

Changer de cap : Une approche stratégique pour permettre au Canada d'atteindre la carboneutralité



Auteurs

Simon Langlois-Bertrand
Normand Mousseau
James Meadowcroft



Auteurs

Simon Langlois-Bertrand, Ph. D.
Associé de recherche, Institut de l'énergie Trottier

Normand Mousseau, Ph. D.
Directeur scientifique, Institut de l'énergie Trottier;
professeur de physique, Université de Montréal

James Meadowcroft, Ph. D.
Conseiller principal, trajectoires de transition, Transition Accelerator;
professeur, École de politique publique et d'administration,
Université Carleton

Mise en page

Norman Terrault

À propos de l'Institut de l'énergie Trottier (IET)

L'IET a été créé en 2013 grâce à un don exceptionnel de la Fondation familiale Trottier à Polytechnique Montréal. Depuis, l'IET prend part à tous les débats énergétiques au pays. À l'origine de grandes réflexions collectives, l'équipe mobilise les savoirs, analyse les données, vulgarise les enjeux et recommande des plans d'action justes et efficaces. L'IET contribue également à la recherche et à la formation universitaires. Son indépendance lui confère une neutralité essentielle à l'approche collaborative qu'il préconise et facilite le travail avec les acteurs les plus aptes à faire avancer la transition énergétique, tout en lui permettant d'être librement critique lorsque cela s'avère pertinent.

Alors que le mandat initial d'une durée de dix ans arrivait à échéance, la Fondation familiale Trottier a choisi de renouveler sa confiance à l'égard de l'IET et d'accorder un nouveau don. L'IET s'étant forgé un statut d'institution incontournable et au vu de la portée de ses actions, il a été jugé souhaitable de prolonger son mandat. L'équipe pourra ainsi continuer d'offrir des avis fondés sur la science et d'enrichir le dialogue sociétal, ceci afin de faire progresser la façon dont nous produisons, convertissons, distribuons et utilisons l'énergie.

Website: iet.polymtl.ca

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/institut-energie-trottier/>

Avertissement

La responsabilité du contenu du présent rapport incombe uniquement à ses auteurs. Tous les soins raisonnables ont été pris par les auteurs pour vérifier la fiabilité des informations contenues dans cette publication. Ni les auteurs ni aucune personne agissant en leur nom ne peuvent être tenus responsables de l'utilisation qui pourrait être faite de ces informations.

Citation

Langlois-Bertrand, S., Mousseau, N., Meadowcroft, J. (2025). *Changer de cap : une approche stratégique pour permettre au Canada d'atteindre la carboneutralité*. Institut de l'énergie Trottier

Table des matières

Résumé	IV
Adopter une position plus stratégique	V
En route vers la carboneutralité : comment obtenir des résultats réellement transformateurs	VII
Mettre en œuvre une approche stratégique	VIII
 1 Introduction	 1
 2 Aperçu de l'écart à combler	 4
 3 Changer de cap : stratégies sectorielles pour atteindre la carboneutralité	 8
3.1 Bâtiments	10
3.2 Transports	18
3.3 Industrie	29
3.4 Production de pétrole et de gaz naturel	36
3.5 Agriculture	38
3.6 Déchets	40
3.7 Production d'électricité	41
 4 Conclusion	 43
 5 Références	 43

Résumé

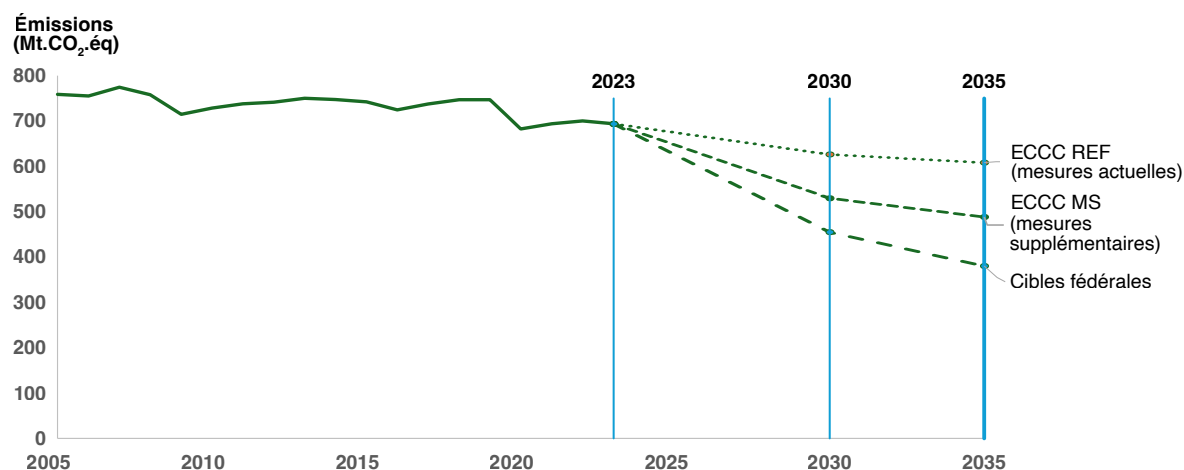
Dans les conditions actuelles, le Canada n'est pas en voie d'atteindre son objectif de carboneutralité d'ici le milieu du siècle.

Malgré les politiques climatiques mises en place par le gouvernement fédéral depuis 2015 et les évaluations optimistes du *Plan de réduction des émissions du Canada pour 2030*, un rapport récent d'Environnement et changement climatique Canada (ECCC) a reconnu qu'il subsiste un écart important entre les réductions prévues dans le cadre des politiques climatiques existantes et les objectifs intermédiaires officiels pour 2030 et 2035 (Canada, 2025). Ces conclusions concordent avec une évaluation antérieure de l'Institut de l'énergie Trottier dans ses Perspectives énergétiques canadiennes (Langlois-Bertrand *et al.*, 2024). ECCC prévoit désormais une réduction des GES de 18 % au lieu de 40 % pour 2030, et de 20 % au lieu des 50 % visés pour 2035 (Figure R1), une projection qui ne tient pas compte de l'impact de l'abrogation de la taxe sur le carbone imposée aux consommateurs. Selon ECCC, l'adoption et la mise en œuvre complète de toutes les autres mesures envisagées par le gouvernement (appelées « mesures supplémentaires ») pourraient combler partiellement cet écart en permettant une réduction de 30 % des GES d'ici 2030 et de 35 % d'ici 2035.

Sans mesures additionnelles significatives, le pays atteindrait donc moins de la moitié des réductions visées. Compte tenu de la conjoncture politique difficile, avec les turbulences liées aux droits de douane, l'hostilité de l'administration américaine actuelle à l'égard de la transition énergétique et du régime climatique international (ainsi que de mauvais résultats du gouvernement canadien en matière de prévision précise des trajectoires d'émissions futures), même ces résultats sont loin d'être certains. Pendant ce temps, de nombreux pays de l'OCDE ont réussi à réaliser des progrès significatifs. Ainsi, contrairement au Canada, les pays européens ont considérablement réduit leurs émissions depuis 1990. En effet, même si chaque pays est confronté à des défis et à des conditions qui lui sont propres, un grand nombre d'États ont réussi à mettre en œuvre des stratégies permettant de réduire considérablement leurs émissions, conformément aux objectifs de l'Accord de Paris.

L'échec du Canada n'est pas seulement environnemental : nous ne progressons pas assez rapidement pour bâtir la nouvelle économie qui sera nécessaire pour assurer sa prospérité dans la seconde moitié du siècle.

Figure R1 – Émissions de GES passées et projetées selon différents scénarios



Source : Canada (2025)

Remarque : les mesures incluses dans les scénarios des mesures actuelles (REF) et des mesures supplémentaires (MS) sont détaillées dans Canada (2024)

De nombreux facteurs ont contribué à limiter les progrès en matière de réductions de GES :

1. On savait d'avance qu'il serait difficile de diminuer les émissions dans un pays dont l'économie repose sur les ressources naturelles, dont les exportations de pétrole et de gaz sont en expansion, dont les politiques énergétiques régionales sont disparates, dont les structures politiques sont décentralisées et dont l'intégration économique avec les États-Unis est étroite.
2. De surcroît, l'objectif intermédiaire de réduction (2030) que le gouvernement fédéral a établi en 2021 n'était pas étayé par une analyse approfondie, mais plutôt influencé par des considérations politiques opportunistes.
3. Et, malgré son nom, le **Plan de réduction des émissions n'était pas réellement un plan pratique**, qui définissait les conditions réelles nécessaires pour garantir la réduction des émissions et assurait ensuite une mise en œuvre progressive pour atteindre ces objectifs. Il s'agissait plutôt d'un exercice de modélisation ambitieux, ajusté afin d'arriver au résultat souhaité.
4. L'élaboration des politiques accompagnant ce plan a été extrêmement lente (ce qui n'a pas été facilité par des mécanismes de tarification et de conformité excessivement complexes et manquant de transparence), et d'importantes ressources politiques ont été gaspillées dans des initiatives qui ne contribuent guère à la transition des systèmes canadiens vers la carboneutralité.

Dans le présent rapport, nous réexaminons le défi de décarboner l'économie canadienne d'ici le milieu du siècle, nous examinons les progrès réalisés à ce jour et nous présentons les mesures qui peuvent réorienter les efforts afin de progresser dans les secteurs économiques clés. Avant de présenter l'analyse détaillée, il est utile de décrire notre approche de base.

Adopter une position plus stratégique

Pour décarboner notre économie au cours des 25 prochaines années, il faut combler le « fossé » entre les ambitions et les actions concrètes. Cela exige une approche plus stratégique qui inclut les éléments suivants :

1. Changer d'orientation. Au lieu de nous préoccuper des objectifs de réduction des émissions à court terme, nous devrions **donner la priorité aux changements concrets qui transforment nos systèmes fondamentalement**, afin que les émissions de GES soient pratiquement éliminées d'ici le milieu du siècle. Il est plus important de suivre les indicateurs physiques (installation de systèmes de production d'électricité propre, nombre de bâtiments convertis au chauffage électrique) et les mesures de transformation des marchés (pourcentage de véhicules électriques dans les ventes totales d'automobiles, coûts relatifs du chauffage au gaz par rapport à l'électricité) dans ces systèmes que de calculer les réductions annuelles d'émissions.
2. Reconnaître que **la politique climatique est de plus en plus liée au développement économique et à la politique industrielle**. Les technologies renouvelables (solaire, véhicules électriques) sont désormais adoptées par les pays les plus pauvres pour accélérer leur développement économique, et les nations se bousculent pour s'assurer une place dans les chaînes de production à faible émission de carbone. Pour le Canada, la carboneutralité exige de bâtir une économie qui peut être compétitive et prospère dans un monde en voie de décarbonation. L'appui au développement de l'électricité propre, à la transformation à forte valeur ajoutée des ressources naturelles (extraction et traitement des minéraux critiques) et à la fabrication de technologies à faible émission de carbone (véhicules électriques, thermopompes, composants de systèmes électriques, etc.) jette les bases de la prospérité future, nous donne les outils nécessaires pour décarboner notre économie nationale et peut renforcer les coalitions politiques favorables à des mesures plus vigoureuses.
3. Adopter une **décarbonation asymétrique**. Les secteurs, les provinces et les régions suivront des voies et des rythmes adaptés à leur réalité. Les politiques doivent être adaptées au rythme de transition des différentes régions et des différents secteurs. Lorsque des solutions deviennent disponibles, les mesures politiques doivent accélérer leur déploiement à grande échelle. Lorsque les solutions ne sont pas encore claires, les politiques peuvent soutenir la R&D, l'expérimentation et les mesures visant à préparer la transformation éventuelle du marché.

4. Adopter une approche axée sur la planification et la mise en œuvre

- a) *a) Réfléchir d'abord à ce à quoi ressemblerait une économie carboneutre.* Comment organiser des systèmes efficaces pour transporter des marchandises, chauffer des bâtiments, fournir de l'électricité, etc., sans générer d'émissions nettes de GES? Bien sûr, nous ne pouvons pas anticiper tous les détails. Mais nous connaissons déjà la structure de base d'un système énergétique à faible émission de carbone.
 - b) *Ensuite, se demander quelle séquence de changements dans le monde physique est nécessaire pour atteindre cet objectif.* Cela comprend la construction d'infrastructures (centrales électriques et stations de recharge pour véhicules électriques), l'adoption de nouvelles technologies d'utilisation finale (véhicules électriques sur les routes, thermopompes dans les bâtiments) et le développement et l'adoption éventuelle de technologies novatrices (pour l'industrie lourde, l'aviation carboneutre, le retrait d'émissions de carbone, etc.).
 - c) *Examiner les obstacles et les catalyseurs* de la transformation souhaitée dans chaque contexte spécifique (secteur, province ou ville) et adopter les mesures politiques appropriées pour garantir les changements physiques qui construiront l'économie future. En partant de l'architecture du système souhaité, il est possible de planifier les étapes concrètes nécessaires à la construction de la nouvelle économie.
 - d) *Suivre les progrès* à l'aide d'indicateurs pertinents et s'adapter de façon presque continue à ce qui se passe sur le terrain.
5. **Soutenir le nouveau plutôt que punir l'ancien.** La société n'abandonnera pas les ressources fossiles parce que l'offre a été politiquement restreinte, mais parce que la demande aura été effacée par des technologies renouvelables supérieures aux technologies fossiles et des services énergétiques électrifiés plus performants, plus pratiques, plus sécuritaires et, au final, moins coûteux. Les nouvelles politiques devraient donc cibler le déploiement des nouvelles technologies, avec une stratégie visant à faire baisser leur coût et leur prix tout en démontrant les avantages de celles-ci, plutôt que de pénaliser les systèmes en place. À mesure que la dépendance aux combustibles fossiles s'érodera du côté de la demande, l'équilibre des forces entre les anciens et les nouveaux systèmes énergétiques,

ainsi que les calculs politiques, changeront et la transition pourra s'accélérer. Mais cibler directement les producteurs d'énergie fossile (alors que le pétrole reste la principale source de revenus à l'exportation du pays et que l'économie de plusieurs provinces repose sur l'industrie pétrolière) est politiquement difficile.

6. **Prêter attention aux prix.** À court terme, les prix sont largement fixés, mais à long terme, ils sont influencés par les investissements. Les taux d'apprentissage (la baisse des prix lorsque le déploiement double), les économies d'échelle et les réglementations peuvent transformer considérablement les coûts relatifs. Ainsi, le prix d'achat des panneaux solaires a chuté de 90% au cours de la dernière décennie. Les politiques peuvent contribuer à faire baisser le prix des nouvelles technologies en encourageant leur adoption par le biais de politiques d'acquisition, de formations, de subventions stratégiques à la production ou à la consommation, de réglementations et d'autres mécanismes. La tarification du carbone agit dans le sens inverse, en augmentant le coût des options basées sur les combustibles fossiles. Mais, comme nous l'avons vu, les mesures qui augmentent les prix sont susceptibles de se heurter à une résistance politique, et les gens éprouvent davantage de ressentiment face à une perte imposée (par exemple, par le biais de taxes) que face à un avantage accordé à d'autres (par exemple, par le biais de subventions). De manière plus générale, dans le cadre de la transition énergétique, les gouvernements doivent veiller à éviter une hausse soudaine des prix de l'énergie (par exemple, les tarifs de l'électricité) ou des pertes concentrées imposées à un secteur, un groupe professionnel ou une région en particulier, car cela pourrait déclencher une réaction négative susceptible de compromettre les plans pour des années. Ils doivent également veiller à ce que les politiques favorisent des changements structurels qui réduisent le prix des technologies et des services souhaités et limitent l'intérêt de revenir en arrière.

En route vers la carboneutralité : comment obtenir des résultats réellement transformateurs

Comme nous le montrons dans ce rapport, l'application de ces principes doit se décliner de manière sectorielle :

Pour l'électricité :

- Développer de manière constante et rapide des systèmes à faibles émissions (en particulier la production, le stockage et le transport d'énergie éolienne et solaire) afin de répondre aux besoins croissants en électricité à mesure que d'autres secteurs (transports, chauffage des bâtiments, industrie) se décarbonent
- Éliminer progressivement toute production d'électricité à partir de charbon et toute production d'électricité à partir du gaz qui ne s'accompagne pas de mesures d'atténuation
- Mettre en œuvre des stratégies pour atténuer les défis à court et moyen termes liés à l'électrification rapide des différents réseaux à travers le pays, ce qui inclut, par exemple, l'exacerbation des pointes saisonnières par l'électrification du chauffage ainsi que les contraintes de capacité à court terme au niveau de la distribution et du transport d'électricité

Pour les transports :

- Accélérer l'adoption des véhicules de promenade et de taille moyenne électriques
- Poursuivre la R&D et l'expérimentation de solutions pour les poids lourds (et les véhicules hors route), les batteries électriques et les piles à combustible à hydrogène étant les options les plus prometteuses
- Construire des lignes ferroviaires à grande vitesse dans les principaux corridors de transport interurbain et étendre les réseaux de transport public électrifiés
- Poursuivre la R&D et l'expérimentation d'options carboneutres pour le rail, le transport maritime et l'aviation

Pour les bâtiments :

- Cesser de construire de nouveaux bâtiments résidentiels et commerciaux équipés d'un système de chauffage au gaz
- Rénover systématiquement les bâtiments existants avec des systèmes de chauffage à faible émission de carbone (principalement avec des thermopompes à air, mais dans certaines circonstances, d'autres options à zéro émission nette peuvent être envisageables)
- Encourager les améliorations en matière d'efficacité énergétique pour les bâtiments neufs et anciens afin de réduire les besoins en énergie propre qui seront nécessaires dans un monde carboneutre

Pour l'industrie :

- Électrifier les opérations mécaniques et le chauffage à basse température dans l'industrie
- Convertir progressivement l'approvisionnement en chaleur à haute température à l'électricité, à l'hydrogène ou aux biocarburants
- Traiter progressivement les émissions liées aux procédés, en synchronisant les investissements ponctuels avec les cycles de renouvellement des capitaux

Pour le pétrole et le gaz :

- Veiller à ce que l'industrie réduise ses émissions de production dans le but d'atteindre la carboneutralité pour le secteur d'ici le milieu du siècle. La rapidité avec laquelle les émissions pourront être réduites dépendra des décisions politiques et de la vitesse à laquelle l'économie canadienne et mondiale se décarbonera.

