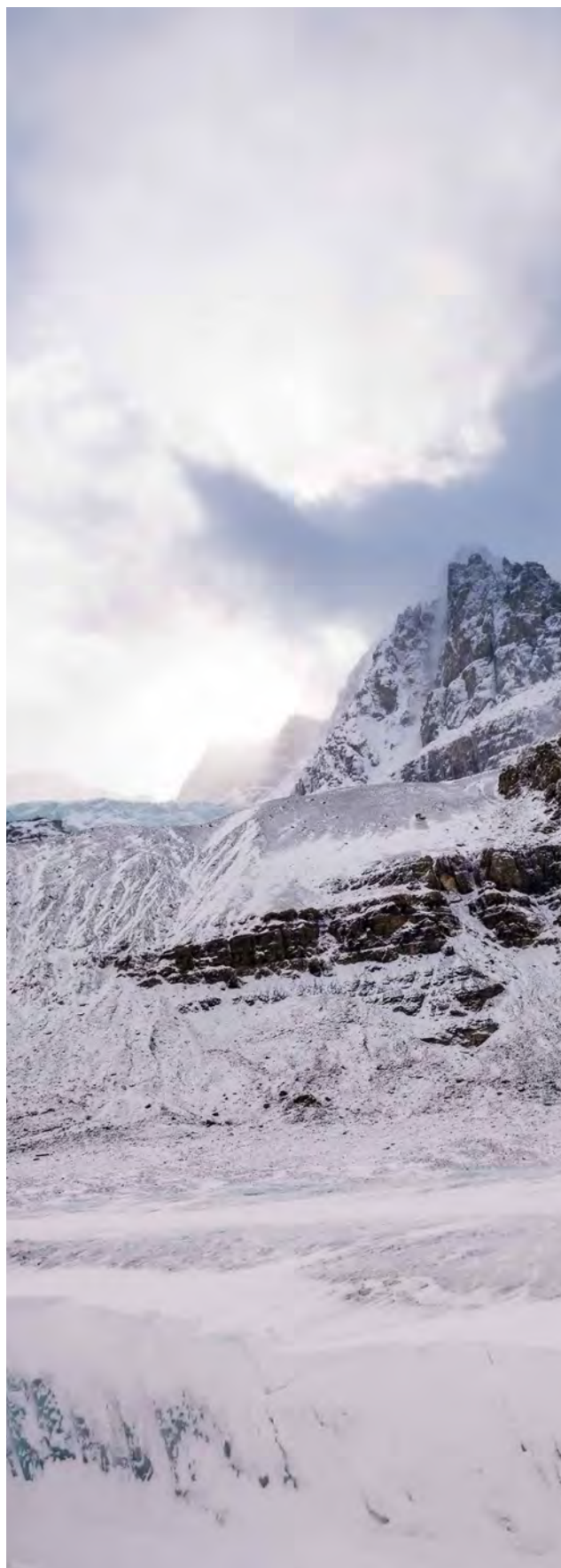
1.3 Le Canada a travaillé étroitement avec les États Unis et le Mexique pour élaborer le présent rapport. Nos partenaires continentaux ont aussi décrit des mesures d'atténuation ambitieuses pour 2050 dans leurs stratégies respectives.

Comme le décrit la Déclaration des leaders sur le partenariat nord-américain en matière de climat, d'énergie propre et d'environnement, l'Amérique du Nord a la capacité, les ressources et l'obligation morale de faire preuve d'un leadership fort en misant sur l'Accord de Paris, qui est entré en vigueur le 4 novembre 2016. Nous reconnaissons que nos systèmes d'énergie et nos économies à intégration élevée offrent une occasion extraordinaire de favoriser la progression de notre transition vers une économie de l'énergie propre. Les mesures que nous prenons dans le but d'harmoniser les politiques sur le climat et l'énergie protégeront la santé des personnes et contribueront à uniformiser les règles du jeu pour nos entreprises, nos foyers et nos travailleurs.

Du fait de nos liens étroits et de notre vision commune, le Canada a travaillé étroitement avec les États Unis et le Mexique pour élaborer le présent rapport, ce qui comprend la mise en commun des analyses et des observations clés. Les stratégies de développement à faible émission de GES à long

⁵ Navius Research Inc., *Investment and Lock-In Analysis for Canada: Low Carbon Scenarios to 2050*.

⁶ Global Commission on the Economy and Climate, *The Sustainable Infrastructure Imperative: Financing for Better Growth and Development*.



terme pour le milieu du siècle de nos partenaires, qui décrivent des mesures d'atténuation ambitieuses visant l'horizon 2050, sont les suivantes.

1.4 Encourager les efforts internationaux, y compris la réduction des émissions dans les autres pays, sera essentiel pour la réaction mondiale.

L'Accord de Paris reconnaît que, pour lutter contre les changements climatiques par l'adaptation, la technologie et le renforcement des capacités, une importante collaboration internationale et du financement conséquent seront nécessaires, particulièrement en ce qui a trait au développement durable. La collaboration internationale est cruciale pour bâtir une économie fondée sur l'innovation et le savoir.

La collaboration en matière d'innovation technologique sous-tendra la réussite des efforts internationaux. Le Carbon Trust, un chef de file mondial des groupes de réflexion sur les émissions de GES et les technologies énergétiques, a été mandaté par le Royaume-Uni pour analyser les avantages de l'innovation dans le domaine des technologies énergétiques. Son document « United Innovations » en vient à la conclusion que, grâce à la collaboration en la matière, [traduction] « le monde pourrait économiser 550 milliards de dollars américains sur le coût du déploiement des technologies énergétiques propres au cours de la prochaine décennie ».

Une collaboration internationale pour atténuer les émissions de GES sera primordiale pour limiter la hausse de la température. En effet, les coûts de réduction des GES varient grandement selon les secteurs et les administrations, mais les avantages d'une réduction des émissions sur le plan environnemental restent les mêmes. Une coopération visant à réduire les émissions dans les domaines les plus rentables permettra de s'assurer que les ressources financières sont employées aussi efficacement que possible, permettant une plus grande réduction d'émissions par unité de dépense en immobilisations.

L'article 6 de l'Accord de Paris reconnaît que les pays peuvent choisir d'utiliser des résultats d'atténuation transférés à l'échelle internationale, y compris l'échange des droits d'émission, pour faciliter l'accès à des occasions de réduction plus rentables et aider d'autres pays à réduire leurs émissions et à promouvoir le développement durable. Des approches fondées sur les marchés internationaux

pour réduire les émissions (p. ex. systèmes de plafonnement et d'échange liés, approches de collaboration bilatérales, etc.) peuvent favoriser une atténuation des GES rentable et efficace sur le plan économique. Certaines régions du monde, y compris des gouvernements infranationaux, travaillent déjà en coopération ou à établir des liens entre leurs marchés du carbone. Ces approches « ascendantes » pourraient continuer de se développer et de s'élargir. Par exemple, la province du Québec a lié son système d'échange de droits d'émission à celui de la Californie au moyen de la Western Climate Initiative, tandis que d'autres régions infranationales planifient ou envisagent de faire de même. D'ici 2050, on peut espérer la mise en place d'un système international d'échange de droits d'émission qui assurerait une transparence et une intégrité environnementales solides à l'échelle mondiale.

Au Canada, il est difficile de réduire les émissions de GES dans les industries lourdes à fortes émissions, dans le secteur de l'extraction primaire et dans certaines applications du secteur des transports. À court et à moyen terme, il pourrait y avoir des possibilités de réduction des GES plus rentables dans d'autres secteurs ou régions, où les technologies d'assainissement sont plus efficaces ou des solutions de rechange à plus faible taux d'émission de GES existent. L'échange des droits d'émission, ou l'accès à des résultats d'atténuation transférés à l'échelle internationale, peut offrir une méthode de réduction des émissions de GES à plus faible coût, accordant ainsi plus de temps au roulement des stocks de capital amenant une production intense de GES et permettant l'introduction de solutions de rechange sobres en carbone sans délaisser d'actifs. Le Canada reconnaît que le développement durable est un principe clé et pertinent dans ce type de coopération. Il envisage de se tourner vers les résultats d'atténuation transférés à l'échelle internationale comme compléments à court et à moyen terme à la réduction d'émissions au pays. De même, le Canada entend tenir compte des résultats d'atténuation transférés à l'échelle internationale qui résultent de l'échange transfrontalier de droits d'émission à l'échelle infranationale dans le cadre de sa contribution à la lutte internationale contre les changements climatiques.

1.5 Travailler en collaboration avec les peuples autochtones en soutenant leurs efforts de mise en place continue d'initiatives en matière de changements climatiques sera essentiel. Les consultations avec les collectivités

autochtones doivent respecter les obligations constitutionnelles, légales et internationales du Canada envers les Autochtones.

Un certain nombre de déclarations et d'accords⁷ soulignent l'engagement du Canada à consulter et à mobiliser les peuples autochtones, ainsi qu'à collaborer avec eux. Le travail sur les changements climatiques et les interactions avec les peuples autochtones qui y sont liées doivent respecter l'approche du Canada pour la mise en œuvre de la *Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones*, conformément à la Constitution canadienne.

Cet engagement est particulièrement pertinent étant donné la disproportion des défis auxquels font face les collectivités des Premières Nations, des Inuits et des Métis à cause des changements

climatiques. Malgré les changements qui menacent leurs ressources traditionnelles et leurs terres, les citoyens et collectivités autochtones prennent des mesures concrètes pour devenir des acteurs de changement. Pour eux, le développement d'une résilience face aux changements climatiques passe fondamentalement par une indépendance énergétique, alimentaire et hydrique, où les collectivités autochtones sont autonomes.

Les peuples, collectivités et organisations autochtones de partout au Canada mettent en place un large éventail d'initiatives en matière de changements climatiques⁸. Au-delà des projets d'énergie renouvelable, les peuples autochtones mettent en place des initiatives novatrices en matière de gestion durable d'utilisation des terres, de sécurité alimentaire et d'éducation appuyée sur des valeurs traditionnelles. Faire avancer l'apprentissage interculturel en matière d'atténuation des changements climatiques et d'adaptation est une première étape vers la réconciliation au Canada.

⁷ Par exemple : l'Accord de Paris dans le cadre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques; la Déclaration de Vancouver; la Déclaration des leaders sur le partenariat nord-américain en matière de climat, d'énergie propre et d'environnement.

⁸ Scurr, C., et Beaudry, J., *Gap Analysis First Nations Climate Change Adaptation South of 60 Degrees Latitude*.



Pour aller de l'avant, le Canada encouragera l'aménagement d'infrastructures vertes dans les collectivités autochtones éloignées du Nord. Il est également important pour les municipalités, provinces et territoires de promouvoir la sécurité énergétique des peuples autochtones. Par exemple, grâce à son programme Tarifs de rachat garantis, l'Ontario a été capable de mettre de côté 10 % pour la participation des Autochtones et des collectivités à des projets d'énergies renouvelables, ce qui a permis à de nombreuses collectivités autochtones d'être partenaires ou propriétaires de systèmes d'énergie renouvelable⁹.

1.6 La Stratégie pour le milieu du siècle aidera à éclairer le cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.

Le 3 mars 2016, les premiers ministres du Canada et les dirigeants autochtones se sont réunis à Vancouver et se sont engagés à élaborer un plan concret pour réaliser les engagements internationaux du Canada en matière de réduction des gaz à effet de serre au moyen d'un cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques. Les premiers ministres du Canada ont publié la Déclaration de Vancouver, dans laquelle ils ont convenu de tirer profit des mesures et des engagements déjà pris par les provinces et les territoires pour atteindre ou dépasser les objectifs du Canada en matière d'émissions de GES. Ils ont souligné la nécessité d'encourager les investissements pour promouvoir une croissance économique propre et créer des emplois soutenant le virage vers une économie sobre en carbone, tout en offrant des avantages aux Canadiens et en s'attaquant aux incidences sur la compétitivité des entreprises. Ils se sont engagés à prendre des mesures d'atténuation en adoptant un large éventail de mesures internes, y compris des mécanismes de tarification du carbone, adaptées aux circonstances particulières de chaque province et territoire. Des engagements ont également été pris relativement à l'élaboration et à la mise en œuvre de politiques et de mesures d'adaptation solides et complémentaires pour la résilience face au climat, afin de s'attaquer aux risques climatiques auxquels font face les populations, les infrastructures, les économies et les écosystèmes du Canada, particulièrement les régions nordiques du pays.

La Stratégie pour le milieu du siècle du Canada aidera à éclairer le cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques, mais ne décrit pas d'autres politiques précises. La Stratégie présente plutôt des possibilités de réduction des GES ainsi que les principales technologies émergentes, et définit les domaines où la réduction des émissions sera plus difficile et qui devront être ciblés par des politiques – dans le contexte des efforts pour atteindre les objectifs de très faibles émissions de GES d'ici 2050. La Stratégie souligne aussi l'importance de tenir compte des autres polluants, comme le carbone noir, qui constituent d'importants facteurs de réchauffement du climat.

⁹ Groupe de travail sur les affaires autochtones portant sur le développement économique chez les Autochtones, *Programme de partenariats énergétiques pour les Autochtones de l'Ontario*.

2 Analyses existantes sur la décarbonisation

L'étude et l'analyse de ce à quoi un avenir à faible émission de carbone ressemblera, ainsi que des moyens pour éventuellement y parvenir, sont relativement récentes. Il existe toutefois un ensemble de recherches internationales en expansion rapide sur les scénarios d'avenir à faible émission de carbone, y compris quelques analyses concentrées sur le Canada. À partir de ces dernières, un certain nombre de thèmes communs et de conclusions ont vu le jour, éclairant l'élaboration du présent rapport. Ces travaux présentent différentes voies pouvant être suivies par le Canada afin d'atteindre une économie à faible émission de carbone d'ici 2050, ainsi que les possibilités et les défis connexes. Les études mettent également en évidence les réalisations du Canada en matière de réduction des émissions de GES à ce jour, et fournissent une panoplie de renseignements sur les technologies novatrices à faible émission de GES, en plus de désigner des politiques et des mesures pouvant être mises en œuvre afin de réaliser d'importantes réductions d'émissions, en plus d'assurer l'innovation requise pour faciliter cette transition.

L'analyse documentaire vise à mettre en évidence les principaux thèmes et messages tirés de recherches pertinentes, afin d'éclairer l'élaboration de la Stratégie pour le milieu du siècle du Canada. Cet examen met l'accent sur des approches pancanadiennes et ne prend pas en compte les évaluations des voies à l'échelle provinciale.

MESSAGES CLÉS :

- Une décarbonisation substantielle d'ici le milieu du siècle est possible à l'aide des technologies actuelles.
- La décarbonisation présente des possibilités d'améliorer le bien-être social et la productivité économique.
- Il faut rehausser l'accent sur les politiques, la recherche, le développement et l'investissement pour les secteurs où la réduction sera difficile.
- Les objectifs de décarbonisation devraient aller de pair avec une planification coordonnée à long terme, notamment dans des secteurs clés comme l'investissement dans de nouvelles infrastructures et technologies propres.

2.1 Une décarbonisation substantielle d'ici le milieu du siècle est possible à l'aide des technologies actuelles.

Le Canada a déjà entamé la décarbonisation et peut même en faire plus avec les technologies actuellement accessibles. Dans son examen du Canada de 2015, l'AIE mentionne que le Canada a réalisé d'importantes réductions à ce jour grâce à des initiatives fédérales, provinciales et territoriales. Le rapport souligne qu'en 2013, plus de 75 % de la production d'électricité au Canada ne rejetait pas d'émissions de GES en raison d'une importante production hydroélectrique et nucléaire; au cours de la dernière décennie, le Canada a réduit son intensité énergétique de 20 %. Le rapport mentionne également les progrès réalisés dans le secteur industriel, avec quatre projets de captage et stockage du carbone (CSC), y compris le projet de CSC Boundary

Dam, qui est la « première application commerciale au monde de CSC à une centrale électrique au charbon¹⁰ ».

Une évaluation du Conseil des académies canadiennes publiée en 2015 laisse entendre que le Canada peut considérablement réduire ses émissions de GES en ayant recours à des technologies disponibles sur le marché dans des secteurs clés de l'économie¹¹. L'évaluation désigne de nombreuses technologies existantes qui sont capables d'engendrer des améliorations supérieures de l'efficacité énergétique et d'augmenter la production d'électricité à émission nulle. Ces technologies sont offertes sur le marché et accentuent les améliorations actuelles en matière d'efficacité énergétique, en plus de contribuer à décarboniser le secteur de la production d'électricité. Le rapport met également en évidence la possibilité de stimuler la transition vers de faibles émissions de carbone au moment du renouvellement d'infrastructures.

Le Deep Decarbonisation Pathways Project¹² (DDPP), une initiative internationale qui regroupe 16 pays rejetant 74 % des émissions de carbone liées à la production d'énergie, et qui vise à améliorer les voies propres à chaque pays afin d'atteindre un objectif d'atténuation permettant de limiter l'augmentation de la température mondiale à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels. Le projet laisse entendre que les technologies actuelles et en développement ont la capacité de donner lieu à la décarbonisation, à condition qu'une politique en matière de climat assez vaste et appropriée à l'échelle nationale soit mise en place. L'étude canadienne publiée en 2015 fournit six voies de décarbonisation, dont plusieurs reposent sur le fait de favoriser le développement de technologies actuellement accessible. Selon les résultats de l'étude, le Canada peut faire des progrès importants grâce à la décarbonisation de son réseau d'électricité, en utilisant essentiellement des sources d'énergie renouvelable (p. ex. hydroélectrique, éolienne, solaire), certains combustibles fossiles avec le CSC, et en remplaçant les sources d'énergie reposant sur la combustion par de l'électricité dans de nombreux secteurs (dont le transport, le bâtiment, la fabrication et l'industrie lourde). L'étude a employé un modèle de renouvellement des stocks technologiques réaliste sur le plan comportemental (modèle CIMS) hautement détaillé afin de saisir les changements dans les émissions découlant de la

production d'énergie, des processus et des émissions fugitives, liés à un modèle macroéconomique ventilé par secteur et par région (modèle RGEEM), afin de saisir les changements dans le PIB, la structure économique, l'emploi et le commerce. Les réductions d'émissions dans les deux modèles étaient stimulées par un ensemble de politiques et de règlements technologiques axés sur le rendement, et de tarification hybride du carbone (c.-à-d. système fiscal et système de plafonnement et d'échange).

Le Projet Trotter pour l'avenir énergétique explore 11 scénarios distincts basés sur les différents niveaux de réduction des émissions de GES réalisables par le Canada d'ici 2050 à partir d'un modèle d'optimisation et d'un modèle de simulation qui intègrent des paramètres énergétiques et économiques à différentes séries de stratégies, afin de réaliser les réductions au moindre coût. Les projections présentées dans le rapport fournissent des renseignements détaillés sur les niveaux sectoriels de consommation et de production au Canada pour chaque scénario et tiennent compte des particularités régionales. Le rapport indique que « Pour la plupart des scénarios, l'analyse ne tient compte que des technologies actuellement déployées à grande échelle, ainsi que du potentiel d'amélioration de leur performance et de la diminution de leur coût à long terme¹³. » Cela comprend l'accroissement de l'utilisation de la production d'électricité sans émission dans tous les secteurs d'utilisation finale, notamment l'utilisation de biocarburants dans le secteur du transport, et l'amélioration de la conservation et de l'efficacité énergétiques. Le rapport souligne également que des recherches plus poussées sont nécessaires sur les moyens d'atteindre des émissions nettes négatives de GES, dont la production de bioénergie avec capture et stockage du carbone, l'utilisation accrue des produits forestiers pour la rétention du carbone dans les bâtiments et la séquestration du carbone grâce au boisement et au reboisement.

L'étude canadienne Agir sur les changements climatiques : les solutions d'universitaires canadiens et canadiennes propose également un aperçu de la façon dont les technologies existantes et les mesures stratégiques appropriées peuvent suffire à décarboniser l'économie canadienne. Travail concerté de soixante chercheurs canadiens, ce rapport indique que le Canada pourrait dépendre exclusivement d'une production d'électricité à faible émission de carbone d'ici 2035, grâce à la disponibilité de sources d'énergie renouvelable

10 Agence internationale de l'énergie, *Politiques énergétiques des états membres de l'AIE – Canada 2015*.

11 Conseil des académies canadiennes, *Solutions technologiques et politiques pour un système énergétique à faibles émissions au Canada*.

12 Bataille, C. et al., *Pathways to Deep Decarbonization in Canada*.

13 Projet Trotter pour l'avenir énergétique, *Défis et opportunités pour le Canada*.



au pays, ce qui rend possible une réduction de 80 % des émissions de GES d'ici 2050. De plus, l'évolution intelligente de l'aménagement urbain, des changements draconiens dans le secteur des transports et un programme de viabilité élargi sont tous des facteurs essentiels qui aideront à modifier la consommation d'énergie au Canada. À cette fin, les auteurs proposent de nombreuses politiques, comme l'échange interprovincial est-ouest d'électricité, et soulignent l'avantage d'une politique de tarification du carbone.

2.2 La décarbonisation présente des occasions d'améliorer le bien-être social et la productivité économique.

Le plan d'action de l'IntelliProspérité, *Une nouvelle façon de penser*, présente une vision de l'avenir à faible émission de carbone au Canada avec des communautés saines, dynamiques et vertes. Ce groupe de réflexion canadien propose une société canadienne où des villes et municipalités intelligentes procurent des moyens de subsistance viables dans des collectivités aux immeubles à efficacité énergétique maximum grâce à des toitures faites de panneaux solaires, une abondance de parcs publics et de jardins communautaires et des rues et trottoirs dotés de stations de branchement pour les voitures électriques de dernière génération. Dans cette économie verte, l'innovation propre procurera beaucoup de possibilités d'emploi en faisant appel à l'ingéniosité humaine pour produire efficacement des biens et services tout en cherchant constamment de nouvelles façons de réduire les émissions de GES. Des réseaux électriques intelligents dotés de technologies avancées permettront aux appareils domestiques, comme les chauffe-eau, d'agir comme des accumulateurs et des moyens de transport

d'électricité pour se recharger et remplir leurs fonctions à des heures de charge peu coûteuses, hors pointe. Selon cette vision, des collectivités interreliées deviendront plus efficaces en partageant ressources et connaissances. Le plan d'action affirme que la prospérité future du Canada dépend des choix d'investissement que nous faisons aujourd'hui et que le développement d'infrastructures propres « [offrira] des débouchés économiques substantiels aux entreprises canadiennes [dont] bon nombre [...] figurent déjà parmi les chefs de file en matière de technologies énergétiques, d'infrastructure hydraulique et de transport¹⁴ ».

La transition vers une économie à faible émission de carbone pourrait présenter, au-delà de la réduction des émissions de GES, d'importants avantages qui pourraient améliorer la qualité de vie des Canadiens en créant des emplois dans le secteur des technologies propres et en améliorant la productivité dans d'autres secteurs. Le rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) *Energy Technology Perspectives (ETP) 2016* souligne certaines réussites au Canada¹⁵. Par exemple, en Alberta, la Drake Landing Solar Community (DLSC) intègre l'énergie thermique solaire à son réseau de district pour stocker d'importantes quantités d'énergie sous terre durant l'été afin de l'utiliser pour le chauffage intérieur en hiver. D'après la DLSC, chacune des maisons unifamiliales réduit d'environ 5 tonnes ses émissions de GES par année et s'avère 30 % plus efficace que les maisons traditionnelles¹⁶. Une autre réussite se rapporte aux applications de signalisation routière

14 IntelliProspérité, *Une nouvelle façon de penser – Le plan d'action du Canada pour l'IntelliProspérité*, p. 50.

15 Agence internationale de l'énergie, *Energy Technology Perspectives*, p. 199, 231 et 326.

16 Drake Landing Solar Community, *Welcome to Drake Landing Solar Community*.

(système de communications, systèmes de régulation adaptative, collecte et analyse de données en temps réel liées à la circulation responsable, systèmes de gestion d'entretien, etc.) en Colombie-Britannique pour permettre aux automobilistes d'éteindre leur moteur pendant qu'ils attendent au poste frontalier de Peace Arch. Le système réduit les émissions de GES de 45 % tout en diminuant la pollution atmosphérique, ce qui améliore la santé humaine. De plus, les automobilistes économisent sur l'essence¹⁷.

Les données analysées dans le Rapport sur l'industrie canadienne des technologies propres 2016, publié par Analytica Advisors, indiquent que le secteur canadien des technologies propres a connu une croissance considérable depuis dix ans et qu'un plan d'action en matière de décarbonisation stimulerait davantage le secteur en augmentant la demande nationale de technologies propres, développant ainsi les connaissances et l'innovation au pays. Le rapport indique que le secteur canadien des technologies propres génère [traduction] « des emplois hautement qualifiés, bien rémunérés et axés sur la connaissance¹⁸ » et qu'il continue de surclasser les autres secteurs d'activité sur ce plan. Les technologies propres peuvent également accroître la productivité et l'efficacité d'autres secteurs de l'économie, y compris les industries traditionnelles, et les rendre plus concurrentiels. Néanmoins, le rapport souligne également que ces mêmes entreprises canadiennes perdent leur part du marché mondial, et que le fait d'avancer rapidement vers la décarbonisation pourrait offrir d'importantes occasions à ce secteur.

Le Projet Trottier pour l'avenir énergétique indique également d'autres types d'occasions économiques, comme de profiter d'avantages potentiels réciproques par une plus grande intégration du réseau et des échanges d'électricité entre les États-Unis et le Canada. Plus particulièrement, le Québec pourrait augmenter ses exportations d'électricité aux émissions nulles dans la région du Nord-Est des États-Unis, et le Manitoba pourrait faire de même avec la région du Midwest américain. Les avantages comprennent une hausse des revenus de la vente d'électricité pour le Québec et le Manitoba et un approvisionnement en électricité à moindre coût pour les États américains, des possibilités de répartition réseau optimale pourraient générer des revenus par l'échange d'énergie, la

réduction des coûts globaux d'approvisionnement réseau (compléter la production hydroélectrique canadienne par la charge de base nucléaire et thermique américaine à faible coût), le partage de la réserve d'urgence et la plus grande stabilité du réseau. Le rapport fait également état de possibilités de réduire les coûts d'électricité en raison des différentes périodes de pointe dans l'année au Canada et aux États-Unis (la période de pointe de la plupart des provinces est l'hiver, tandis que la période de pointe aux États-Unis est l'été) et de compléter la charge de base avec des sources d'énergie renouvelable plus intermittentes¹⁹.

2.3 Il faut rehausser l'accent sur les politiques, la recherche, le développement et l'investissement pour les secteurs où la réduction sera difficile.

Les voies vers la décarbonisation présentent également des défis exigeant des politiques efficaces et souples qui encouragent l'innovation. Les publications universitaires soulignent le besoin pour le Canada de mettre à profit ses vastes connaissances et sa large expertise pour stimuler l'innovation et développer des technologies propres afin de réduire les émissions de façon rentable dans certains secteurs, notamment celles des activités industrielles et du transport de marchandises. Afin de réaliser d'importantes percées scientifiques et d'assurer des réseaux d'énergie propre et fiable, les publications insistent sur le besoin pour les intervenants privés et publics de renforcer la recherche, le développement et le déploiement dans tous les secteurs de l'économie et de maintenir des échanges constants avec la communauté internationale. Dans son rapport de 2015, le *Conseil des académies canadiennes* donne un aperçu des principaux défis que doivent relever les industries. Ces défis sont principalement liés à l'absence de moyens rentables à faible taux d'émission pour produire des niveaux élevés de chaleur, ainsi qu'au fait que les émissions liées à l'énergie sont disséminées dans de nombreux processus et applications différents. Le rapport propose la recherche et le développement, les avancées technologiques et des politiques souples comme principales solutions pour réduire les coûts, et encourage la commercialisation des technologies à faible taux d'émission.

La *Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE)* a formulé ses recommandations dans un rapport intitulé *D'ici 2050 – la transition*

17 Gouvernement de la Colombie-Britannique, *Greening the Border*.

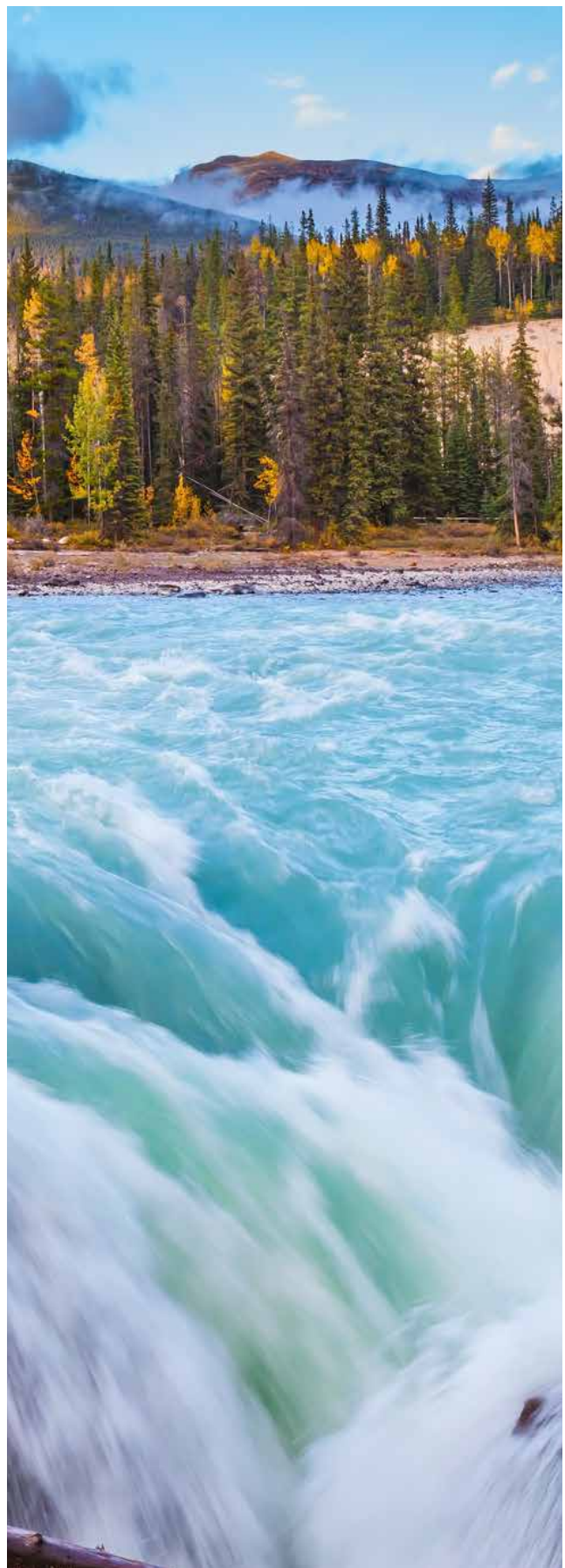
18 Agence internationale de l'énergie, *Energy Technology Perspectives 2016*, p. XXII.

19 Projet Trottier pour l'avenir énergétique, *Canada's Challenge & Opportunity*, p. 217-224.

du Canada vers un avenir à faible taux d'émission. Le rapport a établi de nombreuses « conditions gagnantes » qui guideraient le Canada dans la formulation d'une stratégie pour atteindre ses objectifs à long terme en matière d'émissions de GES et de pollution atmosphérique. Le rapport soulignait que la certitude en matière de politiques à long terme est essentielle pour procurer une prévisibilité permettant d'attirer des investissements durables dans les technologies propres et l'innovation. Le rapport proposait de donner un signal clair de tarification dans tous les secteurs de l'économie, par une politique axée sur le marché. La TRNEE a également fait état du besoin de créer des règles équitables pour tous dans le domaine des investissements du secteur de l'énergie, afin d'améliorer l'accès des entreprises canadiennes à des marchés à faible taux d'émission en croissance rapide et de mobiliser des investissements dans les infrastructures et les technologies à faible émission.

Mark Jacobson de l'Université Stanford et d'autres chercheurs ont également exploré des [plans d'action énergétiques](#) pour convertir 139 pays à l'utilisation d'énergie entièrement propre et renouvelable. Ces plans d'action représentent des parcours en vue de la conversion des réseaux énergétiques de ces pays en des réseaux alimentés par les technologies éoliennes, hydrauliques et solaires. Ils sont fondés sur les données de l'AIE relatives à la consommation d'énergie projetées en fonction d'un scénario de statu quo pour 2050. Ils s'appuient sur les technologies éoliennes, hydrauliques et solaires de production d'électricité existantes et excluent le nucléaire, le captage et le stockage de carbone, les biocarburants ou le gaz naturel, et n'incluent pas la construction de nouveaux barrages hydroélectriques.

Dans la foulée de la Conférence de Paris de 2015 sur le climat (COP21), la société Royal Dutch Shell a publié le rapport *Une vie meilleure avec une planète saine : Voies vers la neutralité carbone – Nouveau supplément aux Scénarios nouvelle optique*. Ce rapport souligne les défis de société actuels dans la réalisation d'un monde sans émissions nettes de GES. Il reconnaît le rôle important de l'énergie renouvelable dans la décarbonisation des réseaux énergétiques, mais met en lumière d'autres défis que doivent relever de nombreux secteurs industriels (production sidérurgique, fabrication de ciment, transport aérien et transport de marchandises lourdes, industrie chimique et production d'engrais, etc.). Pour progresser dans la réduction de ces sources d'émissions, ce rapport propose le déploiement massif de technologie de captage et stockage de carbone combiné à l'utilisation durable de la biomasse. De plus, ce rapport recommande des politiques pour accélérer



la transition mondiale vers une économie à faible émission de carbone, notamment la tarification du carbone pour tous les secteurs de l'économie et l'investissement financier dans la recherche et le développement quant aux technologies à faible émission de carbone.

2.4 Les objectifs de décarbonisation devraient aller de pair avec une planification coordonnée à long terme, notamment dans des secteurs clés comme l'investissement dans de nouvelles infrastructures et technologies propres.

Le plan d'action d'IntelliProspérité souligne l'importance de bâtir une infrastructure intelligente pour faciliter la pénétration de modes de transport propres et d'énergie sans émissions. De plus, il indique que les administrations municipales ont un rôle clé à jouer dans la planification du zonage et dans l'octroi de permis afin de favoriser le développement de villes propres. Cette vision exigera une solide coordination entre les gouvernements fédéral et provinciaux, les organismes des Premières Nations de tout le pays, les municipalités et le public.

À mesure que les villes deviennent des moteurs de développement économique et des centres stratégiques d'innovation en matière de technologies propres, elles offrent d'importantes possibilités de contribuer à la réduction des émissions de GES. Le rapport *Energy Technology Perspectives (ETP) 2016* de l'AIE présente un exercice approfondi de modélisation, y compris des projections pour trois scénarios faisant appel à quatre modèles interreliés de l'approvisionnement énergétique et des secteurs du bâtiment, industriel et des transports. Dans les

résultats sont présentés les changements structurels nécessaires pour réorienter le monde vers l'énergie propre et transformer les villes en génératrices d'innovation. Le rapport souligne également le rôle des villes dans la demande d'énergie et les solutions qu'elles peuvent offrir pour réduire le contenu carbone des réseaux énergétiques du monde entier. Selon ce rapport, l'accroissement de la demande d'énergie découlant de la croissance de l'économie et de la population urbaines devra aller de concert avec l'innovation et le déploiement massif de technologies propres et d'importants changements de comportement. De plus, il met en lumière le rôle des villes dans le soutien des transports et des immeubles plus efficaces, un développement urbain dense étant une condition préalable structurelle. L'accroissement de la demande en chauffage et en climatisation pourrait être découplé en reliant les ménages aux réseaux énergétiques de district. Une planification viable de l'aménagement du territoire, la mise en œuvre et l'électrification de modes de transport et l'installation de panneaux solaires photovoltaïques sur les toits constituent des solutions attrayantes pour propulser les villes sur la voie de la réduction de leurs émissions de carbone. Toutes ces solutions exigeront une planification soignée des investissements d'aujourd'hui dans les infrastructures par tous les ordres de gouvernement.

Le rapport du *Conseil des académies canadiennes* indique également que de nombreuses décisions d'investissement touchant notamment les réseaux de transport et de distribution et la planification stratégique de l'aménagement urbain, de l'utilisation du territoire et du développement des infrastructures permettront une meilleure intégration de l'utilisation d'électricité à faible taux d'émission.



3 Décarbonisation et expansion du réseau d'électricité au Canada

MESSAGES CLÉS :

- Le portefeuille de production d'électricité du Canada est constitué de plus de 80 % de sources non émettrices de GES et la tendance vers une production plus verte devrait se maintenir. Cela procure au Canada un avantage international comparativement aux pays qui cherchent à décarboniser leurs portefeuilles fondés principalement sur les combustibles fossiles.
- Un réseau d'électricité à faibles émissions de carbone permettra des réductions d'émissions de GES dans d'autres secteurs (transports, bâtiments, procédés industriels, etc.) par l'électrification. La prévision d'une importante croissance de la demande d'électricité devrait sous-tendre l'investissement et la planification à long terme.
- Une décarbonisation accrue du secteur de l'électricité facilitera la transition vers un futur à faibles émissions de GES. Des sources non émettrices devront être envisagées pour tous les besoins nouveaux et existants, mais les portefeuilles de production varieront d'une région à l'autre. Les différences régionales seront un élément clé à considérer dans les politiques sur le changement climatique liées à l'électricité.
- La coopération interprovinciale, interterritoriale et intercontinentale permettra d'améliorer l'intégration de la production d'électricité propre pour satisfaire la demande croissante. La contribution du Canada à la réduction globale des émissions de GES pourrait inclure la fourniture d'énergie propre à nos voisins continentaux, ainsi que des services d'énergie propre à la communauté internationale.
- Davantage de mesures de conservation de l'énergie et d'efficacité énergétique devraient être adoptées et mises en œuvre parallèlement aux efforts visant à réduire les émissions découlant de la production d'électricité. Les économies d'électricité devraient sous-tendre les voies de décarbonisation : la gestion de la demande ainsi que la réduction des pertes issues de l'équipement et de la transmission rendent l'électrification beaucoup plus efficace et plus réalisable.

3.1 Le portefeuille de production d'électricité du Canada est constitué de plus de 80 % de sources non émettrices de GES et la tendance vers une production plus verte devrait se maintenir. Cela procure au Canada un avantage international comparativement aux pays qui cherchent à décarboniser leurs portefeuilles fondés sur les combustibles fossiles.

Le Canada a déjà l'un des réseaux d'électricité les plus propres du monde, avec plus de 80 % de l'électricité générée de sources qui ne produisent pas de gaz à effet de serre comme les technologies hydroélectrique, éolienne, solaire et nucléaire. Les cours d'eau canadiens offrent d'immenses capacités de production hydroélectrique et le Canada arrive au deuxième rang mondial pour la production d'hydroélectricité. En

2014, le Canada a produit 379 térawatts-heures (TWh) d'hydroélectricité, soit 9,8 % de la production mondiale²⁰, avec une capacité supplémentaire potentielle encore inexploitée. De plus, il existe d'importantes possibilités de développement d'autres sources d'énergie renouvelable au Canada.

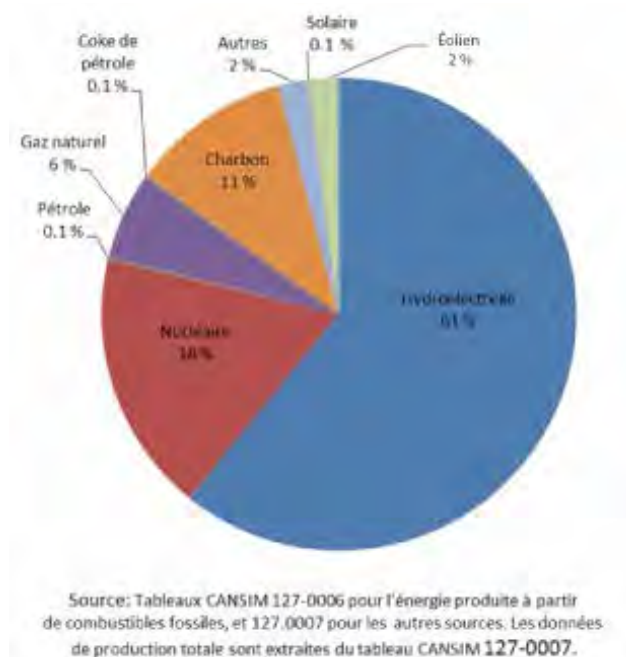
En 2014, l'énergie nucléaire représentait 18 % de la production d'électricité du Canada par des services publics d'électricité (63 % de la production en Ontario, et 34 % au Nouveau-Brunswick). Le Canada est le deuxième plus grand producteur et exportateur d'uranium du monde – représentant plus de 20 % de la production mondiale – et arrive au quatrième rang mondial pour les sources d'uranium connues. Le Canada compte quatre centrales nucléaires en service – trois en Ontario et une au Nouveau-Brunswick –, avec un total combiné de 19 réacteurs. En Ontario, des investissements prévus de 25 milliards d'ici 15 ans prolongeront la vie de 10 réacteurs nucléaires pendant encore 25 à 30 ans.

Les émissions liées à l'électricité ont diminué au Canada en raison de la reprise des activités de plusieurs réacteurs nucléaires, de la transition du charbon au gaz naturel [dans les centrales thermiques] et des politiques gouvernementales prévoyant le retrait du service graduel des centrales thermiques au charbon. Cette tendance devrait se maintenir, car l'hydroélectricité et la production d'électricité à partir de sources renouvelables, comme l'énergie éolienne et l'énergie solaire, devraient s'accroître partout au Canada.