Ces objectifs ne peuvent être atteints qu'en mettant en œuvre les principes généraux qui sous-tendent l'approche stratégique décrite ci-dessus. Pour éclairer cette discussion, nous proposons d'examiner de plus près certains secteurs afin d'illustrer ce à quoi une telle approche stratégique pourrait ressembler.

Mettre en œuvre une approche stratégique

La mise en œuvre d'une approche stratégique pour atteindre les objectifs d'un Canada prospère et carboneutre nécessite de se concentrer sur les transformations structurelles qui peuvent permettre la réalisation de ces objectifs. Elle nécessite également de saisir les opportunités considérables d'améliorer la productivité et la compétitivité de l'économie canadienne grâce à ces transformations.

Pour illustrer comment cela peut être réalisé, dans la Section 3 du rapport, nous nous concentrons sur trois secteurs et proposons une évaluation des besoins et une stratégie pour y répondre : **les bâtiments, le transport routier et l'industrie**. Nous donnons également un aperçu des défis auxquels sont confrontés d'autres secteurs, qui seront analysés plus en détail dans un rapport ultérieur. Ces stratégies sectorielles décrivent les mesures conçues pour transformer les marchés et réduire les prix afin de permettre et d'accélérer la transition vers des services à très faibles émissions. Ce faisant, chaque stratégie suit des principes similaires pour aborder la conception et la mise en œuvre des mesures de décarbonation. Le cadre couvre :

1. *À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité* : quels sont **les éléments clés d'un système amélioré** capable de fournir des services dans le secteur et qui n'entraîne pas d'émissions nettes de GES?
2. *Quels changements physiques sont nécessaires pour y parvenir* : quels sont les **éléments matériels essentiels** requis pour réaliser une telle transformation du système, et à quel rythme?
3. *Comment surmonter les principales barrières*: quels sont les **obstacles prévisibles** qui doivent être éliminés, en tenant compte, autant que possible, des spécificités locales à travers le pays, afin de faciliter les changements nécessaires? Quelles mesures (efforts de coordination entre les principales parties prenantes, réglementations, politiques, etc.) peuvent favoriser le déploiement de la trajectoire de transformation?
4. *Saisir les avantages économiques* : quels **intérêts économiques stratégiques** pour le Canada peuvent être réalisés grâce au déploiement réussi de la stratégie?

Chaque stratégie est ensuite résumée dans un tableau présentant les principaux objectifs et mesures à prendre à court terme (un an), à moyen terme (1 à 5 ans) et à plus long terme (5 à 25 ans).

REMARQUE

Pour le présent rapport, nous acceptons les objectifs du gouvernement pour 2035 (avec une répartition sectorielle conforme à la modélisation des mesures avancées) comme point de référence pour la discussion et pour mettre en évidence l'écart entre l'ambition déclarée et la transformation prévue du système (et la réduction des émissions) au cours de la prochaine décennie. Cela ne signifie pas nécessairement que nous estimons que les objectifs actuels pour 2030 ou 2035 ont été bien choisis, ni que les contributions sectorielles à la réduction des émissions doivent être celles impliquées dans le scénario « mesures supplémentaires », ni même que ces contributions resteront constantes dans le temps. En effet, tout ce que nous savons à propos de la transformation des marchés suggère que le processus n'est pas linéaire, mais qu'il se déroule lentement au début, puis s'accélère, avant de ralentir à nouveau. De plus, ces changements ne seront pas alignés entre les différents secteurs et régions, de sorte que leur contribution relative à la réduction des émissions variera à différents moments.

Le véritable objectif ici est d'atteindre une économie essentiellement décarbonée d'ici le milieu du siècle. Cela nécessitera des mesures de transformation similaires à celles décrites dans les sections ci-dessous au cours des 20 à 30 prochaines années. Que l'on estime que l'objectif fixé pour un secteur particulier est trop strict ou pas assez strict, et que le degré de transformation du marché spécifié soit atteint en 2031, 2035 ou 2039, la même séquence générale de changements décrite ci-dessous et des réductions d'une ampleur similaire seront nécessaires pour tout plan réalisable visant à atteindre la carboneutralité d'ici le milieu du siècle. Si le changement doit être plus lent au cours des premières années, il devra alors être plus rapide au cours des périodes suivantes, à mesure que les technologies mûriront, que les prix baisseront et que les infrastructures seront mises en place. Les mesures de base décrites dans les stratégies sectorielles présentées ci-dessous restent donc les mêmes, que nous nous engagions résolument dès l'année prochaine ou que nous continuions à reporter l'action. Cela dit, le Canada dispose de peu de temps pour saisir les occasions offertes par la création de chaînes d'approvisionnement internationales carboneutres; ces occasions disparaîtront à mesure que d'autres pays avanceront vers l'objectif de carboneutralité.

En gardant à l'esprit cet ensemble de mesures, nous proposons un calendrier provisoire pour ces transformations (Figure R2).

Figure R2 - Calendrier à haut niveau d'une stratégie nationale

Objectifs	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Nouveaux bâtiments résidentiels et commerciaux sans gaz naturel	Déploiement		Complété			
Élimination du gaz dans les bâtiments résidentiels et commerciaux existants (rénovations)	Déploiement					Complété
Électrification du parc de véhicules légers	Déploiement				Complété	
Décarbonation de la flotte de véhicules lourds	R&D et démonstration		Déploiement			Complété
Décarbonation de la chaleur à basse température dans l'industrie	Déploiement			Complété		
Décarbonation de la chaleur à haute température dans l'industrie	Déploiement					Complété
Technologies de CSC et d'émissions négatives à échelle commerciale	Pilotes	Déploiement				Complété
Décarbonation des procédés industriels	R&D et démonstration		Déploiement			Complété

Note : les étapes ultérieures de ce calendrier dépendent, de diverses façons, du progrès à l'international; elles pourraient être accélérées ou retardées par quelques années.

1 Introduction

Le Canada n'est pas en voie d'atteindre la carboneutralité d'ici le milieu du siècle. Malgré les politiques climatiques mises en place par le gouvernement fédéral depuis 2015 et les évaluations optimistes du *Plan de réduction des émissions du Canada pour 2030*, un rapport récent d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) a reconnu qu'il subsiste un écart important entre les réductions prévues dans le cadre des politiques climatiques existantes et les objectifs intermédiaires officiels pour 2030 et 2035 (Canada, 2025), ce qui concorde avec les prévisions des *Perspectives énergétiques canadiennes* de l'Institut de l'énergie Trottier (Langlois-Bertrand, 2024). ECCC prévoit désormais une réduction des GES de 18 % au lieu de 40 % pour 2030, et de 20 % au lieu des 50 % visés pour 2035 (Figure 1), une projection qui ne tient pas compte de l'impact négatif de l'abrogation de la taxe carbone imposée aux consommateurs. Selon ECCC, l'adoption et la mise en œuvre complète de toutes les autres mesures envisagées par le gouvernement (appelées « mesures avancées ») pourraient partiellement combler cet écart en permettant une réduction de 30 % des GES d'ici 2030 et de 35 % d'ici 2035.

Sans mesures additionnelles significatives, le pays n'atteindrait donc que moins de la moitié des réductions visées. Compte tenu de la conjoncture politique difficile, avec les turbulences liées aux droits de douane, l'hostilité de l'administration américaine actuelle à l'égard de la transition énergétique et du régime climatique international, ainsi que la surestimation systématique des trajectoires d'émissions par le gouvernement, même ces résultats sont loin d'être certains. Pourtant, alors que le Canada continue de tergiverser et de manquer ses objectifs, un grand nombre d'États ont réussi à mettre en œuvre des stratégies qui permettent de réduire considérablement les émissions, conformément aux objectifs de l'Accord de Paris, tout en restant pleinement engagés dans leurs objectifs à long terme.

L'échec du Canada n'est pas seulement environnemental, il est aussi concurrentiel : nous n'avancons pas assez rapidement pour bâtir la nouvelle économie qui sera nécessaire pour assurer la prospérité du Canada dans la seconde moitié du siècle.

De nombreux facteurs ont contribué à limiter les progrès. Il était toujours attendu qu'il serait difficile de réduire les émissions pour un pays dont l'économie repose sur les ressources naturelles, dont les exportations de pétrole et de gaz sont en expansion, dont les politiques énergétiques régionales varient considérablement, dont les arrangements politiques sont décentralisés et dont l'intégration économique avec les États-Unis est étroite. De plus, l'objectif de réduction pour 2030 adopté par le gouvernement fédéral en 2021 n'était pas fondé sur une analyse ascendante minutieuse, mais sur des considérations politiques opportunistes. Et, malgré son nom, **le Plan de réduction des émissions n'était pas réellement un plan** qui définissait les conditions réelles nécessaires pour garantir la réduction des émissions et assurait ensuite une mise en œuvre progressive pour atteindre ces objectifs. Il s'agissait plutôt d'un exercice de modélisation ambitieux, ajusté pour montrer le résultat souhaité. L'élaboration des politiques découlant de celui-ci a été extrêmement lente (ce qui n'a pas été facilité par des mécanismes de tarification et de conformité excessivement complexes et manquant de transparence), et d'importantes ressources politiques ont été gaspillées dans des initiatives qui ne peuvent guère contribuer à la transition des systèmes canadiens vers la carboneutralité.

Dans le présent rapport, nous réexaminons le défi de décarboner l'économie canadienne d'ici le milieu du siècle, nous examinons les progrès réalisés à ce jour et nous présentons les mesures qui peuvent réorienter les efforts afin de progresser dans les secteurs économiques clés.

Avant de présenter l'analyse détaillée, **il est utile de décrire notre approche de base**. Pour décarboner notre économie au cours des 25 prochaines années, il faut combler le « fossé » entre les ambitions et les actions concrètes. Cela implique d'adopter une approche plus stratégique qui comprend de :

1. Changer d'orientation. Au lieu de nous préoccuper des objectifs de réduction des émissions à court terme, nous devrions **donner la priorité aux changements concrets qui transforment nos systèmes fondamentalement**, afin que les émissions soient pratiquement éliminées d'ici le milieu du siècle. Il est plus important de suivre les indicateurs physiques (installation de systèmes de production d'électricité propre, nombre de bâtiments convertis au chauffage électrique) et les mesures de transformation du marché (pourcentage de véhicules électriques dans les ventes totales d'automobiles, coûts relatifs du chauffage au gaz et à l'électricité) dans ces systèmes que de calculer les réductions annuelles d'émissions.
2. Reconnaître que la **politique climatique est de plus en plus liée au développement économique et à la politique industrielle**. Les technologies renouvelables (solaire, véhicules électriques) sont désormais adoptées par les pays les plus pauvres afin d'accélérer leur développement économique, et les nations se bousculent pour s'assurer une place dans les chaînes de production à faible émission de carbone. Pour le Canada, la carboneutralité consiste à bâtir une économie compétitive afin de prospérer dans un monde en voie de décarboner. Le soutien au développement de l'électricité propre, à la transformation à valeur ajoutée des ressources naturelles (extraction et traitement des minéraux essentiels) et à la fabrication de technologies à faible émission de carbone (véhicules électriques, thermopompes, composants de systèmes électriques, etc.) jette les bases de la prospérité future, nous donne les outils nécessaires pour décarboner notre économie nationale et peut renforcer les coalitions politiques favorables à des mesures plus vigoureuses.

3. **Adopter une décarbonation asymétrique**. Les secteurs, les provinces et les régions suivront des voies et des rythmes adaptés à leur situation. Les politiques doivent être adaptées à la phase de transition dans les différentes régions et les différents secteurs. Lorsque des solutions sont prêtes, les mesures politiques doivent accélérer leur déploiement à grande échelle. Lorsque les solutions ne sont pas encore claires, les politiques peuvent soutenir la R&D, l'expérimentation et les mesures visant à préparer la transformation éventuelle du marché.

4. **Adopter une mentalité de planification et de mise en œuvre :**

- a) *Réfléchir d'abord à ce à quoi ressemblerait une économie carboneutre*. Comment organiser des systèmes efficaces pour transporter des marchandises, chauffer des bâtiments, fournir de l'électricité, etc., sans générer d'émissions nettes de GES ? Bien sûr, nous ne pouvons pas anticiper tous les détails. Mais nous connaissons déjà la structure de base d'un système énergétique à zéro émission nette.
- b) *Ensuite, se demander quelle séquence de changements dans le monde physique est nécessaire pour atteindre cet objectif*. Cela comprend la construction d'infrastructures (centrales électriques et stations de recharge pour véhicules électriques), l'adoption de nouvelles technologies d'utilisation finale (véhicules électriques sur les routes, thermopompes dans les bâtiments) et le développement et l'adoption éventuelle de technologies novatrices (pour l'industrie lourde, l'aviation carboneutre, l'élimination du carbone, etc.).
- c) *Examiner les obstacles et les catalyseurs de la transformation souhaitée* dans chaque contexte spécifique (secteur, province ou ville) et adopter les mesures politiques appropriées pour garantir les changements physiques qui construiront l'économie future. En partant de l'architecture du système souhaité, il est possible de planifier les étapes concrètes nécessaires à la construction de la nouvelle économie.
- d) *Suivre les progrès et s'adapter*. Les pratiques actuelles en matière de suivi sont trop lentes pour cette transition, ce qui conduit à une approche très statique des politiques. Pour être efficaces, les stratégies doivent être déployées de manière à permettre un suivi rapide des indicateurs clés. Les politiques et les mesures doivent être évaluées et adaptées à ce qui se passe sur le terrain de manière quasi continue.

5. Soutenir le nouveau plutôt que punir l'ancien. La société n'abandonnera pas les ressources fossiles parce que l'offre a été restreinte politiquement, mais parce que la demande a été érodée par des technologies renouvelables supérieures aux technologies fossiles et des services énergétiques électrifiés plus performants, plus pratiques, plus sécuritaires et, en fin de compte, moins coûteux. Les nouvelles politiques devraient donc cibler le déploiement des nouvelles technologies, avec une stratégie visant à faire baisser leur coût et leur prix tout en démontrant les avantages de celles-ci, plutôt que de pénaliser les systèmes en place. À mesure que la dépendance aux combustibles fossiles s'érodera du côté de la demande, l'équilibre des forces entre les anciens et les nouveaux systèmes énergétiques, ainsi que les calculs politiques, changeront et la transition pourra s'accélérer. Mais cibler directement les producteurs d'énergie fossile (alors que le pétrole reste la principale source de revenus à l'exportation du pays et que l'économie de plusieurs provinces repose sur l'industrie pétrolière) est politiquement difficile.

6. Prêter attention aux prix. À court terme, les prix sont largement fixés, mais à long terme, ils sont influencés par les investissements. Les taux d'apprentissage (la baisse des prix avec le doublement du déploiement), les économies d'échelle et les réglementations peuvent transformer considérablement les coûts relatifs. Ainsi, le prix d'achat des panneaux solaires a chuté de 90 % au cours de la dernière décennie. Les politiques peuvent contribuer à faire baisser le prix des nouvelles technologies en encourageant leur adoption par le biais de politiques d'acquisition, de formations, de subventions stratégiques à la production ou à la consommation, de réglementations et d'autres mécanismes. La tarification du carbone agit dans le sens inverse, en augmentant le coût des options basées sur les combustibles fossiles. Mais, comme nous l'avons vu, les mesures qui augmentent les prix sont susceptibles de se heurter à une résistance politique, et les gens éprouvent davantage un ressentiment face à une perte imposée (par exemple, par le biais de taxes) que face à un avantage accordé à d'autres (par exemple, par le biais de subventions). De manière plus générale, dans le cadre de la transition énergétique, les gouverne-

ments doivent veiller à éviter une hausse soudaine des prix de l'énergie (par exemple, les tarifs de l'électricité) ou des pertes concentrées imposées à un secteur, un groupe professionnel ou une région en particulier, car cela pourrait déclencher une réaction négative susceptible de compromettre les plans pour des années. Ils doivent également veiller à ce que les politiques favorisent des changements structurels qui réduisent le prix des technologies et des services souhaités.

La suite de ce rapport se présente comme suit : tout d'abord, nous donnons une vue d'ensemble de l'écart entre les projections actuelles et les objectifs en matière d'émissions, en le comparant à des efforts similaires dans le monde entier. Ensuite, nous présentons un cadre pour l'élaboration de stratégies sectorielles visant à corriger le cap et à améliorer la compétitivité du Canada dans l'économie faible en carbone. Ce faisant, nous décrivons les transformations concrètes qui doivent avoir lieu pour que le Canada accélère sa transition vers la carboneutralité.

2 Aperçu de l'écart à combler

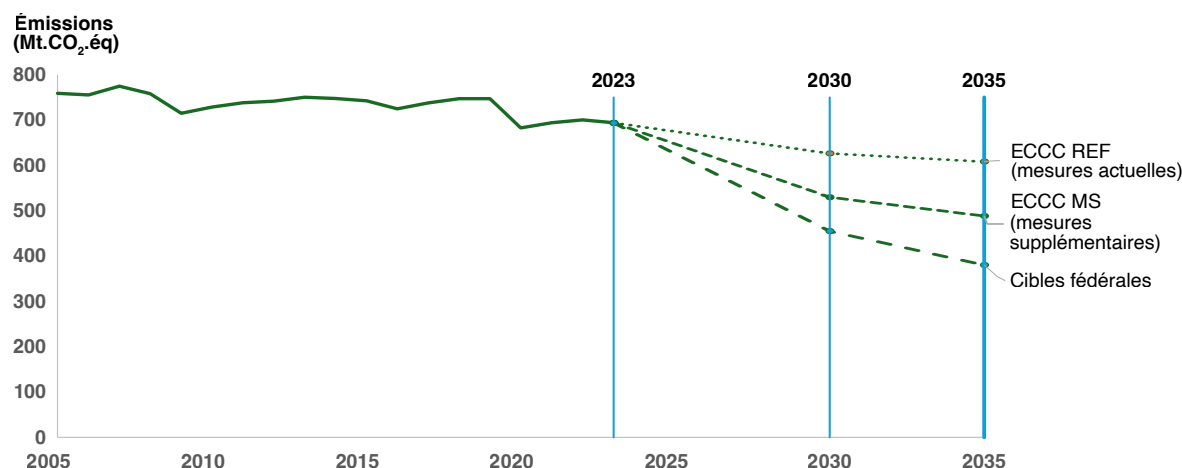
D'après le dernier Rapport d'inventaire national du Canada, publié en avril 2025 et couvrant la période allant jusqu'en 2023, les émissions totales du pays ont diminué de 8,5 % par rapport à 2005, année de référence pour les objectifs de réduction du Canada. Comme le montre la Figure 1 :

- ➔ ECCC prévoit que les émissions auront diminué de 18 % par rapport à 2005 d'ici 2030 et de 20 % d'ici 2035
- ➔ ECCC prévoit également que les émissions diminueraient de 30 % par rapport à 2005 d'ici 2030 et de 35 % d'ici 2035, si toutes les mesures actuellement en cours d'élaboration¹ étaient adoptées et pleinement mises en œuvre.

Le Canada est donc en passe de manquer de loin ses objectifs de réduction des émissions de 40 % d'ici 2030 et de 50 % d'ici 2035.

En résumé, bien que le Canada ait désormais commencé à réduire ses émissions, les mesures actuelles et celles en cours d'élaboration sont insuffisantes pour lui permettre d'atteindre ses propres objectifs. Ces objectifs sont également moins ambitieux que ceux de la plupart de ses homologues de l'OCDE, dont beaucoup ont réussi à accomplir des progrès bien plus importants depuis un certain temps déjà. En effet, comme le montre la Figure 2, contrairement au Canada, les pays européens ont considérablement réduit leurs émissions depuis 1990, la majorité d'entre eux dépassant leurs objectifs pour 2023. Pour l'illustrer, la Figure 3 montre l'évolution des émissions des pays européens ainsi que des États-Unis et du Japon, par rapport au Canada.

Figure 1 – Émissions de GES passées et projetées selon différents scénarios

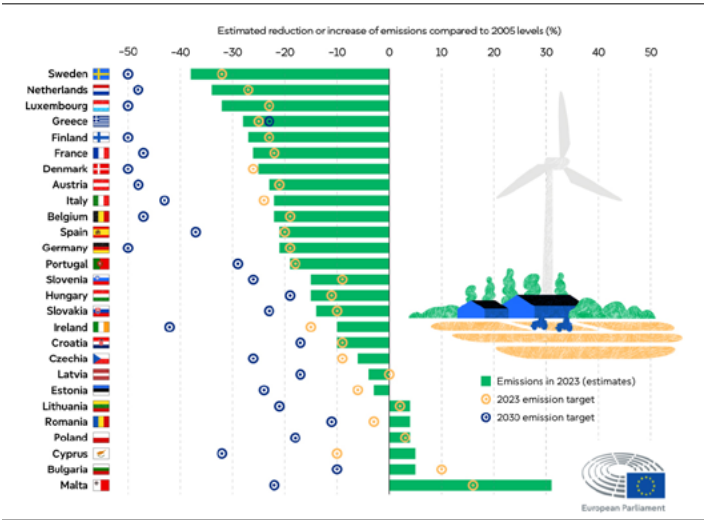


Source : Canada (2025)

Note: Les projections d'ECCC comprennent deux scénarios : un scénario de référence (REF) avec les mesures en place à la fin de 2024 et un scénario de mesures avancées (MS) avec diverses mesures envisagées par le ministère.

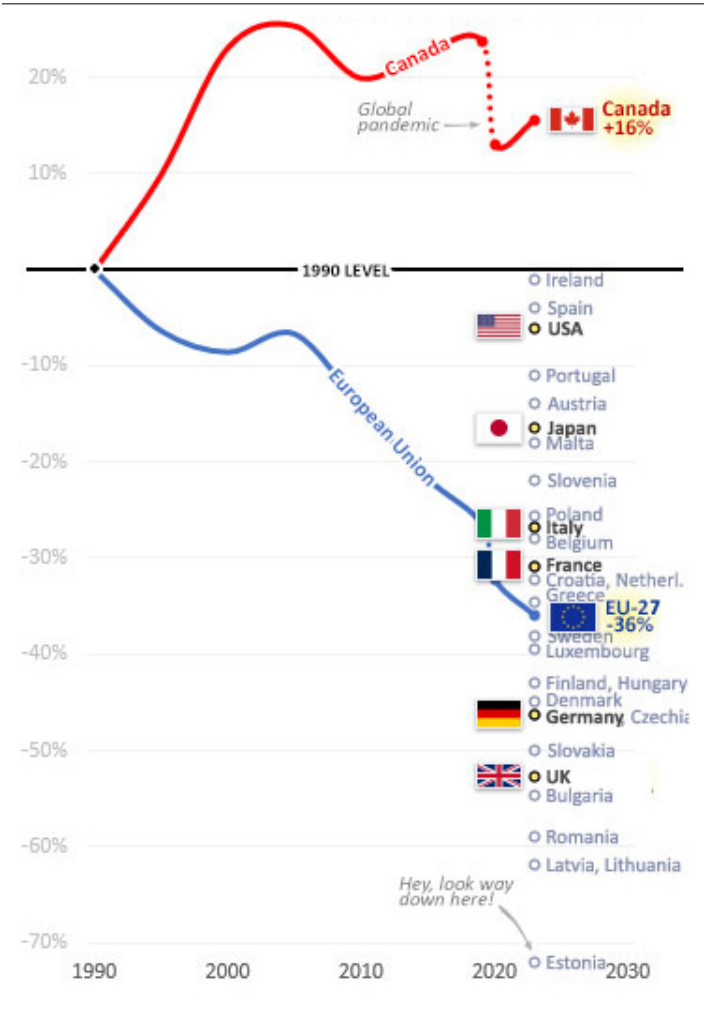
¹ Ces mesures comprennent notamment : un objectif de réduction des émissions d'engrais de 30 % par rapport aux niveaux de 2020 d'ici 2030; un plafond d'émissions pour le secteur pétrolier et gazier, fixé à 27 % en dessous des niveaux déclarés pour 2026; une obligation de vente de véhicules zéro émission pour les véhicules de taille moyenne et les poids lourds; et le règlement sur l'électricité propre, qui établit des normes de performance visant à réduire les émissions de GES provenant de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles à partir de 2025. La description complète de ce qui est inclus est fournie dans le tableau A4.6.7.2 dans Canada (2024).

Figure 2 – Émissions et cibles par pays de l'UE



Source : European Parliament (2025)

Figure 3 – Évolution des émissions de divers pays

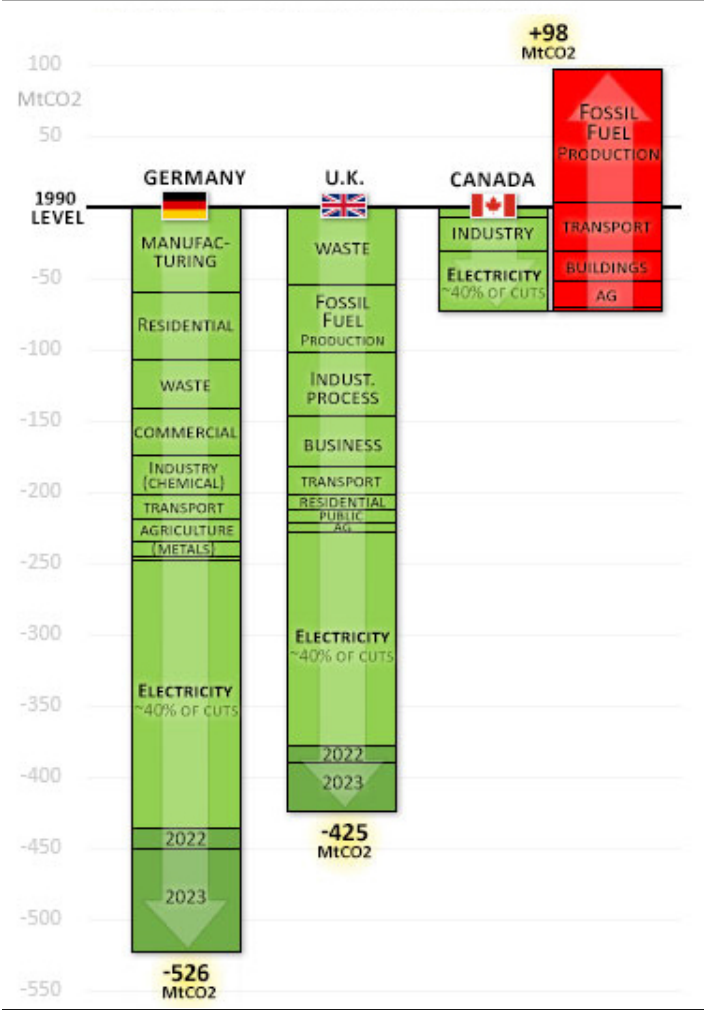


Source : Adapté de Saxifrage (2024a)

Chaque pays, y compris le Canada, est confronté à des défis et à des conditions qui lui sont propres. Néanmoins, un grand nombre d'États ont réussi à mettre en œuvre des stratégies qui ont permis des réductions très importantes des émissions, compatibles avec les objectifs de l'Accord de Paris.

Si des objectifs nationaux à l'échelle de l'économie sont nécessaires pour garantir le respect des engagements pris dans le cadre de l'Accord de Paris, les secteurs sont confrontés à des défis très différents en matière de réduction des émissions, et chacun représente une part variable du total. Là encore, les pairs du Canada ont montré qu'il est possible d'obtenir des réductions dans tous les secteurs. La Figure 4 illustre la contribution des secteurs à la réduction des émissions au Royaume-Uni et en Allemagne, soulignant que pour obtenir des réductions importantes, il est nécessaire d'intégrer des plans spécifiques à chaque secteur dans une stratégie à l'échelle de l'économie.

Figure 4 – Contributions des secteurs aux réductions de GES



Source: Adapté de Saxifrage (2024a)

Le Tableau 1 présente les émissions de GES pour chacun des secteurs économiques principaux, ainsi que les projections pour 2035 pour chacun d'entre eux selon la modélisation d'ECCC. Afin de donner une idée des tendances récentes dans chaque secteur, nous avons également inclus l'évolution relative des émissions entre 2015 et 2023. Le Tableau 1 comprend également un objectif « de référence » par secteur qui sera utilisé dans la section suivante. Bien que le Canada n'ait pas d'objectifs de réduction des émissions de GES spécifiques à chaque secteur, la dernière colonne du Tableau 1 fournit une évaluation de ce que le secteur devrait atteindre (1) *si le pays prenait au sérieux l'objectif actuel pour 2035*, et (2) *en supposant une contribution similaire à la part du secteur dans les réductions prévues dans les projections des mesures supplémentaires (MS) (qui incluent les mesures actuellement envisagées, mais non mises en œuvre)*. En d'autres termes, elle accepte la répartition des contributions sectorielles selon les projections des mesures supplémentaires et les augmente proportionnellement pour atteindre l'objectif national du gouvernement pour 2035. Nous utilisons les émissions indiquées dans cette colonne pour donner un ordre de grandeur de ce qui manque pour que le Canada atteigne l'objectif de 2035.

Tableau 1 – Données historiques, projections et objectifs en matière d'émissions de GES par secteur (Mt.CO₂.éq.)

	Émissions passées			Projections d'ECCC		Objectif de référence pour 2035
	NIR	NIR	Tendance récente	Scénario des mesures actuelles (REF)	Scénario des mesures supplémentaires (MS)	« Objectif » du secteur en supposant que le gouvernement atteigne son ambition pour 2035 et que les contributions du secteur soient proportionnelles à celles du scénario MS
Secteur	2005	2023	2015	2035	2035	2035 (« objectif »)
Résidentiel	45	38	-12 %	32	28	17
Comm. et Inst.	40	44	+6 %	38	33	28
Transports	156	157	-3 %	125	118	93
Industrie lourde	88	78	-1 %	73	57	38
Pétrole et gaz	194	208	-8 %	200	151	123
Électricité	116	49	-34 %	18	14	0
Agriculture	66	69	+6 %	69	66	66
Déchets	24	23	+1 %	24	14	7
Total ²	759	694		607	500	Objectif global : 380 (-50 %)

² Les totaux ne correspondent pas à la somme de toutes les lignes, car certaines sources d'émissions ont été omises par souci de simplicité.

3 Changer de cap : stratégies sectorielles pour atteindre la carboneutralité

Afin d'élaborer des stratégies efficaces pour transformer l'économie et atteindre les objectifs de décarbonation, il est nécessaire d'examiner de plus près les différents secteurs. Dans cette section, nous abordons chaque secteur afin de mettre en évidence quelques observations transversales :

- ➔ Les écarts entre les trajectoires d'émissions actuelles et les objectifs fixés pour 2030 ou 2035 sont importants et ne sauraient être comblés en doublant simplement les mesures existantes.
- ➔ Les interventions devraient se concentrer davantage sur les transformations structurelles permettant de décarboner les secteurs et les services, en accord avec les objectifs de carboneutralité
- ➔ La réalisation de ces transformations offre des possibilités considérables d'améliorer la productivité et la compétitivité de l'économie canadienne, en plus des avantages pour le climat.

Pour illustrer comment cela peut être réalisé, nous nous concentrons sur trois secteurs — **les bâtiments, le transport routier et l'industrie** — et proposons une évaluation des besoins et une stratégie pour y répondre. Nous donnons également un aperçu des défis auxquels sont confrontés d'autres secteurs, qui seront analysés plus en détail dans un rapport ultérieur. Ces stratégies sectorielles décrivent les mesures conçues pour transformer les marchés et réduire les prix afin de permettre et d'accélérer la transition vers des services à très faibles émissions. Ce faisant, chaque stratégie suit des principes similaires pour aborder la conception et la mise en œuvre des mesures de décarbonation. Le cadre couvre :

1. *À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité* : quels sont **les éléments clés d'un système amélioré** capable de fournir des services dans le secteur et qui n'entraîne pas d'émissions nettes de GES?
2. *Quels changements physiques sont nécessaires pour y parvenir* : quels sont **les éléments matériels essentiels** requis pour réaliser une telle transformation du système, et à quel rythme ?

3. *Comment surmonter les principales barrières* : quels sont **les obstacles prévisibles** qui doivent être éliminés, dans autant d'endroits pertinents que possible à travers le pays, afin de faciliter les changements nécessaires ? Quelles mesures (efforts de coordination entre les principales parties prenantes, réglementations, politiques, etc.) peuvent favoriser le déploiement de la voie de transformation ?
4. *Tirer parti des avantages économiques* : quels **intérêts économiques stratégiques** pour le Canada peuvent être réalisés grâce au déploiement réussi de la stratégie ? Les possibilités de développement économique et l'augmentation de la compétitivité mondiale du Canada, la réduction des coûts d'un service donné ou l'amélioration de la qualité du service, par exemple.

Chaque stratégie est ensuite résumée dans un tableau présentant les principaux objectifs et mesures à prendre à court terme (un an), à moyen terme (1 à 5 ans) et à plus long terme (5 à 25 ans).

Pour le présent rapport, nous acceptons les objectifs du gouvernement pour 2035 comme un point de référence pour la discussion et pour mettre en évidence l'écart entre l'ambition déclarée et la transformation prévue du système (et la réduction des émissions) au cours de la prochaine décennie. Cela ne signifie pas nécessairement que nous pensons que les objectifs pour 2030 ou 2035 ont été bien choisis, ni que les contributions sectorielles à la réduction des émissions doivent être celles impliquées dans le scénario des « mesures supplémentaires », ni même que ces contributions resteront constantes dans le temps. En effet, tout ce que nous savons sur la transformation des marchés suggère que ce processus n'est pas linéaire, mais qu'il se déroule lentement au début, puis s'accélère, avant de ralentir à nouveau. De plus, ces changements ne seront pas alignés entre les différents secteurs et régions, de sorte que leur contribution relative à la réduction des émissions variera à différents moments.