Bien que la production d'électricité s'oriente déjà dans une bonne direction en ce qui a trait à un futur à faibles émissions de GES, les politiques et la planification à long terme des gouvernements peuvent contribuer à accélérer la tendance. Par exemple, pendant que les provinces canadiennes continuent de délaisser les centrales au charbon, elles devront prendre des décisions sur le type de combustible qui devrait servir à remplacer le charbon et à augmenter la capacité de production. Le gaz naturel pourrait constituer une option à émissions de GES plus faibles que celles du charbon à court terme, mais sa place dans un réseau décarbonisé est moins claire dans un horizon à plus long terme.

Alors que la communauté internationale prend des mesures pour réduire les émissions de GES, beaucoup de pays auront d'importants défis à relever dans la décarbonisation de leur production

Figure 1 : Distribution d'électricité au Canada par source (2014)



d'électricité. Sur ce plan, le Canada est déjà en avance sur beaucoup de ses pairs. À l'heure actuelle, le Canada arrive au deuxième rang mondial parmi les producteurs d'hydroélectricité – après la Chine –, au quatrième rang mondial pour la production par une combinaison de technologies hydroélectrique, éolienne, solaire et de biomasse²¹ et au sixième rang pour l'énergie nucléaire²². Compte tenu de cet avantage comparatif, le Canada a la possibilité d'augmenter ses exportations d'électricité propre, ainsi que d'exploiter son expertise des technologies existantes et émergentes (technologies d'électrification, réseaux intelligents pour les sources intermittentes, etc.) afin d'aider d'autres pays à réduire leurs émissions.

3.2 Un réseau d'électricité à faibles émissions de carbone permettra des réductions d'émissions de GES dans d'autres secteurs (transports, bâtiments, procédés industriels, etc.) par l'électrification. La prévision d'une importante croissance de la demande d'électricité devrait sous-tendre l'investissement et la planification à long terme.

²⁰ Office national de l'énergie, 2016 *Avenir énergétique du Canada en 2016 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2040*.

²¹ Agence internationale de l'énergie, IEA's *Electricity Information Report*.

²² Nuclear Energy Institute, *Top 10 Nuclear Generating Countries*.

Bien que la production d'électricité ne représentait que 11 % des émissions du Canada en 2014, la transition vers un secteur de la production d'électricité sans émissions aiderait à décarboniser d'autres secteurs, comme les transports et les bâtiments. Augmenter la part de production d'électricité sans émissions est essentiel au futur à faibles émissions de carbone du Canada.

Une quasi-décarbonisation du secteur de l'électricité est soulignée dans la plupart des publications sur la décarbonisation profonde, tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale. Par exemple, dans le document « Energy Technology Perspective 2016 » de l'AIE, le secteur mondial de la production d'électricité serait presque complètement décarbonisé d'ici 2050 suivant un scénario conforme à l'objectif d'une augmentation de la température mondiale de moins de 2 °C. Au pays, presque toutes les analyses des universitaires et des experts sur la décarbonisation profonde au Canada font état d'une production d'électricité sans émissions et de l'électrification des immeubles et des véhicules de transport de passagers comme des aspects fondamentaux d'un futur à faibles émissions de carbone compte tenu des technologies actuelles. Par exemple, le *Trottier Energy Futures Project* montre que l'une des options les moins coûteuses pour la décarbonisation du Canada consiste à orienter le secteur de la production d'électricité vers une transition à émissions nulles par l'expansion des sources d'énergie renouvelable, notamment l'hydroélectricité et d'autres sources non émettrices.

L'accent à court terme sur l'atténuation dans ce secteur reflète également la disponibilité technologique d'options de réduction, notamment la possibilité de maîtriser d'importantes sources ponctuelles d'émissions sur une période plus courte. Du point de vue des investissements, le Canada est à un moment où ses centrales au charbon traditionnelles s'apprêtent à fermer ou à être remises à neuf pour utiliser les technologies de captage et du stockage du carbone, principalement en raison des politiques gouvernementales. Par conséquent, il y a une possibilité de transition vers un réseau décarbonisé impliquant des coûts supplémentaires plus modestes.

Entre-temps, le prix de l'électricité renouvelable, notamment de source éolienne et solaire, continue de baisser de façon spectaculaire, ce qui rend

ces options de plus en plus attrayantes sur le plan économique. Une récente analyse de Bloomberg New Energy Finance prévoit que le coût moyen actualisé de l'électricité pour les sources d'énergie éolienne à terre et solaire photovoltaïque baissera de 41 % et de 59 %, respectivement, de 2016 à 2040 ²³. Le coût moyen actualisé de l'électricité (CMAE) est un indicateur économique obtenu en divisant le coût total moyen de la construction et de l'exploitation d'une installation de production électrique pendant sa durée de vie par la production d'énergie totale de cette installation pendant sa durée de vie. Il peut également être considéré comme le coût minimal auquel l'électricité doit être vendue pour que le seuil de rentabilité soit atteint au cours de la durée de vie de l'installation.

L'agence d'information sur l'énergie des États-Unis (Energy Information Agency, EIA) fait état des coûts moyens actualisés des centrales qui entreront en service en 2022 et en 2040 aux États-Unis (voir le tableau 1). L'EIA indique que certaines sources renouvelables, comme l'énergie éolienne, devraient être moins coûteuses que certaines formes de production fondées sur les combustibles fossiles aux États-Unis d'ici 2022. Ces coûts tiennent compte de la construction et de l'exploitation d'une centrale durant toute sa vie utile, des coûts du combustible (le cas échéant) et du fardeau fiscal fédéral, mais n'incluent pas les facteurs régionaux ou les taux d'utilisation. Les subventions gouvernementales ne sont pas incluses dans les estimations, mais elles feraient diminuer les coûts davantage ²⁴. Il faut toutefois souligner qu'il s'agit là des coûts futurs aux États-Unis et qu'aucune comparaison directe ne peut être faite avec les coûts au Canada.

Au Canada, le Conseil canadien sur l'électricité renouvelable (CanCORE)²⁵ affirme que l'hydroélectricité et l'énergie éolienne sont déjà concurrentielles sur le plan des coûts. L'énergie solaire progresse rapidement et est en bonne voie d'être la technologie de production la moins coûteuse dans la plupart des pays du monde d'ici 2030.

23 Bloomberg New Energy Finance, *Coal and Gas to Stay Cheap, but Renewables Still Win Race on Costs*.

24 United States Energy Information Administration, *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016*.

25 Conseil canadien sur l'électricité renouvelable, *Powering Prosperity Climate Report*.

Tableau 1 : Coûts moyens actualisés de l'électricité (\$ de 2015/MWh) pour les centrales entrant en service en 2022 et en 2040; États-Unis²⁶

Source d'énergie	2022	2040
Énergie éolienne	64,5	58,8
Énergie éolienne en mer	158,1	133,7
Centrale thermique au gaz naturel à cycle combiné classique	58,1	57,6
Hydroélectrique	67,8	65,3
Nucléaire (avancé)	102,8	93
Biomasse	96,1	78,7
Géothermie	45,0	57,0
Solaire photovoltaïque	84,7	71,2
Charbon avec captage et stockage de carbone (CSC)	139,5	125,8

3.3 Une décarbonisation accrue du secteur de l'électricité facilitera la transition vers un futur à faibles émissions de GES. Des sources non émettrices devront être envisagées pour tous les besoins nouveaux et existants, mais les portefeuilles de production varieront d'une région à l'autre. Les différences régionales seront un élément clé à considérer dans les politiques sur le changement climatique liées à l'électricité.

Des analyses de modélisation qui examinent des réductions combinées profondes des émissions de GES au Canada d'ici la moitié du siècle indiquent que le portefeuille d'électricité presque sans émissions du Canada pourrait prendre diverses formes dans l'avenir; de plus, différentes options sans émissions existent pour chaque région du Canada. La section qui suit présente les divers scénarios élaborés autour de la production d'électricité sans émissions au Canada et explique les résultats de la modélisation pour chaque scénario.

Dans la figure 2, les résultats de ces scénarios sont présentés sur le plan de la production d'électricité. La comparaison des résultats d'un modèle à l'autre,

ou d'un scénario modélisé à l'autre, nous fournit des messages généraux et des éléments à retenir relativement au secteur décarbonisé de l'électricité au Canada. Le graphique illustre divers portefeuilles de production d'électricité en l'an 2050 suivant les quatre modèles différents et les compare aux combinaisons de technologies de production existantes (2014), qui correspondent à la barre « Historique » du graphique.

Dans tous les scénarios, la production d'électricité canadienne augmentera considérablement pour satisfaire aux exigences d'électrification de l'utilisation finale. Essentiellement, de l'électricité supplémentaire est nécessaire afin de propulser les automobiles et les camionnettes et de fournir de l'énergie pour les immeubles et les processus de production industriels qui délaissent les combustibles fossiles pour l'électricité afin de répondre à leurs besoins d'énergie. Dans les analyses d'ECCC, la production totale d'électricité augmente de 113 à 189 % entre 2013 et 2050, tandis qu'elle augmente de 184 à 295 % dans les analyses du projet Trottier et de 160 % dans les analyses du projet DDPP.

D'un scénario de modélisation à l'autre, la croissance de la demande potentielle d'électricité varie beaucoup. Cela dépend du niveau de changement dans l'efficacité énergétique ou la consommation indiqué par les résultats de la modélisation. Cependant, dans toutes les analyses de modélisation d'une économie à faibles émissions de GES, les sources non émettrices, comme l'énergie hydroélectrique, nucléaire, éolienne et solaire, remplacent la production à partir de combustibles fossiles bien avant le milieu du siècle.

Tous les scénarios font état d'une croissance de la production hydroélectrique de 2013 à 2050. Le scénario désigné « Forte croissance hydro » d'ECCC illustre une augmentation de 172 % de la production hydroélectrique. Dans les analyses du projet DDPP, la production hydroélectrique augmente de 120 %, tandis que dans les analyses du projet Trottier, elle augmente de 134 % dans les deux scénarios.

Les différents scénarios correspondent à différents niveaux de capacité hydroélectrique supplémentaire qui doit être construite d'ici 2050 pour atteindre les objectifs d'atténuation des émissions de GES. Le scénario du projet DDPP requiert environ 101 500 MW de capacité supplémentaire, tandis que les scénarios du projet Trottier requièrent environ 111 000 MW de capacité supplémentaire. Le scénario « Forte croissance nucléaire » d'ECCC requiert 36 000 MW de capacité à construire,

²⁶ United States Energy Information Administration, *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016*.

DESCRIPTION DES MODÈLES ET SCÉNARIOS

Deep Decarbonisation Pathways Project (DDPP) – Très ambitieux

Ambition :

Le DDPP a modélisé ses scénarios en fonction de la réalisation de réductions d'émissions de GES de 89 % par rapport aux niveaux généraux d'émissions projetés pour 2050, à l'exclusion des émissions associées à l'agriculture, ce qui correspond à une réduction des émissions de 88 % d'ici 2050 par rapport aux niveaux de 2015 (78 Mt eq. CO₂).

Description du modèle :

Le projet DDPP fait appel à un modèle énergétique et économique pour prévoir la demande de biens et services à fortes émissions de GES, les bilans énergétiques, la technologie et, en fin de compte, les émissions (modèle CIMS). Le modèle CIMS est un modèle ascendant axé sur la technologie qui compare et sélectionne les parts du marché technologique en fonction des réponses des entreprises et des ménages à l'ensemble de politiques du DDPP, notamment la tarification du carbone et la réglementation sur les technologies. Pour prévoir le produit intérieur brut (PIB), l'emploi, la structure économique et le commerce, un modèle d'équilibre général calculable (MEGC) macroéconomique à ventilation régionale et sectorielle, appelé GEEM, est utilisé.

Description du scénario

- Ce travail de modélisation suppose une croissance annuelle du PIB de 2 % à 2,2 % de 2015 à 2050.
- Le scénario présenté ici se fonde sur des prix du pétrole de 80 \$US (\$ de 2014) le baril en 2050.

Projet Trottier pour l'avenir énergétique

Ambition :

Les scénarios du Projet Trottier pour l'avenir énergétique ont été modélisés en fonction d'un objectif de réduction de 60 % des émissions de GES provenant de la combustion par rapport aux niveaux de 1990, ce qui correspond à une réduction de 65 % par rapport aux niveaux de 2015. Cette analyse ne tient pas compte des émissions attribuables aux procédés. Les scénarios 3 (« Technologies actuelles » de Trottier) et 8 (« Nouvelles technologies » de Trottier) du rapport sont présentés dans cette section.

Description du modèle

Le Projet Trottier pour l'avenir énergétique utilise deux modèles pour élaborer ses scénarios, le North American TIMES Energy Model (NATEM) et le modèle Canadian Energy Systems Simulator (CanESS). Les deux modèles incluent des représentations distinctes des secteurs de l'économie canadienne, séparées pour toutes les provinces et tous les territoires.

Description des scénarios

- Les scénarios 3 (« Technologies actuelles » de Trottier) et 8 (« Nouvelles technologies » de Trottier) présentés dans le rapport visent tous deux un objectif de réduction des émissions de GES de 60 % par rapport aux niveaux de 1990 dans le secteur de l'énergie.
- Ce travail s'appuie sur le taux de croissance du PIB par habitant de 2010 à 2035 prévu par l'Office national de l'énergie, de 1,9 %, avec une croissance un peu plus lente après 2035.
- Cette modélisation est fondée sur un prix du pétrole d'environ 135 \$ (\$ de 2011) le baril en 2050.

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) – modèle GCAM (Global Change Assessment Model) d'évaluation des changements globaux – Forte croissance des sources non émettrices :

Ambition :

Cette modélisation est fondée sur une réduction nette de 80 % des émissions des GES par rapport aux niveaux de 2005. Le modèle repose sur les réductions complètes combinées réalisées dans les secteurs avec combustion et sans combustion, ainsi que sur des scénarios de réduction de 65 % des émissions provenant de l'économie canadienne, dont 15 % proviennent de crédits associés aux résultats d'atténuation transférés au niveau international et au secteur d'affectation des terres.

Description du modèle

Le modèle GCAM est un modèle dynamique récursif avec des représentations à forte composante technologique de l'économie, du secteur énergétique, de l'utilisation du territoire et de l'eau, associé à un modèle climatique. Le modèle GCAM est un modèle de la catégorie des profils représentatifs d'évolution de concentration qui peut être utilisé pour simuler des scénarios, des politiques et des objectifs d'émissions de diverses sources.

Description des scénarios

Le premier scénario (Forte croissance nucléaire) se fonde sur une forte dépendance envers les centrales nucléaires, tandis que le second scénario (Forte croissance hydro) fait appel à un mélange d'énergie hydroélectrique et éolienne pour la majorité de sa production d'électricité.

- Ce travail de modélisation suppose une réduction des émissions de GES de 65 % et une réduction nette de 80 % par rapport aux niveaux de 2005.

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) – modèle d'équilibre général calculable (MEGC) – Forte réponse de la demande

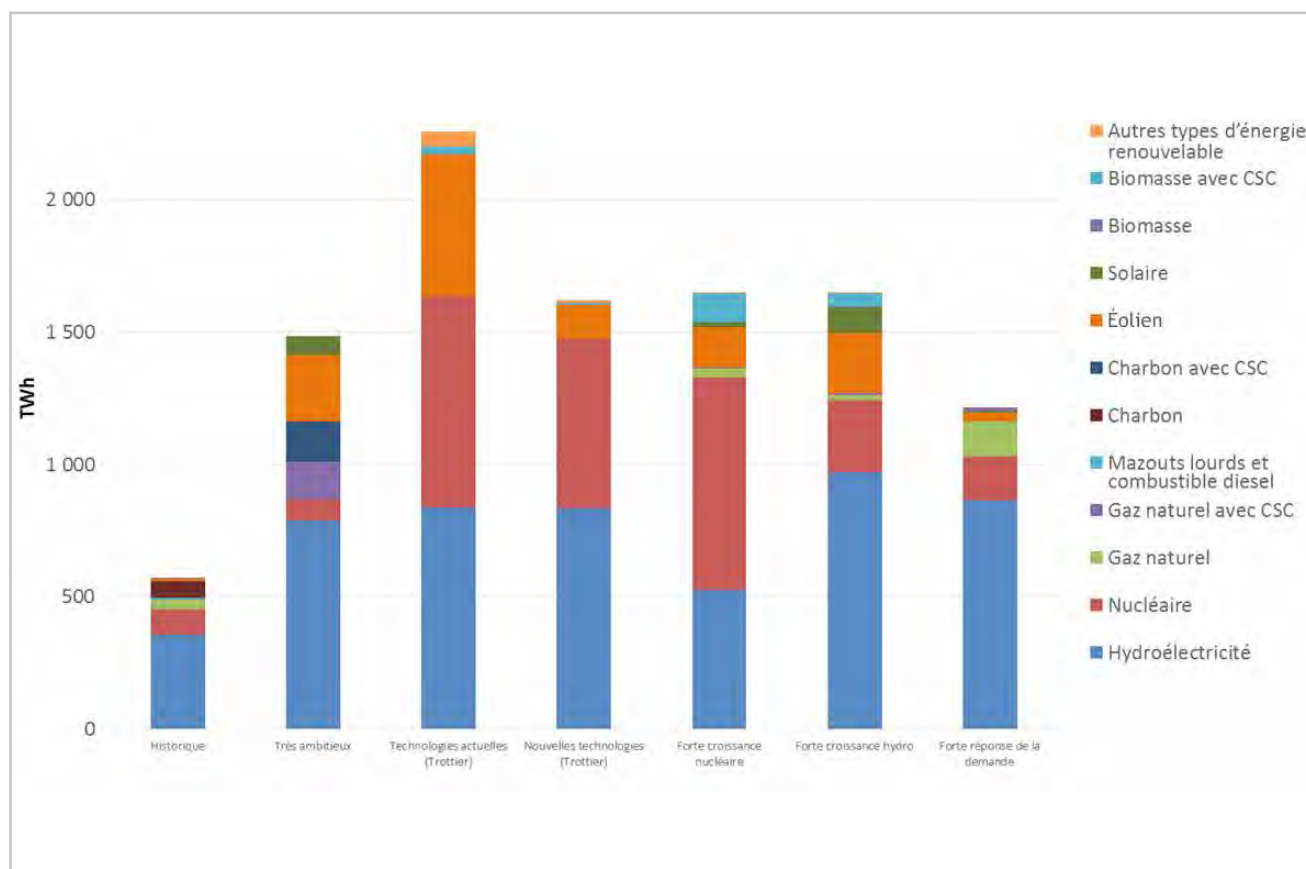
Ambition :

Cette modélisation est fondée sur une réduction nette de 80 % des émissions des GES par rapport aux niveaux de 2005. Le modèle repose sur les réductions complètes combinées réalisées dans les secteurs avec combustion et sans combustion, ainsi que sur des scénarios de réduction de 65 % des émissions provenant de l'économie canadienne, dont 15 % proviennent de crédits associés aux résultats d'atténuation transférés au niveau international et au secteur d'affectation des terres.

Description du modèle

- Ce modèle d'équilibre général calculable est un modèle dynamique récursif d'économie ouverte multisectoriel et multirégional de l'économie mondiale. Il saisit les caractéristiques des profils de production et de consommation propres à chaque pays ou région par une table d'entrée-saisie détaillée et relie les pays ou régions par le commerce bilatéral. Ce modèle intègre de riches détails sur l'utilisation de l'énergie et les émissions de GES à la combustion de combustibles fossiles et suit les émissions de GES non liées à l'énergie. Les activités économiques dans les régions comprennent 28 secteurs d'activité, la consommation finale des ménages et des gouvernements et les investissements.

Figure 2 : Scénarios de production d'électricité sans émissions au Canada



tandis que le scénario « Forte croissance hydro » requiert 130 000 MW de capacité à construire. Enfin, le scénario « Forte réponse de la demande » d'ECCC indique qu'il faudrait construire 108 000 MW de capacité supplémentaire.

Bien qu'il s'agisse d'une augmentation importante de la capacité hydroélectrique, une étude menée pour l'Association canadienne de l'hydroélectricité montre qu'en 2006, le potentiel hydroélectrique du Canada se chiffrait à 160 GW, dont une grande part est viable sur le plan économique. Les cours d'eau canadiens fournissent près de 7 % de l'approvisionnement renouvelable en eau et cette ressource procure une énorme capacité de production hydroélectrique²⁷. À l'heure actuelle, une capacité hydroélectrique de plus de 10 GW a été proposée ou planifiée au Canada, exploitant les bassins hydroélectriques du fleuve Churchill, du fleuve Nelson, de la rivière des Esclaves, de la rivière Athabasca et de la rivière de la Paix. Plus de

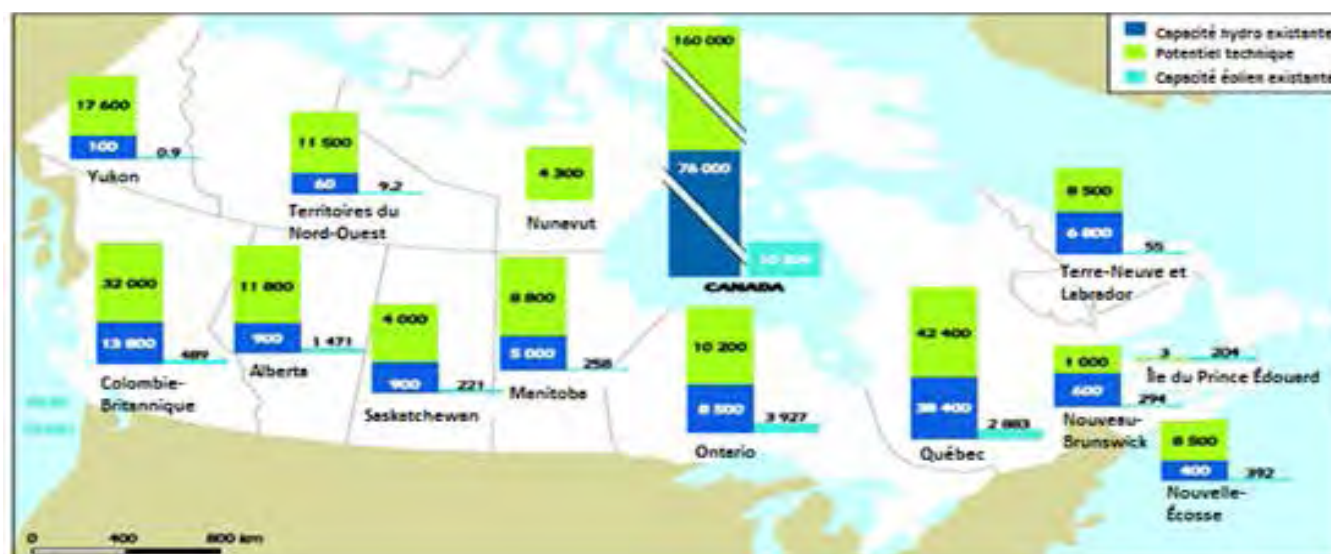
3 500 MW de cette capacité est déjà en construction au Canada.

La figure 3 illustre le potentiel technique théorique de production hydroélectrique par province. Les scénarios ci-dessus sont tous en deçà du potentiel technique de capacité hydroélectrique, ce qui indique que ce type de production pourrait être possible. Le scénario modélisé par le projet DDPP est à 29 % en deçà du potentiel technique, tandis que les deux scénarios du projet Trotter sont à 25 % en deçà de ce seuil. Le scénario « Forte croissance nucléaire » est à 52 % en deçà du potentiel technique, alors que le scénario « Forte croissance hydro » est plus proche, à 13 % en deçà. Enfin, le scénario « Forte réponse de la demande » d'ECCC est à 22% en deçà du potentiel technique de la production hydroélectrique.

L'hydroélectricité permet également un bon « couplage » à des sources intermittentes générées par des sources renouvelables comme l'énergie éolienne et solaire. Comme l'électricité renouvelable est générée par intervalles lorsque le vent souffle ou que le soleil brille, un haut degré de couverture de la

27 Office national de l'énergie, *Avenir énergétique du Canada en 2016 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2040*.

Figure 3 : Comparaison entre la capacité hydroélectrique établie au Canada, le potentiel technique théorique (MW), et l'énergie éolienne établie : par province et par territoire en 2014;



Source : Agence internationale de l'énergie²⁸

demande d'électricité par les sources éoliennes ou solaires n'est possible qu'avec l'accès à du stockage d'énergie ou par une forme complémentaire adéquate d'électricité qui peut être accrue en périodes de faible production. Heureusement, les centrales hydroélectriques conviennent bien à ce rôle au Canada et peuvent stocker de l'eau dans des réservoirs hydroélectriques qui peut être utilisée lorsque la production solaire ou éolienne n'est pas disponible.

L'hydroélectricité a ses aspects négatifs, principalement liés aux effets des barrages sur la pêche et sur les débits d'eau, car les réservoirs ont une influence sur le débit, les températures et les alluvions dans les cours d'eau. Dans certains cas, d'importants barrages ont entravé la migration des poissons vers leurs frayères. C'est pourquoi la construction d'importants projets hydroélectriques futurs exigera des processus de consultation rigoureux.

En général, d'autres innovations seront nécessaires si l'hydroélectricité doit augmenter substantiellement au Canada²⁹. Cependant, cette production hydroélectrique supplémentaire peut en grande partie être générée sans la construction de nouveaux barrages. De nombreuses technologies permettent d'augmenter la production d'électricité à partir

des barrages existants, notamment en augmentant l'efficacité des turbines, à un coût relativement bas.

La production d'hydroélectricité augmente dans le cas de tous les scénarios, alors que la production d'énergie nucléaire varie selon les hypothèses des modèles. Le scénario « Forte croissance hydro » d'ECCC suppose que la production d'énergie nucléaire se maintiendra aux niveaux actuels, compte tenu des remises à neuf prévues. Le scénario du projet DDPP suppose que la production d'énergie nucléaire sera maintenue à son niveau actuel, et que la capacité n'augmentera pas d'ici 2050. En comparaison, les analyses du projet Trottier ainsi que le deuxième scénario du modèle GCAM d'ECCC « Forte croissance nucléaire » reposent sur une augmentation considérable de la production d'énergie nucléaire d'ici 2050. L'augmentation de la production d'énergie nucléaire prévue par les scénarios utilisés pour les analyses du projet Trottier est semblable à celle prévue par le scénario « Forte croissance nucléaire » d'ECCC, mais elle est toutefois légèrement inférieure dans le cas du scénario « Nouvelles technologies », qui suppose que les besoins en production d'électricité diminueront grâce aux technologies écoénergétiques.

Dans le scénario « Forte croissance nucléaire » d'ECCC et le scénario « Technologies actuelles » de Trottier, la capacité nucléaire correspond à une production de 797 TWh par année en 2050, ce qui est beaucoup plus élevé que la part actuelle du nucléaire (production d'environ 98 TWh) dans la

²⁸ Agence internationale de l'énergie, *Energy Policies of IEA Countries: 2015 Canadian Review*.

²⁹ Potvin, C. et al., *Agir sur les changements climatiques : Vers un dialogue élargi à la société civile canadienne : Quelques réflexions sur les politiques en réponse aux changements climatiques*.

production totale d'électricité. La réalisation de projets d'infrastructures d'envergure comporte des défis importants, principalement associés aux coûts d'investissement élevés, aux retards dans les travaux de construction et à d'autres problèmes potentiels. Cependant, la production d'énergie nucléaire comporte des avantages, dont l'absence d'émissions, la capacité de fournir des volumes d'électricité de base fiables et un faible coût moyen actualisé de l'électricité. Par conséquent, des technologies nucléaires nouvelles et émergentes pourraient devenir une option de plus en plus attrayante pour un réseau dont les émissions de GES sont limitées d'ici 2050 (voir l'encadré sur les technologies nucléaires novatrices potentielles).

Les deux scénarios désignés « Forte croissance des sources non émettrices » d'ECCC prévoient une plus grande pénétration de l'énergie éolienne. La production d'électricité de source éolienne en 2050 représente 154 TWh, soit 9 % de la production totale, dans le scénario 1, et 228 TWh, soit 14 % de la production totale, dans le scénario 2. En comparaison, l'énergie éolienne augmente à 17 % de la production totale dans l'analyse du projet DDPP, tandis qu'elle augmente à 24 % et à 8 % respectivement dans les scénarios « Technologies actuelles » et « Nouvelles technologies » de Trottier. Bien que ces scénarios représentent des chiffres importants, une étude pancanadienne sur l'intégration de l'énergie

TECHNOLOGIES NUCLÉAIRES NOVATRICES POTENTIELLES

À court terme, les réacteurs canadiens à deutérium-uranium (réacteurs CANDU) permettent l'utilisation de combustibles de remplacement dans la production nucléaire actuelle. L'industrie canadienne travaille actuellement avec la Chine pour exploiter des réacteurs CANDU à partir de sous-produits d'uranium appauvri et de combustible consommé récupéré d'autres réacteurs.

Des promoteurs canadiens et étrangers travaillent à de petits réacteurs modulaires (PRM), qui sont des réacteurs nucléaires compacts pouvant être mis à l'échelle pour alimenter en électricité des collectivités allant de plusieurs centaines de personnes jusqu'à 300 000 foyers. Comparativement aux centrales nucléaires classiques, les PRM exigent un investissement moindre, et offrent une évolutivité, une souplesse d'emplacement et des caractéristiques de sécurité améliorées – notamment des caractéristiques passives qui pourraient prévenir la fusion du cœur des réacteurs même en l'absence d'électricité. Les PRM sont perçus comme des solutions de remplacement potentielles pour les centrales thermiques au charbon ou comme compléments aux sources renouvelables intermittentes dans la transition des collectivités éloignées qui doivent délaisser les centrales au diesel.

Une transition de combustibles à base d'uranium à des combustibles à base de thorium est également possible à plus long terme. Le thorium est de trois à quatre fois plus abondant que l'uranium, et les combustibles à base de thorium pourraient réduire la quantité de déchets nucléaires produits par les réacteurs. Des réacteurs nucléaires évolués, comme ceux qui utilisent les combustibles à base de thorium, pourraient également s'avérer plus efficaces que les centrales nucléaires existantes. La Chine investit massivement dans les technologies à base de thorium, notamment dans la possibilité d'utiliser des réacteurs CANDU – qui peuvent soutenir des cycles de combustibles à base de thorium plus facilement que d'autres types de réacteurs sur le marché actuel – et le développement d'un réacteur au thorium évolué dont elle espère faire la démonstration d'ici une dizaine d'années.

La fusion nucléaire constitue une technologie potentiellement révolutionnaire en matière d'énergie propre. Elle diffère grandement de la fission, qui est le processus utilisé dans les centrales nucléaires classiques. Une entreprise canadienne travaille au développement d'un réacteur à fusion novateur qui pourrait libérer de grandes quantités d'énergie à partir de l'hydrogène, une ressource d'une abondance presque infinie sur la Terre, dans un processus qui ne générerait pas de déchets radioactifs à long terme et ne comporterait pas de risque de fusion du cœur du réacteur. C'est pourquoi la fusion nucléaire est une technologie au fort potentiel révolutionnaire. Bien que cette technologie doive encore franchir des obstacles avant d'être mise en marché, si elle devait y parvenir, cela modifierait le paysage de l'énergie propre pour de bon.

éolienne³⁰ a montré que le Canada peut intégrer de façon fiable et rentable suffisamment d'énergie éolienne pour satisfaire à 35 % de la demande d'électricité au pays.

Dans les deux scénarios désignés « Forte croissance des sources non émettrices », la production d'énergie solaire augmente de façon importante, atteignant des niveaux de 18 TWh, soit 1 % de la production totale, et de 99 TWh, soit 6 % de la production totale, en 2050. En comparaison, l'énergie solaire augmente à 5 % de la production totale dans l'analyse du projet DDPP, et n'est qu'une partie de la solution pour l'Alberta et la Saskatchewan dans certains scénarios du projet Trottier. Le projet Trottier indique que dans la recherche de solutions au moindre coût pour la production d'électricité au Canada, l'énergie solaire n'était pas très concurrentielle par rapport à l'énergie éolienne.

Toutefois, l'Office national de l'énergie (ONE) constate que le Canada a un fort potentiel d'énergie solaire photovoltaïque (PV) largement inexploité et que certaines villes des Prairies, dont Regina, Calgary et Winnipeg, présentent un potentiel d'énergie solaire bien au-dessus de la moyenne. De plus, il a mentionné que dans la plus grande partie du territoire canadien, le potentiel d'énergie solaire est plus élevé que celui de l'Allemagne, pays qui avait pourtant la plus grande capacité solaire installée dans le monde en 2014³¹.

Pour exploiter pleinement le potentiel d'énergie solaire du Canada, les coûts de la production d'énergie solaire photovoltaïque doivent soutenir la concurrence afin de stimuler les investissements à grande échelle nécessaires pour un vaste déploiement. À court terme, les programmes incitatifs tels que le programme Tarifs de rachat garantis (FIT) et le programme microFIT de l'Ontario pourraient déterminer le rythme de la croissance de la production d'électricité solaire au Canada. L'électricité solaire produite par les consommateurs à partir de panneaux solaires installés à leur domicile peut également être avantageuse, et cette production d'électricité pourrait surpasser les besoins des ménages, leur fournissant ainsi une occasion de vendre de l'électricité au réseau électrique. Réaliser pleinement le potentiel de production décentralisée de PV exigera probablement des investissements de la part des services publics pour améliorer les réseaux de distribution existants afin qu'ils puissent gérer le flux d'énergie dans les deux sens. L'ONE met également

en lumière des avancées technologiques potentielles, telles que les options de stockage d'électricité à grande échelle, qui pourrait donner un coup de pouce à l'industrie solaire au Canada (voir l'encadré sur le stockage de l'énergie).

Dans l'analyse du Deep Decarbonisation Pathways Project (DDPP), la production de gaz naturel et de charbon à l'aide d'une technologie de captage et de stockage de carbone (CSC) apparaît pendant toute la période visée. En Saskatchewan, le CSC a été installé à la centrale thermique au charbon Boundary Dam en 2014 et pourrait permettre d'atteindre des réductions allant jusqu'à 1 mégatonne de CO₂ par année. Le projet, mis en œuvre par SaskPower, montre que la production fiable d'électricité à faible émission utilisant le charbon est réalisable. Le projet est essentiel si l'on veut mieux comprendre la performance technique, économique et environnementale de la technologie CSC, et il pourrait avoir des retombées dans le monde entier si d'autres pays choisissaient de mettre en œuvre des projets similaires. L'analyse du DDPP présente également une production de gaz naturel à l'aide du CSC comme une partie importante de la production d'électricité en 2050. Bien qu'aucun des grands projets de démonstration à grande échelle n'ait procédé à la mise en place de cette technologie, cette approche offre l'avantage de permettre à la technologie CSC développée pour les centrales électriques alimentées au charbon de s'étendre à la production d'électricité à partir du gaz naturel, qui offre une plus grande souplesse aux services publics pour réduire leurs émissions. En outre, le recours au gaz naturel avec le CSC est généralement estimé moins cher que l'utilisation du charbon avec le CSC en raison des coûts en capital moins élevés des centrales au gaz naturel et de leurs émissions de GES inférieures³².

Le scénario « Technologies actuelles » de Trottier (figure 3) modélise la production d'électricité du Canada avec les technologies existantes et une meilleure interconnexion entre les provinces, et prévoit l'utilisation de technologies de production d'électricité aux coûts les plus bas disponibles n'importe où au Canada. En comparaison, le scénario « Nouvelles technologies » de Trottier modélise le même objectif de réduction des GES à l'aide d'un ensemble de nouvelles technologies commercialisées sur le marché, y compris le CSC et les technologies en matière d'efficacité énergétique. L'application de cette technologie entraîne des mesures d'efficacité

30 GE Consulting Group, *Étude pancanadienne sur l'intégration de l'énergie éolienne*.

31 Office national de l'énergie, *Avenir énergétique du Canada en 2016 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2040*.

32 Bataille, C. et. al., *Policy Uncertainty and Diffusion of Carbon Capture and Storage in an Optimal Region*.

INITIATIVES AUTOCHTONES EN MATIÈRE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les peuples, les collectivités et les organisations autochtones à travers le Canada mettent actuellement en œuvre une série d'initiatives sur les changements climatiques³³. Une base de données compilant les initiatives autochtones sur les changements climatiques a permis de rassembler jusqu'à maintenant 79 initiatives en matière d'énergies renouvelables présentées en ligne, dont 16 sont présentées sur les sites Web des Premières Nations ou des collectivités³⁴. Les initiatives en matière d'énergies renouvelables peuvent générer de nombreux avantages, tels que la protection des terres, de l'air et de l'eau, et créer des emplois indispensables.

La Première Nation T'Sou-ke, de l'île de Vancouver, en Colombie-Britannique, surnommée première collectivité solaire autochtone du Canada, a élaboré trois projets de démonstration d'énergie solaire appartenant à la collectivité. Parmi ceux-ci, notons un système autonome avec stockage dans des batteries, sur un immeuble de bureaux de la collectivité, un système solaire PV connecté au réseau, qui peut être utilisé comme une source d'alimentation de secours et qui peut permettre de vendre l'énergie excédentaire au réseau pour des collectivités qui souhaitent avoir une consommation d'énergie carboneutre, et un système solaire PV connecté au réseau avec compteurs, installé sur le hangar à canots de la collectivité et qui alimente les bâtiments administratifs. L'énergie excédentaire créée durant l'été est vendue au réseau et rachetée durant l'hiver.

En outre, la Nation T'Sou-ke a installé des chauffe-eau solaires dans 42 des 86 résidences privées de la collectivité, entrepris un vaste programme de conservation de l'énergie pour toutes les maisons et installé deux bornes de recharge pour les voitures électriques fonctionnant à l'énergie solaire. Le gouvernement du Canada vient d'annoncer le financement d'un partenariat entre la nation T'Sou-ke et Schneider Electric en vue de mettre au point des solutions de stockage d'énergie pour le marché mondial. Au Québec, l'organisation politique et administrative de la Première Nation de Mashteuiatsh, Pekuakamiulnuatsh Takuhikan, et les municipalités régionales de comté de Maria-Chapdelaine et du Domaine-du-Roy, au Saguenay-Lac-Saint-Jean, ont formé un partenariat régional à but non lucratif afin de repérer et d'élaborer des projets d'énergie renouvelable en utilisant une approche de développement durable. Depuis sa création, le partenariat a contribué à l'élaboration de deux petits projets hydroélectriques. Les bénéfices des entreprises sont versés aux collectivités.

De nombreux projets de production d'électricité voient le jour dans les territoires traditionnels des peuples autochtones ou dans des régions éloignées. En participant activement au développement énergétique, les peuples autochtones peuvent offrir à leurs membres des apports durables à long terme grâce à l'investissement ainsi qu'à la création d'emplois, d'infrastructures et de nouveaux débouchés. En collaborant avec les promoteurs du secteur de l'énergie dès les premières étapes de planification, les collectivités autochtones peuvent prendre part à la conception et faire en sorte que le projet réponde aux besoins locaux, ce qui passe notamment par la réduction de l'impact environnemental. Par exemple, on a mandaté la First Nations Power Authority de favoriser le développement de projets dirigés par les Premières Nations ainsi que la participation des Autochtones aux occasions d'approvisionnement offertes par SaskPower, société d'État responsable de l'approvisionnement énergétique en Saskatchewan³⁵.

énergétique dans les applications d'utilisation finale, réduisant ainsi la demande d'électricité requise de 2 257 à 1 622 TWh d'un scénario à l'autre.

Les autres énergies renouvelables offrent un potentiel à moyen et à long terme. Par exemple, la production d'électricité sans émission de GES au moyen de l'énergie géothermique est possible si l'on utilise l'eau chaude souterraine ou la vapeur provenant des profondeurs de la terre. La technologie de

33 Assemblée des Premières Nations, Gap Analysis First Nations Climate Change Adaptation South of 60 Degrees Latitude.

34 Dialogue pour un avenir durable, 2016. Agir sur les changements climatiques : Innovations autochtones.

35 First Nations Power Authority, About First Nations Power Authority.

forage standard peut fournir un accès à des sources de haute température et de l'énergie à des turbines offrant une électricité fiable.

L'énergie marémotrice est un mode de production d'énergie renouvelable produite à partir des courants océaniques. Étant donné que nous pouvons prévoir les marées, le potentiel de production d'énergie marémotrice est plus prévisible que l'énergie provenant de sources éoliennes et solaires. Ces débits d'eau peuvent faire tourner des turbines sous-marines sans l'utilisation de barrages ou de réservoirs. De même, l'énergie des vagues (ou énergie houlomotrice) est générée en mettant à profit le mouvement des vagues. Le Canada possède d'importantes ressources marémotrices et houlomotrices, ce qui peut, à l'avenir, contribuer à une production d'électricité sans émissions de GES. Ces technologies en sont actuellement au stade de la démonstration, et il est donc trop tôt pour envisager la modélisation de leur contribution potentielle à la combinaison énergétique du Canada.

De plus, en tant que moyen de rechange aux combustibles fossiles, la biomasse peut être utilisée pour produire de l'énergie renouvelable et durable. En poussant, les arbres et les autres plantes absorbent le carbone de l'atmosphère. Au fil du temps, la séquestration du dioxyde de carbone par les arbres et les plantes en croissance compensera à court terme le dioxyde de carbone émis par les bioénergies, et pourrait permettre de réaliser des économies substantielles de carbone, comparativement à l'utilisation des combustibles fossiles au fil du temps (voir le chapitre 6 pour plus de détails sur la biomasse).