Le véritable objectif ici est d'atteindre une économie essentiellement décarbonée d'ici le milieu du siècle. Cela nécessitera des mesures de transformation similaires à celles décrites dans les sections ci-dessous au cours des 20 à 30 prochaines années. Que l'on estime que l'objectif fixé pour un secteur particulier est trop strict ou pas assez strict, et que l'on atteigne un certain degré de transformation des marchés en 2031, 2035 ou 2039, la même séquence générale de changements décrite ci-dessous et des réductions d'une ampleur similaire seront nécessaires pour tout plan réalisable visant à atteindre la carboneutralité d'ici le milieu du siècle. Si le changement est plus lent au cours des premières années, il devra être plus rapide par la suite, à mesure que les technologies mûriront, que les prix baisseront et que les infrastructures seront mises en place. Les mesures de base décrites dans les stratégies sectorielles ci-dessous restent donc les mêmes, que nous nous engagions résolument dès l'année prochaine ou que nous continuions à reporter l'action. Bien sûr, la fenêtre d'opportunité qui permettrait au Canada de s'intégrer dans les chaînes d'approvisionnement internationales carboneutres risque de se refermer à mesure que d'autres pays avanceront vers leur objectif de carboneutralité.

3.1 Bâtiments

Le secteur du bâtiment comprend tous les types de logements résidentiels ainsi que les bâtiments commerciaux et institutionnels. Il inclut les très petits bâtiments (les petites maisons unifamiliales, par exemple) ainsi que les très grands (tels que les espaces commerciaux, les immeubles de bureaux ou les immeubles résidentiels à plusieurs logements).

Les bâtiments résidentiels émettent des GES principalement en raison des services de chauffage des locaux par combustion (75 % du total en 2022) et, dans une moindre mesure, du chauffage de l'eau (24 %) et des appareils électroménagers (1 %) (voir Tableau 2). Dans les bâtiments commerciaux, les services de chauffage des espaces représentent une part encore plus importante des émissions de ce sous-secteur (86 %). Depuis 2015, les émissions des bâtiments résidentiels ont affiché une légère tendance à la baisse (-12 %)³, tandis que celles des bâtiments commerciaux ont augmenté (+6 % depuis 2015), ce qui fait que les émissions de ce secteur restent aujourd'hui plus élevées qu'en 2005 (voir Figure 5 et Figure 6).

Compte tenu des sources d'émissions des bâtiments, la plupart des efforts visant à décarboner les bâtiments se sont jusqu'à présent concentrés sur le remplacement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) émetteurs par des systèmes à faible émission de carbone (par exemple, le remplacement d'une chaudière au mazout par une thermopompe électrique) et sur l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'enveloppe du bâtiment (par exemple, en améliorant l'isolation des bâtiments anciens).

Tableau 2 – Émissions de GES des bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels en 2022 (excluant les émissions liées à l'électricité)

Service	Résidentiel (kt.CO ₂ .éq.)	Commercial/ institutionnel (kt.CO ₂ .éq.)	Total (kt.CO ₂ .éq.)	Pourcentage des émissions du Canada
Chauffage des espaces	29 400 (74,4 %)	29 300 (86,2 %)	58 700	8,3 %
Chauffage de l'eau	9 600 (24,3 %)	3 300 (9,8 %)	12 900	1,8 %
Total			71 600	10,1 %

Remarque : les pourcentages dans les deux premières colonnes indiquent la part des émissions totales pour chaque type de bâtiment.

³ Il convient de noter que la grande majorité des fluctuations annuelles des émissions des bâtiments sur cette période peut être attribuée aux variations du nombre de degrés-jours de chauffage requis chaque hiver, qui influencent directement la demande énergétique pour le chauffage des bâtiments (voir Langlois-Bertrand *et al.* 2024, p. 49).

3.1.1 L'ampleur de l'écart

Les projections d'ECCC montrent que le taux de réduction des émissions des bâtiments devrait être multiplié par quatre pour se rapprocher de l'objectif de 2035 en matière de GES.

Concrètement, pour nous rapprocher de l'objectif de référence pour 2035, nous aurions besoin, au cours de la prochaine décennie, que :

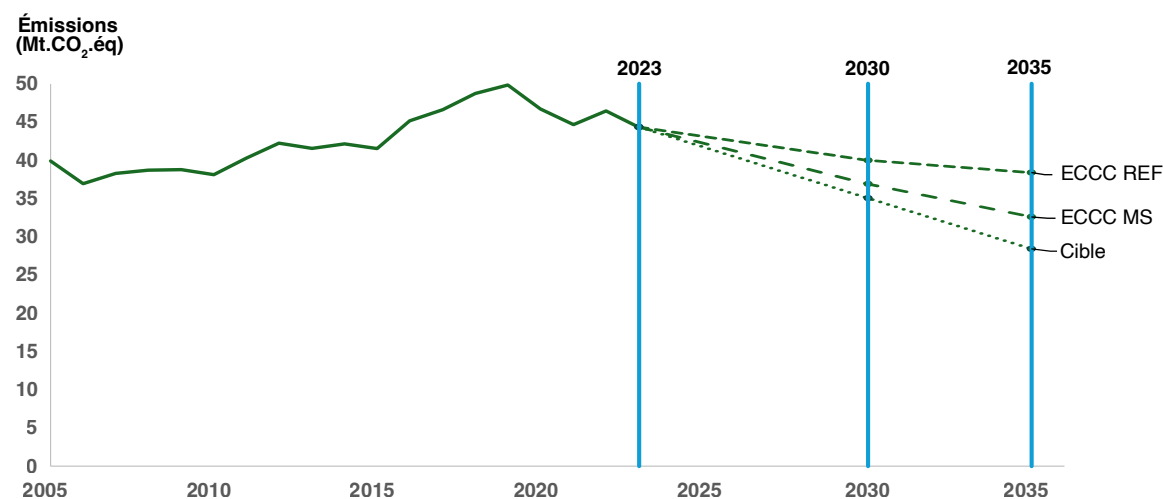
- toutes les nouvelles constructions utilisent seulement des sources d'énergie carboneutres, et que
- au moins 5 millions d'unités résidentielles sans chauffage électrique (60 % de toutes les résidences) soient entièrement décarbonées OU que 7,6 millions soient équipées de systèmes hybrides avec thermopompes, et que
- 40 % des bâtiments commerciaux et institutionnels sans chauffage électrique passent à l'électricité OU 60 % passent à des systèmes hybrides avec thermopompes (600 000 bâtiments).

3.1.2 Autres implications d'une réduction de l'écart

Il ne suffirait pas d'augmenter la taille des programmes existants, même en mettant de côté les questions d'efficacité et de financement. Pour que les changements décrits ci-dessus se concrétisent, il faudrait également que :

- toutes les provinces adoptent des codes de construction à consommation énergétique carboneutre, et que
- de nouvelles mesures soutiennent le développement de chaînes d'approvisionnement en thermopompes afin de réduire les coûts, en particulier pour les bâtiments commerciaux, et que
- que les réseaux électriques soient étendus/modernisés et que les problèmes liés aux pointes de consommation hivernale soient gérés encore plus rapidement (en anticipant les besoins).

Figure 5 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant des bâtiments résidentiels

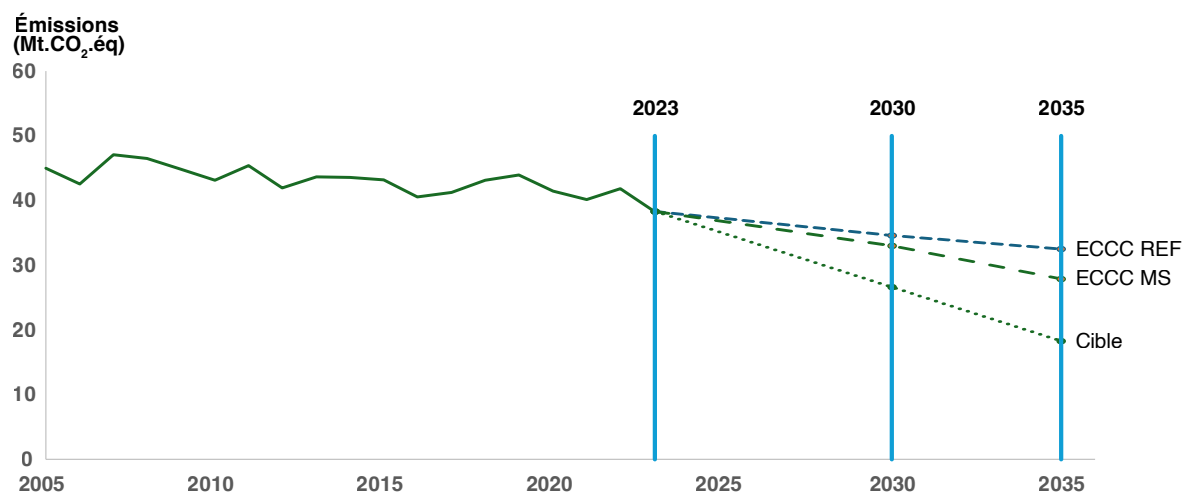


Note : Le scénario de mesures supplémentaires (MS) comprend notamment la Stratégie canadienne pour les bâtiments verts, des normes d'efficacité plus strictes pour les appareils et les équipements, et des codes du bâtiment prêts pour la carboneutralité d'ici 2030.

Ce dernier point, qui concerne les besoins en électricité, est particulièrement important : l'installation de thermopompes électriques dans plus de 5 millions de bâtiments entraînerait des besoins supplémentaires en électricité à faibles émissions de carbone de 130 TWh (+20 % par rapport à la production nationale actuelle d'électricité), avec une modernisation encore plus prononcée des réseaux de distribution pour atteindre environ 40 % de capacité additionnelle de distribution d'électricité, afin de répondre à la demande hivernale.

Décarboner les bâtiments à un niveau compatible avec l'objectif de référence de 2035 implique donc bien plus que des programmes d'incitation pour les propriétaires immobiliers : elle nécessite une modernisation majeure des systèmes électriques pour répondre à la demande, et cela doit se faire dans un cadre réglementaire où au moins les nouvelles constructions deviennent rapidement beaucoup plus efficaces sur le plan énergétique en plus de gérer elles-mêmes les pointes de demande hivernales par des solutions carboneutres.

Figure 6 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant des bâtiments commerciaux et institutionnels



Note : Le scénario de mesures supplémentaires (MS) comprend notamment la Stratégie canadienne pour les bâtiments verts, des normes d'efficacité plus strictes pour les appareils et les équipements, et des codes du bâtiment prêts pour la carboneutralité d'ici 2030.

3.1.3 Options de décarbonation pour le chauffage et le refroidissement des locaux

Étant donné qu'ils constituent la grande majorité des émissions des bâtiments, nous nous concentrons sur le fait de décarboner les GES opérationnels liés au chauffage des locaux, qui proviennent essentiellement des sources d'énergie émettrices utilisées pour fournir ce service. Cela inclut le gaz naturel et, dans une moindre mesure, le mazout, bien que ce dernier ne représente une part importante du total que dans quelques régions du pays. Le chauffage de l'eau est souvent assuré par la même source d'énergie que le chauffage des espaces.

À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité: éléments clés d'un système amélioré

Bien qu'il existe plusieurs options technologiques carboneutres pour assurer le chauffage des bâtiments, il est généralement admis que les thermopompes fourniront la majeure partie de ce service, car elles peuvent offrir à la fois des services de chauffage et de refroidissement. Cela est particulièrement pertinent pour le Canada, où le refroidissement des espaces est le service énergétique qui connaît la croissance la plus rapide dans le secteur du bâtiment. Tirer parti de ces investissements dans la climatisation peut donc contribuer à réduire considérablement le coût marginal du remplacement des systèmes de chauffage à combustibles fossiles par des thermopompes à air ou géothermiques. De plus, il convient de noter que la conversion du chauffage et du refroidissement à l'électricité offre souvent la possibilité d'électrifier le chauffage de l'eau, ce qui implique un avantage supplémentaire en termes de décarbonation.

Nous constatons que la situation actuelle pour décarboner le chauffage et le refroidissement des locaux à travers le pays est très inégale, même si bon nombre des défis sont similaires. Par conséquent, le succès dans une région est susceptible de fournir des enseignements pour d'autres régions du pays.

Intérêt stratégique pour le Canada

Aujourd'hui, les thermopompes à air dominent en tant que principale solution pour décarboner le chauffage des bâtiments déployée dans diverses régions du monde (AIE 2025). Dans les climats froids, l'avantage de ces technologies en termes d'efficacité est réduit par des besoins en électricité plus élevés pendant la période la plus froide de l'année, ce qui oblige les services publics d'électricité à élaborer des stratégies innovantes de gestion des pointes de

consommation afin d'éviter une augmentation inutile de la capacité uniquement pour garantir un approvisionnement adéquat pendant quelques heures par an. De plus, pour les grands bâtiments commerciaux et institutionnels, l'expérience en matière d'exploitation efficace des systèmes de thermopompes est encore relativement limitée dans le monde. Il existe donc d'importantes opportunités commerciales pour les entreprises canadiennes qui souhaitent développer des solutions innovantes pour relever ces défis.

Changements physiques nécessaires pour y parvenir

Décarboner ce secteur repose sur l'accélération réussie de trois éléments : (i) le rythme d'installation; (ii) l'approvisionnement en électricité et (iii) la gestion de la demande électrique de pointe en hiver. Plus précisément, le déploiement de thermopompes dans les bâtiments neufs et existants à un rythme compatible avec les objectifs de réduction des GES nécessite une augmentation rapide des installations dans les bâtiments résidentiels et commerciaux/institutionnels. Cela implique de soutenir la formation et la création de chaînes d'approvisionnement efficaces, de fournir des informations aux installateurs et aux clients, et de faire baisser les prix grâce à des mesures structurellement efficaces.

Pour soutenir cette accélération du déploiement des thermopompes, les services publics d'électricité devront augmenter rapidement leur capacité de production afin de répondre à l'augmentation de la demande en électricité de ces systèmes et moderniser la capacité de distribution d'électricité locale afin de permettre leur déploiement partout où cela est nécessaire, dans toutes les provinces.

Principaux obstacles à surmonter

La réalisation du rythme d'installation suggéré ci-dessus et le développement de la capacité électrique peuvent être rendus possibles par une série de conditions structurant l'effort sur quatre fronts.

Malgré leur déploiement à grande échelle dans le monde entier, l'installation de **thermopompes résidentielles** reste coûteuse. Pour accroître leur adoption, il est essentiel de mettre en place des stratégies visant à réduire leur prix. Cela peut se faire en structurant la demande, par exemple en interdisant l'utilisation de combustibles fossiles dans les nouveaux bâtiments, en accordant des subventions stratégiques, en renforçant la concurrence, en publiant des recommandations et des guides, et en réglementant.

Les thermopompes à haut rendement et les systèmes CVC commerciaux basés sur les thermopompes doivent être mis à disposition avec un soutien stratégique et des programmes visant à garantir les coûts les plus bas possibles dans tout le pays. Cela implique la mise en place de chaînes d'approvisionnement étendues qui produisent et installent des appareils et des systèmes moins coûteux pour tous les types de bâtiments. Si la fabrication reste dominée par les entreprises étrangères, le Canada doit développer un secteur des services solide dans le domaine de l'approvisionnement pour répondre à la transformation de la demande, notamment dans le domaine de l'ingénierie, de l'installation, de la maintenance et de l'exploitation. On ne saurait trop insister sur l'importance particulière du développement rapide de systèmes de vente au détail pour l'expertise, non seulement pour l'installation, mais aussi pour la maintenance, les pièces détachées et les réparations, ainsi que pour l'exploitation et l'optimisation.

En effet, si les thermopompes résidentielles standard sont facilement disponibles, les thermopompes commerciales et institutionnelles doivent encore être spécialement conçues et assemblées, ce qui augmente les coûts d'installation et d'entretien. Ce secteur étant sous-développé sur la scène internationale, il représente une forte opportunité commerciale pour le Canada.

Parallèlement à cette structuration des marchés des thermopompes, **les codes du bâtiment doivent être mis à niveau** afin que les nouvelles constructions, à toutes les échelles, adoptent rapidement des technologies à faible émission de carbone, notamment en maximisant l'efficacité de l'enveloppe thermique afin de minimiser les besoins énergétiques pour le chauffage et le refroidissement et en empêchant l'installation de nouvelles chaudières à gaz.

Si l'infrastructure électrique du pays est aujourd'hui suffisamment robuste pour permettre l'ajout progressif de thermopompes, une transition vers le chauffage électrique à l'échelle envisagée ci-dessus nécessitera un déploiement constant de **nouvelles capacités de production, ainsi que la modernisation des réseaux de transport et de distribution** afin de devancer la demande et d'éviter tout investissement inutile dans les technologies de chauffage à combustibles fossiles.

Pour permettre l'approvisionnement en électricité nécessaire à ces installations, il faut optimiser la modernisation du réseau électrique afin de minimiser les coûts associés à cette infrastructure. Bien que les thermopompes soient en moyenne nettement plus efficaces que les autres types de systèmes de chauffage, leur rendement diminue lorsque les températures sont très basses. Il en résulte une demande de pointe en électricité pendant les heures les plus froides de l'année. Le déploiement massif de systèmes de thermopompes nécessite donc la mise en œuvre de **stratégies de gestion des pointes hivernales** par les services publics, afin de minimiser l'impact sur le réseau. L'absence ou le déploiement limité de telles stratégies constitue déjà une contrainte majeure pour décarboner le secteur du bâtiment. Ces types de stratégies sont essentiels pour garantir que les contraintes de capacité n'entravent pas le rythme des installations sur les marchés bien développés et que les coûts des services publics n'explorent pas et ne fassent pas grimper les tarifs en raison du déploiement des thermopompes.

Encadré 1.1 – Qu'est-ce que la pointe hivernale ?

La demande d'électricité présente généralement trois niveaux de cycles : quotidien (matin - soir), hebdomadaire (jours ouvrables - week-ends ou jours fériés) et annuel (saisons). **La demande est étroitement liée à la variation de la température extérieure** en dessous ou au-dessus d'une certaine température pendant l'hiver et l'été respectivement. Plus la température est basse en hiver, plus la demande en électricité est élevée pour certaines utilisations, telles que le chauffage des espaces ou la recharge des véhicules électriques. La sensibilité de la demande à la chaleur n'est pas toujours linéaire, en raison de l'impact de certains équipements tels que les thermopompes - qui nécessitent un chauffage d'appoint lorsque les températures sont très basses - et de l'isolation thermique des enveloppes des bâtiments.

La demande de pointe en électricité correspond aux périodes de l'année où la demande en électricité est la plus élevée. Ces pointes peuvent être liées au cycle quotidien (pointe intrajournalière) ou au cycle annuel (pointe saisonnière). Alors qu'une grande partie du Canada connaît encore des pointes quotidiennes en été liées à la climatisation, à mesure que le chauffage s'électrifie, la demande de pointe en hiver domine largement. Le pic estival au Québec, où le chauffage résidentiel est électrifié à plus de 85 %, représente une hausse d'environ 2 GW sur une base de 20 GW, tandis que, sur 20 à 30 heures, la pointe hivernale peut entraîner une hausse de la demande pouvant atteindre 8 GW, sur une charge de base hivernale de 33 GW (voir la Section 3.7 pour plus de détails) (Edom et al., 2023 et 2025).

Ces facteurs favorables peuvent être mis en œuvre à l'aide de plusieurs mesures :

- Toutes les provinces adoptent des codes de construction et/ou des normes de performance énergétique compatibles avec les objectifs ci-dessus
- La réglementation relative à l'installation et à la gestion des thermopompes, en particulier pour les bâtiments commerciaux, institutionnels et multirésidentiels, vise à supprimer les obstacles et les préjugés en faveur des combustibles fossiles
- Les services publics déploient des infrastructures pour répondre à l'augmentation de la demande qui en résulte
- Les services publics partagent les meilleures pratiques en matière de gestion des pointes hivernales et cartographient les contraintes de capacité de distribution afin de cibler les mises à niveau en vue d'accueillir un déploiement rapide et à grande échelle des thermopompes
- Une formation est dispensée à tous les exploitants ou gestionnaires de bâtiments commerciaux/institutionnels d'une certaine taille
- Des acteurs intermédiaires indépendants, tels que l'Alliance pour la décarbonation du bâtiment, contribuent à coordonner la collecte et le partage de données à l'échelle nationale sur les progrès réalisés et les mesures mises en œuvre

Plus de détails sont fournis dans le tableau 3.

Avantages économiques à tirer

Bien que la plupart des équipements de thermopompes continueront probablement d'être fabriqués à l'extérieur du Canada, il existe d'importantes possibilités de création d'emplois dans le domaine de l'exploitation, de l'entretien et de la réparation de divers types d'installations, en particulier dans les environnements commerciaux et institutionnels.

Plus important encore, tous les pays nordiques seront confrontés à une demande électrique de pointe en hiver alors qu'ils décarbonent. C'est l'occasion pour le Canada de prendre les devants en matière de technologies et de stratégies de gestion visant à gérer efficacement cette pointe.

Tableau 3 – Stratégie de décarbonation des bâtiments : objectifs et mesures à prendre

BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Envoyer un signal clair indiquant que le Canada vise à équiper plus de la moitié des bâtiments résidentiels de thermopompes d'ici une décennie et à rendre obligatoires les systèmes à zéro émission dans les nouveaux bâtiments.	Développer le secteur des services et de la fourniture de thermopompes en garantissant un marché dans toutes les régions du pays; commencer à réduire les prix.	D'ici 2040 : électrifier le chauffage des locaux dans 80 % des bâtiments résidentiels existants; créer une industrie de services et une chaîne d'approvisionnement robustes et compétitives à l'exportation pour les thermopompes; déployer des stratégies de gestion des pointes de consommation liées aux bâtiments pour les réseaux électriques dans toutes les provinces.
Mesures à prendre	1. Adopter des normes de performance énergétique des bâtiments et mettre à niveau les codes du bâtiment dans toutes les provinces afin de rendre obligatoires les systèmes de chauffage sans émissions comme source de chaleur principale (dans les nouveaux bâtiments et lors du remplacement des systèmes) et de faire des enveloppes de bâtiment à très haute performance la nouvelle norme minimale (pour les nouveaux bâtiments). 2. Recenser les goulots d'étranglement dans les réseaux de distribution d'électricité qui nécessitent une attention urgente pour le déploiement à court terme de thermopompes et commencer à planifier et à exécuter les mises à niveau.	1. Élaborer une stratégie visant à développer le secteur des services liés aux thermopompes et aux solutions de gestion des pointes de demande 2. Soutenir le développement de chaînes d'approvisionnement efficaces pour les pièces et les thermopompes dans toutes les provinces (fournisseurs locaux, expertise en réparation, etc.) 3. Déployer et tester des solutions de gestion des pointes de demande 4. Recenser les opportunités d'exportation pour les solutions de gestion des pointes de consommation 5. Développer le partage d'informations entre les services publics afin de partager les expériences et les meilleures stratégies pour résoudre les contraintes de capacité et déployer des solutions de gestion des pointes de consommation	

Tableau 3 – Stratégie de décarbonation des bâtiments : objectifs et mesures à prendre (suite)

MULTIRÉSIDENTIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL (MCI)	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Envoyer un signal clair indiquant que les thermopompes domineront les nouvelles installations de systèmes de chauffage dans tous les types de bâtiments MCI d'ici 2030.	Des thermopompes à haute performance et des systèmes CVC commerciaux basés sur des thermopompes sont disponibles aux coûts les plus bas possibles dans tout le pays.	D'ici 2045 : décarboner les bâtiments MCI dans toutes les provinces; créer une industrie de services et une chaîne d'approvisionnement robustes et compétitives à l'exportation; déployer des stratégies de gestion des pointes liées aux bâtiments MCI dans toutes les provinces.
Mesures à prendre	1. Adopter des normes de performance énergétique des bâtiments et mettre à niveau les codes du bâtiment dans toutes les provinces afin de rendre obligatoires les systèmes de chauffage sans émissions pour la source de chaleur principale (tant dans les nouveaux bâtiments que dans les remplacements de systèmes). 2. Identifier et réduire les obstacles réglementaires à l'utilisation, à l'entretien et à la réparation des thermopompes dans les grands bâtiments et entamer le processus visant à les supprimer.	1. Élaborer une stratégie visant à développer un secteur de l'approvisionnement et des services pour les différentes technologies adaptées aux divers segments, en soutenant le renforcement de leur compétitivité. 2. Soutenir le déploiement d'infrastructures électriques afin de faciliter l'électrification à grande échelle. 3. Utiliser les politiques d'acquisition pour soutenir les nouvelles technologies de gestion des pointes de demande dans les grands bâtiments institutionnels 4. Élaborer une réglementation visant à empêcher le déploiement du chauffage au gaz naturel à basse température dans les nouveaux bâtiments et lors du remplacement des chaudières	

3.2 Transports

Nous considérons ici tous les modes de transport routier, y compris les véhicules légers et lourds destinés au transport de passagers et de marchandises.⁴ Les émissions dans ce secteur ont augmenté entre 2005 et 2019, atteignant 131 Mt.CO₂.éq. Après une baisse de 17% en 2020, à 110 Mt.CO₂.éq., les émissions sont à nouveau en hausse et ont atteint, en 2023, le niveau de 2005.

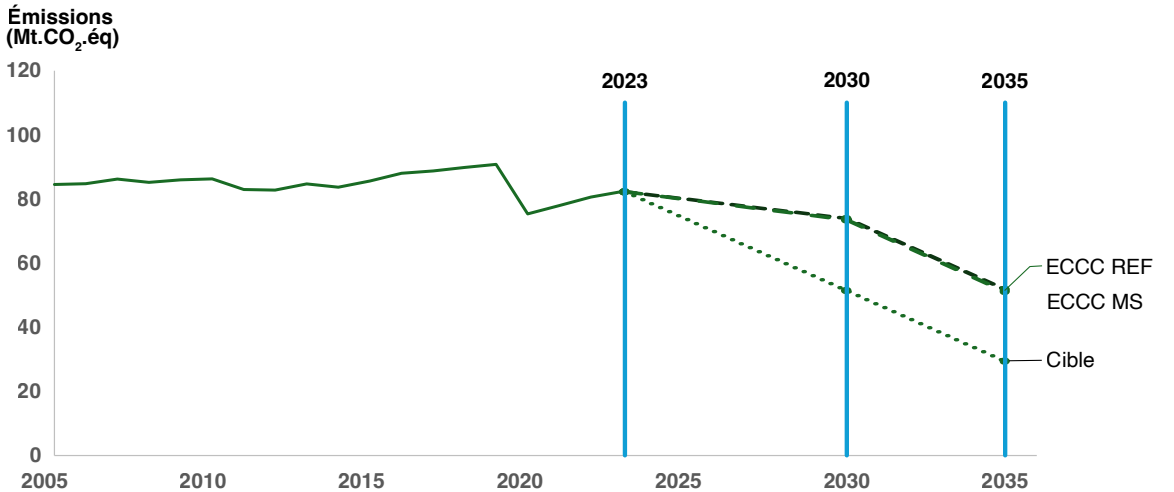
Les émissions provenant du transport de passagers, qui sont associées en grande partie aux véhicules légers (voitures et camions), diminuent dans une mesure similaire dans les scénarios de mesures actuelles et supplémentaires d'ECCC. Cela suppose toutefois le maintien de l'obligation de vente de véhicules zéro émission (VZÉ) et la réalisation intégrale de ses objectifs, selon lesquels les détaillants doivent atteindre une part de 60% de VZÉ dans leurs ventes totales en 2030, et de 100% en 2035. Bien que cette obligation soit officiellement neutre sur le plan technologique, les véhicules électriques devraient fournir la quasi-totalité de ce qui est nécessaire pour la respecter, la Colombie-Britannique et le Québec dépassant déjà largement les 20% des ventes annuelles (respectivement 24% et 30,9% en 2024). Ces projections suggèrent une diminution de 39% (33 Mt.CO₂.éq.) des émissions provenant du transport de passagers d'ici 2035 par rapport aux niveaux de 2005.

Tableau 4 – Émissions de GES pour le transport routier

Secteur	2005 (kt.CO ₂ .éq.)	2023 (kt.CO ₂ .éq.)	Pourcentage des émissions totales du Canada
Véhicules légers	84 509	82 256	11,7%
Véhicules lourds	42 261	42 991	6,1%
Total	126 770	125 247	17,8%

Source : ECCC (2025)
Note: les données disponibles nous forcent à inclure une très faible portion d'émissions associées au transport ferroviaire dans les émissions des véhicules lourds pour les marchandises

Figure 7 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant du transport routier de passagers



⁴ Le transport hors route (pour la machinerie sur site, par exemple) est également important, mais est assigné à une classification différente de ces émissions selon la méthodologie utilisée (secteur économique ou classification par catégorie du GIEC) entraîne un écart important dans leur part pour l'ensemble du secteur des transports. Pour simplifier, nous nous concentrons ici sur les catégories par secteur économique utilisées dans les projections d'ECCC, où le hors route représente une part beaucoup plus faible du total (< 10 %). Dans la classification par secteur économique, la plupart des émissions hors route est attribuée au secteur où elles sont produites (industrie, agriculture, commerce et résidentiel). Voir Langlois-Bertrand et Mousseau (2025) pour une explication plus détaillée et un aperçu des émissions provenant de ces sources.

L'évolution des émissions du transport de marchandises est moins claire. Si les deux scénarios d'ECCC montrent une baisse modeste, mais régulière des émissions avant 2030, la poursuite de cette tendance au-delà de 2030 dépend de la mise en œuvre d'une obligation VZÉ pour les véhicules moyens et lourds, actuellement en cours d'élaboration. En l'absence d'une telle contrainte réglementaire modélisée, les émissions rebondissent dans le scénario de référence, atteignant des niveaux proches de ceux de 2023.

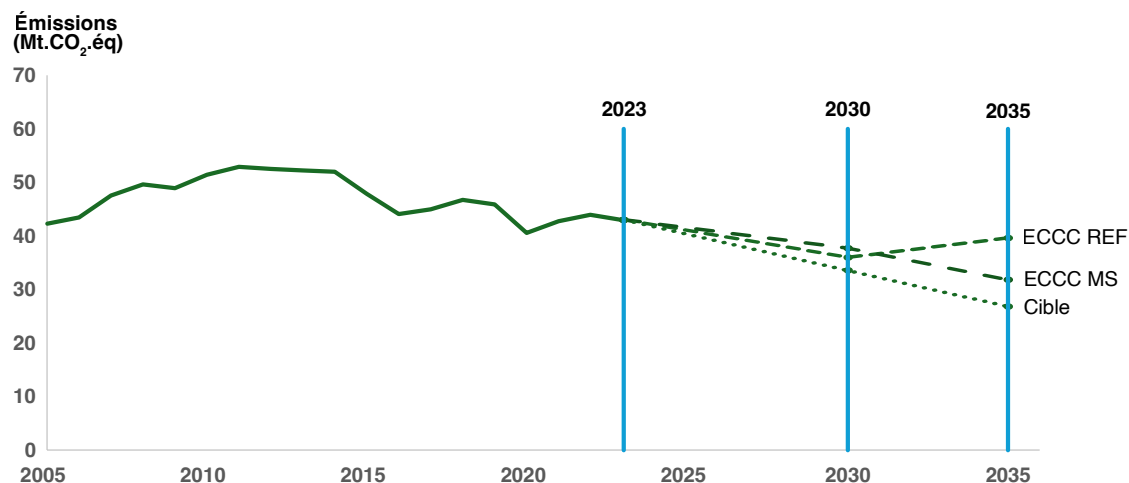
La baisse prévue des émissions du transport de marchandises au cours des prochaines années est en grande partie le résultat de l'entrée en vigueur du Règlement sur les combustibles propres. L'impact de ce règlement reste limité et incompatible avec l'objectif de carboneutralité.⁵ De plus, son impact sera probablement réduit par la récente modification apportée par le gouvernement fédéral, qui exempte les producteurs canadiens de biocarburants de l'obligation de respecter les mêmes seuils de réduction des émissions. Aucune autre mesure n'est prévue pour soutenir les transformations structurelles du secteur.

3.2.1 L'ampleur de l'écart

Si la baisse prévue du transport de passagers est importante, il est important de noter que la réalisation de ces projections nécessiterait que d'ici 2035 :

- toutes les provinces (y compris la majorité d'entre elles où les ventes de véhicules électriques restent inférieures à 1 %) prennent des mesures politiques énergiques pour encourager l'adoption des véhicules électriques (par exemple, par la mise en œuvre du mandat de vente de véhicules à zéro émission), et que
- une infrastructure de recharge étendue soit déployée dans tout le pays, et que
- les coûts continuent de baisser à mesure que les options de véhicules zéro émission se diversifient, et que
- un mandat VZÉ ou d'autres mesures appropriées soient également mis en place pour le transport de marchandises, avec pour objectif 15 à 20 % de camions zéro émission d'ici 2035, soutenu par les infrastructures énergétiques nécessaires (chargeurs, caténaires ou hydrogène).

Figure 8 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant du transport routier de marchandises



Remarque : le scénario des mesures supplémentaires (MS) comprend une réglementation partielle des ventes de véhicules utilitaires moyens et lourds (VZÉ) avec des objectifs pour 2030 et 2040; en raison de l'agrégation des données dans les projections d'ECCC, les chiffres indiqués comprennent le transport de marchandises non routier.

⁵ Le Règlement sur les combustibles propres n'est pas compatible avec l'objectif de carboneutralité pour deux raisons principales : premièrement, la production de carburants « propres » s'accompagne d'émissions plus faibles mais non nulles; deuxièmement, il n'y a pas suffisamment de matières premières issues de la biomasse pour produire assez de carburant afin de remplacer tous les carburants fossiles utilisés pour le transport.

Si cela peut sembler une accélération raisonnable dans les provinces où la tendance VZÉ est déjà en marche, d'autant plus qu'elle s'aligne sur l'orientation de nombreux autres pays, cela représente une transformation fondamentale du parc automobile et de la fourniture de ce service pour toutes les autres provinces. Même si l'on évite les préoccupations liées à la disponibilité des équipements sur le marché (véhicules et chargeurs), la planification de leur déploiement très rapide devrait commencer immédiatement.