Comme on l'a mentionné, les énergies éolienne, solaire et hydroélectrique au fil de l'eau (ou de faible hauteur de chute) ne produisent de l'électricité que lorsque leurs ressources sont disponibles (p. ex. lorsque le vent souffle). C'est pourquoi il est nécessaire de jumeler ces technologies avec l'hydroélectricité ou d'autres sources d'énergie constantes, ou avec les connexions interrégionales de réseaux ou les opérations de gestion (voir l'encadré sur le stockage de l'énergie). Le stockage d'énergie, les interconnexions de réseaux et les réseaux intelligents pourraient améliorer la stabilisation des réseaux et la réponse dans les périodes de pointe des demandes d'électricité, ce qui pourrait, en retour, favoriser la présence d'une plus grande part d'énergies renouvelables dans le réseau électrique³⁶.

³⁶ Office national de l'énergie, *Avenir énergétique du Canada en 2016 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2040*.

Les technologies de stockage et les réseaux intelligents peuvent également être particulièrement utiles dans l'intégration des technologies d'énergie renouvelable dans les collectivités éloignées et hors réseau, car ils ont le potentiel de réduire ou d'éliminer les coûts de transmission. D'ici 2050, il est probable que des développements importants se produisent dans la technologie de stockage, ce qui transformerait le système énergétique.

3.4 La coopération interprovinciale, interterritoriale et intercontinentale permettra d'améliorer l'intégration de la production d'électricité propre pour satisfaire la demande croissante. La contribution du Canada à la réduction globale des émissions de GES pourrait inclure la fourniture d'énergie propre à nos voisins continentaux, ainsi que des services d'énergie propre à la communauté internationale.

L'avenir énergétique du Canada et de l'Amérique du Nord sera façonné par la coopération interprovinciale, interterritoriale et intracontinentale. Étant donné qu'au Canada les provinces et les territoires ont droit de regard sur les décisions énergétiques qui relèvent de leur compétence, ils ont traditionnellement conçu l'infrastructure électrique de manière à satisfaire leurs propres besoins en énergie. Toutefois, le commerce interprovincial de l'électricité devient une composante importante des nombreuses considérations relatives à l'offre et à la demande des provinces. Ce type de coopération devient plus important lorsque l'on prend en compte les objectifs en matière de changement climatique, dont la maximisation de l'utilisation des sources non émettrices (p. ex. l'hydroélectricité), ainsi que lors de l'augmentation de la quantité de sources d'électricité intermittentes dans le réseau (p. ex. l'énergie solaire, éolienne, marémotrice, houlomotrice). Le récent Accord de commerce et de coopération entre le Québec et l'Ontario fournit un bon exemple de commerce interprovincial de l'électricité.

L'expansion des interconnexions du réseau électrique pourrait permettre à un plus grand nombre de régions ayant un surplus d'énergie hydroélectrique, ou d'autres formes de production non émettrice, de vendre de l'électricité à d'autres provinces ou aux États américains qui utilisent des combustibles fossiles. L'intégration des marchés de l'électricité entre le Canada et les États-Unis comprend

35 interconnexions physiques qui franchissent la frontière, et représente plus de 2,3 milliards de dollars de revenu dans le commerce de l'électricité entre le Canada et les États-Unis³⁷. En août 2015, l'agence de protection de l'environnement (EPA) des États-Unis a publié la version finale du Clean Power Plan, qui pourrait réduire les émissions de GES du secteur de l'énergie aux États-Unis de 32 % par rapport aux niveaux de 2005. Dans certaines circonstances, des États américains peuvent atteindre leurs objectifs en matière de réduction des émissions au moyen de l'électricité propre importée du Canada. Cela devrait créer un nouveau débouché important sur le marché des exportations canadiennes d'électricité et accroître la rentabilité des différents projets d'électricité propre, tels que les grandes installations hydroélectriques.

Il sera important d'optimiser les avantages de ce commerce autant du point de vue économique que de celui de la réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle mondiale. Dans la Déclaration des leaders sur le partenariat nord-américain en matière de climat, d'énergie propre et d'environnement, les dirigeants ont annoncé un objectif pour l'Amérique du Nord, soit d'atteindre une production d'énergie propre à hauteur de 50 % d'ici 2025, ce qui nécessitera d'autres projets de transmission transfrontalière, notamment pour la transmission d'énergie renouvelable.

En outre, les investissements dans les infrastructures non émettrices peuvent aider les collectivités autochtones à résoudre leurs problèmes de sécurité énergétique et favoriser l'établissement des conditions nécessaires à un climat politique stable et propice à la création de miniréseaux et de microréseaux permettant l'électrification de collectivités rurales et éloignées, notamment de réseaux appartenant à des collectivités des Premières Nations ou à des familles.

Actuellement, dans le secteur de l'électricité, d'importants investissements doivent être réalisés dans de nouvelles infrastructures, puisque bon nombre d'installations sont sur le point de cesser leurs activités ou d'être rénovées. La majorité des investissements dans le secteur se fera dans la production d'électricité; cependant, les domaines de la transmission et de la distribution bénéficieront également d'investissements importants. Les besoins en investissements dans les infrastructures d'électricité au Canada d'ici 2030

sont estimés à près de 350 milliards de dollars³⁸. Selon le Deep Decarbonisation Pathways Project, 16 milliards de dollars en investissements annuels supplémentaires seront requis pour assurer un avenir à faibles émissions de carbone au Canada; de ces investissements, 87 % (13,5 milliards de dollars) devront être injectés dans le secteur de l'électricité³⁹. Au fur et à mesure que les nouvelles sources conventionnelles d'électricité à faibles émissions de carbone deviendront de moins en moins viables, ou disponibles (p. ex. l'hydroélectricité), les nouveaux investissements dans les technologies émergentes deviendront de plus en plus ciblés.

Étant donné la nature à long terme de l'infrastructure d'électricité, des décisions en matière de planification et d'investissement devront être prises dans le court terme pour obtenir l'effet désiré pour l'horizon temporel de 2050. Par exemple, les dépenses d'infrastructure, les garanties de prêts et les prêts à faible taux d'intérêt pourraient aider à financer de nouveaux projets hydroélectriques et des lignes de transport d'énergie pour faciliter les projets d'électricité propre.

37 Office national de l'énergie, *Résumé des exportations et importations d'électricité*.

38 Conference Board du Canada, *Canada's Electricity Infrastructure: Building a Case for Investment*.

39 Bataille C. et al., *Pathways to Deep Decarbonization in Canada*.

RÉDUCTION DE LA DÉPENDANCE DES COLLECTIVITÉS AUTOCHTONES, ÉLOIGNÉES ET DU NORD VIS-À-VIS DE L'ÉNERGIE PRODUITE AVEC DES COMBUSTIBLES FOSSILES

Selon la base de données sur l'énergie dans les collectivités éloignées, il y a 288 collectivités éloignées et hors réseau au Canada, dont 190 dépendent du combustible diesel pour leurs besoins en électricité, soit totalement, soit en partie⁴¹. La plupart de ces communautés comptent également sur le combustible diesel pour chauffer leurs maisons⁴². Outre les collectivités éloignées, un certain nombre de bâtiments publics et privés dépendent également du combustible diesel pour l'électricité et le chauffage. Soixante pour cent des collectivités éloignées et hors réseau du Canada sont des collectivités des Premières Nations, des Inuits ou des Métis. Dans de nombreux cas, le diesel doit être transporté par la voie des airs à grands frais.

Le transport, le stockage et la combustion du combustible diesel soulèvent diverses préoccupations environnementales et sur le plan de la santé humaine. En outre, les coûts élevés du combustible associés à la production de diesel et des centrales électriques fonctionnant déjà à plein rendement constituent une barrière à l'amélioration des conditions de vie et du développement économique. Le coût de production d'électricité hors réseau, à partir de groupes électrogènes au diesel dans les collectivités éloignées et du Nord au Canada, peut être dix fois plus élevé que le coût de production d'un grand réseau, et peut considérablement augmenter le coût de la vie pour les collectivités nordiques et éloignées⁴³.

Les circonstances qui entourent certaines collectivités auront une incidence sur les coûts et la viabilité des options visant à augmenter la part de la production d'électricité sans émissions de GES. Lorsque la connexion de collectivités petites et éloignées à l'infrastructure de réseau existante n'est pas possible sur le plan économique, dans certains cas, des systèmes de production hybrides éoliens/solaires-diesel pourraient être déployés dans les collectivités afin de réduire la dépendance au combustible diesel. Parmi d'autres systèmes de production d'énergie non émettrice de GES qui pourraient remplacer le diesel, notons l'énergie hydroélectrique, marémotrice et géothermique, ainsi que de petits réacteurs nucléaires modulaires et la biomasse. Le diesel est aussi utilisé pour chauffer les maisons dans les collectivités nordiques et éloignées. Il pourrait être possible de remplacer davantage le diesel par des technologies émettant de moindres émissions de GES.

Un certain nombre de projets d'énergie renouvelable ont déjà été déployés pour remplacer le diesel dans les collectivités nordiques et éloignées. Dans de nombreux cas, l'infrastructure diesel a atteint la fin de sa durée de vie, ce qui offre la possibilité de passer à des technologies plus propres. Bien que les coûts d'investissement initiaux pour la construction de systèmes non émetteurs de GES soient élevés, ces coûts peuvent être partiellement compensés par des frais de fonctionnement et de combustible moins élevés. La planification à long terme et l'investissement sont d'importantes composantes pour le succès de cette transition.

40 Ressources naturelles Canada, *Base de données des collectivités éloignées*.

41 École d'administration publique et de politique gouvernementale de l'Université Carleton, *Report of the State of Alternative Energy in the Arctic*.

42 Gouvernement du Canada, *État de la situation des collectivités éloignées/hors réseau au Canada*.

3.5 Davantage de mesures de conservation de l'énergie et d'efficacité énergétique devraient être adoptées et mises en œuvre parallèlement aux efforts visant à réduire les émissions découlant de la production d'électricité. Les économies d'électricité devraient sous-tendre les voies de décarbonisation : la gestion de la demande ainsi que la réduction des pertes issues de l'équipement et de la transmission rendent l'électrification beaucoup plus efficace et plus réalisable.

Les améliorations de l'efficacité énergétique et de la gestion de la demande sont des éléments essentiels d'une stratégie de faibles émissions de GES à long terme et ouvrent des possibilités économiques. Dans de nombreux cas, l'efficacité énergétique est un moyen rentable de réduire les émissions de GES, car elle permet aux consommateurs résidentiels et aux entreprises de réaliser des économies substantielles en raison de factures d'électricité moins élevées, ainsi que de bénéficier d'autres avantages tels que la réduction de la maintenance et une durabilité accrue. En outre, il existe plusieurs possibilités de commercialisation; par exemple, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) évalue le marché mondial de l'efficacité énergétique à 221 milliards de dollars en 2015. L'AIE note également que les investissements en matière d'efficacité énergétique ont contribué à l'échelle mondiale à une amélioration de l'intensité énergétique de 1,8 % en 2015; cependant, l'amélioration de l'intensité énergétique doit atteindre, dans les plus brefs délais, jusqu'à 2,6 % par année, de maintenant jusqu'en 2030, si l'on veut réaliser l'objectif de limitation du réchauffement climatique à 2 °C⁴³.

L'AIE affirme que l'efficacité énergétique est la clé pour atteindre des niveaux mondiaux d'émissions conformes aux objectifs de 2 °C. Il est estimé que les économies d'électricité réalisées grâce à des mesures d'efficacité pourraient permettre d'éviter 5 100 GW de nouvelle capacité d'ici 2050. De même, Torrie Smith Associates note que l'analyse de l'avenir à faibles émissions de carbone prévoit généralement des niveaux d'utilisation de combustible et d'électricité par habitant qui sont environ la moitié de la moyenne canadienne actuelle, et une productivité énergétique (PIB/énergie) quatre fois plus élevée que les niveaux canadiens actuels⁴⁴. Les tendances en matière d'efficacité énergétique

sont déjà positives au Canada, l'efficacité énergétique ayant enregistré une amélioration de l'ordre de 24 % de 1990 à 2013⁴⁵. L'Office national de l'énergie prévoit que la demande énergétique des utilisateurs finaux augmentera à un taux annuel moyen de 0,7 % de 2014 à 2040, soit près de la moitié du taux d'augmentation de 1990 à 2013.

Le rendement de l'énergie électrique peut être accru en adoptant des mesures ciblées de gestion de la demande et en apportant des améliorations technologiques. Les changements de comportements tels que la consommation d'électricité pendant les périodes de faible demande pourrait réduire la demande durant les périodes de pointe, ce qui pourrait contribuer à réduire les émissions de GES découlant de la production d'électricité⁴⁶. L'efficacité énergétique peut aussi permettre de repousser les investissements dans le transport et la distribution, de réduire les pertes en lignes et d'éviter les besoins en matière de capacité de réserve. Au fur et à mesure que la technologie se développe, on devrait réaliser de nouveaux gains dans la production de l'électricité, grâce à des appareils comme les compteurs intelligents qui aident à réduire et à optimiser l'utilisation finale.

De plus, la modernisation du réseau électrique pourrait contribuer à accroître l'efficacité de l'utilisation de l'électricité en réduisant les pertes au moment où l'électricité est générée et transmise. Les réseaux sont généralement orientés du nord au sud, puisque la majorité de la population du Canada vit dans le sud le long de la frontière internationale avec les États-Unis, tandis que les plus grands aménagements hydroélectriques sont situés au nord, dans des zones à faible densité de population. Étant donné que les réseaux de transport canadiens s'étendent sur plus de 160 000 km, il y a d'importantes pertes entre les sources de production et l'utilisation finale. Cependant, d'ici 2050, il est très probable que la production décentralisée jouera un plus grand rôle, ce qui réduira la nécessité de transmettre la puissance électrique sur de longues distances, du point de production à l'utilisation finale.

43 Agence internationale de l'énergie, *Energy Efficiency Market Report*.

44 Torrie, R., *Agir sur le changement climatique : Vers un dialogue élargi à la société civile canadienne; Quelques réflexions sur les politiques en réponse aux changements climatiques*.

45 Ressources naturelles Canada, *Améliorer le rendement énergétique au Canada*.

46 L'efficacité énergétique peut aussi permettre de repousser les investissements dans le transport et la distribution, de réduire les pertes en lignes et d'éviter les besoins en matière de capacité de réserve (AIE, 2016)

Figure 4 : Exportations et importations d'électricité entre le Canada et les États-Unis, par province, en 2014⁴⁹



STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Le défi principal lié aux énergies renouvelables variables telles que le vent ou l'énergie solaire est qu'elles sont intermittentes; cela signifie qu'on ne peut produire de l'énergie lorsque le vent ne souffle pas ou que le soleil ne brille pas. Ainsi, s'il était possible d'améliorer le stockage de l'énergie, ces sources intermittentes seraient beaucoup plus attrayantes pour les opérateurs de réseaux, et l'énergie serait disponible pour répondre aux cycles de la demande. En outre, augmenter la densité énergétique et les vitesses de charge dans les technologies de stockage de l'énergie à batterie pourraient favoriser, dans le secteur du transport, les améliorations nécessaires à l'adoption généralisée des moyens de transport électriques.

L'intégration de flux d'énergie intermittents aux réseaux existants exige une plus grande souplesse ailleurs sur le réseau, ce qui peut augmenter les coûts de système. Toutefois, ces coûts pourraient être compensés par l'adoption de technologies qui permettent de stocker l'énergie excédentaire en cas de conditions météorologiques défavorables à la production d'électricité et de soutenir le réseau pendant les heures de pointe. Les technologies de stockage pourraient également permettre aux ménages de dépendre de leur propre production d'énergie, augmentant ainsi la croissance de la production locale d'énergie, le potentiel des systèmes des réseaux intelligents et la disponibilité d'énergie pour les collectivités éloignées.

47 Agence internationale de l'énergie, Energy Policies of IEA countries: Canada Review 2015.

Figure 5 : Feuille de route pour le stockage d'énergie



Source : Agence internationale de l'énergie, 2014. Technology Roadmap : Energy Storage

Le secteur privé est, depuis toujours, un important chef de file dans la recherche sur le stockage de l'énergie. En particulier, les technologies de stockage dans des piles pour les téléphones portables, les ordinateurs et les véhicules électriques, ont connu une croissance phénoménale ces dernières années. Déjà, les coûts des piles au lithium-ion sont considérablement réduits grâce à la production des constructeurs automobiles produisant des véhicules électriques, comme Tesla Motors. Par ailleurs, d'autres options moins coûteuses et plus efficaces sont actuellement mises au point, présentant des possibilités pour le secteur de l'énergie tout entier. Par exemple, les technologies de batteries à base de graphène et à base de soufre présentent un potentiel de stockage énorme, moins coûteux et plus puissant. D'autres options de stockage de l'énergie sont offertes sur le marché, et certaines d'entre elles sont déjà adoptées par les fournisseurs d'électricité canadiens. Récemment, le projet pilote de stockage de l'énergie à l'air comprimé de la société Toronto Hydro a été déployé au lac Ontario; il fournit maintenant 1 MW de capacité de stockage qui peut être transmise au réseau de la ville durant les périodes de pointe. Le stockage de l'énergie thermique est également utilisé dans la communauté d'Okotoks, en Alberta. Toutefois, l'option la plus prometteuse pour certaines provinces canadiennes sera probablement l'énergie hydroélectrique stockée par pompage. Cette technologie est facilement accessible, ses coûts d'exploitation et d'entretien sont faibles, et elle n'est pas limitée par les cycles de dégradation.

Bien que les améliorations récentes réalisées par le secteur privé soient encourageantes, il faut encore bien plus d'innovations pour permettre une production généralisée d'énergie renouvelable d'ici 2050. Par conséquent, en raison du rôle essentiel des technologies de stockage d'énergie dans l'électrification de nombreux processus, y compris le transport, il est fondamental que les technologies de stockage d'énergie continuent à s'améliorer au fil du temps. Pour ce faire, les gouvernements et les acteurs du secteur privé ont une responsabilité partagée de renforcer les investissements tout au long de la chaîne d'innovation, afin de permettre la venue de technologies révolutionnaires dans le marché, ainsi que des améliorations progressives.

4 La consommation d'énergie par les utilisations finales

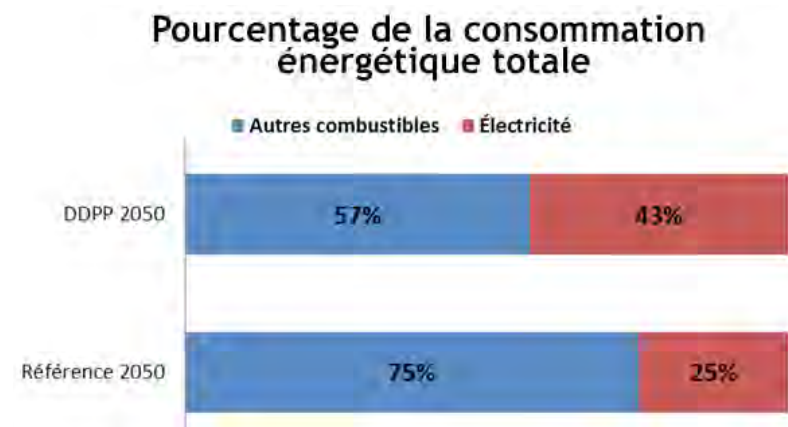
Dans un avenir à faibles émissions de carbone, la demande en électricité du Canada devrait augmenter considérablement d'ici 2050, partiellement en raison de pressions traditionnelles, comme la croissance de la population et des industries, mais également en raison de l'électrification des utilisations finales qui ont actuellement recours à d'autres formes d'énergie. Bon nombre d'utilisations (p. ex., voitures, camions, chaudières, appareils de chauffage) peuvent consommer de l'électricité propre pour satisfaire leurs exigences en matière d'alimentation, ce qui réduit les émissions grâce à l'abandon des produits du pétrole, du gaz naturel et d'autres carburants fossiles. Cette plus grande utilisation de l'électricité s'accompagne souvent de gains importants d'efficacité, particulièrement dans le secteur des transports, ce qui permet une réduction prévue de la demande globale d'énergie selon les scénarios à faibles émissions de GES. La maximisation du potentiel de réduction des émissions de l'électrification exige la décarbonisation des modes de production d'électricité actuels en parallèle avec un fort accroissement des nouvelles sources d'électricité non polluantes, comme on l'a vu au chapitre précédent.

Toutes les analyses effectuées par des universités et des experts qui concernent les voies vers une diminution des GES indiquent une augmentation de l'approvisionnement en électricité et une plus grande part de l'électricité dans la demande totale en énergie. Par exemple, le *Deep Decarbonisation Pathways Project* indique une augmentation de la part de l'électricité à 43 % du total de l'énergie d'ici 2050 comparativement à 25 % à ce jour, ce qui signifie que l'approvisionnement actuel pourrait plus que doubler d'ici 2050. De plus, le *Trottier Energy Futures Project* indique que la production d'électricité actuelle pourrait plus que tripler d'ici 2050.

Grâce à son portefeuille de production d'électricité relativement abordable et propre, le Canada peut compter sur une production électrique à coût carbone implicite inférieur à celui de nombreux autres pays. Autrement dit, le Canada dispose d'un avantage comparatif dans le domaine de l'électricité propre. Il importera d'examiner tout changement ou toute augmentation du coût de l'électricité découlant de nouveaux besoins en matière de demande et de veiller à ce que le Canada continue d'avoir accès à des sources d'électricité abordables et fiables dans les années à venir.

Outre les technologies d'électrification, les carburants renouvelables ou à faible teneur de carbone sont des options à émissions faibles ou nulles aptes à satisfaire à bon nombre des exigences énergétiques du Canada. Ces carburants revêtent une importance particulière

Figure 6 : Part de l'électricité dans la consommation énergétique nationale



Source : Bataille, C. et al. *Pathways to deep decarbonization in Canada*.

dans les domaines où l'électrification n'est pas possible ou non rentable à l'heure actuelle, tels que le transport aérien et maritime, certains modes de transport lourd de marchandises et de nombreuses activités industrielles. Dans un même ordre d'idées, les carburants renouvelables ou à faible teneur de carbone peuvent souvent être utilisés dans les voitures et camions ou les appareils de chauffage résidentiel existants dans des mélanges à plus forte concentration, et ce, sans incidence sur la performance de l'équipement, la sécurité et les garanties.

Il importe de reconnaître que toutes les activités de réduction des émissions liées à l'énergie atteignent une efficacité maximale lorsqu'elles sont associées à une augmentation de l'efficacité énergétique. Par exemple, l'augmentation du nombre d'habitations chauffées par de l'électricité propre est une solution beaucoup plus viable lorsque l'enveloppe des bâtiments est conçue au départ pour réduire le plus possible la perte de chaleur. Il faut surtout retenir que la réduction de la demande par l'efficacité énergétique, la conservation et les économies du côté de la demande compenseront partiellement les besoins accrus en électricité au Canada découlant de l'électrification des utilisations finales.

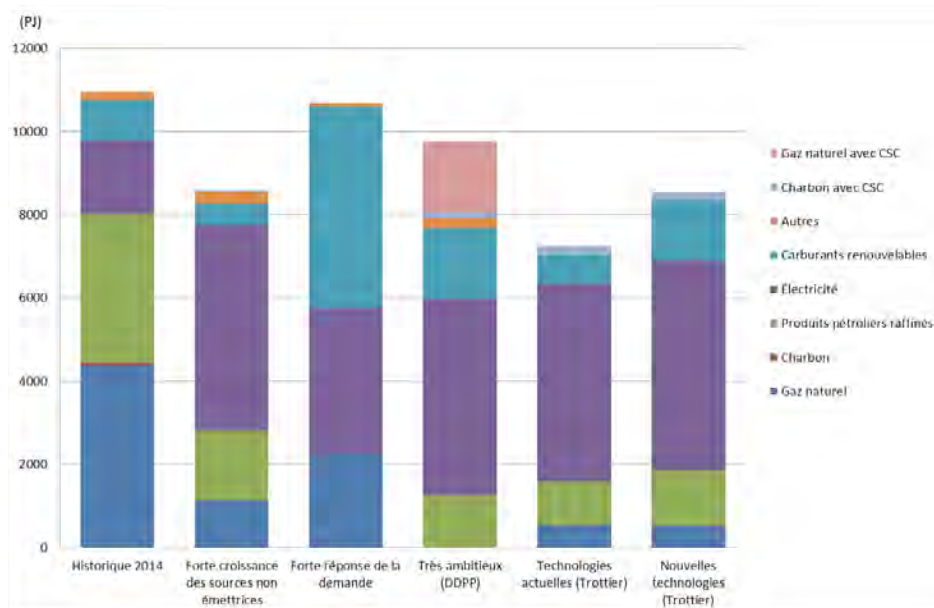
La figure 7 présente plusieurs analyses de la consommation d'énergie totale au Canada d'ici 2050 selon des scénarios de faibles émissions de GES. On peut y voir la consommation d'énergie actuelle (2014), de même que les résultats projetés de 2050 selon le DDPP et le Trottier Institute. Malgré la croissance de la population et de l'économie au cours de la période envisagée, des gains encore plus substantiels en efficacité énergétique entraînent une réduction de la consommation d'énergie totale

dans la majorité des analyses. Par exemple, la consommation totale diminue de 10 950 PJ en 2014 à 7 971 PJ en 2050 (scénario GCAM d'ECCC, désigné « Forte croissance des sources non émettrices »), voire 7 251 PJ en 2050 (« Nouvelles technologies » du Trottier Institute). Le rôle fondamental des gains en efficacité énergétique s'inscrit dans la continuité du chapitre 2, où la conservation d'énergie est représentée comme le « premier carburant », le tout premier critère à satisfaire pour atteindre l'objectif 2050 de réduction des émissions de GES.

Outre la réduction de la consommation d'énergie totale, le passage des carburants fossiles à l'électricité et aux carburants renouvelables est un autre thème universel dans les scénarios présentés. La production d'électricité propre dans tout le pays – fait accompli avant 2050 dans tous les scénarios – permet d'obtenir d'importantes réductions des émissions de GES grâce à l'électrification des utilisations finales et des procédés industriels. L'électricité devrait représenter de 40 à 72 % de la consommation d'énergie totale en 2050, comparativement à 16 % en 2014.

Les carburants renouvelables constituent la dernière solution de rechange dans la majorité des scénarios pour décarboniser les secteurs économiques qui émettent de grandes quantités de GES. Dans les secteurs clés, notamment l'industrie lourde et le transport de marchandises, les carburants renouvelables remplacent les carburants classiques à base de pétrole et le gaz naturel. Ces nouveaux carburants sont essentiels pour obtenir une réduction importante des émissions de GES, étant donné qu'il est peu probable que des percées technologiques permettent l'électrification de tous les secteurs de l'économie d'ici 2050.

Figure 7 : Projections de la consommation d'énergie totale par carburant d'utilisation finale en 2050



Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) présente notamment deux scénarios où l'électricité produite soit 33 % (Forte réponse de la demande), soit 57 % (Forte croissance des sources non émettrices), et les carburants renouvelables, soit 45 % (Forte réponse de la demande), soit 6 % (Forte croissance des sources non émettrices) de la consommation d'énergie totale au Canada en 2050. Pour sa projection de forte croissance des sources non émettrices, ECCC estime que les produits pétroliers raffinés représenteront encore environ 20 % de la consommation d'énergie totale en 2050 et le gaz naturel, 13 %. Dans son scénario de forte réponse de la demande, ECCC projette que l'utilisation du gaz naturel chutera à environ 20 % de la consommation d'énergie totale en 2050, et que l'usage des produits pétroliers raffinés aura définitivement pris fin. Pour sa part, le DDPP estime que l'électricité constituera 48 % de la consommation d'énergie totale au Canada en 2050, contre 17 % pour les carburants renouvelables, 17 % pour le gaz naturel (avec technologie de captage et stockage du CO₂ [CSC]), 2 % pour le charbon (avec CSC) et 13 % pour les produits pétroliers raffinés. Le Trottier Institute estime quant à lui que l'électricité représentera de 59 à 66 % de la consommation d'énergie totale au Canada, les carburants fossiles, 9 ou 17 %, les produits pétroliers raffinés, de 14 à 16 %, le gaz naturel, de 6 à 7 %, et le charbon, de 2 à 3 % (avec CSC).

4.1 Transport

MESSAGES CLÉS :

- L'électrification du secteur des transports présente un très fort potentiel de réduction des émissions de GES; en ce qui concerne les véhicules personnels, la technologie des véhicules électriques est déjà commercialisée et continue de s'améliorer.
- L'accroissement de l'adoption et de l'utilisation de véhicules électriques exigera une acceptation générale de cette technologie, grâce à de l'information et à des connaissances au sujet de ce qui suit : les coûts de propriété et la performance, l'accessibilité et la durée de la recharge ainsi que les attentes en matière d'autonomie. Ce sont tous des facteurs qui devraient s'améliorer grandement dans les années à venir.

- Les carburants à faible teneur en carbone et les carburants renouvelables sont compatibles avec les scénarios de faible émission de GES, surtout dans les domaines où l'électrification présente des difficultés.
- Le transport de marchandises est un secteur présentant un défi, mais il existe plusieurs solutions qui permettent d'envisager de plus importantes réductions des émissions.
- Les technologies émergentes – telles que le stockage de l'énergie et les matériaux ultralégers de pointe – augmenteront l'efficacité énergétique et réduiront les émissions; les approches novatrices pour assurer le transport des personnes et des marchandises devraient profiter d'une adhésion plus répandue vers le milieu du siècle.
- Les transferts modaux, comme le passage à des modes de transport qui émettent moins de GES pour les personnes et les marchandises, pourraient offrir d'importantes réductions des émissions, lesquelles seraient intensifiées par le déploiement de technologies propres, comme les trains de passages électrifiés.
- 62 % des émissions de carbone noir du Canada sont attribuables au secteur des transports. En plus d'être liées au réchauffement climatique, les émissions de carbone noir représentent un problème de santé publique. Le Canada continue de prendre des mesures complémentaires pour réduire ses émissions de carbone noir.

4.1.1 *L'électrification du secteur des transports présente un très fort potentiel de réduction des émissions de GES; en ce qui concerne les véhicules personnels, la technologie des véhicules électriques est déjà commercialisée et ne cesse de s'améliorer.*

Le secteur des transports joue un rôle crucial dans la vie des Canadiens et dans l'économie canadienne. Environ 82 % des Canadiens habitent en zone urbaine et 80 % des navetteurs se rendent au travail au volant de leur propre automobile. En 2014, le réseau de transport canadien a assuré le déplacement de marchandises

d'une valeur de mille milliards de dollars vers des marchés internationaux et employait 896 000 Canadiens (5 % de tous les emplois). Par rapport à d'autres pays, le Canada dépend fortement de l'automobile pour assurer la mobilité urbaine, et ce, avec une proportion relativement élevée de grosses voitures. Les distances entre les villes sont grandes, ce qui augmente les émissions dues aux déplacements interurbains.

À l'heure actuelle, le secteur des transports apporte une contribution majeure aux émissions de GES du Canada. Environ le quart (28 %) des émissions lui est attribuable; elles sont le fait de voitures, d'autobus, de camions, de motocyclette et de véhicules récréatifs⁴⁸. Environ 57 % de ces émissions sont dues au transport de personnes, contre 37 % pour le transport lourd de marchandises⁴⁹. Toutefois, compte tenu du rendement énergétique croissant de véhicules de tourisme (principalement sous l'impulsion de la réglementation fédérale) et de la difficulté à améliorer l'efficacité énergétique du transport de marchandises, il faut s'attendre à voir augmenter la part (et la valeur nette) des

émissions de GES correspondant au transport de marchandises.

L'activité dans le secteur du transport routier peut être répartie en deux volets : modes de déplacement des gens et des marchandises (choix du moyen de transport) et distance parcourue (niveau d'activité)⁵⁰. Une plus grande pénétration sur le marché des technologies automobiles nouvelles et les transferts modaux (p. ex., abandon des véhicules à un occupant) pourrait entraîner une réduction des émissions. Par ailleurs, un changement du niveau d'activité pourrait s'obtenir par des changements de comportement liés aux évolutions technologiques (p. ex., télétravail) ou la densification urbaine. Le Canada continuera d'encourager les villes à améliorer leurs réseaux de transport en commun et de voies cyclables, et à concevoir les espaces urbains de manière à réduire le besoin en transport automobile.

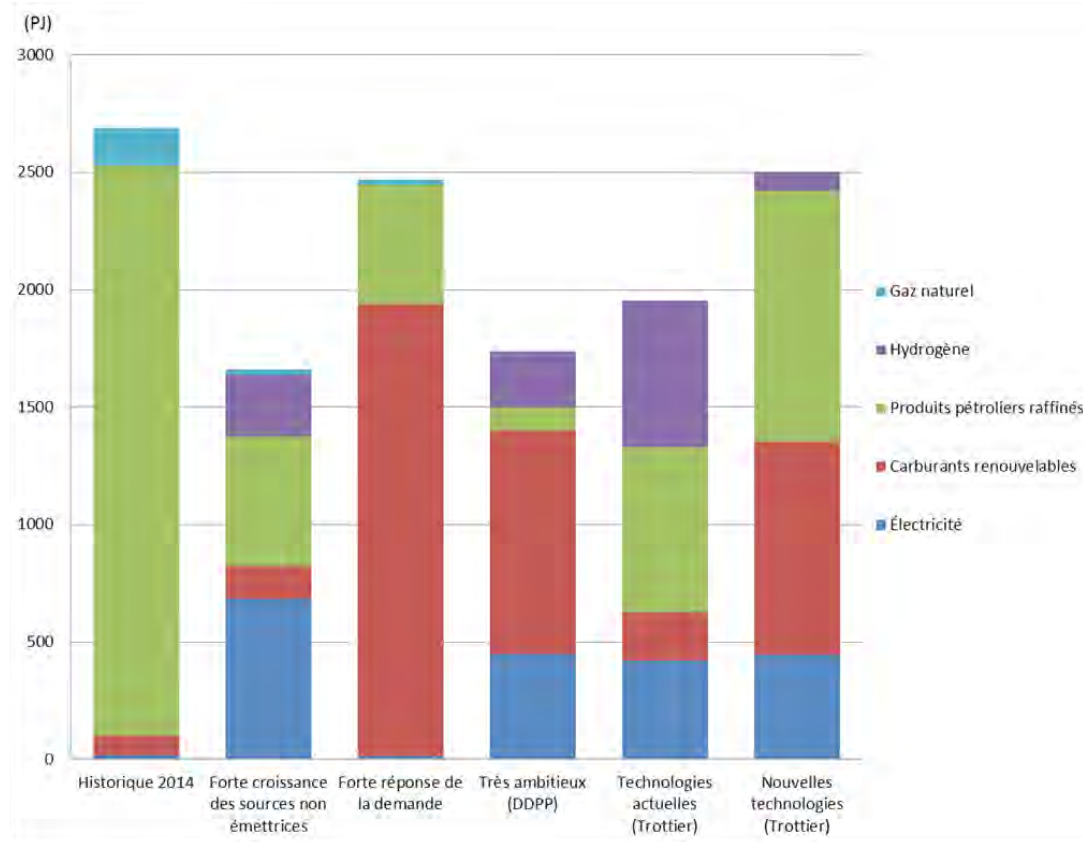
Les véhicules électriques à batterie peuvent potentiellement n'émettre aucune émission de GES s'ils sont rechargés à l'aide d'énergie électrique propre ou renouvelable. De plus, ils réduisent les

48 Environnement et Changement climatique Canada, *Rapport d'inventaire national 1990 2014 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada*.

49 D'après le rapport *Tendances en matière d'émissions au Canada, 2014*.

50 Conférence Board du Canada, *Une route longue et difficile : Réduire les émissions de GES dans le secteur canadien du transport routier d'ici 2050*.

Figure 8 : Projections de la consommation d'énergie du secteur des transports en 2050 (PJ)



émissions de polluants atmosphériques locales. Aujourd'hui, la technologie des véhicules électriques est bien connue, éprouvée et commercialisée au Canada avec de plus en plus de variété dans le choix : au total, 22 modèles rechargeables offerts par 12 constructeurs sont en circulation au Canada⁵¹. Autre solution, les véhicules hybrides rechargeables offrent une autonomie accrue en basculant aux carburants fossiles lorsque la charge électrique de leur batterie diminue. Si ces véhicules consomment encore du carburant, la majorité est utilisée dans les conditions où ils roulent en mode tout électrique, environ 90 % du temps⁵².

4.1.2 *L'accroissement de l'adoption et de l'utilisation de véhicules électriques exigera une acceptation générale de cette technologie, grâce à de l'information et à des connaissances au sujet de ce qui suit : les coûts de propriété et la performance, l'accessibilité et la durée de la recharge ainsi que les attentes en matière d'autonomie. Ce sont tous des facteurs qui devraient s'améliorer grandement dans les années à venir.*

Malgré nos ambitieux objectifs d'atténuation et notre portefeuille d'électricité propre, nous accusons un certain retard par rapport de nombreux autres pays comparables en ce qui a trait à la pénétration des véhicules électriques. Par exemple, la Norvège a enregistré des ventes annuelles de presque 40 000 véhicules entièrement électriques en 2015, soit une part de marché de 23 % des ventes de véhicules de tourisme. La Chine a vu son parc de véhicules électriques s'agrandir de 207 000 véhicules de tourisme en 2015 et 123 700 autobus et camions commerciaux électriques sont en circulation au pays⁵³. Enfin, on compte plus de 40 000 bornes de recharge de véhicules électriques au Japon, aussi bien dans des résidences privées que des bâtiments commerciaux. Le Pays du Soleil levant compte désormais davantage de bornes de recharge que de stations service (environ 35 000 de ces dernières)⁵⁴.

Même si environ seulement 24 000 véhicules rechargeables ont été vendus au Canada à ce jour, les ventes ont augmenté de 32 % de 2014 à 2015, et on s'attend à ce qu'elles continuent d'augmenter à mesure que les coûts de ces véhicules se rapprocheront de ceux des véhicules

conventionnels, que l'infrastructure de recharge prendra de l'ampleur et que davantage de modèles seront offerts sur le marché⁵⁵. Par exemple, sur les quelque 400 000 réservations de la future voiture électrique Tesla Model 3, on estime que 36 000 ont été faites au Canada⁵⁶.

Si le coût de production d'un véhicule électrique demeure supérieur à celui d'un véhicule à essence classique, il y a un autre facteur qui limite davantage l'adoption de cette technologie : les craintes du client quant à l'autonomie de la batterie. Le temps de recharge et l'autonomie de la batterie ne permettent pas d'obtenir un temps de ravitaillement équivalent à celui d'un véhicule à essence classique. Dans certaines circonstances, le temps froid peut également réduire l'autonomie des véhicules électriques. Toutefois, les études ont démontré que l'autonomie des batteries actuelles est suffisante pour satisfaire près de 90 % des utilisations à titre de transport personnel. Par exemple, une étude du Massachusetts Institute of Technology a fait appel aux données GPS pour estimer les besoins en énergie des véhicules de tourisme partout aux États Unis; les auteurs ont conclu que 87 % de ces besoins seraient satisfaits par les véhicules électriques d'aujourd'hui⁵⁷.

De plus, des efforts considérables sont déployés pour développer l'infrastructure de recharge rapide dans certaines administrations canadiennes; ce type de borne de recharge permet à une voiture électrique moyenne d'atteindre 80 % de la capacité de sa batterie en 30 minutes. Même si les bornes de recharge exigeront des investissements importants en infrastructure dans les années à venir, il importe de noter qu'elles n'auront pas à être aussi nombreuses que les stations service le sont aujourd'hui, étant donné que 95 % de la recharge se fait à domicile, et que les bornes publiques ne sont généralement utiles que pour les automobilistes qui parcourent de grandes distances.

4.1.3 *Les carburants à faible teneur en carbone et les carburants renouvelables sont compatibles avec les scénarios de faible émission de GES, surtout dans les domaines où l'électrification présente des difficultés.*

Les carburants à faible teneur en carbone, les carburants renouvelables et l'hydrogène sont particulièrement intéressants pour les secteurs qui

51 CAA, *Tout ce qu'il faut savoir sur les véhicules électriques*.

52 EVObsession, *Best Electric Car for the Average American*.

53 Agence internationale de l'énergie, *Energy Technology Perspectives 2016*.

54 Coulter, T., *Japan Has More Car Chargers Than Gas Stations*.

55 Fleet Carma, *Electric Vehicle Sales in Canada: 2015 Final Numbers*.

56 Model 3 Tracker, *Known Sport of Model 3 Vehicles by Status*.

57 Needell, Z., *Potential for Widespread Electrification of Personal Vehicle for Travel in the United States*.

se prêtent mal à l'électrification. Plusieurs carburants renouvelables sont déjà commercialisés, comme l'éthanol, le biodiesel et les biocarburants. Les mélanges d'essence contiennent une teneur variable en carburants renouvelables, et les avantages pour l'environnement augmentent avec l'utilisation de biocarburants de deuxième génération. Contrairement aux autres modes de transport, l'industrie de l'aviation dispose de peu de solutions pour réduire ses émissions de GES. La prise de mesures technologiques et opérationnelles améliorées aura un rôle à jouer, mais seuls les carburants de remplacement à faible teneur en carbone (biocarburant d'aviation) offrent la possibilité de réduire les émissions de GES de façon importante sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Le gaz naturel renouvelable permet de réduire davantage les émissions que le gaz naturel. Le biogaz produit à partir de la biomasse des décharges, de l'agriculture, des eaux usées et d'autres sources est raffiné jusqu'à une qualité équivalant à celle du gaz naturel. Il peut alors être utilisé par les secteurs du bâtiment et des transports sous la forme de gaz naturel comprimé (GNC) ou de gaz naturel liquéfié (GNL).

Bon nombre de parcs automobiles à travers le monde roulent au gaz naturel. Une réduction pouvant atteindre jusqu'à 25 % des émissions d'équivalent dioxyde de carbone peut être obtenue « du puits à la roue » lorsque le gaz naturel comprimé remplace l'essence dans un véhicule léger. Le gaz naturel peut être une solution efficace pour les modes de transport dont l'électrification est plus complexe, comme le transport routier des marchandises, le transport maritime et le transport ferroviaire, notamment grâce à un ravitaillement relativement rapide et une longue autonomie. À ce titre, le gaz naturel a fait l'objet de projets de recherche et de développement en lien avec ces modes de transport. Le gaz naturel a également pour avantage d'améliorer considérablement la qualité de l'air et de réduire le bruit, si on le compare au diesel.

La technologie de la pile à hydrogène peut aussi aider à décarboniser le secteur des transports. Le processus de production d'électricité à partir d'une pile à combustible utilise l'hydrogène et l'oxygène comme intrants et émet de la vapeur d'eau et de la chaleur à l'échappement; il n'émet donc aucun GES. Toutefois, la production de l'hydrogène est actuellement très gourmande en électricité si le

ENTREPRISES CANADIENNES ADOPTANT L'ÉLECTRIFICATION POUR LE TRANSPORT DE MARCHANDISES LÉGÈRES

Un certain nombre d'entreprises canadiennes – et de sociétés actives au Canada – ont opté pour la piste verte en se servant de parcs automobiles hybrides ou entièrement électriques. Pour les services de messagerie et les autres entreprises d'expédition, la gestion du parc et la consommation de carburant ont un effet majeur sur les charges d'exploitation et font l'objet d'une analyse régulière pour réduire les coûts et gagner en efficacité. Certaines sociétés ont retenu la technologie du véhicule électrique à la fois pour des raisons économiques et environnementales.

À titre d'exemple, Postes Canada, Purolator, le service postal des États Unis, Fedex et Novex ont mis en œuvre des solutions de transport plus durables pour assurer leurs services d'expédition. D'autres initiatives ont vu le jour, par exemple une société de taxi entièrement électrique à Montréal, Téo Taxi. Même si le manque d'information s'avère une barrière importante à l'adoption des véhicules électriques par les PME, plusieurs entreprises proposent des services de soutien pour démontrer la rentabilité d'un parc de véhicules écologiques. Elles mettent en œuvre des procédures telles que le calcul de l'incidence sur les charges, la location des véhicules pour effectuer des périodes d'essai et la prestation de services de soutien technique pour gérer l'infrastructure de recharge.

Un autre acteur sur le marché, Communauto, la plus ancienne et la plus grande société nord américaine de partage de voitures, a annoncé dernièrement l'achat de 600 véhicules hybrides ou entièrement électriques. De ce nombre, 515 sont destinés au marché du Québec, et le reste au marché européen de la société. Les services de covoiturage absorbent eux aussi une proportion importante des besoins en véhicules de tourisme, ce qui contribue à réduire les émissions de GES.

procédé de l'électrolyse est employé, ou émettrice de GES si elle se fait par reformage du méthane.

La pile à hydrogène offre l'avantage d'un temps de ravitaillement analogue à celui d'un moteur à combustion interne, mais son adoption est freinée par plusieurs obstacles sérieux tels que le coût de la pile elle-même, le coût et l'intensité énergétique de la production d'hydrogène ainsi que la nécessité de construire une infrastructure nouvelle pour desservir les stations de ravitaillement. Malgré cela, l'hydrogène est un élément clé de plusieurs exercices de modélisation, notamment ceux de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et du Deep Decarbonisation Pathways Project (DDPP). Par exemple, l'AIE a modélisé plusieurs niveaux d'adoption du véhicule électrique à pile à combustible. À ce jour, Toyota et Hyundai ont commercialisé des véhicules électriques à pile à combustible en Europe, en Corée du Sud, en Californie, à Vancouver et au Japon; la poursuite des investissements pourrait aider à accélérer le déploiement de l'infrastructure. Par exemple, la ville de Whistler, en Colombie Britannique, compte déjà plusieurs autobus et stations de ravitaillement en hydrogène. L'hydrogène est largement utilisé dans l'industrie pour la production d'ammoniac et pour le raffinage, et pourrait également servir au stockage de l'énergie renouvelable excédentaire. Le Canada est avantageusement positionné en ce qui a trait au développement de l'hydrogène et des carburants nouveaux, en collaboration avec des sociétés telles que Westport Innovations et Ballard, qui développent et exportent ces technologies à faible teneur en carbone.

Les résultats de la modélisation à partir de scénarios de faibles émissions de gaz à effet de serre en 2050 indiquent diverses solutions pour le secteur des transports au Canada (*voir la description des modèles et des scénarios à l'encadré Modélisation et scénario au chapitre 2*). À l'heure actuelle, les produits pétroliers raffinés (essence, diesel, etc.) satisfont à plus de 90 % des besoins énergétiques du secteur des transports au Canada. Dans les scénarios où les émissions cumulées du Canada sont considérablement réduites en 2050, le portefeuille énergétique du secteur des transports subit un changement en profondeur (*voir la figure 8*).

Dans son scénario de forte croissance des sources non émettrices, ECCC prévoit que l'électricité remplira 41 % des besoins énergétiques du secteur des transports en 2050, contre 8 % pour les carburants renouvelables à faible teneur en carbone. Le solde

des besoins est comblé par l'hydrogène (16 %) et le gaz naturel (1 %), mais aussi par les produits pétroliers raffinés, qui continuent d'alimenter 33 % des parcs de véhicules, notamment dans le transport aérien et maritime. En revanche, dans le scénario de forte réponse de la demande, ECCC place les carburants renouvelables et à faible teneur en carbone en position dominante dans le portefeuille énergétique des transports (78 %). Dans ce scénario de modélisation, les véhicules électriques ne pénètrent pas le marché.

Le Deep Decarbonisation Pathway Project (DDPP) penche également vers une forte pénétration des véhicules à carburant renouvelable et à carburant à faible teneur en carbone (55 %). L'électricité répond à 26 % des besoins énergétiques du secteur des transports, contre 14 % pour l'hydrogène. Dans les scénarios d'analyse de Trottier, les carburants renouvelables ou à faible teneur en carbone combinent de 10 à 18 % des besoins énergétiques des transports en 2050. L'électricité fournit de 18 à 21 % de l'énergie nécessaire et l'hydrogène, de 3 à 32 %. Les produits pétroliers raffinés continuent de peser à hauteur de 36 à 43 % de la consommation d'énergie du secteur.

4.1.4 *Le transport de marchandises est un secteur difficile, mais il existe plusieurs solutions qui permettent d'envisager de plus importantes réductions des émissions.*

Le transport de marchandises, que ce soit par véhicule routier lourd, par avion ou par bateau, est un secteur où la réduction des GES est difficile. L'optimisation de l'efficacité énergétique du transport de marchandises est essentielle pour réduire les émissions de GES de ce sous secteur. En outre, il existe des solutions de rechange aux moteurs à combustion interne classique, notamment les moteurs alimentés par un mélange de biocarburants, du gaz de pétrole liquéfié ou du gaz naturel. Le recours à ces carburants peut réduire l'intensité des GES du transport de marchandises, parfois de façon substantielle.

L'électrification du transport de marchandises⁵⁸ demeure limitée par des contraintes technologiques telles que l'autonomie insuffisante pour le transport à grande distance, le temps de recharge trop long pour répondre aux exigences de livraison et les besoins considérables en énergie et en puissance motrice qu'implique le transport de charges lourdes. Toutefois, certaines sociétés ont dévoilé des projets de développement du transport de marchandises électrifié dans les années à venir. Par exemple, en juillet dernier, Mercedes Benz a dévoilé son dernier prototype électrique, l'Urban eTruck, conçu pour les zones urbaines denses. Ce véhicule entièrement électrique comporte deux moteurs, peut emporter trois batteries et aura une charge utile de 26 tonnes. Mercedes Benz espère commercialiser d'ici 2020 ce véhicule conçu pour les courtes distances (200 kilomètres) et la circulation dense⁵⁹.

Malgré des progrès continus, la réduction des émissions du transport de marchandises continue de présenter des difficultés. L'essentiel sera de trouver des moyens économiques de produire des biocarburants et d'imaginer de nouvelles solutions pour transporter les marchandises.

Figure 9 : Un camion Urban eTruck⁵⁹



Le déploiement à grande échelle des camions lourds électriques pourrait exiger plus de temps que celui des voitures, en raison d'un cycle de remplacement nettement plus long (la durée de vie d'un camion est de 30 ans, contre 20 ans pour une voiture). La réduction des émissions dans les secteurs aérien, maritime et ferroviaire est également difficile en raison de la forte densité énergétique du carburant dont ces modes de transport ont besoin. Malgré ces difficultés, l'intensité énergétique du transport ferroviaire a été ramenée de 1,38 MJ/Tkm en 2011 à 1,30 MJ/Tkm en 2013. Dans un rapport récent, le Conference Board du Canada suggère qu'il faudra de beaucoup plus grandes améliorations en matière de performances et d'efficacité pour que le Canada réalise une décarbonisation en profondeur du secteur des transports⁶⁰.

En 2013, le gouvernement fédéral a adopté un nouveau règlement imposant des normes d'émission de GES pour les véhicules routiers lourds et leurs moteurs harmonisées avec les normes fédérales américaines afin d'amener les parcs de camions lourds canadiens à privilégier des véhicules à consommation moins élevée. Dans les secteurs maritime et ferroviaire, où le carburant compte pour une grande partie des coûts globaux, les opérateurs cherchent à obtenir des améliorations quant à la consommation de carburant et à la réduction des GES, et ce, grâce à de nouvelles technologies et à l'amélioration des conceptions et des systèmes, en plus d'envisager une transition vers des carburants à faible teneur en carbone. Dans le secteur du transport maritime, les mesures techniques et opérationnelles obligatoires établies par l'Organisation maritime internationale (OMI)

⁵⁸ Mercedes Benz, *Urban eTruck*.

⁵⁹ Mercedes Benz, *Electric Truck for the City*.

⁶⁰ Le Conference Board du Canada, *A Long Hard Road: Drastically Reducing GHG Emissions in Canada's Road Transportation Sector by 2050*.

ÉLECTRIFICATION DES TRANSPORTS EN COMMUN ET PLANIFICATION URBAINE INTELLIGENTE

Pendant la transition vers une économie à faibles émissions de carbone, les transports en commun offrent une solution valable pour réduire fortement les émissions de GES par rapport à l'usage de véhicule personnel, mais les moteurs diesel des autobus en émettent néanmoins une quantité considérable. Dernièrement, des percées réalisées dans la technologie des batteries pour véhicules électriques ont trouvé un champ d'application dans les autobus urbains. Par exemple, la ville de Göteborg utilise depuis quelque temps trois autobus électriques sur l'une de ses lignes de transport public, ainsi que sept autobus hybrides. Même si ces autobus sont considérablement plus chers à l'achat que des autobus diesel ordinaires, la différence est rapidement amortie grâce à l'économie de carburant. Les autobus sont rechargés pendant six minutes entre chaque trajet, ce qui leur apporte plus d'autonomie qu'il n'en faut pour leurs itinéraires respectifs, et encore assez d'énergie pour offrir des prises de recharge de téléphone ainsi qu'une connexion Wi Fi aux utilisateurs à bord⁶². Des projets analogues sont en cours à Montréal, à commencer par des autobus hybrides⁶³.

La façon de planifier et de concevoir les villes de manière à favoriser les technologies et les modes de vie à faible émission de GES est un facteur important dont il faut tenir compte pour opérer la transition vers une économie à faibles émissions de carbone. La congestion a un coût important pour l'économie, évalué en 2008 à 6 milliards de dollars par année, directement et indirectement, pour la région du Grand Toronto et Hamilton⁶⁴. Il faudra du temps pour réaliser ce genre de changement structurel, mais les gouvernements peuvent lancer le mouvement à court terme en prenant la décision d'adopter une approche globale de l'aménagement territorial intégrant l'utilisation du sol, les transports, la production énergétique et l'urbanisme.

Les villes cherchent de plus en plus des solutions novatrices pour réduire la congestion de leurs voies de circulation. Ainsi, Edmonton est l'une des deux villes canadiennes prenant part à un programme nord américain qui vise à développer la technologie des véhicules connectés⁶⁵.

Cette technologie peut améliorer plusieurs facettes du transport urbain; elle éviterait, par exemple, les collisions entre voitures, guiderait les conducteurs dans les voies de contournement en cas de ralentissement ou d'accident sur la route, et pourrait même intervenir sur les feux de circulation le long des voies de contournement afin de réduire le plus possible la congestion. D'autres percées technologiques favorisent le développement des véhicules autonomes et une utilisation plus répandue du partage de véhicules, ce qui aura des d'importantes répercussions sur la façon dont les gens se déplaceront en ville dans le futur. Ces percées technologiques aident aussi à paver la voie pour de nouvelles méthodes de gestion pour les villes et les gouvernements, comme la tarification efficace des mécanismes de péage. Par exemple, les voies réservées aux véhicules multioccupants à accès spécial tarifé, qui sont ouvertes aux véhicules transportant suffisamment de personnes et aux détenteurs de permis, réduisent la congestion et génèrent des revenus qui peuvent être réinvestis dans les transports publics.

61 Electricity, *The electric bus – quiet, exhaust emission free and passenger friendly*.

62 Presse canadienne, *Electric bus pilot project to hit Montreal streets in 2015* (consulté en anglais).

63 Groupe de travail sur les transports urbains, *Le coût élevé de la congestion dans les villes canadiennes*.

64 Ville d'Edmonton, *On the Front Edge of Smart Vehicle Technology*.

contribuent également à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Cependant, il faudra du temps avant d'obtenir d'importantes réductions des émissions, en raison du long processus de remplacement des stocks existants de navires et de locomotives. Le recours à des solutions électriques ou à des carburants de remplacement pour l'équipement de manutention à bord et à quai utilisé dans les plaques tournantes de transport peut aussi permettre d'obtenir des réductions importantes des émissions.

4.1.5 Les technologies émergentes – telles que le stockage de l'énergie et les matériaux ultralégers de pointe – augmenteront l'efficacité énergétique et réduiront les émissions; les approches novatrices pour assurer le transport des personnes et des marchandises devraient profiter d'une adhésion plus répandue vers le milieu du siècle.

À l'avenir, l'amélioration des technologies de stockage de l'énergie devrait faciliter l'adoption des véhicules électriques. La percée technologique la plus attendue dans le domaine des batteries est l'usage du graphène, qui rend possible une densité énergétique (capacité de la batterie par unité de poids) nettement supérieure, tout en réduisant considérablement le temps de recharge et les coûts. Le graphène est une ressource abondante et l'émergence de batteries au graphène constituerait le tournant à partir duquel les véhicules électriques deviendraient à la fois abordables et pratiques, deux conditions favorables à leur généralisation.

On s'attend à ce que les constructeurs automobiles offrent de plus en plus de véhicules connectés et automatisés qui, en combinaison avec une infrastructure intelligente, permettront non seulement de rendre la conduite plus conviviale, mais aussi beaucoup plus sécuritaire et efficace, ce qui pourrait entraîner une amélioration des résultats sur le plan de l'environnement. Même si la conduite autonome n'apportera pas des avantages aussi substantiels que l'électrification du transport, elle pourrait entraîner des gains d'efficacité intéressants. Étant donné que les véhicules connectés et automatisés ont un temps de réaction bien plus court que celui d'un humain, ils pourraient circuler avec une plus faible distance entre eux, d'où une circulation beaucoup plus efficace (réduction de la marche au ralenti, accélération plus progressive, etc.) et un effet d'aspiration (réduction de la résistance à l'air en

suivant de près la voiture qui précède) parfaitement sécuritaire, conditions qui réduisent le gaspillage d'énergie. Les améliorations à la sécurité et la réduction de la congestion attendues pourraient entraîner d'importantes économies de carburant, en plus d'apporter des avantages collatéraux pour l'économie et l'environnement

Enfin, il faudra intégrer des matériaux ultralégers et des techniques de fabrication de pointe à tous les modes de transport – des véhicules routiers électriques aux avions – pour gagner en efficacité. Parmi les autres facteurs à considérer pour réduire les émissions liées au transport : modification des véhicules lourds existants, y compris des tracteurs, pour y intégrer des technologies réduisant les émissions de GES (accessoires aérodynamiques, blocs moteurs auxiliaires) et mise à la casse des véhicules les moins efficaces.

4.1.6 Les transferts modaux, comme le passage à des modes de transport qui émettent moins de GES pour les personnes et les marchandises, pourraient offrir d'importantes réductions des émissions, lesquelles seraient intensifiées par le déploiement de technologies propres, comme les trains de passages électrifiés.

Étant donné le profil des émissions et les limites qui touchent actuellement l'électrification du transport de marchandises, la transition vers le transport ferroviaire pour la majorité des marchandises réduirait la quantité d'énergie consommée pour déplacer les biens d'une partie à l'autre du pays. Même si le transport ferroviaire comporte divers enjeux, comme des délais d'expédition plus longs et une perte de souplesse dans la planification des itinéraires, il offre le potentiel de réduire les émissions par unité de biens transportés dans une proportion de 75 % par rapport aux véhicules routiers à distance égale⁶⁵. En ce qui concerne le transport de passagers, le mode ferroviaire offre une autre solution potentielle intéressante pour les déplacements interurbains, qui réduirait les émissions par rapport aux véhicules personnels et aux autobus. Parmi les autres avantages de l'adoption du transport ferroviaire, citons la réduction de l'usure des routes et de la congestion routière.

⁶⁵ Association of American Railroads, *Freight Railroads Help Reduce Greenhouse Gas Emissions*.

En plus d'être moins intense en GES que les modes de transport sur route, ces émissions pourraient être encore réduites grâce à l'électrification du réseau ferroviaire voyageur du Canada, qui opérerait sur des voies réservées. Les corridors densément peuplés, comme l'axe Windsor Québec, sont les principales zones à privilégier pour l'implantation d'un tel réseau. Même si ce type de projet nécessite des investissements considérables, il peut apporter des économies substantielles par la réduction du coût énergétique, par l'optimisation du transport grâce aux performances accrues (p. ex., plus grand nombre de voitures par locomotive) et par la réduction des frais d'entretien⁶⁶. L'électrification des trains apporte d'autres avantages, tels que la réduction du bruit, la réduction de la charge sur les moteurs à haute altitude par rapport au diesel et la possibilité de circuler dans des voies souterraines (impossible aux locomotives diesel en raison des polluants atmosphériques qu'elles émettent).

Les trains légers électriques représentent une solution intéressante pour les transports en commun, jusqu'à 10 fois moins coûteuse qu'un réseau de métro à distance égale⁶⁷. Grâce à un coût inférieur au kilomètre, ils se révèlent particulièrement attrayants pour accélérer les déplacements des navetteurs entre la banlieue et le cœur de l'agglomération, tout en réduisant le nombre de véhicules qui encombrant le centre ville. Ils sont également plus faciles à électrifier que les autobus, ce qui en fait une option de transport en commun moins intense en GES, tout en réduisant le coût de l'électrification.

4.1.7 62 % des émissions de carbone noir du Canada sont attribuables au secteur des transports. En plus d'être liées au réchauffement climatique, les émissions de carbone noir représentent un problème de santé publique. Le Canada continue de prendre des mesures complémentaires pour réduire ses émissions de carbone noir.

Le secteur des transports émet d'énormes quantités de carbone noir, principalement en raison des moteurs et des véhicules diesel. Le Canada continue de prendre des mesures réglementaires pour lutter contre les émissions de polluants atmosphériques liées au transport, ce qui contribue également à la réduction du carbone noir, y compris le règlement

sur les véhicules et les moteurs diesel sur route et hors route, fabriqués ou importés en vue de leur vente au Canada. Le règlement visant la mise en œuvre de la Zone de contrôle des émissions de l'Amérique du Nord entraîne aussi une réduction des émissions de carbone noir.

En plus d'être liées au réchauffement climatique, les émissions de carbone noir représentent un problème de santé publique. Les particules de carbone noir, tant que composantes des PM_{2.5}, sont suffisamment petites pour être inhalées et absorbées par les poumons et la circulation sanguine. La réduction des émissions de carbone noir du secteur des transports présente d'importants avantages collatéraux pour la santé des Canadiens.

⁶⁶ Ordre des ingénieurs de l'Ontario, *Towards a clean train policy: diesel versus electric*.

⁶⁷ Condon P., *Dear PM: Don't Waste Billions on Bad Transit Projects*.

4.2 Bâtiments

MESSAGES CLÉS :

- Plus du tiers des résidences canadiennes sont déjà chauffées et climatisées à l'électricité propre; les technologies émergentes rendront cette option de plus en plus attrayante sur le plan économique.
- Le gaz naturel continue de jouer un rôle important pour répondre aux besoins de chauffage et d'énergie. Le gaz naturel renouvelable représente une part modeste, mais grandissante, de la composition de l'offre permettant de répondre à ces besoins en énergie.
- L'électrification du secteur du bâtiment doit s'associer à l'intensification des mesures visant à favoriser l'efficacité énergétique.
- Le chauffage par îlots des bâtiments résidentiels et commerciaux pourrait aider à abaisser les émissions de GES, étant donné que la chaleur est produite à un emplacement centralisé à l'aide de sources d'énergie sans émission.
- L'évaluation du cycle de vie sert à quantifier les répercussions environnementales globales des bâtiments, ce qui permet de prendre des décisions optimales en matière de conception durable.
- L'amélioration des bâtiments existants sera nécessaire pour rectifier le parc immobilier inefficace, qui risquerait autrement de le rester bien au delà du milieu du siècle.
- Des villes plus intelligentes et plus durables sont la clé d'un avenir prospère.

4.2.1 *Plus du tiers des résidences canadiennes sont déjà chauffées et climatisées à l'électricité propre; les technologies émergentes rendront cette option de plus en plus attrayante sur le plan économique.*

Les émissions de ce secteur proviennent de bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels, ainsi que de leur équipement. Le secteur du bâtiment est aujourd'hui l'un de ceux qui produisent le plus de GES au Canada, étant responsable d'environ 12 % des émissions, ce qui le classe à la troisième place, et les projections actuelles pointent vers une croissance jusqu'en 2030. Toutefois, plusieurs mesures peuvent mener à une réduction, notamment le changement de source d'énergie et l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Certains bâtiments résidentiels et commerciaux canadiens font déjà appel à l'électricité propre pour alimenter leurs appareils de chauffage, de climatisation et d'éclairage ainsi que leurs appareils ménagers. Les technologies existantes, comme les chaudières électriques, les radiateurs et les thermopompes, peuvent être utilisées en remplacement des combustibles fossiles, ce qui permet de réduire à zéro les émissions de gaz à effet de serre avec un portefeuille de production électrique sans émission. En 2011, 39 % des foyers canadiens utilisaient l'électricité pour se chauffer.

L'électricité était la source d'énergie prédominante au Québec (66 %), à Terre Neuve et Labrador (56 %) et au Nouveau Brunswick (48 %)⁶⁸.

Les thermopompes à alimentation électrique – qu'elles puisent leur énergie dans l'air ou dans le sol – sont des technologies actuelles appelées à gagner en rentabilité à l'avenir, tout comme le recours au chauffage solaire naturel. Une thermopompe à l'air extrait la chaleur de l'air; elle transfère de l'air chaud vers l'intérieur en hiver et vers l'extérieur en été⁶⁹. Une thermopompe puisant l'énergie dans le sol, également appelée pompe géothermique, utilise le sol pour produire de la chaleur et refroidir l'air; ce type de thermopompe est de plus en plus utilisé dans tout le Canada. Grâce à un rendement élevé, la pompe géothermique permet d'économiser jusqu'à 40 % de plus qu'une thermopompe à l'air en coûts énergétiques, mais son installation exige un plus gros investissement initial.

68 Statistique Canada, *Les ménages et l'environnement : utilisation de l'énergie* (11 526 S).

69 Ressources naturelles Canada, *Pour bien comprendre les thermopompes*.

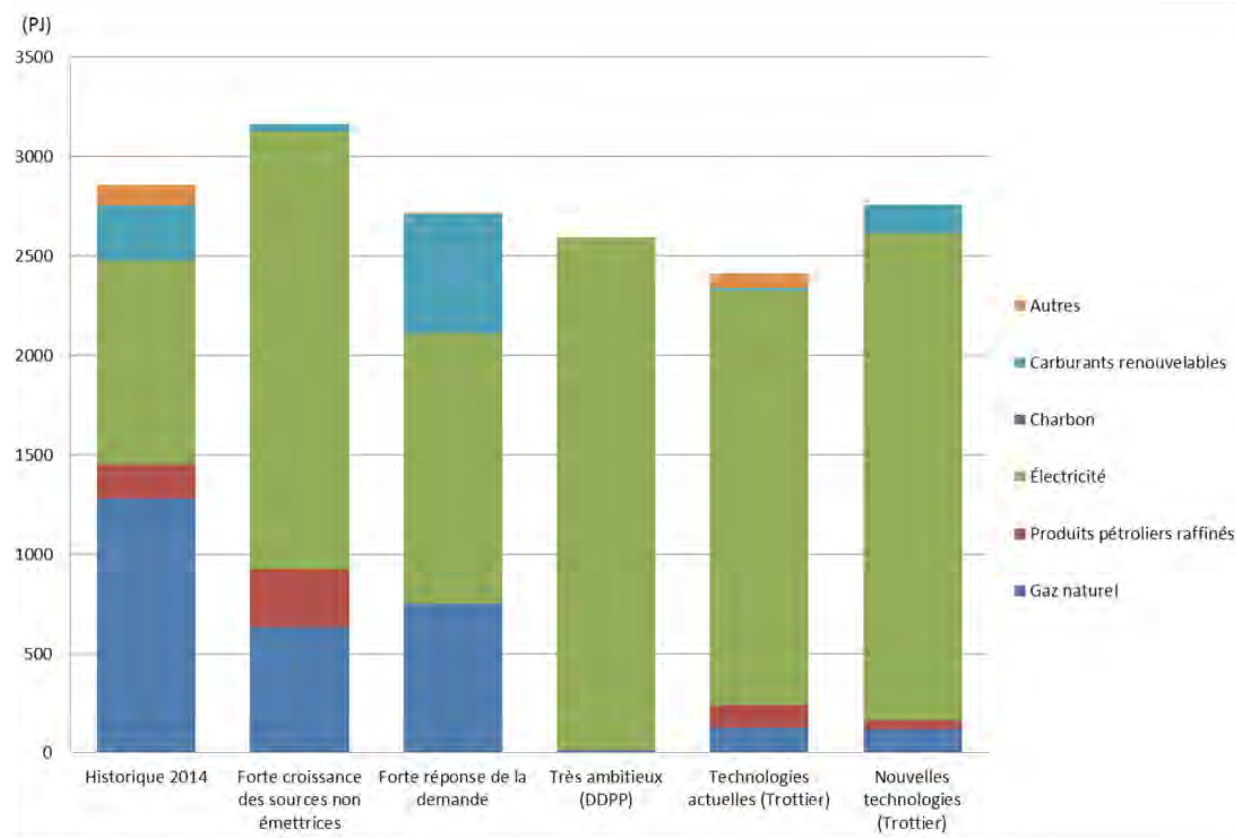
Le chauffage résidentiel à l'énergie solaire offre également de nombreux avantages et contribue à réduire la demande en énergie sur le réseau. De nouvelles technologies font leur apparition pour produire plus efficacement de l'électricité photovoltaïque pour les résidences : allées à revêtement photovoltaïque, bardeaux solaires, panneaux solaires montés sur les murs extérieurs, pellicule photovoltaïque applicable sur n'importe quel revêtement de toit métallique.

La figure 10 représente la répartition actuelle de l'énergie consommée dans le secteur du bâtiment, soit le gaz naturel (45 %), l'électricité (36 %), les carburants renouvelables (10 %) et les produits pétroliers raffinés (6 %). Les projections de modélisation d'une économie à faibles émissions de GES en 2050 intègrent une variété de facteurs tels que les modifications possibles aux codes de l'énergie provinciaux, les exigences réglementaires des constructions neuves et les coûts de la technologie. Il est à noter que les projections ne tiennent pas compte de l'augmentation potentielle de l'utilisation d'appareils de chauffage propre par ilots au Canada.

Dans tous les scénarios d'émissions réduites de GES, la part de l'électricité propre dans le portefeuille énergétique augmente par rapport à la proportion actuelle. La première analyse d'une consommation à faibles émissions de GES d'ECCC (Forte croissance des sources non émettrices) établit la proportion de l'électricité à 70 % du total dans le secteur du bâtiment en 2050, alors que la seconde (Forte réponse de la demande) la situe à 50 % (les carburants renouvelables représentant ici 22 %).

Le scénario de DDPP, quant à lui, table sur une augmentation de la part de l'électricité pour satisfaire à 99 % des besoins énergétiques du secteur du bâtiment en 2050 (le point de pourcentage restant étant attribué au gaz naturel). Le Trottier Institute élabore deux scénarios; dans le premier, la part de l'électricité atteint de 86 à 89 % de la consommation totale du secteur en 2050, le reste des besoins étant comblé par le gaz naturel (de 4 à 5 %), les carburants renouvelables (de 4 à 5 %) et les produits pétroliers raffinés (de 2 à 5 %).

Figure 10 : Projections pour l'utilisation de l'énergie dans le secteur des bâtiments pour 2050



4.2.2 Le gaz naturel continue de jouer un rôle important pour répondre aux besoins de chauffage et d'énergie. Le gaz naturel renouvelable représente une part modeste, mais grandissante, de la composition de l'offre permettant de répondre à ces besoins en énergie.

Dans la plupart des scénarios, le gaz naturel, un combustible fossile dont les émissions sont relativement faibles, continue de répondre à certains besoins en chauffage et à d'autres besoins dans le secteur du bâtiment. Le gaz naturel peut également être remplacé par le gaz naturel renouvelable, au besoin, sans qu'il faille remplacer les immobilisations ou l'infrastructure, comme les appareils de chauffage résidentiels au gaz naturel. En général, le gaz naturel renouvelable est entièrement interchangeable avec le gaz naturel classique.

Le méthane libéré de sources comme les sites d'enfouissement, les résidus agricoles, l'élevage de bétail, les usines de traitement des eaux usées et les déchets forestiers peut être récupéré et nettoyé et remplacer directement le gaz naturel classique.

4.2.3 L'électrification du secteur du bâtiment doit s'associer à l'intensification des mesures visant à favoriser l'efficacité énergétique.

L'amélioration de l'efficacité énergétique est particulièrement importante pour le secteur du bâtiment canadien, étant donné que les ménages canadiens consomment en moyenne 11 000 kWh d'électricité par année (2010). À titre de comparaison, cette consommation n'est que légèrement inférieure à la moyenne américaine (12 960 kWh) et fortement supérieure à celles de l'Australie (7 350 kWh) et des pays de l'Union européenne, dont la France (5 760 kWh), le Royaume-Uni (4 510 kWh) et l'Allemagne (3 515 kWh).⁷⁰ Ceci est généralement attribuable au climat froid du pays et à la taille relativement grande des logements résidentiels.

Il est possible d'améliorer l'efficacité énergétique soit par la conception du système d'un bâtiment (étanchéité à l'air, matériaux de meilleure qualité, chauffage passif, isolation, toiture blanche, fenêtres à triple vitrage), soit par l'installation d'équipements et d'appareils électroménagers plus efficaces (thermopompe, chaudière à condensation, climatisation à haut rendement, éclairage à faible

consommation, système de gestion efficace de l'énergie et des appareils). Le développement de technologies de chauffage et de refroidissement à haute efficacité, comme les systèmes de gestion de l'énergie et les thermostats intelligents, peut réduire le coût du chauffage, de la ventilation et de la climatisation et en accroître le rendement.

Au Canada, les codes de l'énergie provinciaux et municipaux pour les bâtiments ainsi que les normes fédérales d'efficacité énergétique constituent des outils importants pour stimuler les améliorations de la productivité énergétique. Il faudra veiller à ce que les politiques publiques futures mettent en adéquation les programmes d'efficacité énergétique et les substitutions de combustible avec les objectifs de faibles émissions de GES.

L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment apporte plusieurs avantages collatéraux tels que la résilience de l'infrastructure et la réduction des coûts d'exploitation et d'entretien, en plus d'avoir des effets positifs sur le revenu et l'emploi à l'échelle nationale. De plus, plusieurs études révèlent les avantages pour la santé humaine d'une meilleure conception des bâtiments, par la réduction des risques de troubles respiratoires et cardiovasculaires, de rhumatismes, d'arthrite et d'allergies. Enfin, les économies réalisées sur les dépenses énergétiques peuvent être bénéfiques pour les Canadiens à faible revenu.

4.2.4 Le chauffage par îlots des bâtiments résidentiels et commerciaux pourrait aider à abaisser les émissions de GES, étant donné que la chaleur est produite à un emplacement centralisé à l'aide de sources d'énergie sans émission.

Le chauffage par îlots (également appelé chauffage à distance, collectif, centralisé, etc.) est un système qui distribue la chaleur produite à un emplacement centralisé pour répondre aux besoins en chauffage des bâtiments résidentiels et commerciaux, par exemple pour le chauffage des locaux et le chauffage de l'eau. Ce type de système offre le potentiel de réduire les émissions de GES en

⁷⁰ Conseil mondial de l'énergie, Energy Efficiency Indicators : Average electricity consumption per electrified household.

choissant une source d'énergie à faible teneur en carbone telle que la chaleur résiduelle ou un biocarburant.

Le chauffage par îlots est le système principalement utilisé dans les pays nordiques (à l'exception de la Norvège). Dans ces pays, la biomasse, le gaz naturel et le biogaz issu des déchets solides municipaux sont couramment utilisés comme source d'énergie pour le chauffage par îlots. Par exemple, la biomasse sert de combustible pour 60 % du chauffage par îlots en Suède, 40 % au Danemark et 70 % en Finlande. Le Canada connaissant des conditions géographiques et climatiques analogues, il dispose donc d'un énorme potentiel inexploité pour mettre en place de vastes appareils de chauffage par îlots⁷¹.

4.2.5 *L'évaluation du cycle de vie sert à quantifier les répercussions environnementales globales des bâtiments, ce qui permet de prendre des décisions optimales en matière de conception durable.*

L'évaluation du cycle de vie (ECV) est une méthode scientifique servant à mesurer l'empreinte environnementale des matériaux, des produits et des services tout au long de leur cycle de vie. Lorsqu'elle vise un bâtiment, l'ECV sert à mesurer les effets environnementaux, comme la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, à tous les stades du cycle de vie du bâtiment. L'ECV porte sur l'extraction des ressources brutes, la fabrication et le transport des produits, la construction, l'exploitation et l'entretien du bâtiment, de même que sa démolition.

L'ECV aide les concepteurs de bâtiments à tenir compte de tous les effets environnementaux découlant des matériaux qu'ils choisissent et d'autres décisions en matière de conception. Elle leur permet aussi de se pencher sur les compromis et les solutions de rechange possibles, de manière à minimiser l'empreinte environnementale de du bâtiment pour l'ensemble de son cycle de vie. Ce processus axé sur les données permet aux concepteurs de bâtiments de mettre à l'essai leurs décisions en matière de durabilité et de les valider⁷².

71 Agence internationale de l'énergie, analyse détaillée par pays, Canada, 2015.

72 J. O'Connor et M. Bowick, *Advancing Sustainable Design with Life Cycle Assessment*.

4.2.6 *L'amélioration des bâtiments existants sera nécessaire pour rectifier le parc immobilier inefficace, qui risquerait autrement de le rester bien au delà du milieu du siècle*

Selon la Société canadienne d'hypothèques et de logement, la construction résidentielle canadienne a connu une croissance moyenne de 1,5 % au cours des cinq dernières années⁷³. À ce rythme, l'environnement bâti devrait doubler au Canada pendant les quelque 50 prochaines années environ, soit bien au delà du milieu du siècle. Le sujet des constructions neuves a été traité plus tôt, mais la plus grande partie des bâtiments qui seront en usage en 2050 existent déjà. Selon l'AIE, près de 75 % du patrimoine bâti des pays de l'OCDE en 2010 sera toujours en service en 2050.

Par conséquent, les nouveaux codes de l'énergie pour les bâtiments ne suffiront pas en soi pour obtenir des réductions substantielles des émissions de GES à l'horizon 2050; d'autres efforts seront nécessaires pour améliorer les bâtiments existants. Il en va de même pour les sous secteurs des bâtiments industriels et commerciaux.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments existants par réhabilitation thermique constitue une étape importante dans la réduction des émissions de GES au Canada. La réhabilitation thermique exige de l'investissement, surtout en cas de modification en profondeur d'une partie importante de la structure. Le taux de ce type de rénovation varie dans le monde selon le type de bâtiment, le climat et les coûts. Par exemple, les pays membres de l'Union européenne ont un objectif d'économie par réhabilitation thermique de 3 % par année⁷⁴ pour ce qui est des bâtiments appartenant aux gouvernements. L'Allemagne, notamment, s'est fixé un objectif de 2 % de tous les bâtiments résidentiels par année⁷⁵.

Les pratiques de gestion de l'énergie, notamment les analyses comparatives, les vérifications et l'optimisation continue des bâtiments, peuvent

73 Statistique Canada, *Recensement du Canada de 2011. Société canadienne d'hypothèques et de logement, Nombre total de logements mis en chantier, Canada, provinces et régions métropolitaines, 1990-2015*.

74 Journal officiel de l'Union européenne, *Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique, modifiant les directives 2009/125/CE et 2010/30/UE et abrogeant les directives 2004/8/CE et 2006/32/CE*.

75 Ministère fédéral de l'Économie et de l'Énergie, nouvelle politique énergétique de l'Allemagne ayant pour objectif la rentabilité, la sécurité de l'approvisionnement et la performance environnementale à l'horizon 2050.

aider à améliorer la compréhension de l'utilisation et des coûts de l'énergie, à exposer les possibilités inexploitées et à apporter des améliorations, s'il y a lieu. Elles peuvent également apporter des solutions écologiques pour améliorer les systèmes intégrés au bâtiment et dont le remplacement pourrait s'avérer difficile ou coûteux⁷⁶.

4.2.7 Des villes plus intelligentes et plus durables sont la clé d'un avenir prospère.

La planification et la conception urbaines seront essentielles pour créer une interaction entre la conception et les sites immobiliers, dans le but de rendre possibles des solutions à faibles émissions de GES. Dans une économie à faibles émissions, par exemple, les collectivités feront un usage efficace des sources locales d'énergie, qu'il s'agisse d'énergie renouvelable produite sur place, de chaleur résiduelle ou de chaleur produite à partir des déchets organiques, afin d'optimiser l'utilisation des réseaux d'énergie propre. Les réseaux de chauffage par ilots distribueront l'énergie thermique nécessaire au chauffage et à la climatisation, tandis que les réseaux électriques intelligents assureront la gestion de l'offre et de la demande locales. Les systèmes de stockage de l'énergie aideront à compenser les variations de l'offre et de la demande en chauffage, en refroidissement et en électricité; les entreprises industrielles, commerciales et agricoles locales, pour leur part, aborderont l'énergie dans une optique intégrée. Enfin, les entreprises mettront à profit la chaleur résiduelle, utiliseront des combustibles renouvelables et saisiront les occasions de produire elles mêmes de l'énergie.

4.3 Industrie

MESSAGES CLÉS :

- Des circonstances nationales représentent des complications pour la décarbonisation du secteur industriel canadien.
- L'électrification des activités industrielles présente un potentiel de réduction des émissions.
- La cogénération réduit le gaspillage de chaleur et génère de l'énergie thermique et électrique, d'où des avantages environnementaux et économiques.
- L'amélioration de l'efficacité énergétique par des moyens novateurs d'optimisation de la production et de la consommation d'énergie sera essentielle.
- Le captage et le stockage du carbone, l'adoption de carburants sans émissions et le recyclage peuvent aussi contribuer à réduire les émissions. Ces technologies ne cessent de s'améliorer.
- Malgré tout, il reste des défis à surmonter pour réduire les émissions dans certains secteurs, défis qui exigeront des innovations et des activités de recherche et de développement.

⁷⁶ Ressources naturelles Canada, *Guide de commissioning des nouveaux bâtiments*.