Pour le transport de marchandises, la transformation profonde s'étendra au-delà de 2035. Toutefois, les mesures en place ne devraient pas entraîner de tendance à la baisse dans les émissions de GES. Si l'obligation relative aux VZÉ de poids moyen et lourd était mise en place et appliquée comme le suppose le scénario des mesures supplémentaires d'ECCC, cette tendance pourrait effectivement s'amorcer, mais le succès de cette mesure dépend de nombreux facteurs. En particulier, il suppose que le secteur, dans toutes les régions du pays, puisse compter sur la mise en place d'infrastructures de transport et de distribution d'énergie à grande échelle pour alimenter les flottes de camions, quelle que soit l'option de décarbonation choisie (hydrogène, véhicules électriques à batterie, caténaires ou même diesel renouvelable pour certains créneaux spécifiques). En outre, tout comme pour le transport de passagers, le succès de l'obligation relative aux véhicules zéro émission suppose sa mise en œuvre dans toutes les provinces.

Si les véhicules routiers constituent la majeure partie des émissions du transport de marchandises, il convient de noter que les projections d'ECCC ne prévoient aucune réduction pour le transport aérien ou maritime, deux sous-secteurs où les technologies ne sont pas suffisamment développées à l'heure actuelle pour espérer un déploiement avant 2035.

3.2.2 Autres implications de la réduction de l'écart

Les exigences susmentionnées pour combler l'écart et garantir des réductions suffisantes des émissions dans le transport de passagers et de marchandises ont de nombreuses implications. Outre les infrastructures de recharge, l'impact total du mandat VZÉ pour le transport de passagers nécessite une augmentation de la production d'électricité (+88 TWh à l'échelle nationale/+14 % par rapport à aujourd'hui). Cette augmentation n'est pas seulement importante : elle est proportionnellement plus difficile à réaliser pour les provinces dont l'infrastructure de recharge existante est limitée; et la contribution de cette demande met en évidence les contraintes de capacité du réseau qui pourraient empêcher un déploiement rapide des véhicules électriques dans certaines régions, à moins que ces problèmes ne soient également résolus rapidement. Nous reviendrons sur ce point dans la Section 3.7.

Pour le transport de marchandises, toutes les options de décarbonation nécessitent un développement très important des infrastructures de transport et de distribution d'énergie dans toutes les provinces. De plus, contrairement au transport de passagers, pour maintenir les coûts de cette expansion aussi bas que possible, il faut choisir une technologie adaptée de manière régionale. Cela nécessite à son tour une harmonisation des choix avec les voisins, y compris les États américains, car le transport longue distance traverse les frontières sur des itinéraires plus longs et doit être traité avec soin dans cette planification.

Pour tous les secteurs concernés par une obligation de vente comme principal outil pour décarboner les flottes de véhicules, il convient de rappeler que pour atteindre les objectifs VZÉ prévus, le développement des infrastructures de distribution d'énergie devra être mis en œuvre en étroite synchronisation, voire largement en avance sur les ventes de véhicules. Sinon, il est difficile d'imaginer comment les transporteurs pourraient acheter des véhicules pour lesquels la disponibilité en matière de recharge ou de ravitaillement est incertaine. Cela pourrait constituer un obstacle majeur à la réussite des mandats VZÉ.

Dans le cadre d'une stratégie plus élaborée, pour des raisons technologiques, nous divisons ce secteur en trois grandes familles : les voitures et camions légers, principalement utilisés pour le transport de passagers; les véhicules lourds pour le transport local, parcourant moins de 250 km par trajet aller-retour; et les véhicules lourds pour le transport longue distance, parcourant plus de 400 km par jour.

3.2.3 Véhicules légers

Les véhicules légers, qui comprennent les voitures et les camions légers, représentent les deux tiers des émissions liées au transport routier. Ces véhicules sont couverts par le mandat actuel sur les véhicules à zéro émission (VZÉ), qui exige que tous les véhicules légers neufs vendus au Canada soient à zéro émission d'ici 2035. Cette mesure est conforme à celle prise par les autres pays du G7, à l'exception des États-Unis (où plusieurs États, dont New York et la Californie, partagent néanmoins le même objectif légal⁶), malgré certaines contestations récentes concernant l'année cible dans certains de ces pays.

Intérêt stratégique pour le Canada

Alors que le reste du monde accélère le déploiement de véhicules légers à zéro émission, le Canada perd rapidement son avantage concurrentiel dans ce domaine. Avec une ambition limitée, le Canada passe à côté de la propriété intellectuelle associée, du savoir-faire en matière de fabrication et de la capacité de produire des biens qui répondent aux normes internationales. Si un alignement fort sur la position actuelle des États-Unis pourrait profiter au Canada à court terme (1 à 3 ans), à plus long terme, retarder le passage à la production de véhicules électriques sera préjudiciable à son secteur automobile. L'industrie canadienne pourrait prendre encore plus de retard par rapport au reste du monde, car l'électrification est étroitement liée aux technologies d'automatisation les plus avancées (y compris les véhicules autonomes), qui s'appuient sur l'intégration étroite de l'intelligence artificielle (IA) et de différentes technologies de capteurs.

À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité : éléments clés d'un système amélioré

Le défi de l'électrification des véhicules légers est essentiellement résolu d'un point de vue technologique et économique. Les constructeurs nord-américains peuvent aujourd'hui proposer des véhicules entièrement électriques à un prix qui continue de se rapprocher de celui des véhicules à moteur à combustion interne à l'achat (même si, à l'heure actuelle, la rentabilité est moindre que pour les véhicules à moteur à combustion interne en raison des investissements massifs nécessaires pour développer de nouvelles chaînes de production). De plus, les véhicules électriques permettent de réaliser d'importantes économies de carburant et d'entretien. À l'échelle mondiale, les véhicules légers électriques sont déjà plus sophistiqués et moins chers que ceux fonctionnant aux combustibles fossiles grâce aux constructeurs chinois. Si certains enjeux subsistent, notamment en ce qui concerne l'autonomie des véhicules et les réseaux de recharge, en particulier pendant les hivers canadiens, ceux-ci sont en voie d'être résolus et ne constituent pas un véritable obstacle technique dans la plupart des régions du pays.

Changements physiques nécessaires pour y parvenir

Décarboner le secteur du transport routier repose sur la réussite de trois éléments : (i) l'augmentation rapide de la part des véhicules électriques dans les ventes totales; (ii) le déploiement d'une infrastructure de recharge fiable et étendue ciblant toutes les clientèles; et (iii) l'augmentation de l'approvisionnement en électricité là où cela est nécessaire. Plus précisément, le taux d'adoption des véhicules électriques doit augmenter dans toutes les provinces, ce qui nécessite une diversité de modèles offerts au détail beaucoup moins chers et plus largement disponibles, en plus d'une infrastructure de recharge facilement accessible, tant publique que privée. Cela signifie qu'il faut soutenir le déploiement des véhicules et des chargeurs dans les régions et les types de bâtiments où leur adoption a été lente, en tirant les leçons de la Colombie-Britannique et du Québec où ce déploiement a largement dépassé le reste du pays.

Pour soutenir cette accélération du déploiement des chargeurs, les services publics d'électricité devront veiller à ce que les contraintes du réseau de distribution ne soient pas un frein dans certaines régions. Dans de nombreux cas, il serait approprié de combiner la planification du déploiement d'infrastructure de recharge avec les exigences en matière d'électrification des bâtiments discutées dans la section précédente.

⁶ Quinze États, dont Washington, l'Oregon, le Colorado, le New Jersey, New York et la Californie, ont adopté une obligation VZÉ (véhicules à zéro émissions) imposant 100 % de véhicules zéro émission d'ici 2035, sur la base de la réglementation californienne sur les Advanced Clean Cars. Le président Trump a adopté des résolutions en juin 2025 pour abroger ces obligations, mais une coalition d'États a intenté une action en justice pour les invalider.

Principaux obstacles à surmonter

Au cours des dernières années, à la suite de l'adoption de la loi sur la réduction de l'inflation sous la présidence de Joseph Biden, le Canada a déployé des efforts et des moyens financiers considérables pour attirer de grands fabricants de composants de batteries et des usines d'assemblage de batteries. Leur survie est incertaine, car les États-Unis se retirent et le Canada envoie des messages contradictoires quant à ses projets. Parallèlement, le Canada a imposé des droits de douane de 100 pour cent sur les importations de véhicules électriques chinois, car ces véhicules de haute qualité sont produits à des prix nettement inférieurs à ceux actuellement disponibles sur le marché canadien. Ensemble, ces événements récents contribuent à ralentir l'électrification du secteur canadien des véhicules légers.

Comme le Canada se contente largement d'observer la course internationale à la production de véhicules légers toujours plus sophistiqués, il passe également à côté d'avancées potentielles en matière de stockage d'énergie, d'électronique haute puissance et de transformation fondamentale du secteur des transports, qui s'oriente vers des véhicules entièrement autonomes.

Au lieu de se retirer, le Canada devrait donc maintenir un mandat VZÉ fort et tirer parti de ses objectifs pour 2035 concernant les véhicules légers à zéro émission en :

1. Assurant la création d'un réseau de recharge solide à travers le pays, garantissant à la fois une recharge haute puissance/haute vitesse pour les voyageurs et une recharge basse puissance/basse vitesse pour un usage quotidien. Cela nécessite :
 - a. d'élaborer un plan rapide pour permettre aux services publics d'agir en conséquence, et
 - b. d'adapter la réglementation afin de faciliter le déploiement des véhicules électriques et des stations de recharge, et
 - c. de combiner cela avec une approche d'approvisionnement qui puisse servir à promouvoir les fabricants locaux.
2. Adoptant une stratégie visant à encourager les fabricants à baisser leurs prix, par exemple en présentant un calendrier de réduction progressive des droits d'importation sur les véhicules électriques chinois ou en faisant venir des fabricants chinois.
3. Tirant parti de la volonté du Canada de passer à des véhicules zéro émission pour renforcer sa chaîne d'approvisionnement, des minéraux aux produits à forte valeur ajoutée.

4. Renforçant le rôle du Canada dans les technologies de capteurs et de contrôle, par exemple en :

- a. Mettant en place des bacs à sable réglementaires pour faciliter le développement et l'essai de technologies de conduite autonome adaptées au Canada;
- b. Utilisant les politiques d'acquisition pour créer le marché initial.

Plus de détails sont présentés dans le tableau 5.

Avantages économiques à tirer

En obligeant les constructeurs automobiles à accélérer leur transformation, le gouvernement peut améliorer leur compétitivité à long terme. Il peut également renforcer sa stratégie en matière de minéraux essentiels, en s'appuyant sur un marché national pour les batteries et les autres produits de haute technologie liés aux véhicules zéro émission.

Combiner le mandat VZÉ avec une stratégie d'innovation pourrait aider le Canada à trouver sa place dans l'industrie automatisée et autonome à venir. Cela est crucial, car les connaissances et l'expérience acquises dans ce domaine auront des applications bien au-delà des véhicules légers.

⁹ President Trump adopted resolutions, in June 2025, to repeal these mandates, but a coalition of states has filed a lawsuit to invalidate these.

3.2.4 Transport routier local lourd

Cette catégorie comprend un large éventail de types de véhicules, tels que les camions de livraison, les autobus publics et scolaires, les camions à 18 roues pour les courtes distances, les camions de collecte des déchets et autres services municipaux, etc., qui sont utilisés pour des trajets de courte distance (moins de 250 km aller-retour). Tous ces véhicules peuvent fonctionner à l'aide de batteries pour accomplir leurs tâches quotidiennes ou effectuer au moins un aller-retour sans recharge.

Les défis observés avec l'électrification des autobus scolaires au Québec soulignent l'importance d'adopter une stratégie réaliste et réactive pour garantir le succès. Le gouvernement québécois a choisi de soutenir un seul fournisseur local (Lion Électrique) en investissant dans l'entreprise et en subventionnant fortement l'achat d'autobus, sans stratégie pour garantir la qualité et faire baisser les prix au fil du temps. Même aujourd'hui, les autobus scolaires électriques coûtent plus de 240 000 dollars de plus que leurs équivalents diesel. Si cette approche a permis à l'entreprise de décoller et d'atteindre le marché, sans stratégie claire pour faire baisser les prix et sans contrôle qualité solide, Lion Électrique s'est révélée incapable de devenir compétitive sans continuer à bénéficier de subventions massives.

Intérêt stratégique pour le Canada

La diversité des plateformes et des véhicules pour le transport lourd sur de courtes distances signifie que les fabricants locaux peuvent émerger grâce au soutien d'une politique claire favorisant les véhicules zéro émission pour le transport local, comme cela a déjà été fait dans d'autres pays. Comme pour les véhicules légers, l'IA et l'automatisation seront intégrées dans la plupart de ces véhicules; il est donc essentiel que le Canada comprenne et élabore des stratégies capables de tirer parti du secteur de l'IA et des hautes technologies, non seulement en finançant l'innovation, mais aussi en créant les conditions de marché appropriées pour permettre une production à grande échelle en phase avec le reste du monde.

À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité : éléments clés d'un système amélioré

Contrairement aux véhicules légers, dont la production est dominée par quelques constructeurs internationaux, de nombreux véhicules lourds à zéro émission sont produits par des petites et moyennes entreprises plus sensibles à la spécificité des marchés locaux. Ce secteur pourrait donc représenter une entrée relativement facile pour le développement de la propriété intellectuelle canadienne et des contributions canadiennes en matière de conception et de production liées aux véhicules électriques. De même, les véhicules lourds offrent un fort potentiel pour une approche standardisée de remplacement des batteries, qui peut équilibrer la demande d'énergie pour la recharge et le temps d'attente des véhicules. Le Canada pourrait donc également être présent dans ce secteur en plein développement.

Enfin, l'électrification étant essentielle à la pleine intégration de l'intelligence artificielle, une électrification stratégique de ce secteur devrait inclure les secteurs de haute technologie dans des domaines tels que les capteurs, le contrôle et l'IA.

Changements physiques nécessaires pour y parvenir

La diversité des services couverts par les transports sur de courtes distances implique l'adoption de stratégies sous-sectorielles tenant compte de la disponibilité des solutions zéro émission, des coûts de déploiement et des éventuels problèmes de sécurité. Décarboner le transport lourd local repose sur (i) le développement d'une offre large de modèles et de technologies pouvant répondre aux besoins de chaque sous-secteur; (ii) le déploiement d'infrastructures de soutien et d'approvisionnement en électricité; et (iii) l'utilisation d'options technologiques innovantes pour maximiser les avantages de ces transformations, par exemple en tirant parti de l'IA et de l'automatisation dans les systèmes de transport.

Principaux obstacles à surmonter

Compte tenu des variations importantes entre les régions et les sous-secteurs pour ce segment des transports, le déploiement accéléré des infrastructures d'approvisionnement en énergie est également susceptible de varier, ce qui rend indispensable la planification de chaque sous-secteur pour l'avenir.

Des facteurs favorables sont essentiels pour stimuler les investissements privés et créer une industrie canadienne dans un secteur qui peut être plus facilement dirigé par des acteurs de plus petite envergure, contrairement au secteur des véhicules légers.

Plus précisément, ces facteurs comprennent :

1. L'adoption d'une vision claire pour l'électrification de ce secteur, avec une approche proactive en matière d'innovation et d'accès au marché;
2. L'adaptation de la réglementation afin de supprimer les obstacles à l'électrification, notamment en matière de recharge et de remplacement des batteries;
3. Le déploiement de stratégies efficaces et ciblées pour
 - a. financer le développement et la fabrication de produits, y compris les infrastructures de recharge;
 - b. Créer un marché avec une visibilité à long terme;
 - c. Promouvoir la compétitivité grâce à des subventions stratégiques;
 - d. Utiliser des stratégies d'approvisionnement pour soutenir l'accès au marché et la compétitivité;
4. L'utilisation de la réglementation « bac à sable » pour soutenir l'innovation, les essais pilotes et l'accès au marché;
5. Le développement des procédures de résilience et de sécurité afin d'éliminer les risques réels et perçus liés à l'électrification des segments critiques de ce secteur.

Plus de détails sont présentés dans le tableau 5.

Avantages économiques à tirer

Le secteur du transport lourd local est déjà en train de se décarboner en Chine et en Europe. Sans une stratégie solide fondée sur une réglementation favorisant l'électrification de ce secteur, le Canada manquera une occasion de créer une industrie locale à fort potentiel d'exportation. Cette industrie ne concerne pas seulement les batteries, mais aussi les technologies de pointe et l'intelligence artificielle qui accompagnent l'autonomisation croissante de ces véhicules, ce qui ajoute aux risques concurrentiels pour le Canada de passer à côté de cette transition.

3.2.5 Transport routier longue distance

Cette catégorie concerne les camions lourds, y compris les semi-remorques, utilisés pour le transport de marchandises sur de longues distances, mais comprend également des services tels que le transport public interrégional par autobus. En raison du poids transporté et des distances parcourues quotidiennement, le transport routier longue distance présente des défis technologiques particuliers qui n'ont pas encore été relevés de manière satisfaisante à ce jour. Les camions à batterie, par exemple, ont une autonomie insuffisante, en particulier dans le contexte canadien, pour permettre un transport de marchandises efficace. Les camions à pile à combustible à hydrogène, quant à eux, souffrent d'un coût élevé tant pour le camion que pour le carburant, tandis que les solutions à caténaire nécessiteraient la construction d'infrastructures importantes avant tout déploiement, ce qui comporterait un risque important si d'autres technologies l'emportaient.

Si la solution technologique pour le transport longue distance n'est pas la batterie, des infrastructures supplémentaires devront être déployées, ce qui augmentera les coûts et les défis. Ceux-ci ne peuvent être minimisés qu'en adoptant une orientation claire concernant la technologie choisie.

Même si aucune technologie dominante n'a encore émergé, des progrès sont réalisés; comme pour de nombreuses autres technologies à faible émission de carbone, c'est la Chine qui est à la pointe. Pour que le Canada puisse tirer parti de la propriété intellectuelle, de la technologie et des connaissances, il doit élaborer une stratégie proactive en matière de recherche-développement et de fabrication. Comme dans les autres secteurs, l'autonomisation et la conduite autonome se développent rapidement, en étroite intégration avec l'électrification des groupes motopropulseurs, ce qui accentue les problèmes de compétitivité économique liés à la décarbonation de ce secteur.

Intérêt stratégique pour le Canada

Les défis liés à l'électrification du transport routier lourd sur de longues distances se retrouvent également dans de nombreux secteurs hors route particulièrement importants au Canada, notamment la foresterie et l'exploitation minière. Comme la décarbonation de ce secteur reposera sur un large éventail de technologies, notamment l'IA, les capteurs et l'automatisation, le Canada a tout intérêt à s'impliquer dans le développement de solutions compétitives et à œuvrer à la création d'une base de fabrication canadienne pour les camions et les infrastructures de recharge, de ravitaillement et de production de carburant, en tirant éventuellement parti des technologies de captage et de séquestration de carbone (CSC) du Canada qui permettraient de décarboner l'hydrogène (pour en faire de l'hydrogène dit « bleu ») ou d'exploiter le potentiel géologique du Canada pour l'hydrogène dit « blanc ».

À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité : éléments clés d'un système amélioré

Bien qu'il existe aujourd'hui une forte pression en faveur **des carburants propres issus de la biomasse** afin de réduire les émissions du secteur des transports, cette solution **représente un cul-de-sac**, car elle n'est pas compatible avec les objectifs de carboneutralité. Le secteur du transport routier longue distance devra donc s'électrifier (avec des batteries ou des piles à combustible), comme les autres secteurs.

En fonction des solutions technologiques qui s'imposeront, le Canada pourrait compter sur un certain nombre d'avantages potentiels dans le développement de solutions pour le transport routier longue distance à faible émission de carbone. Cela inclut la possibilité de produire de l'hydrogène à faible émission de carbone grâce au CSC, ainsi que la présence de Ballard, un fabricant de piles à combustible. Une solution à base de batteries pourrait tirer parti de la stratégie relative aux minéraux critiques, s'ajoutant à la demande des secteurs du transport léger et du transport à courte distance.

Comme pour le transport lourd de courtes distances, l'électrification ira de pair avec l'automatisation, ce qui nécessitera la contribution des industries de haute technologie, notamment les télécommunications, l'IA et la détection, où le Canada est également présent.

Changements physiques nécessaires pour y parvenir

Décarboner le transport routier de marchandises sur de longues distances implique l'électrification de la flotte, car l'électricité est trois à quatre fois plus productive que toute solution basée sur la combustion. Cependant, il n'existe pas de solution technologique dominante pour fournir l'énergie et la puissance mobiles nécessaires au transport de marchandises sur de longues distances. Concrètement, cela signifie que, pour décarboner ce secteur, il est nécessaire (i) d'identifier la technologie privilégiée (batterie seule, batterie et caténaire, hydrogène avec piles à combustible); (ii) de planifier des modèles d'infrastructures (privées, publiques, mixtes); (iii) de soutenir le développement des infrastructures d'approvisionnement en énergie (chargeurs, caténaires, production et distribution d'hydrogène); (iv) de soutenir la production des différents équipements, y compris les camions, et l'industrie des services qui les accompagne; (v) de coupler ces développements à une modernisation des autoroutes, afin de faciliter l'intégration de l'IA et de l'automatisation.

Principaux obstacles à surmonter

Des facteurs facilitants sont essentiels pour stimuler les investissements privés et créer une industrie canadienne dans un secteur qui nécessitera une vision et une coordination cohérentes, car les investissements dans les infrastructures seront considérables.

Plus précisément, ces facteurs comprennent :

1. Un calendrier de déploiement pour l'électrification, via des batteries, de l'hydrogène ou des caténaires, de ce secteur
2. Une réglementation adaptée, notamment en matière de déploiement et de propriété des infrastructures
3. Le déploiement de stratégies efficaces et ciblées pour
 - a) utiliser une réglementation et un financement de type « bac à sable » pour soutenir l'innovation
 - b) Tester et financer des projets de développement et des projets pilotes
 - c) Créer un marché avec une visibilité à long terme pour faciliter les investissements
 - d) Structurer les industries des services ainsi que la chaîne d'approvisionnement grâce à des subventions stratégiques
4. Des stratégies d'approvisionnement pour soutenir l'accès au marché et la compétitivité.

Avantages économiques à tirer

À travers le monde, le secteur du transport longue distance pourrait adopter différentes solutions à bas carbone en fonction de l'environnement local. Par exemple, la réglementation européenne impose une limite stricte de 90 km/h pour les camions et oblige les conducteurs à s'arrêter toutes les 4,5 heures pendant 45 minutes, ce qui est compatible avec les camions lourds alimentés par batterie.

Il n'existe pas de telles contraintes au Canada, ce qui rend d'autres choix technologiques possibles. Cependant, sans une stratégie solide fondée sur une réglementation favorisant l'électrification de ce secteur, le Canada manquera une occasion de créer une industrie locale présentant un potentiel d'exportation. Comme pour le transport lourd local, la transformation de cette industrie ne concerne pas seulement les batteries, mais aussi les technologies de pointe et l'intelligence artificielle qui apparaissent à mesure que ces véhicules deviennent de plus en plus autonomes, ce qui ajoute aux risques concurrentiels pour le Canada de passer à côté de cette transition.

Tableau 5 – Stratégie de décarbonation du transport routier : objectifs et mesures à prendre

VÉHICULES LÉGERS	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Confirmer l'alignement avec le reste du G7 (à l'exception des États-Unis) pour imposer que tous les nouveaux véhicules légers soient à zéro émission d'ici 2035 (avec des exceptions possibles pour les régions éloignées).	Favoriser l'émergence d'acteurs canadiens dans le domaine des pièces détachées et des stations de recharge, et accroître la fabrication locale par des entreprises étrangères	2035 : Tirer parti des progrès réalisés dans le cadre du mandat sur les VZÉ pour positionner le Canada comme un pays hautement compétitif dans certains sous-secteurs des véhicules légers à zéro émission, tout en donnant aux Canadiens accès à des véhicules à faible coût
Mesures à prendre	1. Confirmer un nouveau calendrier visant à ce que tous les nouveaux véhicules légers soient à zéro émission d'ici 2035 2. Élaborer et déployer une stratégie de communication pour soutenir les VZÉ 3. Donner la priorité à la création d'un réseau national de bornes de recharge 4. Exercer une pression sur les constructeurs, avec un calendrier éventuel de suppression partielle des droits de douane sur les véhicules zéro émission fabriqués en Chine afin de faire baisser les prix/de rendre disponibles des véhicules appropriés 5. Lier la conformité aux normes VZÉ à la politique industrielle	1. Identifier et supprimer les obstacles réglementaires au déploiement des véhicules zéro émission (principalement en matière de recharge) 2. Soutenir et structurer le secteur des services (stations de recharge) par le biais des politiques d'acquisition (tels que le Circuit électrique). 3. Promouvoir l'élaboration et la mise en œuvre de politiques de recyclage/réutilisation des batteries usagées des véhicules électriques 4. Élaborer et mettre en œuvre des politiques visant à requalifier les mécaniciens automobiles 5. Maintenir la pression sur les prix afin de garantir la compétitivité internationale des véhicules électriques 6. Créer des environnements économiques et réglementaires favorables à l'automatisation et aux technologies de conduite autonome, ainsi qu'au développement des marchés d'occasion	

Tableau 5 – Stratégie de décarbonation du transport routier : objectifs et mesures à prendre (suite)

VÉHICULES LOURDS - LOCAUX	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Fixer un échéancier pour les véhicules lourds à zéro émission destinés à un usage local (trajets de moins de 200 à 300 km) pour 2035/2040, en accord avec les autres pays.	Faire progresser le déploiement des VZÉ dans cette catégorie; structurer un écosystème canadien solide (fabrication, services)	2035-2040 : Tous les nouveaux véhicules sont à zéro émission dans ce secteur, ce qui favorise la création d'une industrie des services et d'une chaîne d'approvisionnement robuste et compétitive à l'exportation
Mesures à prendre	1. Identifier les obstacles et les avantages pour chaque segment : disponibilité, infrastructure de recharge, prix, présence de fournisseurs concurrents 2. Élaborer une réglementation visant à faire respecter le mandat VZÉ 3. Identifier les fournisseurs canadiens potentiels - produits et services 4. Identifier les innovations potentielles clés essentielles à cette transformation	1. Utiliser les politiques d'acquisition pour soutenir les nouvelles technologies, la production locale et accroître la compétitivité; adopter un mandat VZÉ pour ce secteur 2. Supprimer les obstacles réglementaires au déploiement des VZÉ 3. Adopter une réglementation appropriée en matière de recharge, de sécurité, etc. 4. Adopter des politiques d'approvisionnement et de subventions stratégiques, prévisibles et durables afin de réduire les coûts 5. Créer des environnements économiques et réglementaires favorables aux technologies d'automatisation et de conduite autonome	
TRANSPORT LOURD SUR DE LONGUES DISTANCES	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Fixer un échéancier pour 2040-2045 concernant le transport sur longue distance à zéro émission (> 400 km par jour) afin de commencer à orienter les investissements et le déploiement.	Commencer le déploiement de lignes de démonstration de transport de marchandises à longue distance à zéro émission; structurer l'industrie canadienne de la fabrication, de l'assemblage et des services	2040-2045 : Tous les nouveaux véhicules sont zéro émission dans ce secteur, ce qui favorise la création d'une industrie de services et d'une chaîne d'approvisionnement robustes et compétitives à l'exportation
Mesures à prendre	1. Évaluer les technologies potentielles, en tenant compte d'autres transformations (y compris la conduite autonome) 2. Identifier les fournisseurs canadiens potentiels - produits et services 3. Élaborer une planification stratégique des achats pour soutenir les fournisseurs canadiens 4. Commencer à planifier des projets pilotes évolutifs	1. Adopter un mandat VZÉ pour ce secteur 2. Identifier et supprimer les obstacles réglementaires au déploiement des VZÉ 3. Créer des bacs à sable réglementaires pour faciliter les projets pilotes 4. Adopter une réglementation appropriée en matière de tarification, de sécurité, etc. 5. Adopter des mesures stratégiques, prévisibles et durables en matière d'approvisionnement et de subventions afin de réduire les coûts 6. Créer des environnements économiques et réglementaires favorables aux technologies d'automatisation et de conduite autonome	

3.3 Industrie

Les émissions industrielles de GES peuvent être divisées en deux catégories : celles provenant de la combustion d'énergie pour la production de chaleur (Figure 9) et celles émises par les procédés industriels, résultant de réactions chimiques liées à la transformation des matériaux (Figure 10).

Ce secteur comprend les industries lourdes telles que le ciment, l'acier et l'aluminium, ainsi que l'exploitation minière, la fabrication et la transformation alimentaire⁷, mais exclut toute production d'énergie. De par sa diversité, une stratégie de décarbonation pour l'industrie bénéficierait de feuilles de route claires pour chaque secteur industriel, afin d'évaluer les mesures à mettre en œuvre au cours de la prochaine décennie et au-delà. Celles-ci devraient accorder une attention particulière aux émissions liées aux procédés, qui nécessitent des innovations substantielles pour être réduites.

Les émissions dans ces secteurs sont relativement stables depuis 2009. Au total, elles représentent environ 15% de toutes les émissions de GES du Canada.

3.3.1 Ampleur de l'écart

La Figure 9 montre que les mesures en cours d'élaboration pourraient en théorie faire la différence et permettre d'éliminer près de la moitié des émissions liées à la combustion d'ici 2030. Toutefois, ces projections du scénario MS reposent sur des hypothèses extrêmement optimistes concernant les projets actuellement à l'étude, qui comprennent principalement ceux financés par le Fonds d'investissement stratégique et l'Accélérateur carboneutre, ainsi que sur des taux d'adoption élevés de l'hydrogène. L'impact de ces mesures est toutefois limité après leur effet initial, et les émissions dans le scénario MS rebondissent avant 2035.

Pour atteindre l'objectif de référence de 2035 :

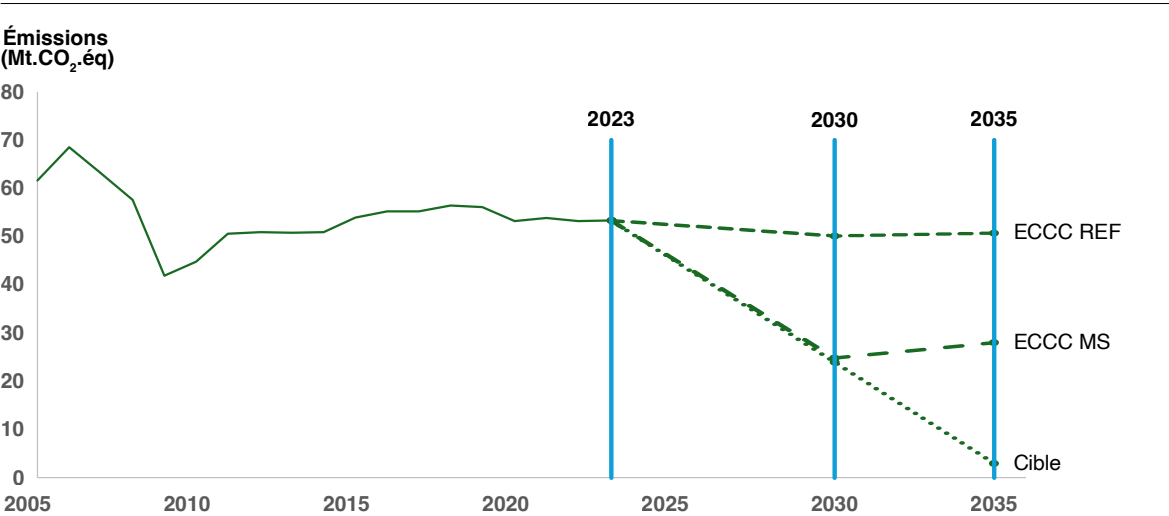
- 95% de l'énergie fossile utilisée dans les procédés de chauffage devrait être décarbonée dans les 10 ans, dans tous les secteurs industriels, et
- toutes les provinces devraient adopter les réglementations appropriées pour empêcher l'utilisation de combustibles fossiles pour la production de chaleur industrielle, et
- si l'électricité est utilisée, la charge de base nationale d'électricité devrait être augmentée de 25 à 30 GW supplémentaires (+10 à 15% de la capacité actuelle du Canada)⁸ pour soutenir l'électrification du chauffage (moins si l'on utilise des thermopompes).

Tableau 6 – Émissions de GES de l'industrie (à l'exclusion du pétrole et du gaz) au Canada.

Secteur	2005 (ktCO ₂ éq.)	2023 (ktCO ₂ éq.)	Pourcentage des émissions totales en 2023
Chaleur	61 600	53 300	7,7%
Procédés	57 000	51 700	7,4%
Total	118 600	105 000	15,1%

Source: ECCC (2025)

Figure 9 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant de la combustion d'énergie dans l'industrie (à l'exclusion du pétrole et du gaz)



Note: le scénario des mesures supplémentaires (MS) comprend notamment certains financements provenant du Fonds stratégique pour l'innovation et de l'Initiative Accélérateur net-zéro pour des projets de CSC et d'efficacité énergétique, ainsi que l'adoption de l'hydrogène sur la base de la production nationale anticipée.

Cela implique que les mesures entraînant des transformations plus durables, en particulier celles ciblant les sous-secteurs industriels non concernés par les mesures déjà en cours d'élaboration, devraient être rapidement évaluées afin de décarboner la production de chaleur.

⁷ Alors que les émissions liées à la production de chaleur en agriculture sont parfois groupées avec celles de l'industrie, elles sont exclues ici et traitées séparément, soit avec le secteur agricole à la Section 3.5.
⁸ Fiche d'information sur l'avenir énergétique du Canada 2021 : Électricité, L'avenir énergétique du Canada 2023 : Projections de l'offre et de la demande d'énergie jusqu'en 2050 – Supplément de données, Régulateur de l'énergie du Canada (<https://www.cer-rec.gc.ca/en/data-analysis/canada-energy-future/2023-data-supplement/>).