RÉDUCTION DES ÉMISSIONS PROVENANT DES ACTIVITÉS ET DES ACHATS DU GOUVERNEMENT

Étant donné la taille considérable de leurs organisations, les gouvernements ont un rôle important à jouer dans la transition vers une économie faible en carbone. Les administrations fédérales, provinciales et territoriales peuvent ainsi donner l'exemple en mettant en œuvre des politiques ambitieuses touchant plusieurs facettes de la transition. Dans le cadre de sa Stratégie fédérale de développement durable⁷⁸, le Canada a défini des objectifs de développement durable pour les activités de son appareil gouvernemental. Le fédéral a ainsi adopté l'objectif de réduire les émissions de 40 % d'ici 2030 par rapport à 2005, tout en aspirant à y parvenir plus tôt, éventuellement d'ici 2025. De plus, le gouvernement s'est engagé à ce que l'électricité consommée par toutes les activités menées par Services publics et Approvisionnement Canada provienne entièrement de sources propres, ainsi qu'à augmenter considérablement l'efficacité énergétique des édifices fédéraux dans le but de réduire leurs émissions presque de moitié. Plusieurs provinces, notamment la Colombie Britannique, le Québec et l'Ontario, ont également adopté des objectifs de réduction des émissions ou d'atteinte d'un bilan carbone neutre dans leurs activités.

Les gouvernements peuvent donner l'exemple dans de nombreux domaines, notamment par des achats écologiques, des bâtiments écologiques, des mesures d'efficacité énergétique et d'autres investissements dans des mesures écologiques. Les nouveaux bâtiments du gouvernement pourraient être soumis à l'obligation d'une forme ou l'autre de certification environnementale, l'effet positif sur la valeur des actifs des immeubles écologiques étant généralement reconnu⁷⁹. En ce qui concerne les bâtiments vieillissants, une réhabilitation écologique en profondeur aiderait à réduire considérablement les coûts énergétiques et les émissions de GES. Le recours à des mesures de rendement énergétique aiderait à mieux comprendre et à améliorer la façon dont on utilise l'énergie. D'autres ordres de gouvernement pourraient également encourager l'usage des transports en commun, le transport actif et les modalités de travail souples, par exemple le télétravail.

L'approvisionnement écologique constitue l'un des outils du gouvernement pour réduire son empreinte environnementale et faire augmenter la demande intérieure de technologies propres et des autres biens et services à privilégier sur le plan environnemental. Par exemple, la Politique d'achats écologiques du gouvernement fédéral cible des résultats environnementaux précis dans les situations où les achats peuvent contribuer à atténuer les impacts environnementaux tels que les changements climatiques. Le fait d'intégrer les considérations climatiques dans le processus d'approvisionnement, par exemple la déclaration obligatoire du rendement climatique, pourrait aider à effectuer une évaluation comparative plus exacte des divers produits et services. Il peut également être envisagé d'utiliser le pouvoir d'achat des gouvernements pour appuyer le développement des technologies vertes. Les gouvernements doivent également contribuer à accélérer l'adoption de certains produits écologiques, comme les véhicules électriques, en installant des bornes de recharge sur les lieux de travail.

Dans certains secteurs, il reste des possibilités à saisir pour jouer un rôle plus important en donnant une dimension plus écologique aux activités. Le secteur de la défense reconnaît de plus en plus l'importance stratégique de la présence de sources d'énergie secondaires et des économies qu'elles sont susceptibles d'entraîner. Le Pentagone est devenu le second acheteur, par ordre d'importance, de marchés d'approvisionnement à long terme en électricité renouvelable aux États Unis, selon Bloomberg⁸⁰. Des possibilités d'approvisionnement à faible teneur en carbone s'offrent au ministère de la Défense nationale et à d'autres ministères disposant de parcs automobiles de grande taille.

Il importe que les gouvernements étudient les pratiques exemplaires en matière d'écologie dans le secteur public pour tirer des leçons des réussites de leurs homologues. Ils pourront ainsi développer leurs compétences et élever leurs ambitions au fil du temps, pour être plus à même de trouver des solutions novatrices et créatives.

77 Gouvernement du Canada, Réduire l'empreinte environnementale en commençant par le gouvernement.

78 The Royal Institution of Chartered Surveyors, *Green Value*.

79 Financial Post, *How the Pentagon is Waging America's Wars Using Renewable Energy*.

4.3.1 Des circonstances nationales représentent des complications pour la décarbonisation du secteur industriel canadien.

Depuis toujours, le Canada profite d'une économie concurrentielle sur le plan international qui repose sur des ressources naturelles à faible coût et sur les activités industrielles qui en découlent. Ces activités sont confrontées à d'importants obstacles en matière de décarbonisation :

- Le secteur de l'énergie du Canada demeure un important moteur de l'économie canadienne. Les exportations d'énergie, de matières premières et de produits agricoles du Canada contribuent de manière importante au produit intérieur brut. En outre, le Canada est un exportateur net d'énergie. Il occupe le quatrième rang mondial pour l'exportation de pétrole brut, et le cinquième rang pour l'exportation de gaz naturel.
- Le secteur du pétrole et du gaz du Canada est intense en GES en raison de l'énergie nécessaire dans l'extraction primaire des combustibles fossiles et d'autres ressources naturelles.
- Comme les industries sont concentrées dans certaines régions précises du pays, cela entraîne des préoccupations sur le plan des effets distributifs des politiques de réduction. La coopération régionale et les politiques d'atténuation graduelle seront essentielles pour veiller à ce que les efforts de décarbonisation n'aient pas un impact disproportionné sur certaines régions.
- Plus de 75 % de la consommation d'énergie totale du secteur industriel canadien se concentrent dans les secteurs de l'exploitation minière, des pâtes et papiers, du fer et de l'acier, du ciment, de la fonte et du raffinage, des produits chimiques et du raffinage des produits pétroliers. La majeure partie de l'énergie consommée (environ 70 %) sert à produire de la chaleur, par exemple pour le traitement thermique (principalement dans des fours et des appareils de chauffage), le séchage et la production de vapeur. Ces émissions sont plus difficiles à réduire que celles d'autres secteurs en raison des besoins élevés en chaleur de certains procédés. Il existe des solutions écologiques susceptibles de réduire grandement les émissions de GES, mais les obstacles du marché à une adoption commerciale à grande échelle sont si considérables que des investissements importants pourraient être exigés.

4.3.2 L'électrification des activités industrielles présente un potentiel de réduction des émissions.

Bon nombre d'industries canadiennes sont déjà en train d'électrifier leurs activités ou de découvrir d'autres moyens novateurs de réduire leurs émissions de GES. Par exemple, les systèmes motorisés tels que les pompes, les ventilateurs, les convoyeurs et les compresseurs fonctionnent presque tous à l'électricité dans certains secteurs. Les procédés électrifiés peuvent être planifiés pendant les périodes hors pointe du réseau de distribution afin de profiter de tarifs plus avantageux. Certains sous secteurs, par exemple, l'industrie de l'aluminium – où les procédés de fusion sont très énergivores –, utilisent déjà l'électricité sans émissions pour répondre à leurs besoins énergétiques. Les usines d'aluminium ont d'ailleurs vu leur intensité énergétique décroître au fil du temps, ce qui a mené à une baisse de la demande en électricité par unité de production.

Dans le secteur du fer et de l'acier, certaines usines canadiennes emploient des fours à arc électrique qui permettent de produire de l'acier à partir de métal recyclé et consomment considérablement moins d'énergie que les procédés classiques au minerai. Dans l'industrie du verre, on peut utiliser des cuves de fusion électriques, alors que dans l'industrie des pâtes et papiers, l'électricité peut servir à la production mécanique des pâtes. Dans le secteur minier, on pourrait utiliser des appareils hybrides diesel électriques dans les mines souterraines et des véhicules entièrement électriques qui réduiraient davantage les émissions et diminueraient les besoins en ventilation.

Dans l'industrie des sables bitumineux, l'extraction et la valorisation du bitume sont des procédés énergivores qui consomment de grandes quantités d'énergie thermique et électrique. Une plus grande électrification des procédés, notamment pour la production de chaleur (par exemple, par chauffage électrothermique ou électromagnétique à radiofréquence), ouvrirait une voie vers la décarbonisation, à condition de disposer d'une source d'électricité propre.

L'adoption de chaudières à vapeur électrique pour remplacer les chaudières au gaz naturel réduirait les émissions directes. Ce type de chaudière fait appel à des résistances électriques pour produire de la vapeur et de la chaleur; or, la conversion de l'électricité en énergie thermique est très efficace. Il est techniquement possible de se servir de l'électricité comme source d'énergie, au lieu du

L'HISTOIRE D'UNE ÉLECTRIFICATION RÉUSSIE

Les véhicules miniers ont généralement besoin de carburant à haute densité énergétique pour soulever et transporter des charges massives. Or, en 2008, SBC Case Industries, société mère de PapaBravo, a lancé un projet de R et D visant à développer des véhicules électriques pour ses mines de potasse. Plus tard, PapaBravo a élaboré un plan d'affaires fondé sur la technologie de R et D, avec le soutien du Programme d'aide à la recherche industrielle du Conseil national de recherches Canada. La société est ainsi parvenue à mettre aux points plusieurs modèles, notamment le Marmot EV et un camion de deuxième génération apte à fonctionner dans les environnements autres que les mines de potasse. Les véhicules ont une autonomie d'environ 120 kilomètres et se rechargent en moins d'une heure. L'entreprise PM&P de Saskatoon, qui a fait l'acquisition de PapaBravo en 2015, est devenue un concurrent mondial sur le marché des véhicules miniers électriques, qu'elle commercialise au Canada, en Afrique du Sud, en Australie et en Nouvelle Zélande⁸¹.



gaz naturel, pour la séparation du bitume, pour la production d'hydrogène de valorisation, pour le raffinage et pour la mise en circulation dans les oléoducs.

Une étude de Canadian Energy Research Institute s'est penchée sur divers scénarios d'électrification de l'exploitation des sables bitumineux à l'aide de l'hydroélectricité et d'une capacité accrue de transport d'électricité. Dans l'ensemble, les auteurs ont constaté que l'hydroélectricité offre le potentiel de réduire les émissions de GES découlant de l'exploitation des sables bitumineux dans une proportion de 13 à 16 %. Un large éventail de techniques permettrait d'obtenir des réductions, au prix d'investissements importants en infrastructures et de l'adoption de technologies nouvelles. Le potentiel de réduction pourrait être accentué par le développement de la production électrique sur place à des fins de chauffage, mais bon nombre des technologies correspondantes se trouvent encore en phase de développement.

En général, il existe plusieurs options pour décarboniser l'industrie lourde, mais leur pénétration nécessitera beaucoup de R et D, d'essais et de soutien à la commercialisation.

4.3.3 La cogénération réduit le gaspillage de chaleur et génère de l'énergie thermique

⁸⁰ Conseil national de recherches du Canada, *Révolutionner l'industrie canadienne des mines avec des véhicules électriques*.

et électrique, d'où des avantages environnementaux et économiques.

La cogénération, également appelée production combinée de chaleur et d'électricité, produit simultanément de l'énergie électrique et thermique à partir d'un même combustible, pour le chauffage ou le refroidissement. Elle permet de réaliser des gains en efficacité énergétique, en transformant la perte de chaleur d'un procédé en source d'énergie pour un autre. Les principaux types de systèmes de cogénération sont les turbines à vapeur, les turbines à gaz, les moteurs à pistons, les microturbines, les turbines à gaz à cycle combiné et le cycle de Rankine à caloporteur organique. La cogénération nécessite la maximisation de la production d'électricité, tout en suivant, dans la mesure du possible, la demande en charge thermique en termes de quantité et de qualité de l'énergie⁸¹. Les économies d'énergie que permet la cogénération par rapport à la production indépendante d'électricité vont de 5 à 35 %.

Au Canada, environ 7 % de la production électrique provient de la cogénération. La plus grande partie de l'énergie produite de cette façon (électrique et thermique) se situe dans les produits utilitaires, du papier et du bois, ainsi que dans les secteurs d'extraction du pétrole et du gaz. La croissance de la cogénération s'est déroulée sur deux périodes.

⁸¹ Centre canadien de données et d'analyse de la consommation finale d'énergie dans l'industrie, *Cogeneration Facilities in Canada 2014*, p. 7.

Dans les années 1970, on a vu croître les capacités de cogénération en réaction à une forte hausse des prix de l'énergie. La seconde a eu lieu au cours des années 1990 sous l'impulsion de nombreux facteurs socioéconomiques, dont la recherche d'un meilleur rapport coût efficacité et l'ouverture complète à la concurrence du réseau électrique de l'Alberta. La cogénération offre le potentiel de réaliser des économies substantielles en coûts énergétiques, surtout dans le secteur des sables bitumineux, où les procédés d'extraction et de valorisation exigent de vastes quantités de chaleur et de vapeur.

Afin de maximiser le potentiel de réduction des émissions de GES de la cogénération, l'adoption de certaines technologies pourrait s'avérer nécessaire, notamment celles qui optimisent l'appariement des charges, améliorent les opérations dans des environnements rigoureux ou permettent la gazéification de la biomasse, des cycles de production d'électricité de pointe et la forte pénétration des combustibles renouvelables dans les cycles thermiques fossiles (p. ex., préchauffage thermosolaire de l'air d'admission d'une turbine à gaz).

4.3.4 L'amélioration de l'efficacité énergétique par des moyens novateurs d'optimisation de la production et de la consommation d'énergie sera essentielle.

Les mesures d'efficacité énergétique qui améliorent les procédés et réduisent les pertes de chaleur peuvent être mises en œuvre dans tous les secteurs à l'aide des meilleures technologies disponibles aujourd'hui. Les pratiques de gestion de la chaleur peuvent améliorer la production et le transfert de chaleur entre les utilisateurs des procédés. Les technologies novatrices de récupération de la chaleur résiduelle réduisent d'autant plus la consommation d'énergie, les coûts de production et les émissions des installations industrielles.

Les mesures d'efficacité énergétique incluent l'optimisation des procédés, l'amélioration des opérations et des contrôles, la récupération de la chaleur résiduelle et sa valorisation pour produire de la chaleur, du froid ou de l'électricité, ainsi que l'élaboration de nouvelles technologies et de nouveaux procédés. La sélection de moteurs de taille optimale par rapport à la puissance nécessaire et le recours à des entraînements à régime variable sont des exemples d'optimisation des procédés. La fréquence et la qualité des opérations d'entretien et de réparation des moteurs peuvent

également améliorer l'efficacité énergétique de l'équipement. Dans certaines industries, il existe des solutions potentielles qui supposent de transformer entièrement les procédés employés pour réduire les besoins en énergie. Par exemple, l'industrie des pâtes et papiers peut se servir d'additifs chimiques pour réduire la quantité de chaleur nécessaire pour sécher le papier⁸².

Dans le secteur du pétrole et du gaz naturel, l'optimisation de l'efficacité énergétique et de la consommation d'énergie peut maximiser le potentiel de réduction des émissions de l'électrification et d'autres solutions de remplacement. Par exemple, le déploiement de systèmes de gestion de l'énergie dans les installations de pétrole et de gaz naturel et l'amélioration de l'efficacité énergétique à l'aide de programmes et de normes aideraient à obtenir des réductions substantielles de la demande en énergie. Même si l'électrification demeure la mesure de réduction à privilégier, la récupération et l'utilisation de la chaleur résiduelle pourraient également être envisagées en parallèle dans les sous secteurs. D'autres idées novatrices sont susceptibles d'appuyer l'optimisation de la consommation d'énergie, notamment le développement d'écoparcs industriels facilitant l'échange d'énergie excédentaire et de sous produits industriels, et réduisant les déplacements nécessaires entre installations.

Dans le domaine des sables bitumineux, l'adoption de procédés d'extraction novateurs à faible teneur en carbone offre le potentiel de réduire les émissions de GES. Les technologies évoluées telles que l'extraction au solvant et l'extraction électrothermique pour la production de vapeur in situ, ou par contact direct, sont encore à l'étape du développement; elles offrent le potentiel de réduire considérablement les émissions. Ces innovations pourraient assurer des réductions jusqu'à 50 % des émissions de GES par baril produit et constituer un tournant dans la mise en place d'une offre concurrentielle sur le plan économique et environnemental de combustibles fossiles sur un marché mondial en voie de décarbonisation. Les tubes à vide étanches sont une autre option permettant d'économiser la chaleur sur le trajet d'injection souterraine de vapeur; ils pourraient accélérer considérablement le processus de préchauffage du puits⁸³. De plus, certaines de ces techniques d'extraction novatrices laissent le

82 Energy Economics, *Optimizing the Energy Efficiency of Conventional Multi Cylinder Dryers in the Paper Industry*, p.35.

83 Conseil des académies canadiennes, *Solutions technologiques et politiques pour un système énergétique à faibles émissions au Canada*, p. 92.

L'UTILISATION DE LA BIOMASSE DANS LA PRODUCTION DU CIMENT

L'utilisation de la bioénergie en remplacement des carburants fossiles dans la production du ciment en est actuellement à la phase de démonstration commerciale au Canada. Par exemple, l'usine Lafarge de Bath, en Ontario, a reçu un financement de l'Initiative écoÉNERGIE innovation pour faire la démonstration de projet de remplacement de 10 % du charbon par de la biomasse. Le projet a consisté à traiter la matière première pour la convertir en une forme utilisable, à développer et à installer un système d'injection, à effectuer des cycles d'essai du combustible et à compiler les résultats des économies de carbone obtenues. Les résultats de ces essais guideront l'utilisation permanente de combustibles pauvres en carbone à l'usine de Bath et, éventuellement, par d'autres entreprises de l'industrie du ciment.⁸⁵

contenu plus lourd du bitume dans le réservoir, ce qui réduit le besoin en diluant dans les oléoducs. Le fait de ne pas avoir à stocker ce contenu plus lourd, pour lequel il existe moins de débouchés, réduit également les coûts d'exploitation et les émissions de GES.

Dans l'industrie minière, la ventilation à la demande est une solution qui réduit l'énergie consommée pour ventiler les mines souterraines de métaux. Par exemple, une mine de nickel de taille moyenne à 10 niveaux et à matériel diesel émet environ 10 000 tonnes de CO₂ par année. L'économie en coûts énergétiques estimée que permet l'adoption d'une ventilation à la demande peut atteindre 50 %, selon la taille de la mine.

4.3.5 Le captage et le stockage du carbone, l'adoption de carburants sans émissions et le recyclage peuvent aussi contribuer à réduire les émissions. Ces technologies ne cessent de s'améliorer.

Au delà du secteur de l'électricité, la technique de captage et de stockage du carbone (CSC) offre également un potentiel intéressant dans les secteurs du pétrole et du gaz, du fer et de l'acier, des pâtes et papiers, des produits chimiques et du ciment. La technique de CSC est actuellement utilisée pour capter les émissions provenant des réformeurs de méthane à vapeur. Le projet Quest de Shell, qui a été lancé en novembre 2015, capte et stocke chaque année 1 million de tonnes de CO₂ provenant des réformeurs de méthane à vapeur de l'usine de Scotford de Shell. Le projet Alberta Carbon Trunk Line (ACTL), qui est en cours d'élaboration, prévoit la construction d'un pipeline de 240 km qui servira au captage et à l'utilisation de CO₂ pour la récupération assistée des hydrocarbures dans les

⁸⁴ Ressources naturelles Canada, Usine pilote de démonstration de carburant à faible teneur en carbone.



installations du Centre industriel de l'Alberta. Les premières installations qui capteront et fourniront du CO₂ sont Agrium Inc. et la raffinerie Sturgeon. L'ACTL aura la capacité de stocker en permanence environ 14,6 millions de tonnes de CO₂ par année à partir de 2017.

Il existe encore des obstacles au déploiement de la technologie de CSC dans ces secteurs, comme l'absence de technologie de captage économique et d'une infrastructure reliant les sources de carbone aux structures de stockage. Surmonter ces obstacles exigera des investissements considérables, notamment la construction d'un réseau de pipeline. Dans le secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière, une technologie de captage du carbone efficace pour les chaudières et les installations de cogénération sur place pourrait être offerte dans un horizon de 10 à 15 ans. Toutefois, de nouvelles percées technologiques devront être réalisées pour rendre le CSC économiquement viable. Grâce aux connaissances et aux évolutions technologiques émanant de projets en cours, le coût des systèmes de CSC pourrait diminuer à l'avenir et les systèmes pourraient devenir applicables à d'autres secteurs.

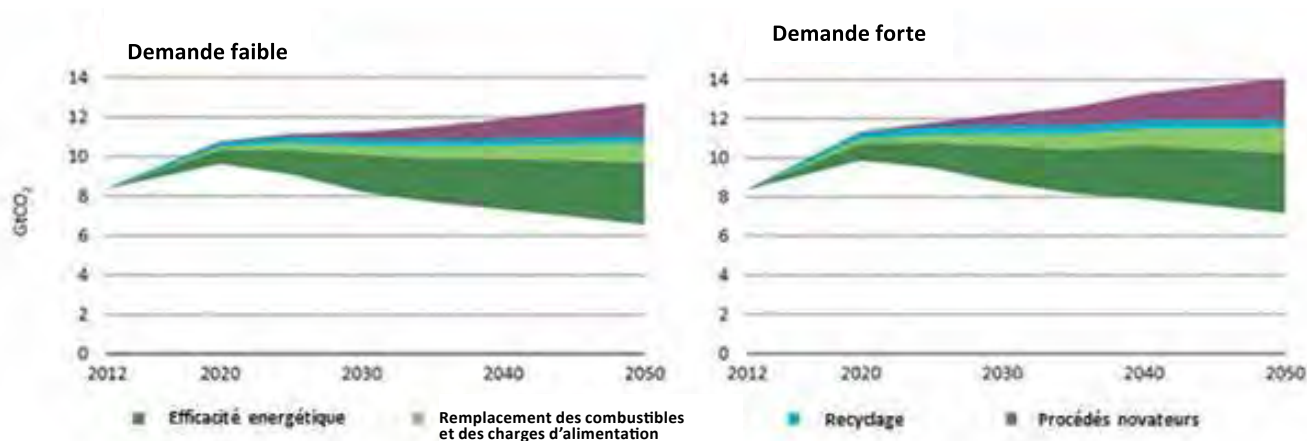
Des options de remplacement de combustible sont également possibles dans divers secteurs industriels. Comme il a été mentionné précédemment, le secteur du pétrole et du gaz peut utiliser des solvants au lieu du gaz naturel pour les opérations de drainage par gravité au moyen de vapeur, même si cette option demeure relativement coûteuse pour l'instant.

L'utilisation de l'électricité au lieu des carburants fossiles est aussi une possibilité. Enfin, un grand nombre de secteurs peuvent utiliser la biomasse des déchets pour remplacer des énergies à forte intensité carbonique, comme le secteur du pétrole et du gaz et le secteur du ciment.

Le recyclage des matériaux dans bon nombre de secteurs industriels est une autre solution pour réduire les émissions de GES, car il limite les besoins en énergie, en matériaux bruts et en sites d'enfouissement. Par exemple, dans le secteur des pâtes et papiers, le papier récupéré peut être recyclé au moyen d'un procédé chimique au lieu de la production de papier à partir de nouvelles matières premières. Dans le secteur chimique et pétrochimique, la réutilisation de plastique recyclé en lieu et place de la fabrication de nouveaux produits à base de polymères est un autre exemple de recyclage. Les déchets de plastique qu'il est impossible de recycler peuvent être utilisés comme apport énergétique. Dans le secteur du fer et de l'acier, ils peuvent être brûlés en remplacement du charbon ou du coke, ou en tant que matières premières dans d'autres secteurs. L'utilisation de rebuts métalliques recyclés pour produire du fer et de l'acier pourrait aussi entraîner des réductions des émissions, étant donné que produire du fer et de l'acier à partir du minerai de fer exige plus d'énergie que de les produire à partir de rebuts⁸⁵.

⁸⁵ Agence internationale de l'énergie, *Energy Technology Transitions for Industry*.

Figure 11 : Potentiel mondial de réduction des grands émetteurs industriels de GES à l'aide des technologies actuelles



Source : International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives 2015*

La figure 11 illustre le potentiel de réduction des émissions de GES dans le monde estimé par l'AIE à partir de quatre technologies de réduction des émissions et selon les scénarios de faible demande et de forte demande de l'Agence. Selon l'AIE, l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'adoption de combustibles à faible teneur en carbone, le recours accru au recyclage et à de nouveaux procédés novateurs, comme le CSC, sont autant de conditions nécessaires pour réussir la décarbonisation des plus grands émetteurs industriels de GES.

4.3.6 Malgré tout, il reste des défis à surmonter pour réduire les émissions dans certains secteurs, défis qui exigeront des innovations et des activités de recherche et de développement.

Les secteurs industriels qui rejettent de grandes quantités d'émissions font souvent face à des obstacles pour réduire leurs émissions de GES, bon nombre de leurs sources d'émissions étant difficiles à contrer à l'aide de mesures d'électrification, d'efficacité énergétique ou de remplacement de combustible présentant un rapport coût efficacité favorable. Ces obstacles sont d'autant plus complexes qu'un grand nombre d'industries ont également soumis à la pression de la concurrence en raison de leur exposition aux marchés internationaux et de leurs faibles marges bénéficiaires. Le pouvoir de négociation des fournisseurs et des acheteurs, la menace des substituts et des nouveaux joueurs et le degré de rivalité entre concurrents sont autant de facteurs qui déterminent la compétitivité des industries sur le marché mondial. De nombreuses sociétés doivent s'aligner sur les prix mondiaux

pour leurs produits; autrement dit, elles doivent maîtriser leurs coûts de production pour demeurer concurrentielles.

Les sociétés pétrolières canadiennes sont actives sur le marché mondial, et elles doivent essentiellement proposer des prix attrayants, ce qui les amène à chercher des moyens de réduire leurs coûts de production et de transport pour se comparer avantageusement à la concurrence. De plus, elles pourront avoir à surmonter d'autres défis liés à la baisse de la demande mondiale pour leurs produits, à l'heure où les gouvernements prennent des mesures pour réduire les émissions de GES. Actuellement, les producteurs canadiens de gaz naturel sont uniquement présents sur le marché continental. À l'avenir, l'entrée en service d'usines de liquéfaction du gaz naturel devrait entraîner une intégration croissante du marché mondial de ce combustible.

L'innovation dans ces secteurs est susceptible d'apporter des avantages substantiels aux sociétés qui peuvent prendre l'initiative d'améliorer leurs procédés et leur technologie pour réduire leurs émissions. Il faudra obtenir du financement des secteurs public et privé pour poursuivre la recherche et le développement visant à promouvoir l'innovation technologique dans de nombreux domaines stratégiques liés aux émissions industrielles. Ces domaines englobent les technologies de CSC dans le but de réduire les coûts et d'accroître l'efficacité, les améliorations de l'efficacité énergétique des industries, le passage des carburants à la bioénergie et la conversion de la biomasse en bioproduits

et en bioénergie, les technologies visant à réduire les émissions des procédés et le renforcement des capacités de recyclage.

5 Émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone

MESSAGES CLÉS :

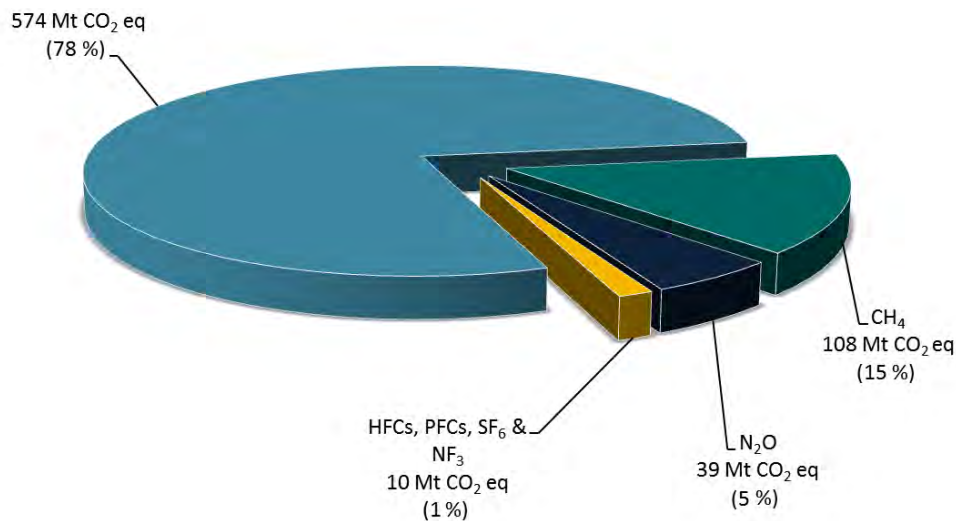
- Les émissions autres que le dioxyde de carbone qui contribuent au réchauffement climatique englobent les polluants climatiques de courte durée (PCCD) et l'oxyde nitreux, un GES de longue durée. Les émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone ont un effet de réchauffement par tonne beaucoup plus important que le dioxyde de carbone.
- La seule façon qui nous permettra de respecter les objectifs de température de 1,5 à 2 °C établis dans l'Accord de Paris est de prendre rapidement des mesures mondiales sur les émissions de dioxyde de carbone et les émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone de courte durée.
- La réduction des polluants climatiques de courte durée a des avantages considérables autres que ceux qui sont reliés au climat, comme l'amélioration de la qualité de l'air, de la santé humaine et des résultats concernant l'environnement et les écosystèmes.
- Les technologies et l'expertise actuelles ont le potentiel de réduire considérablement les émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone, contribuant souvent à ralentir le réchauffement à court terme.

5.1 Les émissions autres que le dioxyde de carbone qui contribuent au réchauffement climatique englobent les polluants climatiques de courte durée (PCCD) et l'oxyde nitreux, un GES de longue durée. Les émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone ont un effet de réchauffement par tonne beaucoup plus important que le dioxyde de carbone.

Les polluants climatiques de courte durée (PCCD) sont des gaz à effet de serre (GES) et des polluants atmosphériques puissants. Ils ont une durée de vie relativement courte dans l'atmosphère comparativement aux GES de plus longue durée comme le dioxyde de carbone (CO₂) et ont un effet de réchauffement sur le climat. Les PCCD englobent le méthane, les hydrofluorocarbures (HFC), l'ozone troposphérique, ainsi que le carbone noir, une composante des matières particulaires. Le carbone noir est également un polluant atmosphérique, résultant de la combustion incomplète de combustibles fossiles et de biomasse. L'ozone troposphérique est également un important polluant atmosphérique qui contribue au smog et qui a des répercussions graves sur la santé humaine et les écosystèmes. L'oxyde nitreux est un GES de longue durée.

La figure 12 ci après illustre les émissions de gaz à effet de serre au Canada en termes d'équivalent de CO₂ ainsi que les émissions de gaz autres que le CO₂, lesquelles représentent environ 21 % de l'ensemble des émissions. Le méthane et l'oxyde nitreux sont les deux principaux GES autres que le CO₂ et résultent surtout des activités liées aux combustibles fossiles, à l'élevage du bétail et aux procédés industriels. Bien que les

Figure 12 : Ventilation des émissions du Canada par GES (2014)



Source : Rapport d'inventaire national 1990-2014 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada – Sommaire, Environnement et Changement climatique Canada, 2016.

émissions de HFC ne contribuent pas actuellement de manière importante au total des émissions de GES du Canada, en l'absence de la récente modification du Protocole de Montréal visant une élimination progressive, on s'attendait à ce qu'elles fassent plus que tripler entre 2013 et 2030.

Les émissions de méthane, qui constituent 15 % du total des émissions de GES du Canada⁸⁶, contribuent considérablement aux effets sur le climat. De plus, le méthane contribue à la formation de l'ozone troposphérique. Le secteur pétrolier et gazier était responsable de 44 % des émissions de méthane au Canada en 2014, provenant principalement de sources fugitives du pétrole et du gaz naturel, incluant les sources d'évacuation. Le reste des émissions de méthane au Canada proviennent majoritairement de l'agriculture et de l'élimination de déchets solides.

Les émissions d'oxyde nitreux constituent 5 % du total des émissions de GES du Canada. La combustion de combustibles fossiles entraîne l'oxydation de l'azote contenu dans les combustibles et l'apport d'air crée des émissions d'oxyde nitreux. Ces émissions proviennent principalement d'usines alimentées au charbon, de même que des voitures et des camions. Les procédés industriels, particulièrement ceux qui comprennent la production d'acide nitrique et d'acide adipique produisent également des

émissions d'oxyde nitreux causées par l'oxydation des composés d'azote. Plus de 70 % des émissions d'oxyde nitreux au Canada proviennent du secteur agricole, principalement des cultures et de l'élevage d'animaux. En ce qui concerne la production agricole, les émissions d'oxyde nitreux proviennent surtout de l'utilisation d'engrais synthétiques; l'ajout d'azote dans le sol aide les plantes à absorber les nutriments et permet aux bactéries dans le sol de produire un surplus d'énergie favorisant la croissance. Les processus microbiens intervenant dans ces activités produisent des rejets d'émissions d'oxyde nitreux.

Les HFC sont des produits chimiques synthétisés utilisés à titre de produits de remplacement des substances appauvrissant la couche d'ozone. À l'échelle internationale, les observations atmosphériques indiquent que le volume de HFC dans l'atmosphère augmente rapidement, soit d'environ 10 à 15 % par année. Afin d'aborder les préoccupations concernant une augmentation prévue des émissions de HFC d'au moins 10 % du total des émissions équivalentes de CO₂ d'ici 2050, le 15 octobre 2016, les 197 parties au Protocole de Montréal ont approuvé une modification visant à éliminer progressivement l'utilisation et la production de HFC. La « modification de Kigali » pourrait aider à éviter un réchauffement climatique de près de 0,5 °C d'ici la fin du siècle. Le Canada a appuyé fortement la modification concernant les HFC et continuera de jouer un rôle de leadership dans la mise en œuvre du Protocole de Montréal, y compris

⁸⁶ Les estimations de GES indiquant 108 Mt de méthane (15 % du total des émissions de GES du Canada) tiennent compte d'un potentiel de réchauffement planétaire de 25, conformément au quatrième rapport d'évaluation du GIEC.

la modification concernant les HFC, notamment en tenant la 29e Réunion des Parties en 2017, qui marquera le 30e anniversaire du Protocole de Montréal.

La puissance des HFC diffère selon la catégorie et varie de <1 à 10 800 fois la puissance du CO₂ sur une période de 20 ans, et varie de <1 à 12 400 fois la puissance du CO₂ sur une période de 100 ans⁸⁷. Les HFC sont utilisés dans les mêmes applications où les substances appauvrissant la couche d'ozone étaient utilisées. Au Canada, les HFC utilisés sont principalement confinés aux secteurs suivants : les produits de mousse isolante (50 %), les appareils de réfrigération et de climatisation dans les bâtiments et les installations industrielles (30 %), les systèmes de climatisation des véhicules (13 %) et les aérosols (7 %). Étant donné que les HFC sont utilisés en remplacement des substances appauvrissant la couche d'ozone, leur quantité est en progression à mesure que sont éliminés les hydrochlorofluorocarbones (HCFC). De plus, en l'absence de la récente modification au Protocole de Montréal concernant l'élimination progressive, on pourrait s'attendre à ce que les émissions des HFC augmentent en raison de la demande croissante pour les appareils de réfrigération et de climatisation dans tous les secteurs de l'économie.

Selon l'inventaire des émissions de carbone noir du Canada, 43 kt de carbone noir ont été émises en 2014. Il est estimé que les émissions de carbone noir arrivent au troisième rang des émissions qui contribuent le plus au réchauffement actuel, après le CO₂ et le méthane. Le carbone noir influe sur le climat de multiples façons : en chauffant l'air environnant directement lorsqu'il est en suspension dans l'atmosphère; en réduisant la réflectivité de la surface de la Terre lorsqu'il se dépose, un effet particulièrement intense lorsqu'il recouvre la neige et la glace, et il produit des effets indirects liés à une interaction avec les nuages. Il est estimé que le pouvoir de réchauffement du carbone noir est 3 200 fois (270 à 6 200) plus puissant que celui du CO₂ sur une période de 20 ans⁸⁸. Réduire les incertitudes portant sur la quantification des effets du réchauffement mondial constitue un

domaine actif de recherche scientifique à l'échelle internationale. Le carbone noir a également des répercussions importantes sur la santé humaine, notamment sur les systèmes respiratoire et cardiovasculaire, et il peut causer des décès prématurés. Le secteur des transports représente 62 % des émissions de carbone noir du Canada, suivi du chauffage résidentiel au bois, qui représente environ 27 % des émissions nationales.

L'ozone n'est pas directement émis, mais il se forme dans l'atmosphère comme un produit de précurseurs qui comprennent les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatils (COV) – y compris le méthane – et le monoxyde de carbone (CO). L'ozone troposphérique est un puissant GES, qui contribue considérablement au réchauffement actuel et qui constitue un composant clé du smog. Il a des effets nocifs sur la santé humaine et sur la végétation et nuit à la production de cultures agricoles. Au Canada, les secteurs des transports, du pétrole et du gaz sont des sources importantes de ces précurseurs d'ozone. La combustion résidentielle du bois est aussi une source importante d'émissions de CO.

5.2 La seule façon qui nous permettra de respecter les objectifs de température de 1,5 à 2 °C établis dans l'Accord de Paris est de prendre rapidement des mesures mondiales sur les émissions de dioxyde de carbone et les émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone.

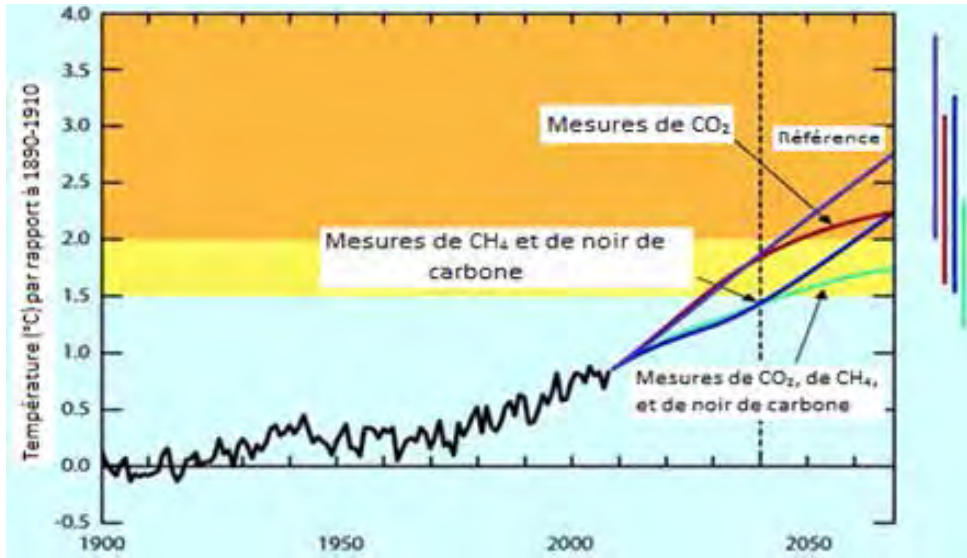
Des études scientifiques récentes indiquent que la seule façon qui nous permettra d'honorer les engagements pris dans le cadre de l'Accord de Paris est de prendre rapidement des mesures mondiales sur les émissions de CO₂ et des PCCD en même temps. L'Évaluation intégrée sur le carbone noir et l'ozone troposphérique du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a permis de conclure que réduire la quantité de carbone noir et d'ozone troposphérique maintenant contribuera à ralentir la vitesse des changements climatiques pendant la première moitié du siècle actuel.

L'évaluation du PNUE indique que des réductions importantes et immédiates de CO₂ sont requises afin de limiter le réchauffement à long terme, et ceci ne peut être réalisé en agissant seulement sur les agents de forçage du climat de courte durée. Cependant, l'évaluation indique également que la mise en œuvre de mesures sur le carbone noir et le méthane à l'échelle mondiale d'ici 2030 pourrait abaisser le réchauffement mondial futur de 0,5 °C d'ici 2050 et de 0,7 °C en Arctique d'ici 2040, ainsi qu'une prise

87 Myrhe et al., *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*.

88 GWP₁₀₀ from Bond et al. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. L'utilisation du potentiel de réchauffement de la planète (PRP) ici sert à communiquer la contribution potentielle de l'atténuation du carbone noir en vue de réduire le réchauffement à court terme. Étant donné que le carbone noir et le CO₂ influent sur le climat de façon très différente et qu'ils ont une durée de vie largement différente dans l'atmosphère, il n'existe pas encore de consensus scientifique sur un type de mesure à adopter pour quantifier le carbone noir par rapport au CO₂. D'autres recherches sont requises afin de réduire les incertitudes et de concevoir des outils de mesure plus appropriés.

Figure 13 : Projections de la température mondiale par rapport aux moyennes des années 1890 à 1910



Source : Évaluation intégrée sur le carbone noir et l'ozone troposphérique du PNUE, Résumé destiné aux décideurs

Remarque : Les barres à droite indiquent l'estimation des variations pour 2070.

de mesures hâtives concernant le CO_2 , constituent la seule façon de limiter la hausse de température moyenne à l'échelle mondiale bien en deçà de 2°C (figure 13).

Les avantages climatiques prévus d'une telle approche sont particulièrement pertinents pour le Canada en tant que nation arctique. Au Canada, la région de l'Arctique s'est réchauffée de $2,2^\circ\text{C}$ entre 1948 et 2013, entraînant des répercussions considérables pour les populations locales et les écosystèmes fragiles. Le carbone noir revêt une importance particulière dans l'Arctique, en raison du réchauffement supplémentaire qu'il occasionne lorsqu'il se dépose sur la neige ou la glace et accélère la fonte.

5.3 La réduction des polluants climatiques de courte durée a des avantages autres que ceux qui sont reliés au climat, comme l'amélioration de la qualité de l'air et de la santé humaine et des écosystèmes.

Étant donné que les PCCD sont également des polluants atmosphériques, la réduction des émissions permet par la même occasion d'améliorer la qualité de l'air, ce qui se traduit par des bienfaits locaux pour la santé des

Canadiens et l'atténuation des effets négatifs sur les écosystèmes et la production agricole.

L'ozone troposphérique, un GES puissant, a plusieurs autres effets néfastes sur l'environnement. En tant que composante clé du smog, l'ozone a d'importantes répercussions sur la santé humaine en causant des problèmes respiratoires et cardiaques. Ces problèmes de santé entraînent des pertes considérables pour l'économie du Canada en raison des visites à l'hôpital et de la baisse de productivité.

L'ozone troposphérique influe également sur le rendement des cultures en interférant avec la capacité de certains végétaux sensibles à produire et à conserver des aliments, ce qui, par conséquent, augmente leur vulnérabilité face à certaines maladies, à certains insectes, aux conditions météorologiques difficiles et à d'autres polluants. De tels effets négatifs peuvent se traduire par une réduction du rendement des cultures et par conséquent, une baisse de revenus pour les producteurs agricoles. De plus, l'ozone troposphérique peut augmenter le risque de maladie ou de décès prématuré au sein de populations fauniques sensibles ou de troupeaux d'élevage, exigeant potentiellement des traitements très coûteux ou entraînant des pertes économiques

pour l'industrie agroalimentaire. Ainsi, la réduction des émissions de précurseurs à l'ozone, notamment le méthane, les VOC, le CO et le NO_x, permet de réduire les taux de mortalité et de morbidité dans la population canadienne, améliorant par conséquent la qualité de vie et la productivité économique.

Une exposition à court terme et à long terme aux matières particulaires comme les PM_{2,5}, dont certaines sont constituées de carbone noir, est également associée à une large gamme de problèmes de santé humaine, dont les maladies respiratoires et cardiovasculaires, de même qu'à des décès prématurés. Lors de son évaluation des effets du carbone noir sur la santé en 2012, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a noté que le carbone noir est un « transporteur » d'autres polluants, les faisant pénétrer profondément dans le système respiratoire; le rapport mentionne également que la réduction d'une exposition à des particules de type PM_{2,5} contenant du carbone noir devrait entraîner une réduction des problèmes de santé associés aux PM_{2,5}.

5.4 Les technologies et l'expertise actuelles ont le potentiel de réduire considérablement les émissions de gaz autres que le dioxyde de carbone, contribuant souvent à ralentir le réchauffement à court terme.

De nombreuses solutions existent pour réduire le nombre de sources importantes d'émissions de gaz autres que le CO₂. Généralement, les mesures qui aident à promouvoir la transition vers des sources d'énergie plus propres contribuent à réduire à la fois les émissions de CO₂ et les émissions des PCCD à long terme, en réduisant l'utilisation de combustibles fossiles. Toutefois, le ralentissement du rythme de réchauffement à court terme nécessite des stratégies de réduction des émissions de PCCD plus ciblées, car bon nombre d'entre eux émanent d'un grand nombre de petites sources. Le Canada a récemment pris des engagements importants en vue de faire progresser la réalisation des priorités relatives à l'atténuation des PCCD avec ses partenaires continentaux, dans le cadre de la Déclaration des leaders sur le partenariat nord américain en matière de climat, d'énergie propre et d'environnement (la DLNA), notamment l'engagement visant à élaborer et à mettre en œuvre une stratégie nationale pour le méthane, qui portera sur la façon d'aborder le méthane des sources principales.

La majorité des émissions de méthane du secteur du pétrole et du gaz sont des émissions fugitives et d'évacuation. Elles proviennent notamment de l'évacuation des puits et des piles, des fuites fugitives provenant de l'équipement, des réservoirs de stockage, des appareils pneumatiques, de l'achèvement des puits et des compresseurs. Des technologies rentables sont déjà disponibles, et la lutte contre les émissions de méthane du secteur du pétrole et du gaz est l'une des possibilités de réduction à plus faibles coûts qui permettrait de réduire considérablement les GES. Le Canada s'est engagé à réduire les émissions de méthane du secteur du pétrole et du gaz de 40 à 45 % sous les niveaux de 2012 d'ici 2025. Afin de respecter cet engagement, le Canada prévoit publier le règlement proposé pour réduire les émissions fugitives et d'évacuation de méthane provenant de sources pétrolières et gazières au début de 2017. Le Canada a également approuvé l'initiative « Zero Routine Flaring by 2030 » de la Banque mondiale, qui favorisera la réduction des émissions de carbone noir provenant du torchage habituel aux installations de production pétrolière. Le Canada consulte les provinces, les territoires, l'industrie, les organisations non gouvernementales et les peuples autochtones au sujet de l'élaboration d'une approche réglementaire fédérale.

La quantification précise des émissions des gaz autres que le CO₂ est difficile, particulièrement les émissions fugitives. Ceci peut s'expliquer par le fait que, souvent, les fuites de méthane sont détectées et réparées quelque temps après qu'elles aient commencé. Une autre source d'incertitude porte sur les émissions fugitives provenant du processus de fracturation hydraulique utilisé pour l'extraction du gaz de schiste, une source de gaz naturel en progression au Canada. Il en résulte que les techniques d'inventaire actuelles sous-estiment probablement la quantité d'émissions fugitives. Afin de se pencher sur cette question, de nombreuses initiatives scientifiques ont été amorcées pour évaluer plus précisément les sources, dont la recherche et le développement visant à évaluer les émissions, comme les campagnes de mesures atmosphériques et les nouvelles technologies de mesure, notamment l'imagerie infrarouge⁸⁹. L'utilisation d'estimations ascendantes et descendantes favorisera une meilleure compréhension du méthane provenant de sources pétrolières et gazières. Le Canada s'est engagé à travailler avec ses partenaires

⁸⁹ Glancy, R., *Quantifying Fugitive Emission Factors from Unconventional Natural Gas Production Using IPCC Methodologies*.

continentaux afin d'accroître l'efficacité des inventaires des émissions de méthane du secteur du pétrole et du gaz.

Dans leur déclaration conjointe du 10 mars 2016, le Canada et les États Unis reconnaissent l'importance d'améliorer la quantification des émissions. Le Canada s'est engagé à collaborer avec ses partenaires continentaux à l'amélioration des inventaires des émissions de méthane du secteur du pétrole et du gaz.

Dans le secteur des déchets, les technologies permettant la récupération et l'utilisation des gaz des sites d'enfouissement sont déjà bien établies et offertes aux sites d'enfouissement nouveaux et existants. Selon l'âge du site d'enfouissement et l'accès aux infrastructures, la récupération et l'utilisation des gaz des sites d'enfouissement peuvent également être très rentables. En vertu de la DLNA, le Canada s'est engagé à prendre des mesures en vue de réduire les émissions des sites d'enfouissement et à mettre en œuvre des mesures volontaires pour réduire et récupérer les déchets alimentaires.

La réussite des technologies permettant de réduire les émissions de carbone noir du secteur des transports a également été démontrée. Le règlement du Canada sur les carburants à faible teneur en soufre permet l'utilisation et l'exploitation efficaces du véhicule et des systèmes d'épuration des gaz d'échappement du moteur, comme les filtres à particules diesel, qui peuvent pratiquement éliminer les émissions de carbone noir. Les règlements sur les polluants atmosphériques du secteur des transports applicables aux véhicules routiers et non routiers et aux moteurs hors route contribuent à la réduction des émissions de carbone noir de ce secteur.

Réduire davantage les émissions de carbone noir provenant des plus grandes sources d'émissions au Canada, soit les véhicules et moteurs diesel et les appareils résidentiels de chauffage au bois, exigera la mise en place de mesures ciblées pour contourner les obstacles liés à la durée de vie des véhicules, des moteurs et des appareils; il sera également nécessaire de convaincre les consommateurs en possession de ces sources d'émissions de procéder à des conversions ou de les remplacer par des technologies plus propres.

Les mesures entourant les précurseurs d'ozone font souvent partie de politiques axées sur la qualité de l'air et résultent principalement de préoccupations pour la santé humaine. Les mesures prises pour

réduire les précurseurs d'ozone dans le secteur des transports contribuent également à réduire les émissions de carbone noir, constituant un avantage connexe. Les précurseurs d'ozone de sources industrielles devraient également être réduits.

L'adaptation des concentrations d'engrais aux besoins des végétaux, le dépôt d'engrais près des racines des plantes, l'application de l'engrais plus souvent plutôt qu'en une seule fois et l'emploi des types d'engrais à libération lente peuvent limiter l'azote dans les sols et réduire les émissions d'oxyde nitreux. De la même manière, une utilisation plus efficace du fumier peut également réduire les émissions d'oxyde nitreux. D'autres pratiques telles qu'employer davantage de légumineuses comme sources d'azote, avoir recours aux cultures de couverture afin d'éliminer le surplus d'azote disponible, diminuer l'utilisation de la jachère d'été et modeler l'intensité du travail du sol peuvent également contribuer à réduire les émissions dans le secteur agricole⁹⁰. Ces options peuvent apporter des avantages connexes tels que la réduction des coûts de production (car moins d'engrais est utilisé), l'économie réalisée sur les combustibles fossiles requis pour produire les fertilisants, et la réduction de la pollution produite par les nitrates, l'ammoniac et d'autres composés azotés rejetés dans l'environnement.

Dans le secteur industriel, les usines d'acide adipique peuvent utiliser des technologies éprouvées et vendues dans le commerce, qui utilisent des techniques de destruction thermique et catalytique, dont l'efficacité de réduction d'émissions se situe entre 90 et 99 %. Dans les usines d'acide nitrique, l'utilisation de la technologie de réduction catalytique non sélective ou sélective peut réduire les émissions d'oxyde nitreux jusqu'à 90 %⁹¹.

Plusieurs entreprises canadiennes et utilisateurs finals ont conçu et mis en œuvre des technologies novatrices afin d'assurer la transition à partir des technologies actuelles relatives aux HFC, et ils ont l'occasion de jouer un rôle de premier plan dans la transition vers des technologies qui n'utilisent pas de HFC. Par exemple, certains supermarchés canadiens convertissent leurs systèmes de réfrigération pour se tourner vers des appareils à faible potentiel de réchauffement planétaire, qui sont écoénergétiques et permettent des économies substantielles. Sobeys,

90 Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) Oxyde nitreux.

91 Agence internationale de l'énergie. *Abatement of other Greenhouse Gases – Nitrous Oxide* (La réduction des autres gaz à effet de serre – l'oxyde nitreux).

par exemple, a converti plus de 70 magasins en utilisant des technologies novatrices locales qui ne nuisent pas à l'environnement, et prévoit étendre cette conversion à ses 1 300 autres magasins répartis au pays. Pendant ce temps, de grands fabricants automobiles au Canada ont commencé à produire de nouveaux modèles de voitures, munies d'un système de climatisation fonctionnant avec une technologie sans danger pour l'environnement, au lieu des HFC. Ces mesures contribuent également à augmenter l'efficacité énergétique. Dans le cas de certaines applications, par exemple, remplacer les HFC par des agents frigorigènes et des technologies

qui ne nuisent pas à l'environnement peut améliorer l'efficacité énergétique jusqu'à 50 %. D'ici la fin de 2016, le gouvernement du Canada prévoit publier les mesures réglementaires proposées pour éliminer graduellement les HFC au Canada, notamment des interdictions concernant la fabrication et l'importation de produits et d'équipement contenant, ou conçus pour contenir, des HFC.



6 Forêts



MESSAGES CLÉS :

- L'Accord de Paris met en évidence le rôle essentiel que les forêts jouent dans l'atteinte de l'objectif de zéro émission dans la seconde moitié de ce siècle. Avec son vaste territoire forestier aménagé, le Canada a un potentiel non négligeable en matière d'atténuation des GES à long terme liée aux forêts.
- Les choix des stratégies d'atténuation seront influencés par la lenteur de la croissance de la nature et le taux élevé de perturbations naturelles dans les forêts du Canada.
- Les mesures d'atténuation liées aux forêts peuvent impliquer de réduire ou d'éviter les émissions, ou d'améliorer la séquestration du carbone. Le potentiel devient encore plus évident lorsque les incidences sont évaluées en fonction d'un cycle de vie.
- Une réduction substantielle des émissions et une augmentation des absorptions d'ici 2050 sont possibles grâce à des mesures, telles que des changements dans la gestion des forêts, une plus grande utilisation par les ménages des produits dérivés du bois de longue durée de vie, une plus grande utilisation de la bioénergie provenant des déchets du bois et le reboisement.
- Plusieurs occasions émergentes où le secteur forestier pourrait contribuer aux résultats d'atténuation méritent qu'on s'y attarde.

6.1 L'Accord de Paris met en évidence le rôle essentiel que les forêts jouent dans l'atteinte de l'objectif de zéro émission dans la seconde moitié de ce siècle. Avec son vaste territoire forestier, le Canada a un potentiel non négligeable en matière d'atténuation des GES à long terme.

Les forêts jouent un rôle important dans le cycle du carbone en séquestrant une quantité importante de carbone, réduisant ainsi les émissions nettes de CO₂ dans l'atmosphère. Il est estimé qu'à l'échelle mondiale les forêts compensent l'équivalent d'environ 24 % des émissions anthropiques de l'atmosphère⁹². Comme cela est indiqué dans l'Accord de Paris, il faut en arriver à un équilibre entre les émissions et les absorptions des gaz à effet de serre dans la seconde moitié du siècle si l'on veut que le réchauffement climatique se limite bien en dessous de deux degrés Celsius⁹³. Il importe donc de reconnaître que, sans mesures de protection, de conservation et de gestion durable des forêts à l'échelle mondiale, il ne sera pas possible d'atteindre l'objectif fixé.

Compte tenu de l'importance de la taille et des incidences économiques de ses forêts, le Canada a la responsabilité d'examiner soigneusement le potentiel d'atténuation de son secteur forestier. Le Canada possède la troisième plus grande superficie de forêts au monde, avec 347,6 millions d'hectares⁹⁴, et l'industrie forestière canadienne contribue de manière significative à l'économie en tant qu'employeur majeur au pays, avec un

⁹² Smyth et al. *Quantifying the biophysical climate change mitigation potential of Canada's forest sector*.

⁹³ Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, *Accord de Paris*, article 4.

⁹⁴ Inventaire forestier national du Canada : Sommaires statistiques sur le Canada : Superficie de terres forestières (https://nfi.nfis.org/resources/general/summaries/fr/pdf/CA3_T4_FOR_AREA_fr.pdf)



PIB nominal de 22,1 milliards de dollars en 2015⁹⁵. En valeur, le Canada est le premier exportateur mondial de bois d'œuvre résineux, de papier journal et de pâte de bois chimique⁹⁶. Les mesures d'atténuation prospectives du Canada liées aux forêts peuvent donc avoir d'importantes incidences.

Compte tenu de leurs relations traditionnelles avec les forêts, les peuples autochtones ont un important rôle à jouer dans la planification et la gestion des ressources forestières. En 2011, 70 % des collectivités autochtones étaient établies dans des zones forestières⁹⁷. Les peuples autochtones représentent 4,8 % de la main-d'œuvre forestière totale au Canada, comparativement à 3 % de la main-d'œuvre totale⁹⁸. La participation des peuples autochtones aux décisions sur l'utilisation du territoire et à l'aménagement durable des forêts sera un élément clé de l'apport à long terme des forêts du Canada à l'atténuation du changement climatique.

6.2 Les choix de stratégies d'atténuation seront influencés par la lenteur de la croissance la nature et le taux élevé de perturbations naturelles dans les forêts du Canada.

Une grande partie des forêts du Canada est composée de vieux arbres à croissance lente. Lors de la récolte, une grande partie de la biomasse se transforme en produits dérivés du bois, qui peuvent stocker le carbone pendant une longue période, selon le produit. Les résidus de récolte laissés dans la forêt se décomposent au fil du temps ou peuvent être brûlés afin de réduire les risques d'incendie. Toutes les forêts récoltées sur les terres publiques doivent être régénérées conformément aux politiques et à la législation sur la gestion durable des forêts⁹⁹, mais il faut du temps pour que les arbres poussent dans les conditions froides et nordiques du Canada. Des stratégies d'atténuation qui reposent sur la croissance des forêts pour séquestrer le carbone doivent donc être mises en œuvre rapidement afin que les mesures d'atténuation génèrent d'importants avantages d'ici 2050.

95 Les calculs de Ressources naturelles Canada sont fondés sur le tableau 379-0031 de CANSIM, de Statistique Canada.

96 Ressources naturelles Canada, *Participation des Autochtones dans le secteur forestier*.

97 Gouvernement du Canada, *Les peuples autochtones et la foresterie au Canada*.

98 Ressources naturelles Canada, *Participation des Autochtones dans le secteur forestier*.

99 Ibid, p. 26. Toutes les terres domaniales provinciales ouvertes à la coupe du bois doivent être régénérées par des moyens naturels ou artificiels (p. ex. plantations et semis), ou par une combinaison des deux. Les normes et les règlements pour la réalisation de la régénération réussie varient d'une province à l'autre.

Les facteurs décrits ci-dessus, ainsi que les facteurs liés aux perturbations naturelles, comme les feux de forêt et les repercussions des changements climatiques sur les forêts, influenceront sur l'élaboration de mesures d'atténuation liées aux forêts. La gestion durable des forêts permet déjà de concilier plusieurs objectifs; toutefois, elle doit désormais faire face, et de plus en plus, au double défi de l'atténuation et de l'adaptation. Cela montre bien l'importance d'élaborer une stratégie à long terme qui mettra à profit les mesures prévues à court et à moyen terme, et qui fera en sorte que l'atténuation forestière puisse contribuer sensiblement à l'objectif de réduction des émissions d'ici 2050.

6.3 L'atténuation forestière peut impliquer de réduire ou d'éviter les émissions, ou d'améliorer la séquestration du carbone. Le potentiel d'atténuation forestière devient encore plus évident lorsque les incidences sont évaluées en fonction d'un cycle de vie.

Comme indiqué dans le quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, il importe d'examiner tous les effets de l'atténuation dans l'ensemble du système des forêts et des produits forestiers en fonction de leur cycle de vie, en prenant compte les émissions et les absorptions dans la forêt, le stockage de carbone dans les produits ligneux récoltés (PLR) et les changements dans l'usage des terres, ainsi que les émissions évitées dans d'autres secteurs grâce au remplacement de produits et de combustibles fossiles à forte intensité d'émissions par des PLR ou la bioénergie¹⁰⁰.

L'évaluation des stratégies d'atténuation doit prendre en considération les facteurs biophysiques, techniques et économiques. Le potentiel d'atténuation biophysique établit les limites entourant ce qui est physiquement possible de réaliser dans la forêt, tandis que les coûts techniques et économiques déterminent ce qui peut être accompli¹⁰¹.

6.4 Les analyses montrent qu'une réduction substantielle des émissions et une augmentation des absorptions d'ici 2050 sont possibles grâce à des mesures telles que des changements dans la gestion des forêts, une plus grande utilisation par les ménages des produits dérivés du bois de longue durée de vie, une plus grande utilisation de la bioénergie provenant des déchets du bois et le reboisement.

Pour réaliser le potentiel d'atténuation des GES liés aux forêts, il faudra mettre l'accent sur les mesures qui contribuent à réduire les émissions et à augmenter le carbone stocké dans les arbres, les sols et les produits forestiers. En général, à court et à moyen terme, les options qui permettent d'éviter les émissions et de maintenir la forêt et les stocks de PLR peuvent générer les meilleurs résultats en matière d'atténuation. À long terme, une atténuation significative peut découler d'options qui permettent d'augmenter la récolte au fil du temps et de remplacer davantage de produits et de sources d'énergie à forte intensité d'émissions par la biomasse forestière. Cependant, pour obtenir une plus grande atténuation à long terme, des mesures doivent être prises à court terme, même si les avantages de l'atténuation ne seront pas immédiatement visibles. En outre, dans certains cas, les options qui offrent les meilleurs résultats à court terme ne peuvent pas toujours fournir la plus grande atténuation à long terme. Par conséquent, lors de l'évaluation des options d'atténuation liées aux forêts, il importe de prendre en compte la possibilité d'une contribution à long terme vers une économie faible en carbone, et non seulement la possibilité à court et moyen terme.

Des analyses indiquent que les mesures d'atténuation ayant le plus grand potentiel de réduction des émissions à moyen et à long terme d'ici la moitié du siècle au Canada comprennent notamment une approche intégrée de l'évolution des pratiques de gestion forestière, l'augmentation du boisement, l'utilisation accrue du bois récolté pour les produits de longue durée de vie, et une utilisation accrue des déchets de bois pour la bioénergie en remplacement des combustibles fossiles. Ces conclusions sont conformes à celles du quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, selon lesquelles la gestion forestière durable produisant des produits ligneux récoltés chaque année tout en

¹⁰⁰ Nabuurs et al. *Secteur forestier : Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.*

¹⁰¹ Smyth et al. *Quantifying the biophysical climate change mitigation potential of Canada's forest sector.*

maintenant ou en augmentant les stocks de carbone forestier, permettra de tirer de l'atténuation les plus grands avantages durables à long terme¹⁰².

6.4.1 *Changements dans les pratiques de gestion forestière*

Étant donné que près de 90 % des forêts au Canada appartiennent aux provinces et aux territoires¹⁰³, ces derniers devront déterminer les changements dans les pratiques de gestion forestière qui sont les plus pertinents pour leur région et les mettre en œuvre. Les mesures d'atténuation doivent être conciliées avec d'autres priorités en matière de gestion durable des forêts, mais pourraient comprendre une plus grande utilisation du bois résiduel et récolté, une réduction de la combustion des résidus de récolte dans les forêts, une augmentation de la plantation afin de réhabiliter les forêts après les perturbations naturelles, et une augmentation de l'intensité de plantation pour améliorer la croissance des forêts après la récolte.

Outre leur potentiel d'atténuation considérable à long terme, les changements apportés dans les pratiques de gestion forestière pourraient générer des avantages connexes, y compris une augmentation de l'emploi dans le secteur forestier, la réduction des émissions de carbone noir (là où il y a une réduction du brûlage de déchets forestiers) et une augmentation des efforts d'adaptation pour améliorer la résilience des forêts.

6.4.2 *Boisement*

La vision d'avenir pour le Canada pourrait inclure une zone forestière élargie; toutefois, cette vision devrait être réalisée sans influencer négativement sur la production alimentaire. Il y a toujours eu relativement peu de boisement au Canada¹⁰⁴, mais cela pourrait permettre une séquestration substantielle de carbone à long terme. Différents niveaux de boisement, en utilisant des mélanges d'espèces à croissance rapide et d'espèces à croissance plus lente, pourraient être utilisés. En raison du temps nécessaire à la pousse des arbres au Canada, il faudra du temps avant que les activités de boisement commencent à démontrer des réductions substantielles de carbone.

Les investissements dans le boisement pourraient générer des avantages connexes, tels que la diversification des économies rurales, une fragmentation réduite des forêts, un habitat forestier amélioré pour la faune, des sols d'une meilleure qualité et la protection des bassins versants. Les plantations d'arbres génèrent des revenus à long terme grâce à la récolte et à la repousse des arbres, ce qui incite les propriétaires fonciers à assurer une gestion à long terme. Les défis liés au boisement à grande échelle sont les suivants : la nécessité d'assurer un approvisionnement suffisant de semis d'arbres et de susciter l'intérêt d'un nombre suffisant de propriétaires fonciers, ainsi que les préoccupations au sujet de la résilience de certaines espèces d'arbres aux changements climatiques et aux perturbations naturelles.

6.4.3 *L'utilisation accrue des produits du bois résiduel et récolté pour les produits de longue durée de vie*

La recherche sur le cycle de vie démontre que l'utilisation accrue de produits du bois fabriqués de manière durable pourrait faire en sorte que des émissions de GES soient évitées dans d'autres secteurs. En particulier, le remplacement de matériaux à forte intensité d'émissions (comme le béton et l'acier) par des matériaux à base de bois pour la construction, ainsi que des combustibles fossiles dans les applications de chauffage et d'énergie, fournit quelques-unes des grandes possibilités d'atténuation. Le Canada peut investir davantage dans des projets et des activités qui augmentent l'utilisation des PLR dans la construction, tels que les bâtiments résidentiels de grande taille et de taille moyenne, les bâtiments commerciaux et industriels, et les ponts.

L'élargissement des utilisations finales du bois pourrait aussi contribuer à accroître la compétitivité du secteur forestier canadien en diversifiant les débouchés sur le marché et en aidant à maintenir ou à créer des emplois. Bien que les technologies visant à mettre en œuvre cette option aient déjà fait leurs preuves, aient été commercialisées et aient été largement utilisées dans d'autres pays, le Canada devra analyser son Code national du bâtiment pour s'assurer qu'il favorise l'utilisation de produits du bois dans la conception des bâtiments.

102 Nabuurs et al. *Secteur forestier : Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*.

103 Ressources naturelles Canada, *L'État des forêts au Canada 2015*, p. 50.

104 Ressources naturelles Canada, *L'État des forêts au Canada 2015*, p. 23.

6.4.4 *Utilisation accrue des produits ligneux récoltés pour la bioénergie, les biomatériaux de pointe et les produits biochimiques*

Il y a des avantages potentiels d'atténuation dans l'adoption de la biomasse provenant des déchets du bois comme source de carburant pour l'électricité ou le chauffage commercial, résidentiel et industriel plutôt que l'usage de combustibles fossiles ou en tant que matière première dans la fabrication de produits biochimiques et de biomatériaux de pointe. Les avantages de l'atténuation découlent de l'utilisation du bois de source locale durable pour la bioénergie, tout en accordant une priorité aux résidus des récoltes et aux déchets de bois, qui produisent de plus faibles émissions durant leur cycle de vie comparativement à l'utilisation de combustibles fossiles¹⁰⁵. Les collectivités éloignées où l'électricité locale est produite à partir de combustibles fossiles (p. ex., le diesel) qui ont été transportés sur de longues distances pourraient tirer des avantages positifs de l'atténuation découlant de la récolte liée à la bioénergie.

Les avantages connexes de l'utilisation des biocarburants comprennent la diversification des occasions de marché, ce qui entraîne une plus grande croissance du secteur forestier canadien et son meilleur positionnement concurrentiel. De plus, l'utilisation des biocarburants comporte des avantages directs et indirects pour les collectivités rurales axées sur l'exploitation forestière, dont l'autonomie énergétique, les investissements régionaux et les occasions d'emploi. La technologie pour soutenir cette option comprend des systèmes modernes de chauffage au bois, comme les chaudières alimentées en biomasse, ainsi que les fours et fournaies qui utilisent des matières premières durables à base de bois. Bien que cette technologie soit disponible sur le marché, une initiative de chauffage à la biomasse dépendra de l'obtention d'investissements en infrastructure énergétique supplémentaires, car les coûts de départ seront élevés, notamment là où l'infrastructure est absente.

Les matériaux et produits chimiques biosourcés sont destinés à gagner de l'importance à long terme. Il est généralement admis que le milieu du siècle verra une population mondiale accrue, plus urbaine, et que cet accroissement s'accompagne du besoin de ressources primaires pour soutenir la croissance urbaine. En retour, cela souligne le potentiel des matières cellululosiques forestières

¹⁰⁵ Nabuurs et al. *Secteur forestier : Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*.



pour remplacer un large éventail de matériaux utilisés non seulement dans la construction, comme nous l'indiquons plus haut, mais également de matériaux et produits chimiques utilisés dans le secteur manufacturier en général. Le potentiel d'atténuation des produits à base de cellulose, leur nature renouvelable et leur potentiel à être recyclés davantage ou leur biodégradabilité devrait stimuler une demande croissante pour ces produits de haute valeur. Le potentiel d'atténuation de ces produits dépend grandement de leur cycle de vie et de leurs utilisations finales, ainsi que de l'adoption des matériaux biosourcés comme substituts aux matières premières de remplacement classiques; il ne peut être évalué clairement à l'heure actuelle.

Comme notre pays est avantagé par d'importantes ressources de biomasse et que les secteurs forestier et agricole sont prêts à la transformation, la bioéconomie constitue une importante occasion de générer de la richesse et de l'emploi pour les Canadiens.

6.5 Plusieurs occasions émergentes où le secteur forestier pourrait contribuer aux résultats d'atténuation méritent qu'on s'y attarde.

6.5.1 Réduction de la déforestation

Contrairement aux pays tropicaux où la déforestation est un facteur important d'émissions, la déforestation (perte permanente de forêt) au Canada est relativement faible. La perte annuelle d'environ 0,01 % des terres forestières du Canada est majoritairement attribuable à l'agriculture et à l'expansion de l'industrie pétrolière et gazière¹⁰⁶. Comme les principaux facteurs de déforestation varient à travers le pays – et comme ils sont généralement extérieurs au secteur forestier –, la capacité du secteur forestier à influencer sur cette source d'émissions jusqu'à maintenant a été limitée.

Néanmoins, réduire la déforestation et ses émissions connexes est un domaine que le Canada peut explorer, surtout en tenant compte du rôle que le Canada joue dans le soutien à la réduction des émissions découlant de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les pays en développement et du fait que le Canada est signataire de la Déclaration de New York sur les forêts, qui vise à mettre fin à la déforestation mondiale nette d'ici 2030. La collaboration avec

les provinces et les territoires est nécessaire, étant donné le besoin de se pencher sur la façon de contrer la déforestation dans l'ensemble des administrations et des divers secteurs.

6.5.2 Recherche et développement dans les biomatières, les bioproduits chimiques, la bioénergie et les biocarburants

Le potentiel d'atténuation de l'utilisation de produits ligneux récoltés pour la bioénergie et les biocarburants peut être exploré davantage. Les technologies de bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECCS) ont suscité énormément d'attention dans le monde, par leur capacité à générer des émissions négatives. Une option à long terme pour la bioénergie pourrait se concentrer sur la réduction des coûts dans la chaîne d'approvisionnement en augmentant les investissements en recherche et développement de la production de biocarburants de deuxième génération, de matériaux évolués et de nouvelles plateformes de produits chimiques, par exemple en convertissant de la biomasse cellulosique en biopétrole brut et en raffinant celui-ci en d'autres produits de biocarburant (biodiesel, biokérosène, bioproduits chimiques, etc.), ainsi qu'en gazéifiant ou en liquéfiant de la biomasse pour la production d'énergie. D'autres investissements dans la recherche, le développement et le déploiement de ces technologies pourraient permettre de cerner de nouveaux domaines présentant un potentiel d'atténuation.

6.5.3 Foresterie urbaine

Les forêts urbaines présentent plusieurs avantages connexes en plus du captage des émissions de GES, comme la conservation de l'énergie par la fraîcheur et l'ombre, la fourniture d'un habitat pour la faune, l'atténuation du bruit, une meilleure esthétique et l'accroissement de la valeur immobilière. De futures recherches et analyses sur l'amélioration de la surveillance et de la recherche en vue d'exploiter le potentiel d'atténuation et d'améliorer la résilience des forêts urbaines sont une option que le Canada pourrait explorer.

¹⁰⁶ Ressources naturelles Canada. L'État des forêts au Canada 2015, page 23

7 Agriculture



MESSAGES CLÉS :

- Il est possible d'atténuer les gaz à effet de serre dans tout le réseau alimentaire. Il existe des possibilités de réduction et de recyclage de l'énergie et des éléments nutritifs par les consommateurs, les agriculteurs, les transformateurs d'aliments et les municipalités.
- Les émissions agricoles résultent principalement de processus biologiques plutôt que de l'utilisation de l'énergie.
- Les innovations technologiques et les pratiques de gestion durable du territoire permettront aux terres agricoles du Canada de demeurer un puits de carbone net à long terme.
- La promotion de l'adoption de technologies existantes et émergentes et de pratiques de gestion pourrait augmenter l'efficacité et réduire les émissions des systèmes de culture et d'élevage.
- Le secteur agricole a le potentiel de fournir des solutions d'énergie renouvelable et des bioproduits pour aider à réduire les émissions d'autres secteurs. Dans l'évaluation de ces options, il faut examiner les coûts et bénéfices environnementaux sur tout le cycle de vie.

7.1 Il est possible d'atténuer les gaz à effet de serre dans tout le réseau alimentaire. Il existe des possibilités de réduction et de recyclage de l'énergie et des éléments nutritifs par les consommateurs, les agriculteurs, les transformateurs d'aliments et les municipalités.

Lutter contre les émissions de GES d'origine agricole nécessite l'examen de tout le cycle de vie du réseau alimentaire, de la fabrication d'engrais aux activités à la ferme, en passant par la transformation, la distribution et la consommation des aliments. De plus, la destination ultime des produits alimentaires, dans les déchets alimentaires, le compost ou les eaux usées, doit être prise en compte.

Cette approche holistique cherche à améliorer l'efficacité de tout le réseau alimentaire « du berceau à la tombe et au berceau » et peut souvent faire appel aux synergies des effets sur l'environnement et sur la santé des choix alimentaires. À cet égard, on peut en faire davantage pour favoriser l'engagement social et la coopération pour aider à réduire les émissions de GES. Les attentes sont de plus en plus élevées sur le plan de la transparence et des caractéristiques environnementales des produits, notamment la quantité relative de GES associée aux différents choix alimentaires.

Dans le contexte d'une demande mondiale et croissante de produits alimentaires, d'autres approches comme les mouvements d'approvisionnement alimentaire local, les réseaux d'agriculture biologique ou urbaine et les réseaux de fermiers de famille peuvent jouer un rôle important dans le façonnement de l'avenir de l'agriculture¹⁰⁷. Toute démarche qui contribue à réduire les déchets (voir le chapitre 8) et à conserver l'énergie et l'eau réduira les émissions dans les autres secteurs directement liés à l'agriculture (p. ex., durant la fabrication des engrais ou par l'élimination de l'azote et du phosphore des eaux usées).

¹⁰⁷ Équiterre, Réseau des fermiers de famille.

7.2 Les émissions agricoles résultent principalement de processus biologiques plutôt que de l'utilisation de l'énergie.

L'agriculture primaire est au cœur d'un réseau agroalimentaire complexe et intégré qui génère un emploi sur huit et qui représentait plus de 6 % du PIB en 2014¹⁰⁸. Le secteur contribue à faire du Canada l'un des rares pays actuellement en position de produire plus d'aliments qu'il n'en consomme et le Canada est au cinquième rang parmi les exportateurs de produits agricoles et agroalimentaires dans le monde¹⁰⁹. Des gains d'efficacité, la gestion durable des terres et des innovations permettront au secteur agricole canadien de réduire ses émissions, de stocker le carbone et de répondre à une demande alimentaire mondiale croissante.

La plupart des émissions de GES d'origine agricole ne proviennent pas de l'utilisation de l'énergie, mais sont plutôt des émissions de méthane et d'oxyde d'azote résultant surtout de processus biologiques inhérents à la culture et à l'élevage. Les émissions d'oxyde nitreux peuvent provenir des engrais épandus sur les terres, de la décomposition des résidus de culture, de la culture de sols organiques et de l'entreposage

du fumier. Les émissions de méthane proviennent principalement de la fermentation entérique chez les ruminants et de la décomposition du fumier entreposé.

Les émissions totales d'origine agricole sont restées relativement stables depuis l'année 2000 et ne devraient pas augmenter de façon significative jusque vers 2030¹¹⁰. En 2014, les émissions non énergétiques représentaient 59 mégatonnes d'équivalent de dioxyde de carbone (Mt d'éq. CO₂) – soit environ 8 % des émissions de GES totales du Canada – tandis que les émissions de GES provenant du carburant utilisé par les exploitations agricoles se sont élevées à 14 Mt d'éq. CO₂¹¹¹. Les deux principales sources d'émissions autres que de combustion sont la fermentation entérique et l'épandage d'engrais.

108 Agriculture et Agroalimentaire Canada, *Vue d'ensemble du système agricole et agroalimentaire canadien 2016*.

109 *Idem*.

110 Environnement et Changement climatique Canada, *Deuxième rapport biennal du Canada sur les changements climatiques*.

111 Environnement et Changement climatique Canada, *Rapport d'inventaire national 1990 2014 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada*.

112 NAO organics. <http://www.naorganics.com/index.asp>

RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE MÉTHANE PRODUITES PAR LA FERMENTATION ENTÉRIQUE

La fermentation entérique est un processus naturel qui se produit au cours de la digestion des aliments par le bétail. Le processus de digestion n'est pas efficace à 100 % et libère du méthane comme sous produit. Au Canada, les émissions de GES provenant de la fermentation entérique étaient de 2 Mt d'éq. CO₂ en 2014, en baisse par rapport à 2005, où elles étaient de 31 Mt. Les bovins laitiers et de boucherie produisent environ 95 % de ces émissions, le reste étant produit par les autres ruminants, comme les bisons, les caprins, les chevaux, les ovins et les porcs.

De nombreuses options existent pour réduire les émissions de méthane produites par la fermentation entérique, mais beaucoup d'entre elles en sont encore à l'étape de recherche. Comme la demande en viande et en lait devrait s'accroître à l'avenir, il est important de réduire la production de méthane par unité ou animal. Par exemple, il est possible de sélectionner des animaux produisant moins de méthane en prenant en compte les caractéristiques génétiques. De plus, des recherches sur des vaccins réduisant le méthane et des inhibiteurs de méthane sont en cours dans certains pays.

Des aliments de qualité élevée pourraient mener à une digestion plus efficace, et donc réduire les émissions. À titre d'exemple, les recherches ont démontré que mélanger des algues aux aliments pour le bétail pouvait réduire les émissions de méthane. Ainsi, une entreprise de l'Île-du-Prince-Édouard, North Atlantic Organics Ltd., propose des produits d'algues biologiques pouvant être consommés par les bovins laitiers.¹¹³ L'utilisation d'algues pour nourrir les animaux est en fait une méthode qui était traditionnellement utilisée par les agriculteurs des communautés côtières.

7.3 Les innovations technologiques et les pratiques de gestion durable du territoire permettront aux terres agricoles du Canada de demeurer un puits de carbone net à long terme.

Pendant plus de vingt ans, les agriculteurs canadiens dans les provinces des Prairies ont pu remplacer de plus en plus le travail du sol classique par des techniques de semis sans travail du sol ou avec travail de conservation du sol, grâce à des innovations comme l'amélioration des semences, des engrais et des pesticides, les changements de machinerie et d'équipement agricole, notamment l'évolution de technologies comme le système mondial de localisation (GPS). Des options de rotation accrue des cultures ont également permis de réduire le recours à la jachère d'été (laisser la terre inutilisée durant la saison de croissance).

Par conséquent, les terres agricoles du Canada ont été un puits de carbone net depuis 2000 et le demeureront à long terme, bien que la vitesse à laquelle le carbone sera séquestré devrait diminuer lentement. Une plus grande utilisation des cultures de couverture, l'application de biocharbon et l'utilisation de l'agriculture de précision pour éviter

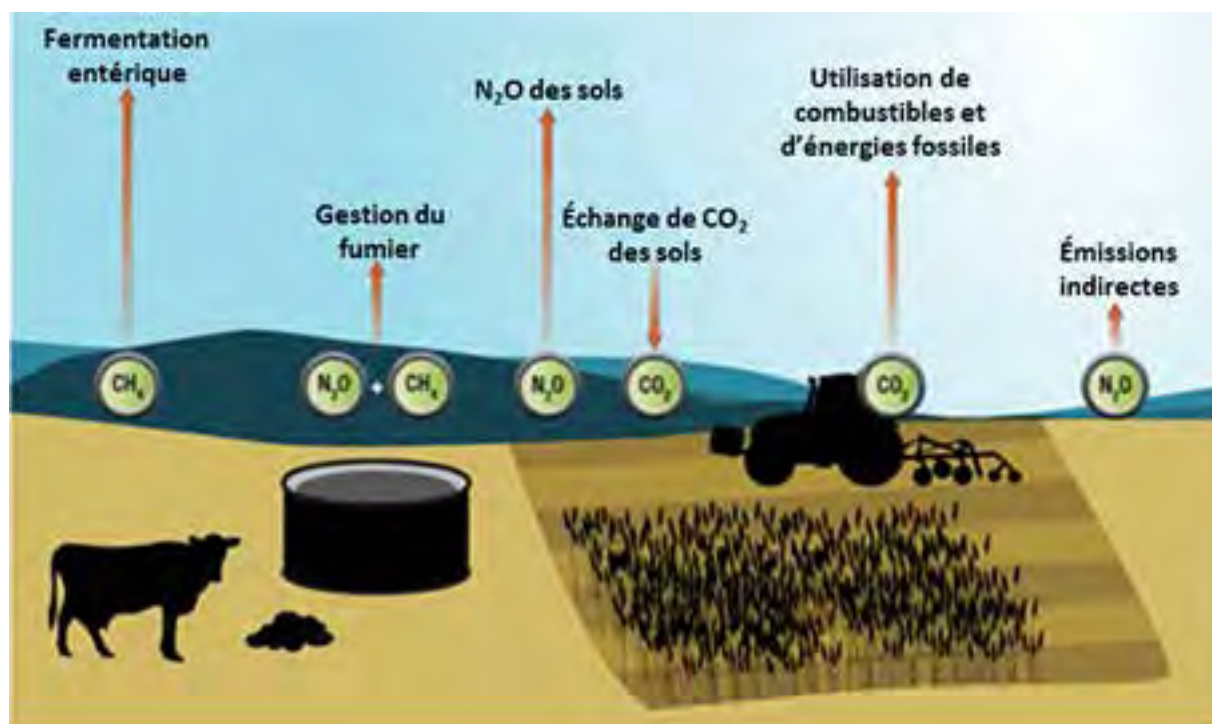
de perturber des terres plus fragiles, entre autres pratiques de gestion durable des terres, aideront à maintenir le puits de carbone agricole à l'avenir.

7.4 La promotion de l'adoption de technologies existantes et émergentes et de pratiques de gestion pourrait augmenter l'efficacité et réduire les émissions des systèmes de culture et d'élevage.

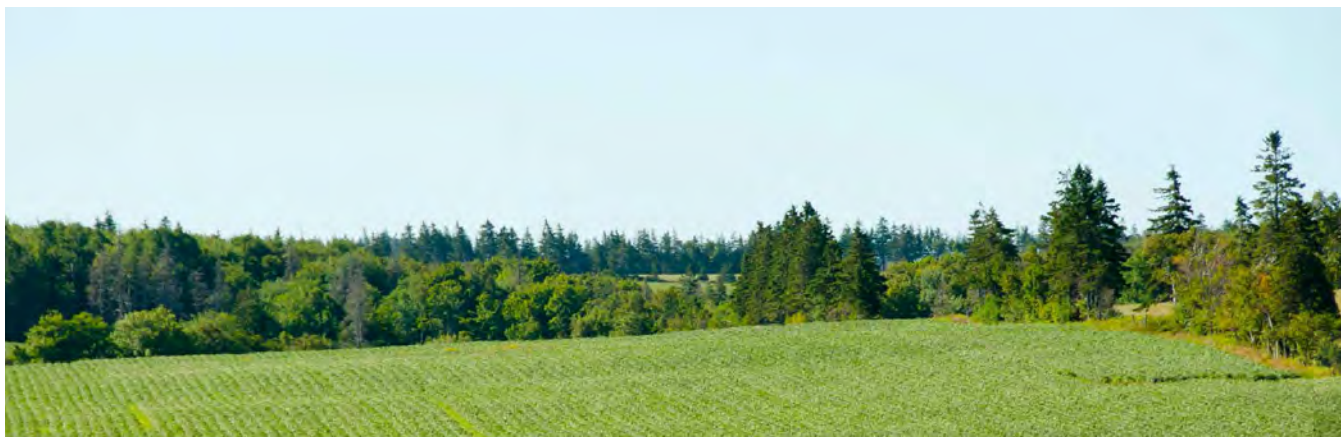
Les émissions de GES à la ferme sont étroitement liées aux pratiques et technologies de gestion comme les types d'engrais, les méthodes d'épandage, les méthodes de stockage et d'épandage de fumier, la gestion des terres et les pratiques de travail du sol, l'alimentation et la nutrition, ainsi que la génétique des cultures et des animaux.

Les options d'atténuation visant à améliorer l'efficacité de l'utilisation des engrais et à réduire les émissions de méthane provenant du bétail sont prometteuses, car des technologies novatrices comme les additifs alimentaires inhibiteurs de méthane, la génétique du bétail, les engrais intelligents et les pratiques d'agriculture de précision sont en voie d'élaboration.

Figure 14 : Émissions de GES d'origine agricole au Canada en 2011.



Remarque : La longueur de la flèche est proportionnelle à l'étendue des émissions ; une flèche pointant vers le haut indique une source et une flèche pointant vers le bas indique un puit. Source : *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux – Rapport numéro 4*



Encourager l'adoption continue des pratiques de gestion des éléments nutritifs, comme l'analyse des éléments nutritifs du sol, l'optimisation du calendrier d'épandage des engrais, l'intégration de fumier et d'engrais solides et liquides et l'accroissement de la capacité de stockage du fumier, permettra d'augmenter la performance tout en réduisant au minimum les émissions dans le secteur¹¹³. Par exemple, dans le secteur de l'élevage bovin, les agriculteurs canadiens ont réalisé d'importantes améliorations dans les pratiques d'alimentation et de reproduction. Ainsi, le bétail atteint le poids d'abattage plus tôt et passe moins de jours à manger, à ruminer, à produire du méthane et à générer du fumier¹¹⁴.

Dans le secteur de l'élevage, les nouvelles méthodes de réduction des émissions de méthane ont un grand potentiel. Ces méthodes comprennent les ruminants à faible production de méthane, les agents inhibiteurs de méthane et les suppléments alimentaires, et même les vaccins pour réduire la production de méthane dans le rumen.

La technologie continuera également d'avoir des effets notables sur la production agricole. La bio ingénierie, l'agriculture de précision, les capteurs, la robotique et la saisie et le transfert de données automatiques sont tous prometteurs pour le potentiel de réduction supplémentaire des émissions de GES d'origine agricole. Bien que d'autres travaux de validation scientifique soient encore nécessaires, des résultats partiels préliminaires indiquent une réduction substantielle des émissions d'oxyde d'azote par l'adoption d'une démarche de gestion optimisée des éléments nutritifs.

La poursuite de gains d'efficacité pourrait permettre d'autres réductions des émissions, mais tout dépendra du développement et du déploiement de technologies de transformation (inhibiteurs de méthane, engrais intelligents, etc.), dont certaines devraient être prêtes au déploiement commercial à court terme (d'ici 5 ans) tandis que d'autres pourraient être disponibles à moyen terme (d'ici 10 à 15 ans).

Du côté des intrants agricoles, une plus importante pénétration des pratiques, technologies et équipements d'agriculture de précision devrait se traduire par une plus faible consommation de facteurs de production comme les engrais et les carburants, avec une diminution correspondante des émissions de GES associées à l'utilisation de ces intrants. Des décisions visant une production plus efficace et plus précise pourraient également atténuer la pression sur les ressources naturelles comme le sol et l'eau.

À titre d'exemple plus précis, la province de la Saskatchewan souligne la sous-utilisation des légumineuses à grains pour réduire l'utilisation d'engrais, ainsi que le potentiel associé à l'ensemencement des terres marginales pour la séquestration du carbone, avec des couverts végétaux permanents comme des légumineuses, ou à la conversion de ces terres en des peuplements forestiers. La province espère également que les percées dans la sélection génétique des bovins, la génomique et les additifs alimentaires réduiront de façon significative le taux d'émissions de GES émises par le secteur agricole. La Saskatchewan indique que l'innovation et la recherche accrue dans les options d'atténuation pour le secteur de l'agriculture sont essentielles en raison du défi que représente la croissance démographique mondiale, et la pression qui en découle sur la demande mondiale en aliments et la production d'aliments.

113 Agriculture et Agroalimentaire Canada, *L'Enquête sur la gestion agroenvironnementale 2011*.

114 Agriculture et Agroalimentaire Canada, *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux – Rapport numéro 4*.

7.5 Le secteur agricole a le potentiel de fournir des solutions d'énergie renouvelable et des bioproduits pour aider à réduire les émissions d'autres secteurs. Dans l'évaluation de ces options, il faut examiner les coûts et les avantages environnementaux sur tout le cycle de vie.

Du point de vue du cycle de vie, le secteur agricole pourrait également contribuer à l'atténuation à long terme en aidant à réduire les émissions dans d'autres secteurs par le remplacement d'un plus grand nombre de matières à forte intensité d'émissions et de carburants fossiles par de l'énergie et des produits à base de biomasse.

C'est l'occasion de convertir des déchets agricoles croissants, ainsi que des produits agricoles dérivés et connexes, en des bioproduits écoefficaces avec des avantages directs pour l'environnement, l'économie et les consommateurs, par exemple en bioénergie, en biofertilisants et en bioproduits chimiques durables. Les matières premières et la technologie existent déjà pour convertir plus de déchets et plus de biomasse agricole et forestière en des biocarburants de haute qualité à faibles émissions de GES, utilisables dans les transports routiers et aériens.

Dans l'évaluation de ces options, il faut examiner les économies nettes de GES durant tout le cycle de vie ainsi que les autres effets environnementaux pouvant résulter de l'intensification de la production agricole.

8 Gestion des déchets



MESSAGES CLÉS :

- Le secteur des déchets est directement responsable de 3 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) au Canada; cependant, du point de vue du cycle de vie, les activités liées aux déchets sont la source d'une quantité importante d'émissions indirectes de GES, provenant de divers secteurs économiques qui ne sont pas normalement associés à la gestion des déchets.
- À l'heure actuelle, le coût relativement bas de l'élimination des déchets aux sites d'enfouissement dans de nombreux endroits au Canada a un effet dissuasif en ce qui a trait à la prévention et au détournement des déchets.
- Les stratégies efficaces de gestion, centrées sur la prévention et le détournement des déchets, peuvent réduire considérablement les émissions directes et indirectes de GES liées aux déchets.
- De nouvelles politiques pourraient ouvrir la voie à de nouveaux comportements, encourageant à délaisser les modèles de consommation excessive et transférant la responsabilité de la gestion des produits en fin de cycle des consommateurs aux producteurs.
- Les avantages conjoints de la prévention et du détournement des déchets et du captage des gaz dans les sites d'enfouissement incluent notamment : l'amélioration de la sécurité alimentaire, un approvisionnement renouvelable accru en gaz naturel et en électricité, la production d'amendements du sol (c.-à-d. le compostage) et la réduction des émissions des composés organiques volatils, du smog et des odeurs désagréables.
- Dans les années à venir, les progrès du captage des gaz dans les sites d'enfouissement et des techniques de torchage pourraient réduire encore davantage les émissions directes résiduelles provenant des sites d'enfouissement.

Le Canada fait piètre figure en ce qui a trait à la quantité de déchets produite par habitant, comparativement à ses pairs de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Avec ses 777 kg de déchets municipaux produits par habitant en 2008, les villes canadiennes ont généré en moyenne plus de déchets que tout autre pays de l'OCDE, deux fois plus de déchets que la moyenne des villes japonaises et légèrement plus de déchets que la moyenne des villes américaines (722 kg)¹¹⁵. Bien que des efforts substantiels aient été déployés par les municipalités, les provinces et les territoires du pays, par exemple la Nouvelle-Écosse, qui a réduit sa production de déchets à 386 kg par habitant depuis 2012, beaucoup d'autres mesures doivent être mises en œuvre¹¹⁶.

¹¹⁵ Le Conference Board du Canada, *Production de déchets municipaux*. Remarque : À des fins de comparaison, les déchets résultant de travaux de construction, de rénovation et de démolition n'ont pas été pris en compte dans la définition de l'OCDE.

¹¹⁶ Le Conference Board du Canada, *Production de déchets : Classement provincial et territorial*. Les lecteurs doivent noter que la production de déchets municipaux par habitant et la production de déchets par habitant diffèrent légèrement, la deuxième quantité étant légèrement plus importante que la première.

8.1 Le secteur des déchets est directement responsable de 3 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) au Canada; cependant, du point de vue du cycle de vie, les activités liées aux déchets sont la source d'une quantité importante d'émissions indirectes de GES, provenant de divers secteurs économiques qui ne sont pas normalement associés à la gestion des déchets.

Le secteur des déchets est officiellement responsable de 3 % du total des émissions de GES et de 22 % du total des émissions de méthane au Canada. Il englobe les émissions provenant des sites d'enfouissement de déchets solides municipaux, de déchets de bois, de l'assainissement des eaux usées, de même que du rejet des effluents, de l'incinération et du brûlage à ciel ouvert.

Comme l'indique le quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), l'adoption d'une approche de durée de vie utile est requise pour évaluer le potentiel de réduction des émissions par la prévention et le détournement des déchets. À ce titre, les activités de gestion des déchets affecteront les émissions produites par des secteurs comme les transports, la foresterie, l'énergie et les procédés industriels. Par exemple, aux États-Unis, l'Environmental Protection Agency (EPA) a estimé qu'environ 42 % des émissions de gaz à effet de serre aux États-Unis sont associés à l'énergie utilisée pour la production, le traitement, le transport et l'élimination des produits d'usage courant et des aliments¹¹⁷. Les stratégies de prévention et de détournement des déchets contribueraient donc à réduire les émissions dans d'autres secteurs.

8.2 À l'heure actuelle, le coût relativement bas de l'élimination des déchets aux sites d'enfouissement dans de nombreux endroits au Canada a un effet dissuasif en ce qui a trait à la prévention et au détournement des déchets.

L'élimination des déchets est relativement peu coûteuse au Canada, comparativement à de nombreux pays semblables. Comparativement à

de nombreux pays d'Europe, les terres disponibles pour l'élimination des déchets ne manquent pas au Canada. Les autorités canadiennes ont recours à une variété de politiques stratégiques afin de contrer le bas coût de l'élimination des déchets aux sites d'enfouissement. Par exemple, la Nouvelle-Écosse, le Québec et l'Île-du-Prince Édouard ont instauré une réglementation visant à interdire la mise au rebut de certaines matières (notamment les déchets organiques et dans certains cas, les matières recyclables). Le Québec et le Manitoba ont également imposé des cotisations aux propriétaires de décharges, créant ainsi une mesure incitative visant à augmenter le détournement des déchets et à soutenir les programmes de recyclage municipaux¹¹⁸. En 2014, la ville d'Edmonton a ouvert sa nouvelle Installation de production de biocarburants et de produits chimiques à partir de déchets municipaux, la première installation de transformation de déchets en biocarburants à échelle industrielle en son genre, qui aidera la ville à détourner jusqu'à 90 % des déchets domestiques des sites d'enfouissement, ainsi qu'à produire jusqu'à 38 millions de litres d'éthanol chaque année¹¹⁹.

8.3 Les stratégies efficaces de gestion, centrées sur la prévention et le détournement des déchets, peuvent réduire considérablement les émissions directes et indirectes de GES liées aux déchets.

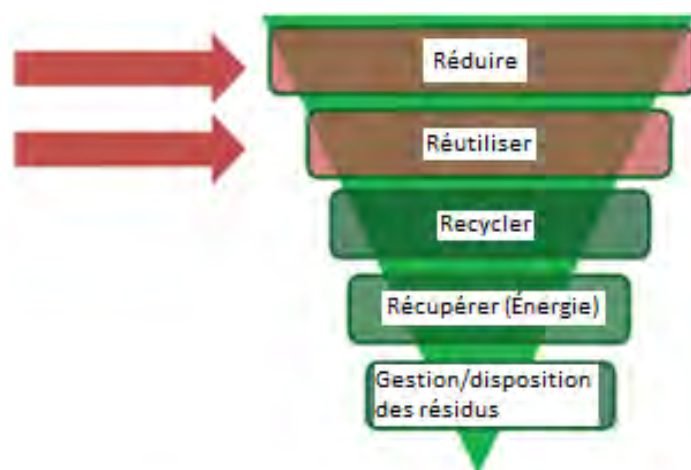
Les activités de prévention et de détournement des déchets (telles que le compostage ou la digestion anaérobie) demeurent le potentiel inexploité le plus prometteur pour la réduction des émissions de GES. La réduction du gaspillage d'aliments et l'augmentation du détournement d'autres matières organiques et recyclables des sites d'enfouissement pourraient entraîner une réduction des émissions des plus importantes pour le secteur.

¹¹⁷ United States Environmental Protection Agency, *Opportunities to Reduce Greenhouse Gas Emissions through Materials and Land Management Practices*.

¹¹⁸ Giroux Environmental Consulting, *State of Waste Management in Canada*.

¹¹⁹ City of Edmonton, *Waste to Biofuels and Chemicals Facility*.

Figure 15 – Niveau de la prévention et de la réduction des déchets dans la hiérarchie des activités de gestion des déchets.



Source : Giroux Environment Consulting. 2014.

Au Canada, le gaspillage alimentaire évitable est évalué à 31 milliards de dollars par année. En outre, le taux national de détournement des matières organiques représente un faible 7 % du flux de déchets total, tandis que celui des matières recyclables est de 16 %. Au total, le taux de détournement global au Canada est de 25 %, un résultat plus faible que celui de pays semblables, tels que l'Allemagne ou les États-Unis¹²⁰. Néanmoins, il est important de se rappeler que certaines municipalités canadiennes sont des chefs de file en matière de stratégies de détournement des déchets, des villes telles que Halifax, Hamilton et Sherbrooke réalisant des taux de détournement variant de 40 à 60 %¹²¹. Une cible renforcée, telle que celle de 50 % d'ici 2020 que s'est fixée l'Union européenne, pourrait engager les autorités canadiennes à déployer un effort concerté de gestion des déchets.¹²²

8.4 De nouvelles politiques pourraient ouvrir la voie à de nouveaux comportements, encourageant à délaisser les modèles de consommation et transférant la responsabilité de la gestion des produits en fin de cycle des consommateurs aux producteurs.

Des politiques efficaces peuvent contribuer à augmenter le détournement des déchets par la réduction à la source, la réutilisation, le recyclage, le compostage et la digestion anaérobie. Par exemple, des programmes d'information et des mesures incitatives peuvent aider à modifier le comportement de la population et l'encourager à produire moins de déchets, en offrant un complément d'information (p. ex. avec des campagnes de sensibilisation du public) ou en instaurant des incitatifs financiers tels que les frais d'élimination prévus. Un autre exemple est l'initiative de la Suède qui a instauré un crédit d'impôt pour la réparation de produits tels que les bicyclettes ou les appareils ménagers. De telles politiques jouent un rôle déterminant dans la modification des comportements de consommation et dans la prévention des déchets.

Les coûts réels de l'élimination dans les sites d'enfouissement doivent également être reflétés par des redevances de déversement, représentant la perte de terres arables et la responsabilité

120 Statistique Canada, *Enquête sur l'industrie de la gestion des déchets : secteur des entreprises et des administrations publiques*.

121 Fédération canadienne des municipalités, *Réussites des municipalités canadiennes en matière de valorisation des déchets*.

122 Ontario Waste Management Association, *Rethink Waste: Evolution Towards a Circular Economy*.

environnementale. Des politiques réglementaires ou axées sur le marché pourraient inclure des interdictions d'élimination, des redevances de déversement plus élevées et une tarification différentielle pour les déchets non triés. Les pratiques, telles que conserver les produits plus longtemps, réutiliser ou réparer les articles et les pièces de rechange qui peuvent être réutilisées, font partie des nombreuses habitudes que les municipalités, les provinces et les territoires doivent promouvoir et récompenser. Il existe des solutions innovatrices pour réduire le gaspillage alimentaire, consistant à mettre en contact les consommateurs et les producteurs de l'industrie alimentaire : des initiatives mises en œuvre par l'industrie et des organisations non gouvernementales visent à promouvoir la vente et l'achat de fruits et légumes imparfaits.

Une mesure importante visant à augmenter le détournement des déchets, et par conséquent à réduire les émissions qui leur sont associées, consiste à transférer la responsabilité de la gestion des produits en fin de cycle, des consommateurs et des municipalités aux producteurs. Depuis les vingt dernières années, un progrès considérable a été réalisé grâce aux programmes de responsabilité élargie des producteurs, liés à une grande variété de produits et de matériaux. La prochaine étape consistera à mettre en œuvre des programmes de détournement des déchets pour des catégories de produits complexes, comme les déchets de construction et de rénovation, les matériaux de démolition, le mobilier, les textiles et les tapis¹²³. Il

¹²³ Conseil canadien des ministres de l'environnement, *Rapport d'étape sur le Plan d'action pancanadien pour la responsabilité élargie des producteurs*.

DÉTOURNEMENT DES DÉCHETS EN NOUVELLE ÉCOSSE

La province canadienne de la Nouvelle Écosse est le chef de file en Amérique du Nord en matière de détournement des déchets, ce qui se traduit par d'importants avantages pour l'environnement et l'économie. Le taux d'élimination y est de 50 % moins élevé que la moyenne canadienne et continue de diminuer.

En 1996, la province a mis en œuvre une stratégie qui comprend des interdictions d'enfouir les déchets alimentaires, les résidus de jardins, certains types de papier, les matières plastiques, les métaux et les articles électroniques.

Voici d'autres faits saillants de l'« approche d'économie circulaire » fructueuse et continue de la Nouvelle Écosse en matière de déchets solides :

- Un programme d'incitatifs financiers offert aux municipalités, fondé sur la performance en matière de détournement des déchets
- Un partenariat solide avec les municipalités par l'entremise d'un comité de présidents régionaux (déchets solides)
- Des programmes de sensibilisation, d'application de la loi et d'innovation efficaces et soutenus
- Des programmes d'intendance en ce qui concerne les contenants de boisson, les pneus, les produits contenant du mercure et les contenants de produits laitiers
- Des programmes de responsabilité élargie des producteurs pour ce qui est des articles électroniques, de la peinture et des téléphones cellulaires
- Un engagement des municipalités à mettre en œuvre des programmes de sacs transparents pour les déchets, programmes qui permettent de réduire de 15 % à 30 % la quantité de déchets enfouis

Il s'ensuit que des tonnes de matières qui étaient auparavant jetées aux ordures contribuent maintenant à l'économie de la Nouvelle Écosse tout en créant des emplois et en réduisant les émissions de GES.

[Traduction]

sera essentiel d'instaurer une réglementation et des mesures de soutien pour les producteurs, afin de pouvoir réduire les intrants matériels, d'optimiser la réutilisation et la récupération des produits et de développer des marchés pour les matières recyclées¹²⁴. Les programmes de responsabilité élargie et les règlements axés sur le rendement sont deux politiques populaires mises de l'avant pour réaliser ces objectifs¹²⁵. Des systèmes améliorés permettant aux producteurs de déchets de gérer certaines matières sur place au lieu de dépendre d'infrastructures centralisées coûteuses constitueraient une voie à explorer davantage (p. ex. la reconversion des matières plastiques en pétrole, la récupération du gaz naturel renouvelable provenant des composés organiques).

8.5 Les avantages conjoints de la prévention et du détournement des déchets et du captage des gaz dans les sites d'enfouissement incluent notamment : l'amélioration de la sécurité alimentaire, un approvisionnement renouvelable accru en gaz naturel et en électricité, la production d'amendements de sol (c. à d. le compostage) et la réduction des émissions des composés organiques volatils, du smog et des odeurs désagréables.

Il existe de nombreux avantages conjoints liés aux stratégies d'amélioration de la gestion des déchets en plus de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, plus particulièrement le méthane. La prévention des déchets augmente la sécurité alimentaire et le détournement des déchets organiques peut produire des biogaz renouvelables et des amendements de sol. Le recyclage contribue à économiser les ressources et l'énergie, tout en limitant la quantité de matières plastiques déversées dans les océans. Le captage des gaz des sites d'enfouissement peut également alimenter en énergie et en électricité les municipalités et les industries. De plus, les cimenteries partout au pays ont démontré un intérêt pour l'utilisation d'une variété de produits mis au rebut (déchets solides, tapis, déchets de bois, asphalte, plastiques non recyclables) comme sources d'énergie de remplacement¹²⁶. Finalement, la réduction des émissions des composés volatils, du smog et des odeurs désagréables sera bénéfique pour la santé et la qualité de vie des collectivités vivant à proximité des sites d'enfouissement.

8.6 Dans les années à venir, les progrès du captage des gaz dans les sites d'enfouissement et des techniques de torchage pourraient réduire encore davantage les émissions directes résiduelles provenant des sites d'enfouissement.

Même en déployant des efforts en matière de prévention et de détournement de déchets, il est probable que l'élimination de déchets dans les sites d'enfouissement sera encore pratiquée dans certaines régions du Canada en 2050 et que les sources de GES ne seront pas toutes détournées. Il faut aussi considérer que le temps de décomposition des déchets organiques dans un site d'enfouissement est si long que les déchets organiques déversés aujourd'hui seront des sources d'émissions pendant des décennies si rien n'est fait pour atténuer le problème. Actuellement, seulement 36 % du gaz méthane produit dans les sites d'enfouissement sont captés. Cette situation est due en partie aux normes de rendement plus strictes en ce qui a trait à la réglementation sur le captage des gaz à l'échelle du pays. Néanmoins, les technologies de captage des gaz des sites d'enfouissement sont largement disponibles, et le développement prévu des techniques de torchage, de captage et d'utilisation des gaz pourrait facilement accélérer la réduction des émissions de GES dans les sites d'enfouissement et produire plus de chaleur et d'électricité. Dans les années à venir, les installations de traitement thermique des déchets avec récupération d'énergie, les techniques de captage des gaz des petits sites d'enfouissement ou même l'extirpation des métaux des déchets pourraient devenir des pratiques courantes et constituer des options viables au Canada.

¹²⁴ Giroux Environmental Consulting, *State of Waste Management in Canada*.

¹²⁵ Idem

¹²⁶ Idem



9 Secteur des technologies propres

À mesure que notre société se mobilise pour faire face aux enjeux environnementaux, on observe une croissance de la demande pour les produits et processus du secteur des technologies propres. Les technologies propres englobent tous les produits et processus qui permettent de réduire grandement les effets d'une activité économique donnée sur l'environnement. Ce sous-ensemble de l'économie présente une vision convainquante, car il contribue au développement économique tout en améliorant le rendement de l'économie sur le plan environnemental. Alors que le monde converge vers une décarbonisation en profondeur, le secteur des technologies propres se voit présenter une occasion formidable de générer de nouveaux avantages économiques et sociaux connexes pour tous les Canadiens.

MESSAGES CLÉS :

- Le secteur des technologies propres connaît une croissance très rapide, tant au pays que dans le monde entier.
- Les sociétés de services publics, les fournisseurs de matériel et les décideurs doivent travailler ensemble à élaborer des stratégies pour réduire les coûts de déploiement des technologies propres essentielles ainsi que les obstacles à leur adoption.
- Des investissements supplémentaires en recherche, développement et déploiement et en innovation dans le secteur des technologies propres, combinés à des mécanismes incitatifs sur le marché comme la tarification du carbone, soutiendront la position concurrentielle du Canada, créeront des emplois très bien rémunérés et accroîtront les exportations.
- L'innovation aura des retombées économiques et environnementales, en accroissant l'efficacité et la productivité des ressources dans d'autres secteurs et en réduisant d'autres types de pollution.
- Le fait d'envoyer un message clair et prévisible pour les investissements à long terme et de diffuser des renseignements relatifs au climat permettra au marché de mieux prévoir et de mieux planifier la transition vers un futur à faibles émissions de carbone.
- Le Canada a confirmé son engagement en matière d'innovation pour l'énergie propre en adhérant à l'engagement international Mission Innovation, qui vise à accélérer l'innovation en doublant les investissements dans la recherche, le développement et le déploiement en matière d'énergie propre dans le monde entier.

9.1 Le secteur des technologies propres connaît une croissance très rapide, tant au pays que dans le monde entier.

Le rendement récent du secteur des technologies propres au Canada a été très fort, bien qu'un ralentissement ait été observé de 2013 à 2014. Le secteur a connu une croissance annuelle de 8 % de 2011 à 2013, ce qui représente plus de trois fois la croissance économique générale du Canada¹²⁷. Au cours de la même période, les revenus mondiaux des technologies propres ont augmenté de 10 % annuellement.

¹²⁷ Analytica Advisors, *Canadian Clean Technology Industry Report*.



Le nombre d'emplois dans le secteur des technologies propres au Canada est passé de 41 000 en 2012 à 55 600 en 2014, soit une augmentation de plus de 16 % par année.

Les solutions des producteurs de technologies propres peuvent aider à relever les défis dans les secteurs comportant des émissions élevées, générant ainsi des résultats économiques et environnementaux positifs. Les occasions d'investissement dans les technologies propres augmentent à un rythme rapide.. Par exemple, l'AIE estime qu'environ un billion (mille milliards) de dollars par année d'investissements supplémentaires sont nécessaires dans le domaine de l'énergie renouvelable et de l'efficacité énergétique afin de maintenir l'augmentation des températures à un niveau bien inférieur à 2 °C en 2050¹²⁸. Cela représente une importante occasion pour les entreprises canadiennes de technologies propres d'exploiter ce marché en pleine croissance. Les exportations représentaient 50 % des revenus de cette industrie en 2014, ce qui signifie que les entreprises canadiennes sont bien positionnées pour profiter des efforts concertés pour exporter leurs technologies et leur expertise uniques vers les marchés nouveaux et en croissance.

9.2 Les sociétés de services publics, les fournisseurs de matériel et les décideurs doivent travailler ensemble à élaborer des stratégies pour réduire les coûts de déploiement des technologies propres essentielles ainsi que les obstacles à leur adoption.

Afin de faire progresser le déploiement des technologies propres au Canada, il sera essentiel d'assurer la coordination entre les différents intervenants, pour limiter les coûts associés à la réduction des émissions et atténuer les obstacles à l'adoption de ces technologies. D'importants intervenants de l'économie, comme les gouvernements et les services publics, peuvent jouer un rôle clé dans l'accélération du développement et de l'adoption des technologies propres. Compte tenu de leurs capacités financières, ces intervenants peuvent utiliser leur pouvoir d'achat pour faire la démonstration des technologies propres et leur assurer une visibilité qui en favorisera une adoption large.

Le Canada dispose d'un solide secteur financier, qu'il peut utiliser comme un puissant levier afin d'encourager d'autres innovations à faibles émissions de carbone, au pays et à l'étranger. Bien qu'il existe

beaucoup d'occasions de réduction importante des GES à faible coût dans les pays en développement, des obstacles à l'investissement, comme le risque plus élevé perçu et l'information déficiente, empêchent les entreprises canadiennes de saisir ces occasions. Par son engagement financier de 2,65 milliards de dollars lié au changement climatique, le Canada facilitera l'accès des entreprises canadiennes à ces investissements, permettant ainsi aux technologies canadiennes à faibles émissions de carbone d'aider à réduire les émissions à moindre coût, tout en créant ainsi d'importantes possibilités d'exportations.

La participation du secteur privé est d'une importance capitale à tous les stades du développement technologique. Les développeurs et utilisateurs de technologies sont les intervenants les mieux placés pour amener de nouvelles technologies qui finiront par réussir. Les gouvernements doivent également jouer un rôle en fournissant le cadre incitatif approprié, car le secteur privé a normalement tendance à sous-investir dans la R-D. Pour y parvenir, les gouvernements doivent harmoniser les politiques afin de permettre aux développeurs de technologies de progresser efficacement. Enfin, des investissements suffisants sont essentiels pour que de bonnes solutions technologiques arrivent sur le marché.

9.3 Des investissements supplémentaires en recherche, développement et déploiement et en innovation dans le secteur des technologies propres, combinés à des mécanismes incitatifs sur le marché comme la tarification du carbone, vont soutenir la position concurrentielle du Canada, ce qui créera des emplois très bien rémunérés et accroîtra les exportations.

Les technologies propres constituent un secteur qui se définit par l'amélioration des effets environnementaux liés aux activités économiques, au sens large. C'est pourquoi l'innovation est de la plus haute importance dans ce secteur, où l'activité de recherche, développement et déploiement occupe une place très importante parmi les activités du secteur. La recherche, le développement et le déploiement peuvent aider à résoudre des problèmes environnementaux avec les technologies existantes, mais elle peut aussi contribuer à développer de nouvelles technologies propres qui faciliteront la réduction future des émissions. Cependant, pour que les technologies y parviennent, la commercialisation

128 Hamilton T., *The \$36-Trillion Question*.

doit être couronnée de succès. Pour que cela se produise, la demande du marché est essentielle.

Les politiques et cadres appropriés peuvent concourir à promouvoir une économie à faible émission de carbone, en aidant à atténuer la double défaillance du marché à laquelle fait généralement face le secteur des technologies propres. Comme c'est le cas pour les dépenses consacrées à l'innovation en général, le secteur privé a tendance à sous-investir dans la recherche, le développement et le déploiement, car les entreprises ne saisissent pas nécessairement toutes les retombées des investissements. En outre, les entreprises ne tiennent pas compte des externalités environnementales dans le cadre de leur prise de décisions. Les politiques gouvernementales existantes et potentielles peuvent contribuer à remédier à ces déficiences du marché. Par exemple, la tarification du carbone permet de tenir compte des émissions de GES dans le prix final d'un produit, ce qui fournit une valeur marchande aux avantages environnementaux des technologies propres.

D'autres types d'approches, comme l'acquisition de technologies propres par les gouvernements et la réglementation liées à ces technologies, pourraient également accroître la demande de technologies propres canadiennes. Les gouvernements devront faire preuve de leadership et fournir un vaste appui aux technologies propres, coordonner les efforts en matière d'innovation et catalyser la participation du secteur privé, particulièrement durant les premières étapes de la recherche et du développement.

Ces initiatives permettraient de surmonter un important obstacle pour le Canada, qui a travaillé d'arrache-pied par le passé pour faire la démonstration de ses technologies propres et pour les commercialiser, d'où le défi accru pour les entreprises d'exporter des produits non testés. Étant donné la croissance importante des technologies propres dans le monde entier, cela assure au Canada une bonne position concurrentielle sur ce marché. La compétitivité du Canada sur le marché des technologies propres comporterait d'importants avantages pour le pays, comme des emplois très bien rémunérés et d'importantes hausses des exportations.

9.4 L'innovation aura des retombées économiques et environnementales, en accroissant l'efficacité et la productivité des ressources dans d'autres secteurs et en réduisant d'autres types de pollution.

L'innovation dans les technologies propres, qu'il s'agisse d'une percée technologique ou d'une amélioration marquée de l'efficacité d'un processus existant, pourrait comporter d'importants avantages économiques et avoir d'autres retombées. Ces avantages économiques peuvent prendre différentes formes, en fonction de la nature de la technologie. Si une technologie procure une amélioration d'efficacité, les avantages seront vus à travers une réduction du coût des intrants, alors qu'ils peuvent prendre différentes formes dans le cas d'une percée technologique. L'internalisation des externalités environnementales à l'aide d'outils comme la tarification du carbone permettra aux technologies qui réduisent les émissions d'avoir des avantages économiques tangibles.

Enfin, le potentiel de réduction des coûts de production et de la pollution qu'offre l'écologie industrielle constitue une autre voie d'obtention de retombées tangibles. L'écologie industrielle est une approche qui a le potentiel de transformer le secteur industriel en un écosystème hautement efficace. L'écologie industrielle « cherche à émuler les systèmes écologiques mûrs afin de réduire les effets environnementaux en maximisant l'efficacité des intrants de ressources énergétiques et en réduisant au minimum les déchets non utilisés »¹²⁹ [traduction]. Cette approche vise à promouvoir les interrelations entre les secteurs industriels afin d'optimiser les flux d'intrants et d'extrants de chaque industrie de manière à ce qu'ensemble, tous les processus industriels réduisent au minimum l'utilisation de l'énergie et l'élimination des déchets afin d'améliorer l'efficacité des ressources et la compétitivité économique. En d'autres mots, l'écologie industrielle permet que des extrants perçus comme étant sans valeur (chaleur résiduelle, déchets forestiers, etc.) soient utilisés comme intrants par d'autres entreprises dans un même parc industriel, d'où une meilleure compétitivité et de meilleurs résultats environnementaux.

129 McKinley A., *Industrial Ecology: A Review with Examples from the Canadian Mining Industry* [L'écologie industrielle : Une revue avec des exemples de l'industrie minière du Canada], *Canadian Journal of Regional Science* [L'écologie industrielle : Une revue avec des exemples de l'industrie minière du Canada]



« L'investissement vert représente une formidable occasion pour les investisseurs à long terme et décideurs en macroéconomie qui désireux de stimuler la croissance. » [Traduction]

- Mark Carney, gouverneur de la Banque d'Angleterre et président du Conseil sur la stabilité financière du G-20

9.5 Le fait d'envoyer un message clair et prévisible pour les investissements à long terme et de diffuser des renseignements relatifs au climat permettra au marché de mieux prévoir et de mieux planifier la transition vers un futur à faibles émissions de carbone.

Le financement des initiatives liées au changement climatique est un aspect crucial du défi climatique, tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale. Des investissements considérables, surtout dans les mesures d'adaptation, seront

nécessaires pour éponger les coûts du changement climatique, dont certains pourraient se matérialiser sur un horizon à long terme. Ces investissements comportent des risques et des occasions à l'égard desquels beaucoup d'entreprises et d'intervenants politiques prennent des mesures. Par exemple, le secteur de l'assurance a déjà été très exposé aux risques du changement climatique¹³⁰. Ces risques peuvent être matériels, les investissements pouvant subir le contrecoup d'importants événements comme des inondations ou la perturbation de chaînes d'approvisionnement mondiales, et pourraient avoir d'importantes conséquences pour les assureurs et les réassureurs. Des risques de responsabilité pourraient également surgir si des investisseurs faisaient l'objet de poursuites judiciaires pour des dommages découlant d'émissions de carbone. Enfin, des risques de transition peuvent se présenter lorsque des changements structurels dans l'économie entraînent la réévaluation des actifs et des valeurs des entreprises.

Un autre aspect clé des mesures concernant les risques et les occasions liés au changement climatique est de fournir aux investisseurs des

¹³⁰ Bank of England, *Breaking the Tragedy of the Horizon - Climate Change and Financial Stability* – Discours prononcé par Mark Carney.

données fiables et détaillées sur les activités dans ce domaine. De nombreuses entreprises, dont 822 investisseurs avec des actifs de plus de 95 billions (95 mille milliards) de dollars américains, ont choisi de divulguer des renseignements sur leurs activités liées au changement climatique par le Carbon Disclosure Project [Projet de divulgation des émissions carbone] ou le Montréal Carbon Pledge [Engagement de Montréal sur le carbone]. Le Groupe de travail sur les divulgations financières liées au climat du Conseil de la stabilité financière travaille à l'élaboration d'un mode de divulgation volontaire et cohérent des risques financiers liés au climat pouvant être utilisé par les entreprises pour fournir des renseignements aux investisseurs, aux prêteurs, aux assureurs et à d'autres intervenants. Ces initiatives permettent de mieux comprendre la relation entre la décarbonisation et le rendement financier des entreprises. Le développement ultérieur d'initiatives similaires pourrait créer un cercle vertueux qui invite à l'action et au partage des pratiques exemplaires. En retour, cela enverrait un message clair et prévisible aux investisseurs, permettant au marché de mieux préparer et planifier la transition¹³¹.

Enfin, la tarification du carbone offrira aux entreprises, aux investisseurs et aux consommateurs canadiens un fondement clair et prévisible pour la prise de décisions. En ayant l'assurance que la tarification du carbone continuera d'augmenter au fil du temps au Canada, les entreprises et les consommateurs seront encouragés à investir dans des appareils, des véhicules et des technologies propres. Cette assurance encouragera également les entreprises à investir dans la recherche sur les technologies à faibles émissions de carbone, ce qui placera les entreprises canadiennes en bonne position pour être concurrentielles dans l'économie à faible émission de carbone en plein essor.

9.6 Le Canada a confirmé son engagement en matière d'innovation pour l'énergie propre en adhérant à l'engagement international Mission Innovation, qui vise à accélérer l'innovation en doublant les investissements dans la recherche, le développement et le déploiement en matière d'énergie propre dans le monde entier.

Le 30 novembre 2015, le Canada a annoncé sa participation à l'engagement international Mission Innovation, aux côtés de 20 autres pays. Cet engagement vise à doubler les investissements gouvernementaux pour l'innovation en matière d'énergie propre au cours des cinq prochaines années, tout en encourageant également de plus hauts niveaux d'investissement du secteur privé. Cet engagement prévoit aussi une collaboration avec la Breakthrough Energy Coalition, une initiative indépendante de 28 investisseurs influents de dix pays qui s'engagent à fournir des capitaux de démarrage patients (par opposition au capital de risque, qui cherche un rendement sur un horizon beaucoup plus court) pour l'avancement de l'innovation technologique en matière d'énergie propre.

Dans le cadre de cette initiative, il est entendu que l'innovation en matière de technologie propre est souvent confrontée à la « vallée de la mort », qui se présente généralement au stade de la précommercialisation, où la conversion d'un concept éprouvé en un produit attrayant détermine la survie ou la mort d'une entreprise. Cet engagement vise à combler cet écart avec davantage de fonds gouvernementaux pour permettre plus de recherche de base, ainsi qu'avec davantage de capitaux patients privés, ce qui donne aux bons concepts le temps nécessaire pour parvenir à leur commercialisation sur le marché. Compte tenu des défis particuliers du Canada en matière de commercialisation, cette initiative pourrait répondre à l'important besoin des entreprises canadiennes de réussir dans l'innovation en matière d'énergie propre capable de réduire grandement les émissions de GES.

¹³¹ « Les risques pour la stabilité financière seront réduits au minimum si la transition commence tôt et qu'elle suit une trajectoire prévisible, ce qui aiderait le marché à préparer et planifier la transition vers un monde où la hausse de la température est limitée à deux degrés » [traduction]. (Bank of England, *Breaking the Tragedy of the Horizon - Climate Change and Financial Stability* – Discours prononcé par Mark Carney).



10 Atteindre un futur à faibles émissions de carbone par des investissements dans les infrastructures

Les investissements dans les infrastructures sont la clé de voûte des initiatives de décarbonisation radicale du Canada dans le long terme et aideront à refaçonner l'économie en conformité avec les cheminements vers un futur à faibles émissions de carbone. Les investissements réalisés aujourd'hui dans les infrastructures offriront aux Canadiens une hausse des perspectives d'emploi et une amélioration de la propreté et de la modernité des collectivités tout en contribuant à la lutte aux changements climatiques et à la pollution atmosphérique.

Les investissements dans le transport public, les infrastructures vertes, les infrastructures sociales, les corridors de commerce et de transport du Canada ainsi que les collectivités rurales et nordiques constitueront un fondement solide pour l'amélioration du caractère inclusif et durable des villes, en plus de favoriser la réduction des GES et d'améliorer la résilience aux effets des changements climatiques. Par exemple, les collectivités canadiennes qui aménagent de nouveaux réseaux de transport public et prolongent les services transformeront la façon dont les Canadiens vivent, se déplacent et travaillent.

En plus d'affecter des ressources importantes (plus de 186 milliards de dollars d'ici 2027-2028), le Canada travaille à la création d'une nouvelle Banque de l'infrastructure, organisme indépendant visant à accroître les investissements dans les infrastructures axées sur la croissance, ce qui transformera les modes de planification de financement et de réalisation des infrastructures à travers le pays.

Compte tenu de l'ampleur des investissements nécessaires à la réalisation des projets d'infrastructure clés, les liens clés entre le processus décisionnel en matière d'infrastructure et la décarbonisation à long terme comprennent les suivants :

- Les investissements influent sur l'établissement des trajectoires à long terme relatives aux émissions de GES, car la durée de vie des biens d'infrastructure est longue, allant souvent de 25 à 60 ans.
- Une fois les investissements d'infrastructure effectués, les comportements et les émissions de carbone qui en découlent sont plus ou moins « bloqués » et la transition vers une nouvelle trajectoire peut devenir très coûteuse.
- Le déploiement d'investissements d'infrastructure de façon stratégique peut attirer des investissements d'infrastructure à faibles émissions de carbone, créant ainsi une masse critique de financement pour des solutions à faibles émissions de carbone ou une capacité d'« ancrage » des investissements futurs pour ce type de solutions. Par exemple, des investissements stratégiques dans des carburants de remplacement ou dans des infrastructures de véhicules électriques sous-tendraient des investissements ultérieurs dans des véhicules à faibles émissions de carbone.
- La nature transformatrice des projets d'infrastructure joue un rôle complémentaire et habilitant dans le soutien à la transition vers une économie à faibles émissions de carbone. Par exemple, une infrastructure conçue pour résister aux effets projetés du changement climatique peut entraîner des économies de coûts à long terme en permettant d'éviter des coûts d'entretien et de remise en état.

Le Canada entend travailler en étroite collaboration avec tous les intéressés, y compris les provinces, les territoires et les peuples autochtones, pour élaborer et mettre en œuvre un plan d'infrastructure qui fournit des investissements dans tout le pays. Dans le cadre de ce plan, des investissements dans des infrastructures vertes et dans d'autres canaux, dont les infrastructures sociales et de transport, permettront de réduire les émissions de GES et de soutenir la résilience des biens d'infrastructure. Ces investissements pourraient par exemple avoir pour but de soutenir une plus grande électrification de secteurs actuellement dépendants des combustibles fossiles ou d'améliorer les réseaux de transport d'électricité grâce à des lignes de transport interprovinciales et à l'expansion des réseaux intelligents.

Les investissements réalisés dans les infrastructures durables permettront d'améliorer l'adaptation et la résilience aux changements climatiques, feront en sorte que plus de collectivités pourront offrir de l'air pur et de l'eau potable à leurs citoyens et favoriseront la transition vers une croissance économique durable. Le Canada s'assurera que les objectifs en matière de lutte aux changements climatiques qu'il s'est fixés pour le milieu du siècle orienteront les projets d'infrastructure dans l'avenir.



Conclusion

En définitive, pour gérer le changement climatique, il faudra en arriver à des émissions nettes de GES anthropiques nulles au cours du présent siècle. Le Canada devra transformer en profondeur tous les secteurs économiques, particulièrement les habitudes de production et de consommation d'énergie. Au fil du temps, cela suppose des changements structurels majeurs de l'économie et des habitudes de vie, de travail et de consommation des gens.

Un avenir à faibles émissions de GES représente en outre une occasion énorme d'accroître la prospérité et le bien-être des Canadiens, d'améliorer l'habitabilité de l'environnement bâti, de moderniser les transports et d'améliorer l'environnement naturel. Il offre les avantages suivants : réduction de la pollution atmosphérique et de la congestion, modernisation des infrastructures permettant une amélioration du caractère inclusif et durable des villes, amélioration de la modernité et de la propreté de collectivités, croissance du secteur canadien des technologies propres, augmentation de la productivité et du rendement économiques, économies d'énergie et réduction des coûts de l'énergie, amélioration de la résilience aux conséquences des changements climatiques.

Une grande part de la transformation peut être réalisée au moyen des technologies existantes, mais l'innovation, par exemple dans le cadre de l'initiative Mission Innovation, et des investissements considérables en recherche, développement, démonstration et déploiement et dans les infrastructures connexes seront essentiels à cette transition.

Une collaboration supplémentaire entre les chefs de file de l'industrie pour déterminer leurs priorités d'innovation communes sera nécessaire afin de saisir les occasions d'intégrer l'innovation aux stratégies d'entreprise. Les environnements de financement, les régimes de propriété intellectuelle, les programmes de recherche et les stratégies de communication devront être façonnés pour stimuler les investissements dans l'innovation.

La décarbonisation exigera un effort de société soutenu qui s'étendra sur de nombreuses années. Il faudra une accélération technologique des solutions de remplacement à faibles émissions de GES, en plus d'un engagement de société et la participation de tous les Canadiens. Il sera essentiel de collaborer avec les Autochtones et d'appuyer la mise en œuvre continue de leurs initiatives en matière de changements climatiques. De même, tous les paliers de gouvernement devront mettre en œuvre plusieurs des diverses options de politiques dont ils disposent. À cet égard, le Canada continuera de collaborer avec les provinces et territoires, notamment au moyen du Cadre pancanadien en matière de croissance propre et de changement climatique. Bien que le rythme de cette transition au Canada puisse varier selon les provinces et territoires, son orientation est claire.

Liste de références

Rapports :

Agence internationale de l'énergie, 2009. *Energy Technology Transitions for Industry: Energy Technology Transitions for Industry*. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/industry2009.pdf>

Agence internationale de l'énergie, 2000. *Abatement of other Greenhouse Gases – Nitrous Oxide*. http://www.ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/PH3-29%20nitrous%20oxide.pdf

Agence internationale de l'énergie, 2015. *Energy Efficiency Market Report*. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-efficiency-market-report-2015-.html>

Agence internationale de l'énergie, 2016. *Energy Policies of IEA countries: Canada Review 2015*. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesCanada2015Review.pdf>

Agence internationale de l'énergie, 2016. *Energy Technology Perspectives 2016*. http://www.iea.org/bookshop/719-Energy_Technology_Perspectives_2016

Agence internationale de l'énergie, 2016. *IEA's Electricity Information Report*. http://www.iea.org/bookshop/727-Electricity_Information_2016

Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2016. *L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux – Rapport numéro 4*. <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/l-agriculture-ecologiquement-durable-au-canada-serie-sur-les-indicateurs-agroenvironnementaux-rapport-numero-4/?id=1467307820931>

Analytica Advisors, 2016. *2016 Canadian Clean Technology Industry Report*. <http://www.analytica-advisors.com/publications>

Association of American Railroads, 2016. *Freight Railroads Help Reduce Greenhouse Gas Emissions*. <https://www.aar.org/BackgroundPapers/Railroads%20and%20Greenhouse%20Gas%20Emissions.pdf>

Bataille, C. et al., 2015. *Pathways to Deep Decarbonization in Canada*. http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2015/09/DDPP_CAN.pdf

Commission mondiale de l'économie et du climat, 2016. *The Sustainable Infrastructure Imperative: Financing for Better Growth and Development*. http://newclimateeconomy.report/2016/wp-content/uploads/sites/4/2014/08/NCE_2016Report.pdf

Conference Board du Canada, 2008. *Municipal Waste Generation*. <http://www.conferenceboard.ca/hcp/details/environment/municipal-waste-generation.aspx>

Conference Board du Canada, 2011. *Canada's Electricity Infrastructure: Building a Case for Investment*. <http://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?DID=4132>

Conference Board du Canada, 2012. *Production de déchets : Classement provincial et territorial*. <http://www.conferenceboard.ca/hcp/provincial-fr/environment-fr/waste-fr.aspx>

Conference Board du Canada, 2015. *A Long, Hard Road: Reducing GHG Emissions in Canada's Road Transportation Sector by 2050*. <http://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?did=7491>

Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2014. *Rapport d'étape sur le Plan d'action pancanadien pour la responsabilité élargie des producteurs*. http://www.ccme.ca/files/Resources/fr_waste/fr_epr/CAP-EPR%20Progress%20Report%20FR.pdf

Conseil canadien sur l'électricité renouvelable, 2015. *Powering Prosperity Climate Report*. http://renewableelectricity.ca/wpcontent/uploads/2015/11/CanCORE_Report_FINAL.pdf

Conseil des académies canadiennes, 2015. Solutions technologiques et politiques pour un système énergétique à faibles émissions au Canada. http://www.scienceadvice.ca/uploads/eng/assessments%20and%20publications%20and%20news%20releases/magna/energyuse_fullreport_en.pdf (document disponible en anglais seulement)

Conseil mondial de l'énergie, 2010. *Average Electricity Consumption per Electrified Household*. <https://www.wec-indicators.enerdata.eu/household-electricity-use.html>

Conseil national de recherches Canada, 2016. *Révolutionner l'industrie canadienne des mines avec des véhicules électriques*. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/pari/reussite/2016/papabravo.html>

Dialogue pour un avenir durable, 2016. *Agir sur les changements climatiques : Innovations autochtones*. <http://www.sustainablecanadadialogues.ca/fr/vert/innovationsautochtones>

École d'administration publique et de politique gouvernementale de l'Université Carleton, 2015. *Report of the State of Alternative Energy in the Arctic*. https://curve.carleton.ca/system/files/faculty_staff_research_publication/08515c6b-3b39-4c41-ad7b-2c6306cf0379/fac_staff_res_pub_pdf/d9833b6ff19ff098e44032a87026605f/cherniak-et-al-alternativeenergyarctic.pdf

Energy Economics, 2010. *Optimizing the Energy Efficiency of Conventional Multi-Cylinder Dryers in the Paper Industry*.

Environnement et Changement climatique Canada, 2014. *Tendances en matière d'émissions au Canada, 2014*. <https://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=E0533893-1>

Environnement et Changement climatique Canada, 2015. *Guide technique pour la déclaration des émissions de gaz à effet de serre*. <http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=47B640C5-1&printfullpage=true%20-%20ws800EC2BC>

Environnement et Changement climatique Canada, 2016. *Deuxième rapport biennal du Canada sur les changements climatiques*. <https://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=02D095CB-1%20>

Environnement et Changement climatique Canada, 2016. *Rapport d'inventaire national 1990/2014 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada*. <https://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=Fr&n=662F9C56-1>

Executive Office of the President of the United States, 2014. *The Cost of Delaying Action to Stem Climate Change*. https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/docs/the_cost_of_delaying_action_to_stem_climate_change.pdf

Fédération canadienne des municipalités, 2009. *Réussites des municipalités canadiennes en matière de valorisation des déchets*. https://www.fcm.ca/Documents/tools/GMF/Getting_to_50_percent_en.pdf (document disponible en anglais seulement)

GE Consulting Group, 2016. *Étude pancanadienne sur l'intégration de l'énergie éolienne*. <http://canwea.ca/fr/integration-de-leolienne/>

Giroux Environmental Consulting, 2014. *State of Waste Management in Canada*. http://www.ccme.ca/files/Resources/waste/wst_mgmt/State_Waste_Mgmt_in_Canada%20April%202015%20revised.pdf

Glancy, R.P., 2013. *Quantifying Fugitive Emission Factors from Unconventional Natural Gas Production Using IPCC Methodologies*. IGES, Hayama, Japon. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/tsu/intern_report/TSU_InternshipReportRyan.pdf

Gouvernement de la Colombie-Britannique, 2008. *Greening the Border*. http://www.th.gov.bc.ca/greening_the_border/docs/greening_the_border.pdf

Gouvernement du Canada, 2011. *État de la situation des collectivités éloignées/hors réseau au Canada*. http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2013-118_fr.pdf

Gouvernement du Canada, 2016. *Les peuples autochtones et la foresterie au Canada*. <http://cfs.nrcan.gc.ca/entrepotpubl/pdfs/36705.pdf>

Gouvernement du Canada, 2016. *Réduire l'empreinte environnementale – en commençant par le gouvernement*. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/conservation/durabilite/strategie-federale-developpement-durable/rapport-etape-2015/empreinte-environnementale.html>

Groupe de travail sur les transports urbains, 2012. *Le coût élevé de la congestion dans les villes canadiennes*. <http://comt.ca/french/uttf-congestion-2012f.pdf>

ICF International, 2014. *Economic Analysis of Methane Emission Reduction Opportunities in the U.S. Onshore Oil and Natural Gas Industries*. https://www.edf.org/sites/default/files/methane_cost_curve_report.pdf

Jacobson, M. Z. et al., 2016. *100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight (WWS) All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World*. <http://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/WWS-50-USState-plans.html>

La Banque mondiale, 2016. *Élimination du brûlage à la torche d'ici 2030*. <http://www.worldbank.org/en/programs/zero-routine-flaring-by-2030> (page disponible en anglais seulement)

Ministère fédéral allemand de l'Économie et de la Technologie, 2012. *Germany's New Energy Policy Heading Towards 2050 With Secure, Affordable And Environmentally Sound Energy*. <http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/germanys-new-energy-policy>

Navius Research Inc., 2012. *Investment and Lock-In Analysis for Canada: Low Carbon Scenarios to 2050*. http://warming.apps01.yorku.ca/library/wp-content/uploads/2013/03/NRTEE-2012-Investment-and-Lock-in-Analysis-for-Canada_Low-Carbon-Scenarios-to-2050-CP6.pdf

Office national de l'énergie, 2015. *Résumé des exportations et importations d'électricité en 2015*.

<https://www.neb-one.gc.ca/nrg/sttstc/lctrct/stt/lctrctysmmr/2015/smmry2015-fra.html>

Office national de l'énergie, 2016. *Avenir énergétique du Canada en 2016 – Offre et demande énergétiques à l'horizon 2040*. <https://www.neb-one.gc.ca/nrg/ntgrtd/fttr/2016/index-fra.html>

Ontario Waste Management Association, 2015. *Rethink Waste: Evolution Towards a Circular Economy*. <http://www.owma.org/Publications/OWMAReportsandPolicies.aspx>

Ordre des ingénieurs de l'Ontario, 2010. *Towards a Clean Train Policy: Diesel Versus Electric*. http://www.academia.edu/5399500/Toward_a_clean_train_policy_diesel_versus_electric

Potvin, C. et al., 2015. *Agir sur les changements climatiques : Les solutions d'universitaires canadiens et canadiennes*.

http://www.sustainablecanadadialogues.ca/files/PDF_DOCS/DCV_FR_30marslr.pdf

Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2015. *Rapport sur l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction d'émissions*. http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport/pdfs/Emissions_Gap_TECHNICAL_SUMMARY

Programme des Nations Unies pour l'environnement et Organisation météorologique mondiale, 2011. *Évaluation intégrée sur le carbone noir et l'ozone troposphérique*. http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/BlackCarbon_report.pdf (document disponible en anglais seulement)

Projet Trottier pour l'avenir énergétique, 2016. *Défis et opportunités pour le Canada*. <http://iet.polymtl.ca/tefp/>

Ressources naturelles Canada, 2010. *Guide de commissioning pour les nouveaux bâtiments*. <http://www.nrcan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/recherche/optimisation/3828>

Ressources naturelles Canada, 2015. *L'État des forêts au Canada 2015*. <http://cfs.nrcan.gc.ca/entrepotpubl/pdfs/36554.pdf>

Ressources naturelles Canada, 2015. *Pour bien comprendre les thermopompes*. <http://www.nrcan.gc.ca/energie/publications/efficacite/chauffage-thermopompe/6830>

Ressources naturelles Canada, 2016. *Participation des Autochtones dans le secteur forestier*. <http://www.nrcan.gc.ca/forets/canada/autochtones/16516>

Ressources naturelles Canada, 2016. *Programme d'innovation énergétique : Innovation pour l'énergie propre*. <http://www.nrcan.gc.ca/energie/science/programmes-financement/18877>

Ressources naturelles Canada, 2016. *Améliorer le rendement énergétique au Canada*. <https://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/parlement/2013-2015/pdf/parlement13-15.pdf>

Scurr, C. et Beaudry, J., 2011. *Gap Analysis First Nations Climate Change Adaptation South of 60 Degrees Latitude*. Transmis à Affaires indiennes et du Nord Canada.

Shell Global, 2016. *A Better Life with a Healthier Planet*. http://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/a-better-life-with-a-healthyplanet/_jcr_content/par/textimage.stream/1475857466913/a1aa5660d50ab79942f7e4a629fcb37ab93d021afb308b92c1b77696ce6b2ba6/scenarios-nze-brochure-interactive-afwv9-interactive.pdf

Smart Prosperity, 2016. *New Thinking – Canada's Roadmap to Smart Prosperity*. <http://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/newthinking.pdf>

Statistique Canada, 2010. *Enquête sur l'industrie de la gestion des déchets : secteur des entreprises et des administrations publiques*. <http://www.statcan.gc.ca/pub/16f0023x/2010001/part-partiel-fra.htm>

Statistique Canada, 2011. *Recensement de l'agriculture de 2011*. <http://www.statcan.gc.ca/fra/ra2011/index>

Statistique Canada, 2013. *L'Enquête sur la gestion agroenvironnementale 2011*. <http://www.statcan.gc.ca/pub/21-023-x/21-023-x2013001-fra.htm>

Swiss Re and Institute of International Finance, 2015. *Infrastructure investing: It matters*. http://www.swissre.com/rethinking/financial_stability/infrastructure_investing_it_matters.html

Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, 2007. *D'ici 2050 – la transition du Canada vers un avenir à faible taux d'émission*. <http://publications.gc.ca/site/fra/9.669740/publication.html>

Torrie, R., 2015. *Agir sur les changements climatiques : Vers un dialogue élargi à la société civile canadienne : Quelques réflexions sur les politiques en réponse aux changements climatiques*. [http://sustainablecanadadialogues.ca/pdf_2015/extending_dialogue/RalphTorrie\(FR\).corr.pdf](http://sustainablecanadadialogues.ca/pdf_2015/extending_dialogue/RalphTorrie(FR).corr.pdf)

The Royal Institution of Chartered Surveyors, 2005. *Green Value*. <http://hatchdesign.ca/wordpress/wp-content/uploads/2011/12/greenvaluereport1.pdf>

United States Energy Information Administration, 2016. *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Ressources in the Annual Energy Outlook 2016*. https://www.eia.gov/forecasts/aeo/electricity_generation.cfm

United States Environmental Protection Agency, 2009. *Opportunities to Reduce Greenhouse Gas Emissions through Materials and Land Management Practices*. <https://www3.epa.gov/region9/climatechange/pdfs/ghg-land-materials-management.pdf>

Sites Web

Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2016. *Vue d'ensemble du système agricole et agroalimentaire canadien 2016*. <http://www.agr.gc.ca/fra/a-propos-de-nous/publications/publications-economiques/liste-alphabetique/vue-d-ensemble-du-systeme-agricole-et-agroalimentaire-canadien-2016/?id=1462288050282>

Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2016. Oxyde nitreux. <http://www.agr.gc.ca/fra/science-et-innovation/pratiques-agricoles/agriculture-et-climat/gaz-a-effet-de-serre/oxyde-nitreux/?id=1329321974453>

Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2011. *L'Enquête sur la gestion agroenvironnementale 2011*. <http://www.statcan.gc.ca/pub/21-023-x/21-023-x2013001-fra.htm>

CAA. Véhicule électriques vendus au Canada. <https://www.caa.ca/fr/vehicules-electriques/vehicules-electriques-vendus-au-canada/>

Drake Landing Solar Community. *Welcome to Drake Landing Solar Community*. <http://www.dlsc.ca/>

Electricity. *The Electric Bus – Quiet, Exhaust Emission-Free and Passenger-Friendly*. <http://www.goteborgelectricity.se/en/node/19505/about-electric-bus/>

Équiterre. Réseau des fermiers de famille. <http://www.equiterre.org/node/47>

EVObsession, 2015. *Best Electric Car for the Average American*. <http://evobsession.com/best-electric-car-for-the-average-american/>

Fleet Carma, 2015. *Electric Vehicle Sales in Canada: 2015 Final Numbers*. <http://www.fleetcarma.com/ev-sales-canada-2015/>

Force. *FORCE*. <http://fundyforce.ca/about/>

Groupe de travail sur les affaires autochtones développement économique chez les Autochtones. *Programme de partenariats énergétiques pour les Autochtones – Gouvernement de l'Ontario*. <http://www.aawgecdev.ca/ontario-aboriginal-energy-partnerships-program.html> (page disponible en anglais seulement)

Mercedes-Benz, 2016. *Electric truck for the city*. <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/next-e-mobility/electric-truck-for-the-city/>

Mercedes-Benz, 2016. *Urban eTruck* [image numérique]. Daimler Co. Ltd. <https://www.daimler.com/products/trucks/mercedes-benz/urban-etruck.html>

Model 3 Tracker, 2016. *Known Spots of Model 3 Vehicles by Status*. https://www.model3tracker.info/public_graphs_world_map.php

Nuclear Energy Institute, 2015. *Top 10 Nuclear Generating Countries*. <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/World-Statistics/Top-10-Nuclear-Generating-Countries/>

Orkuveita Reykjavíkur. *The CarbFix Project*. <https://www.or.is/english/carbfix-project#page-7214>

Ressources naturelles Canada, 2014. *Usine pilote de démonstration de carburant à faible teneur en carbone*. <http://www.rncan.gc.ca/energie/financement/programmes-financement-actuels/iei/16135>

Ressources naturelles Canada, 2015. *Programme Conversion du carbone par les algues*. http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/solutions/collaboration/algues_index.html

Ville d'Edmonton. *On the Front Edge of Smart Vehicle Technology*. http://www.edmonton.ca/city_government/initiatives_innovation/smart-vehicle-technology.aspx

Articles de journaux

Bloomberg New Energy Finance (juin 2016). *Coal and Gas to Stay Cheap, but Renewables Still Win Race on Costs*. Bloomberg. https://about.bnef.com/press-releases/coal-and-gas-to-stay-cheap-but-renewables-still-win-race-on-costs/?utm_source=neoweb&utm_medium=link&utm_content=pressrelease&utm_campaign=NEO2016

Condon, P. (janvier 2016). *Don't Waste Billions on Bad Transit Projects*. The Tyee. <http://thetyee.ca/Opinion/2016/01/25/Bad-Transit-Projects/>

Coulter, T. (février 2015). *Japan Has More Car Chargers than Gas Stations*. Bloomberg. <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-02-13/japan-has-more-car-chargers-than-gas-stations-carbon-climate>

Gouvernement du Canada (mars 2016). *Réduction des émissions de méthane produites par le secteur pétrolier et gazier*. http://nouvelles.gc.ca/web/article-fr.do?nid=1039219&_ga=1.131423241.721921701.1478110348

Hamilton, T. (janvier 2013). *The \$36-Trillion Question*. Corporate Knights. <http://www.corporateknights.com/channels/climate-and-carbon/the-36-trillion-question-13587867/>

Oron, A. (mars 2016). *World's Top 7 Electric Vehicle Adoption Countries for 2015*. Inside EVs. <http://insideevs.com/worlds-top-7-electric-vehicle-adoption-countries-for-2015/>

Presse canadienne (novembre 2013). *Electric Bus Pilot Project to Hit Montreal Streets in 2015*. CBC News. <http://www.cbc.ca/news/canada/montreal/electric-bus-pilot-project-to-hit-montreal-streets-in-2015-1.2436725>

Roston, E. et Echouse, B. (juillet 2016). *How the Pentagon is Waging America's Wars Using Renewable Energy*. Financial Post. http://business.financialpost.com/news/energy/how-the-pentagon-is-waging-americas-wars-using-renewable-energy?_lsa=0699-fa33

Articles examinés par des pairs

Bataille, C., Melton, N., et Jaccard, M., 2015. *Policy Uncertainty and Diffusion of Carbon Capture and Storage in an Optimal Region*. *Climate Policy*, 15(5), 565-582. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14693062.2014.953905>

Bond, T. C., et al., 2013. *Bounding the Role of Black Carbon in the Climate System: A Scientific Assessment*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 5380–5552. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrd.50171/abstract>

McKinley, A., 2008. *Industrial Ecology: A Review with Examples from the Canadian Mining Industry*. *Canadian Journal of Regional Science/Revue canadienne des sciences régionales*, XXXI(1), 163-174.

Needell, Z.A., et al., 2016. *Potential for Widespread Electrification of Personal Vehicle for Travel in the United States*. Massachusetts Institute for Technology, *Nature Energy*. <http://www.nature.com/articles/nenergy2016112>

O'Connor, J., et Bowick, M., 2014. *Advancing Sustainable Design with Life Cycle Assessment*. SAB Magazine. http://www.athenasmi.org/wpcontent/uploads/2015/09/Advancing_Sustainable_Design_with_LCA.pdf

Smyth, C.E. et al., 2014. *Quantifying the Biophysical Climate Change Mitigation Potential of Canada's Forest Sector*. *Biogeosciences*, 11, 3515-3529.

Smyth, C.E. et al., 2016. *Climate Change Mitigation Potential of Local Use of Harvest Residues for Bioenergy in Canada*. *CB Bioenergy*. [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1757-1707/earlyview](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1757-1707/earlyview)

Chapitres de livre ou de rapport

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014. *Changements climatiques 2014 : Incidence, adaptation et vulnérabilité - Résumé à l'intention des décideurs*. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White). Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 34 pages.

[Myhre, G. et al., 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. Dans : Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat \[sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley\]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York \(États de New York\), États-Unis d'Amérique, 659–740.](#)

Nabuurs, G.J. et al., 2007. *Forestry*. Dans : *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave et L.A. Meyer], Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (États de New York), États-Unis d'Amérique, 541-584.

Banques de données et inventaires

Centre canadien de données et d'analyse de la consommation finale d'énergie dans l'industrie, 2015. *Cogeneration Facilities in Canada 2014* [fichier de données]. http://www2.cieedac.sfu.ca/media/publications/Cogeneration_Report_2015_Final.pdf

Inventaire forestier national du Canada, 2013. *Superficie (1 000 ha) de terres forestières et non forestières au Canada* [fichier de données]. https://nfi.nfis.org/resources/general/summaries/fr/pdf/CA3_T4_FOR_AREA_fr.pdf

Ressources naturelles Canada, 2013. *Base de données des collectivités éloignées* [fichier de données]. https://www2.nrcan-rncan.gc.ca/eneene/sources/rcd-bce/index.cfm?fuseaction=admin.home1&new=true&lang=fr_ca

Service canadien des forêts, 2016. *Satellite Forest Monitoring in Canada* [fichier de données]. <http://forests.foundryspatial.com>

Statistique Canada, 2011. *Les ménages et l'environnement : utilisation de l'énergie (11-526-S)* [fichier de données]. <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-526-s/11-526-s2013002-fra.htm>

Statistique Canada, 2012. *Recensement de l'agriculture de 2011* [fichier de données]. <http://www.statcan.gc.ca/fra/ra2011/index>

Règlements, traités, lois et directives

CCNUCC, 2015. *Adoption de l'Accord de Paris*. 12 décembre 2015. UNTS, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1

Directive 2012/27/UE du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique, modifiant les directives 2009/125/CE et 2010/30/UE et abrogeant les directives 2004/8/CE et 2006/32/CE, 2012 O.J. L 315/1.

<http://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewi-c3uuD24zQAhXpziQKHdxQDS0QFggBMAA&url=http%3A%2F%2Feur-lex.europa.eu%2FLEXUriServ%2FLEXUriServ.do%3Furi%3D0J%3AL%3A2012%3A315%3A0001%3A0056%3Afr%3APDF&usq=AFQjCNFbu1aYCFDZWHf4YHZRHQg9fdUYPW>

Environmental Protection Agency, 2010. *NSPS OOOOa Technical Support Document*. 40 CFR 60. 2010. <https://www.regulations.gov/document?D=EPA-HQ-OAR-2010-0505-5021>

Discours

Bank of England, 2015. *Breaking the Tragedy of the Horizon - Climate Change and Financial Stability*. Bank of England Publications. <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Pages/speeches/2015/844.aspx>

Smyth, C.E. et al. (2016). Climate Change Mitigation Potential of Local Use of Harvest Residues for Bioenergy in Canada. CB Bioenergy. Retrieved from [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1757-1707/earlyview](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1757-1707/earlyview)

Chapters in a Book or Report:

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Billir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1-32.

Myhre, G. et al. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 659-740.

Nabuurs, G.J., et al. (2007). Forestry. In: Climate Change 2007: Mitigation. *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 541-584.

Databanks and Inventories:

Canada's National Forest Inventory. (2013). Resources: Statistical Summaries for Canada: Forest Area [Data file]. Retrieved from https://nfi.nfis.org/resources/general/summaries/en/pdf/CA3_T4_FOR_AREA_en.pdf

Canadian Forest Service. (2016). Satellite Forest Monitoring in Canada [Data file]. Retrieved from <http://forests.foundryspatial.com>

Canadian Industrial Energy End-Use Data and Analysis Centre (2015). Cogeneration Facilities in Canada 2014 [Data file]. Retrieved from http://www2.cieedac.sfu.ca/media/publications/Cogeneration_Report_2015_Final.pdf

Natural Resources Canada. (2013). Remote Communities Database [Data file]. Retrieved from <http://www2.nrcan.gc.ca/eneene/sources/rcd-bce/index.cfm?fuseaction=admin.home1&new=true>

Statistics Canada (2011). Households and the Environment: Energy Use (11-526-S) [Data file]. Retrieved from <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-526-s/11-526-s2013002-eng.htm>

Statistics Canada (2012). 2011 Census of Agriculture [Data file]. Retrieved from <http://www.statcan.gc.ca/eng/ca2011/index>

Regulations, Treaties, Laws & Directives:

Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency Amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and Repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, 2012 O.J. L 315/1. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF>

Environmental Protection Agency. (2010). NSPS OOOOa Technical Support Document. 40 CFR 60. 2010. Retrieved from <https://www.regulations.gov/document?D=EPA-HQ-OAR-2010-0505-5021>

UNFCCC. (2015). Adoption of the Paris Agreement. Dec. 12, 2015, UNTS, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1

Speeches:

Bank of England (2015). Breaking the Tragedy of the Horizon - Climate Change and Financial Stability. Bank of England Publications. Retrieved from <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Pages/speeches/2015/844.aspx>

Annexe 1 - Résultats détaillés de la modélisation des scénarios de 2050

Cette annexe présente les résultats de modélisation de l'économie de l'énergie ou de l'économie totale au Canada dans le cadre des analyses de modélisation décrites pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (voir les descriptions de modèles et de scénarios au chapitre 3). Les tableaux sont présentés aux fins d'illustration seulement, et leur contenu ne doit pas être interprété comme étant optimal. De plus, l'agrégation sectorielle peut varier d'un modèle à un autre et, par conséquent, une comparaison directe entre les scénarios pourrait donner lieu à des conclusions non rigoureuses.

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de la modélisation entreprise par ECCC, où un objectif de 80% de réduction sous les niveaux de 2005 d'ici 2050 est accompli grâce à des réductions d'émissions dans les secteurs de l'énergie, des procédés industriels, de l'agriculture et des déchets. Ces réductions sont influencées par un prix uniforme sur les émissions de gaz à effet de serre.

Comme illustré par le tableau, il est projeté que les plus grandes réductions d'émissions proviennent des émissions reliées à l'énergie (89% sous les niveaux de 2005), suivi par les émissions du secteur des déchets (55% sous les niveaux de 2005), des procédés industriels (50% sous les niveaux de 2005) et de l'agriculture (36% sous les niveaux de 2005). Comme il y a présentement relativement peu d'opportunités à coûts modestes pour le secteur des procédés industriels, il est anticipé qu'une réduction de la production soit responsable d'un déclin dans les émissions.

Tableau A1 : Environnement et Changement climatique Canada - Émissions brutes (2050)

Émissions de GES par secteur au Canada, 1990–2050 (kt d'éq. CO ₂)				
Catégories de gaz à effet de serre	1990	2005	2050	% de variation par rapport à 2005
TOTAL : À L'EXCLUSION DU SECTEUR DE L'ATCATF	613	748	149	-80%
ÉNERGIE	482	597	67	-89%
Sources de combustion fixes	285	342	46	
Transports	148	195	38	
Sources fugitives	49	61	6	
Transport et stockage de CO ₂	-	0	-23	
PROCÉDÉS INDUSTRIELS ET UTILISATION DES PRODUITS	56	58	29	-50%
Produits minéraux	8	10	2	
Industrie chimique	17	10	19	
Production de métaux	24	20	5	
Production et consommation d'halocarbures, de SF ₆ et de NF ₃	1	6	1	
Produits non énergétiques provenant de combustibles et de l'utilisation de solvant	5	12	2	
Fabrication et utilisation d'autres produits	0	1	0	
AGRICULTURE	49	61	39	-36%
Fermentation entérique	23	31	20	
Gestion du fumier	8	10	6	
Sols agricoles	17	19	12	
Incinération des résidus agricoles dans les champs	0	0	0	
Chaulage, application d'urée et autres engrais carbonés	1	1	0	

DÉCHETS	26	31	14	-55%
Élimination des déchets solides	24	28	13	
Traitement biologique des déchets solides	1	1	1	
Traitement et rejet des eaux usées	1	1	0	
Incinération et combustion à l'air libre des déchets	1	1	0	

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de la modélisation entreprise par ECCC, où un objectif de 80% de réduction sous les niveaux de 2005 d'ici 2050 est accompli grâce à des réductions d'émissions de 65% dans les secteurs combinés de l'énergie, des procédés industriels, de l'agriculture, des déchets, ainsi qu'une contribution attendue venant des crédits liés à la séquestration dans le secteur d'affectation des terres et de transferts internationaux de résultats d'atténuation.

Comme illustré par le tableau, il est projeté que les plus grandes réductions d'émissions proviennent des émissions reliées à l'énergie (74% sous les niveaux de 2005), suivi par les émissions du secteur des déchets (55% sous les niveaux de 2005), des procédés industriels (28% sous les niveaux de 2005) et de l'agriculture (15% sous les niveaux de 2005).

Tableau A2 : Environnement et Changement climatique Canada - Émissions nette (2050)

Émissions de GES par secteur au Canada, 1990–2050 (kt d'éq. CO ₂)				
Catégories de gaz à effet de serre	1990	2005	2050	% de variation par rapport à 2005
TOTAL : À L'EXCLUSION DU SECTEUR DE L'ATCATF	613	748	262	-65%
ÉNERGIE	482	597	155	-74%
Sources de combustion fixes	285	342	86	
Transports	148	195	77	
Sources fugitives	49	61	8	
Transport et stockage de CO ₂	-	0	-17	
PROCÉDÉS INDUSTRIELS ET UTILISATION DES PRODUITS	56	58	50	-15%
Produits minéraux	8	10	4	
Industrie chimique	17	10	28	
Production de métaux	24	20	12	
Production et consommation d'halocarbures, de SF ₆ et de NF ₃	1	6	2	
Produits non énergétiques provenant de combustibles et de l'utilisation de solvant	5	12	4	
Fabrication et utilisation d'autres produits	0	1	0	
AGRICULTURE	49	61	44	-28%
Fermentation entérique	23	31	23	
Gestion du fumier	8	10	7	
Sols agricoles	17	19	14	
Incinération des résidus agricoles dans les champs	0	0	0	
Chaulage, application d'urée et autres engrais carbonés	1	1	1	

DÉCHETS	26	31	14	-55%
Élimination des déchets solides	24	28	13	
Traitement biologique des déchets solides	1	1	1	
Traitement et rejet des eaux usées	1	1	0	
Incinération et combustion à l'air libre des déchets	1	1	0	

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de la modélisation entreprise par le Trottier Energy Futures Project, où un objectif de 60% de réduction sous les niveaux de 1990 d'ici 2050 est accompli grâce à des réductions d'émissions dans les secteurs de l'énergie, des procédés industriels, de l'agriculture et des déchets. Le tableau ci-dessous illustre les réductions lorsque les technologies existantes sont disponibles, avec l'addition d'une grille électrique avec davantage d'interconnexions provinciales.

Comme illustré par le tableau, il est projeté que les plus grandes réductions d'émissions proviennent des émissions reliées à l'électricité (99% sous les niveaux de 2015), suivi par les émissions du secteur résidentiel (87% sous les niveaux de 2015), du secteur commercial (76% sous les niveaux de 2015), des transports (71% sous les niveaux de 2015) et de l'agriculture (64% sous les niveaux de 2015).

Tableau A3 : Trottier Energy Futures Project (Scénario des technologies actuelles)

Émissions de GES par secteur au Canada, 1990–2050 (kt d'éq. CO ₂)			
Catégories de gaz à effet de serre	2015	2050	% de variation par rapport à 2015
SCÉNARIO DES TECHNOLOGIES ACTUELLES			
TOTAL (À L'EXCEPTION DES ÉMISSIONS ATTRIBUABLES AUX PROCÉDÉS)	488	171	-65%
TOTAL (Y COMPRIS LES ÉMISSIONS ATTRIBUABLES AUX PROCÉDÉS)	560	282	-50%
AGRICULTURE	16	6	-64%
COMMERCIAL	36	9	-76%
PROCÉDÉS INDUSTRIELS ET UTILISATION DES PRODUITS	53	35	-34%
RÉSIDENTIEL	43	6	-87%
TRANSPORTS	169	49	-71%
ÉLECTRICITÉ	60	0	-99%
APPROVISIONNEMENT - COMBUSTION	112	66	-41%
APPROVISIONNEMENT - PROCÉDÉ	71	112	56%

Le tableau ci-dessous provient aussi du Trottier Energy Futures Project. Il illustre les réductions possibles lorsque de nouvelles technologies sont disponibles, permettant de diminuer les coûts de réduction de GES. La contribution des nouvelles technologies augmente la part des réductions obtenues par les secteurs de l'agriculture, commercial, résidentiel, et de fourniture et combustion.

Comme illustré par le tableau, il est projeté que les plus grandes réductions d'émissions proviennent des émissions reliées à l'électricité (99% sous les niveaux de 2015), suivi par les émissions du secteur résidentiel (89% sous les niveaux de 2015), du secteur commercial (88% sous les niveaux de 2015), de l'agriculture (66% sous les niveaux de 2015) et du secteur des procédés en approvisionnement (56% sous les niveaux de 2015).

Tableau A4 : Trottier Energy Futures Project (Scénario des nouvelles technologies)

Émissions de GES par secteur au Canada, 1990–2050 (Trottier) MtCO ₂ e			
Catégories de gaz à effet de serre	2015	2050	% de variation par rapport à 2015
SCÉNARIO DES NOUVELLES TECHNOLOGIES			
TOTAL (À L'EXCEPTION DES ÉMISSIONS ATTRIBUABLES AUX PROCÉDÉS)	488	171	-65%
TOTAL (Y COMPRIS LES ÉMISSIONS ATTRIBUABLES AUX PROCÉDÉS)	560	282	-50%
AGRICULTURE	16	5	-66%
COMMERCIAL	36	4	-88%
PROCÉDÉS INDUSTRIELS ET UTILISATION DES PRODUITS	51	35	-32%
RÉSIDENTIEL	43	5	-89%
TRANSPORTS	166	76	-54%
ÉLECTRICITÉ	64	0	-99%
APPROVISIONNEMENT - COMBUSTION	113	45	-60%
APPROVISIONNEMENT - PROCÉDÉ	71	112	56%

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de la modélisation entreprise par l'étude DDPP, où un objectif de 88% de réduction sous les niveaux de 2015 d'ici 2050 est accompli grâce à des réductions d'émissions dans tous les secteurs de l'économie, mise à part l'agriculture, qui a été exclu du travail de modélisation.

Comme illustré par le tableau, il est projeté que les plus grandes réductions d'émissions proviennent des émissions reliées aux secteurs des bâtiments résidentiels et commerciaux (99% sous les niveaux de 2015), suivi par les émissions du secteur du transport personnel (97% sous les niveaux de 2015), du secteur du transport de marchandise (95% sous les niveaux de 2015), du secteur minier (93% sous les niveaux de 2015) et du secteur de produits chimiques (75% sous les niveaux de 2015).

Tableau A5: Deep Decarbonization Pathways Project

Émissions de GES par secteur au Canada, 1990–2050 (DDPP) MtCO ₂ e			
Catégories de gaz à effet de serre	2015	2050	% de variation par rapport à 2015
TOTAL	651	78	-88%
BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS	37	0	-99%
BÂTIMENTS COMMERCIAUX	38	1	-99%
TRANSPORT – VÉHICULES PERSONNELS	88	3	-97%
TRANSPORT DE MARCHANDISES	112	5	-95%
PRODUITS CHIMIQUES	13	3	-75%
MINÉRAUX INDUSTRIELS (CIMENT ET CHAUX)	16	1	-93%
FER ET ACIER	12	4	-66%
FUSION DE MÉTAUX	11	3	-73%
EXPLOITATION MINIÈRE	5	3	-52%
FABRICATION DE PAPIER	6	1	-84%
AUTRES INDUSTRIES MANUFACTURIÈRES	21	5	-77%
DÉCHETS		5	-44%
ÉLECTRICITÉ	86	6	-93%
RAFFINAGE DE PÉTROLE	21	1	-96%
EXTRACTION DE PÉTROLE BRUT	134	19	-86%
EXTRACTION DE GAZ NATUREL	37	14	-62%
EXPLOITATION DE HOUILLE	2	2	-27%
PRODUCTION D'ÉTHANOL	2	0	-85%
PRODUCTION DE BIODIESEL	0	3	677%