3.3.2 Autres implications de la réduction de l'écart

Les possibilités de réduction des GES dans le secteur industriel doivent être analysées avec soin, car chaque sous-secteur est confronté à des défis qui lui sont propres. Même à un niveau global, il convient toutefois de garder à l'esprit que le fait de décarboner le chauffage nécessitera d'autres sources et vecteurs d'énergie — électricité, biomasse, hydrogène bleu et vert et CSC, ainsi que des technologies de production de chaleur (thermopompes, infrarouge, etc.). Tout cela signifie qu'il faudra planifier au niveau régional les nouveaux approvisionnements et services. Compte tenu des différences importantes entre les sources d'émissions de chaleur et de procédés, nous proposons une stratégie pour chacune d'entre elles.

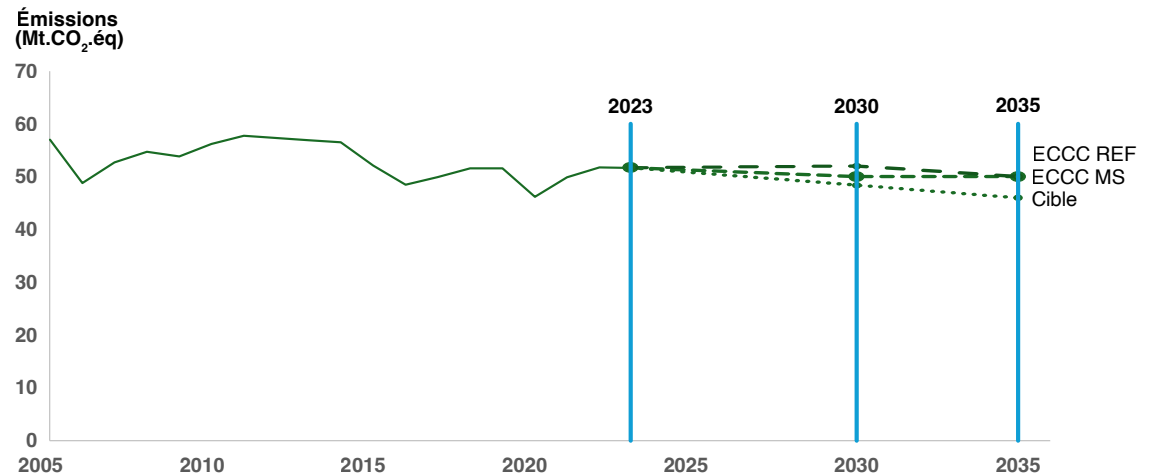
3.3.3 Chaleur

La production de chaleur industrielle représente environ 6 % des émissions nationales. Les besoins industriels en chaleur varient en termes de puissance et de température. Les défis de la décarbonation dépendent en grande partie de la température requise : les thermopompes industrielles sont idéales pour des besoins allant jusqu'à 200 °C, tandis que les températures plus élevées sont mieux fournies par des arcs électriques, des micro-ondes ou des énergies d'origine biologique.

Pour être compétitive en termes de coûts, une thermopompe ne peut pas simplement remplacer un four à gaz. Afin d'exploiter pleinement le potentiel de cette technologie, les procédés de production doivent être repensés afin d'optimiser l'utilisation et la réutilisation de la chaleur, en transférant la chaleur des endroits qui doivent être refroidis et en la concentrant pour les procédés qui nécessitent des températures élevées.

La reconfiguration du flux de chaleur et de froid dans une usine présente l'avantage supplémentaire d'optimiser la consommation totale d'énergie et d'améliorer le contrôle des procédés de production. Une mise en œuvre réussie nécessite donc une cartographie et une conception individualisées qui intègrent une connaissance suffisamment précise des procédés et des spécifications techniques des différentes thermopompes, une expertise qui fait largement défaut au Canada. À l'heure actuelle, les thermopompes industrielles sont rares, non seulement au Canada, mais aussi dans le reste du monde, la plupart des installations existantes étant presque artisanales.

Figure 10 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant des procédés industriels (émissions non énergétiques)



Intérêt stratégique pour le Canada

La décarbonation de la chaleur industrielle est encore peu avancée sur la planète en raison, entre autres, de l'accès limité à l'électricité. Si nous agissons aujourd'hui, le Canada pourrait mettre en place une industrie d'approvisionnement et de services solide, capable d'exporter son savoir-faire en matière de conception, d'assemblage, d'installation et de maintenance de ces infrastructures.⁹ Comme il existe un fort chevauchement entre ces services, en particulier pour la production à basse et moyenne température, et ceux destinés au chauffage des bâtiments commerciaux, institutionnels et multirésidentiels, les effets leviers potentiels sont importants. La demande énergétique de l'industrie étant plus constante tout au long de l'année, les coûts globaux de l'électrification du chauffage dans l'industrie sont moins élevés pour le réseau électrique que pour l'électrification du chauffage des bâtiments, ce qui devrait être intégré dans la stratégie.

⁹ D'autres régions du monde avancent toutefois rapidement. Par exemple, le projet [Push2heat](#), en Europe, vise à surmonter les obstacles techniques, économiques et réglementaires qui empêchent le déploiement à grande échelle des technologies de valorisation thermique dans la plage de température comprise entre 90 °C et 160 °C.

À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité: éléments clés d'un système amélioré

Décarboner la chaleur par l'électrification nécessite un certain nombre de technologies. Si les composants de base sont disponibles, il n'existe pas de solutions standard, telles que celles que l'on trouve pour les équipements résidentiels : les thermopompes industrielles, par exemple, sont actuellement assemblées pour répondre à des besoins spécifiques, ce qui augmente les coûts et les risques de défaillance; de même, les équipements électriques à haute température ne sont pas toujours disponibles dans le commerce. La normalisation nécessite la création de marchés suffisamment importants, et pour cela, le déploiement stratégique dans les différents secteurs doit être soutenu par les gouvernements.

Changements physiques nécessaires pour y parvenir

Il est essentiel de structurer un secteur des services capable de concevoir, d'installer et de gérer des thermopompes industrielles afin de réduire les coûts et les risques.

Compte tenu de la diversité des spécifications en matière de chaleur industrielle, la mise en place d'un secteur des services nécessite des stratégies spécifiques axées sur les sous-secteurs industriels et manufacturiers ayant des besoins similaires, tels que la transformation alimentaire, le séchage, etc. Les infrastructures électriques nécessaires à leur fonctionnement, devant souvent être installées loin des grandes villes, sont similaires. Pour réussir, il est donc nécessaire (i) d'élaborer des stratégies spécifiques aux sous-secteurs liées aux technologies de production de chaleur en coordination avec d'autres secteurs (agriculture, bâtiment, etc.); (ii) de soutenir l'augmentation de la production d'électricité et la modernisation des réseaux de transport et de distribution vers les industries en amont de la transition; (iii) de soutenir la création d'un secteur des services capable de réduire les risques technologiques tout en tirant parti de la transformation pour accroître la productivité.

Principaux obstacles à surmonter

Chaque sous-secteur, en fonction du défi technique, devrait développer sa propre voie vers la carboneutralité, avec des subventions initiales pour soutenir la structuration de la chaîne d'approvisionnement, par le biais d'assurances ou de financements aux fournisseurs, associés à des objectifs de prix. Afin de garantir la visibilité pour les fournisseurs, ces efforts doivent s'accompagner de mesures réglementaires établissant le taux de transformation pour l'ensemble du secteur.

Pour la chaleur à basse température (inférieure à 200°C), décarboner la chaleur dans l'industrie et l'agriculture nécessite l'ajustement ou la mise en place de plusieurs éléments, notamment

1. La révision des réglementations afin d'adapter les exigences, par exemple en matière d'espace dans la salle technique, de formation et de personnel habilité à manipuler les thermopompes;
2. Des plans élaborés pour les sous-secteurs, mais liés aux stratégies pour la décarbonation du chauffage des bâtiments, afin de :
 - a) imposer un calendrier de décarbonation
 - b) tirer parti des dépenses publiques pour soutenir l'innovation et la création d'un écosystème de services
 - c) garantir la création d'un marché qui convaincra les prestataires de services d'investir dans la formation et dans le développement d'une chaîne d'approvisionnement solide
 - d) soutenir les premiers utilisateurs, dans le but de créer des connaissances du côté des services, avec des subventions aux installateurs ou aux compagnies d'assurance, dans le cadre d'une stratégie visant à faire baisser les prix
 - e) imposer la décarbonation de secteurs ou de régions, en facilitant la création d'une industrie de services
3. Des services publics d'électricité qui modernisent leurs réseaux pour fournir l'électricité et l'énergie nécessaires; ici aussi, un plan stratégique peut orienter le calendrier des investissements afin de réduire les coûts et d'accélérer l'électrification du chauffage industriel.

Une stratégie spécifique doit être mise en œuvre pour les procédés à haute température, en raison de la nécessité d'évaluer, de développer et de réduire les risques liés à des technologies spécifiques, notamment :

1. Tester des technologies pour des industries spécifiques;
2. Intégrer une stratégie en matière de biomasse;
3. Soutenir l'innovation et la création de marchés, avec des objectifs clairs pour chaque sous-secteur;
4. Concevoir et mettre en œuvre une réglementation spécifique au sous-secteur pour imposer la décarbonation (ici, il pourrait être possible de combiner des stratégies sous-sectorielles et régionales);

5. Utiliser un financement stratégique pour cibler la création d'une chaîne d'approvisionnement et d'un secteur des services efficaces et réduire les coûts jusqu'à atteindre la parité avec les technologies actuelles basées sur les combustibles fossiles;
6. Commencer par les secteurs les plus faciles à intégrer;
7. Réformer la conception de la réglementation en matière de chauffage, qui tend à favoriser le gaz naturel.

Plus de détails sont présentés dans le tableau 7.

Avantages économiques à tirer

Si les composantes de base des thermopompes commerciales et industrielles sont principalement produits en Asie, il existe des opportunités en matière de propriété intellectuelle dans la planification, l'installation, la maintenance et les logiciels de soutien permettant de gérer les flux complexes de froid et de chaleur dans les secteurs industriels. Si le Canada agit suffisamment rapidement, il pourrait se positionner comme un leader mondial. Cette opportunité ne durera toutefois pas longtemps, car d'autres pays progressent de manière plus soutenue vers la réalisation de leurs objectifs climatiques.

3.3.4 Procédés

Il est plus difficile de décarboner les procédés industriels et cela nécessite un éventail de solutions plus large que dans le domaine du chauffage. Dans la plupart des cas, les procédés chimiques établis de longue date doivent être repensés et transformés en profondeur pour aboutir à des voies chimiques qui n'impliquent pas d'émissions de CO₂. Si, pour de nombreux procédés, il existe des voies alternatives qui sont souvent testées actuellement, celles-ci ont tendance à être coûteuses ou difficiles à mettre en œuvre, sauf dans des cas particuliers¹⁰.

Dans ce contexte, il est possible de décarboner largement les émissions des procédés de deux manières :

1. Remplacer les procédés établis, ou
2. Capturer et séquestrer le carbone.

En ce qui concerne le remplacement des procédés établis, des efforts sont déjà en cours dans le monde entier pour tester et déployer des procédés à faible émission de carbone afin de remplacer les approches actuelles. Pour maintenir sa compétitivité, il est essentiel que le Canada mette en œuvre une stratégie visant à garantir que ses industries participent à ces efforts et à identifier celles qui peuvent trouver un ancrage local afin de faciliter un positionnement précoce dans le déve-

loppement de l'industrie de soutien. Cette stratégie impliquerait : (i) d'identifier et de tester des procédés à faible émission de carbone prometteurs pour remplacer ceux actuellement utilisés, ce qui se ferait probablement en collaboration avec des partenaires internationaux afin de réduire les risques technologiques et concurrentiels, et d'accélérer leur adoption; (ii) d'adopter des objectifs d'émissions spécifiques à chaque secteur afin de tirer parti de technologies spécifiques; (iii) de créer une industrie de services capable d'accompagner la transformation, en mettant l'accent sur l'innovation pour le Canada. Toutefois, compte tenu des spécificités de chaque secteur, celles-ci ne seront pas abordées ici.

Nous nous concentrons plutôt sur le captage et la séquestration du carbone (CSC). Selon des projections récentes, le captage et la séquestration à grande échelle du CO₂, y compris le biochar, pouvant atteindre 160 Mt.équ.CO₂ par an, sont essentiels pour que le Canada atteigne la carboneutralité.¹¹ Selon ces projections, le CO₂ sera utilisé à la fois pour stocker les émissions industrielles concentrées de CO₂ et pour compenser les émissions distribuées, dans l'agriculture par exemple, grâce à des technologies à émissions négatives.

La création d'une telle infrastructure à l'échelle nationale nécessite de relever au moins trois défis majeurs : (i) augmenter considérablement le taux de captage du CO₂; (ii) réduire les coûts énergétiques associés au captage et à la séquestration; et (iii) valider les ressources et les techniques de séquestration.¹²

Intérêt stratégique pour le Canada

Les défis associés au CSC sont nombreux, mais le Canada dispose de trois avantages importants : une géologie prometteuse, une énergie à faible teneur en carbone disponible à grande échelle et une industrie pétrolière riche qui devra réduire considérablement ses émissions de GES si elle veut rester compétitive à l'échelle mondiale. En s'appuyant sur ces atouts, le Canada a une réelle possibilité de s'imposer comme un leader mondial dans ce domaine.

¹⁰ Harvey (2024).

¹¹ Langlois-Bertrand et al. (2024).

¹² Mousseau et Langlois-Bertrand (2025).

À quoi ressemble la transformation vers la carboneutralité: éléments clés d'un système amélioré

Les différents composants du CSC impliquent un large éventail de secteurs industriels. Ceux-ci incluent, notamment, le secteur chimique, pour produire des composés qui servent à fixer le CO₂ ou à transformer la biomasse, le secteur de la construction pour bâtir l'infrastructure industrielle, les secteurs des pipelines et du forage, et bien d'autres encore. Comme chacune de ces industries devrait également viser la carboneutralité, des partenaires supplémentaires seront nécessaires pour fournir l'énergie propre et les technologies associées.

Changements physiques nécessaires pour y parvenir

La contribution du CSC à la décarbonation des procédés industriels devrait se concentrer sur la création d'une nouvelle industrie à émissions négatives à grande échelle basée sur le captage et la séquestration du carbone : (i) soutenir des projets pilotes à grande échelle afin de réduire les risques, d'optimiser le CSC et les technologies à émissions négatives basées sur la biomasse et le captage direct dans l'air; (ii) tirer parti du secteur pétrolier et gazier pour déployer le premier CSC commercial avec des taux de capture élevés (> 90 à 95% de captage nette de GES); (iii) développer des technologies et des réglementations pour soutenir le déploiement commercial des émissions négatives; (iv) explorer et évaluer de manière proactive la capacité de séquestration géologique du CO₂.

Principaux obstacles à surmonter

Des facteurs favorables sont nécessaires à plusieurs niveaux pour promouvoir les investissements, soutenir l'innovation, protéger la propriété intellectuelle, réduire les risques à court et à long terme liés à la séquestration géologique et passer rapidement à l'échelle industrielle.

Plus précisément :

1. Amener l'industrie pétrolière et gazière, par le biais de la réglementation ou de la tarification du carbone, à investir les milliards promis dans le déploiement d'infrastructures CSC à grande échelle;
2. Soutenir la construction de projets pilotes à grande échelle de CSC et d'émissions négatives, y compris la production et l'utilisation de biochar, afin d'établir le potentiel réel de ces technologies, de faire baisser les prix et de développer le CSC. Les fonds publics actuellement disponibles sont largement insuffisants. Les projets financés par des fonds publics ne devraient pas se limiter au secteur pétrolier et gazier (ni même nécessairement lui donner la priorité).

3. Poursuivre directement les évaluations des risques géologiques associés au à la séquestration du carbone;
4. Soutenir la création de cette nouvelle industrie par :
 - a) Une réglementation claire et prévisible et une tarification du carbone grâce à l'intégration aux marchés internationaux; en particulier, contribuer activement à l'émergence du marché des compensations désormais inscrit dans l'accord de Paris, afin de tirer parti des fonds disponibles au niveau international;
 - b) La conception et la mise en œuvre d'une réglementation dotée d'une structure appropriée pour garantir la sécurité du piégeage du carbone;
 - c) L'utilisation d'un financement stratégique pour cibler la création d'une chaîne d'approvisionnement et d'une industrie de services efficaces et pour réduire les coûts;
 - d) Des efforts visant à garantir la propriété canadienne de la propriété intellectuelle;
 - e) Du soutien à l'utilisation du CSC et des émissions négatives au-delà du secteur pétrolier et gazier.

Avantages économiques à tirer

Grâce à ses avantages structurels et géologiques considérables, en plus d'un fort potentiel en matière d'énergie propre, le Canada pourrait s'imposer comme le leader des technologies et de la fabrication du CSC, ainsi qu'attirer des investissements du monde entier, en particulier avec les technologies de captage direct de l'air, afin de fournir également des services de captage et de séquestration aux industries du monde entier.

Tableau 7 – Stratégie de décarbonation pour l'industrie : objectifs et mesures à prendre

CHALEUR BASSE TEMPÉRATURE	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Envoyer un signal clair indiquant que la chaleur à basse température devra être décarbonée dans tous les secteurs manufacturiers et industriels d'ici 2040; lancer une stratégie de déploiement	Créer une industrie de services et d'approvisionnement en garantissant un marché; viser à réduire les risques et les prix	D'ici 2040 : parvenir à décarboner la chaleur à basse température dans tous les secteurs industriels et manufacturiers; créer une industrie des services et de la chaîne d'approvisionnement robuste et compétitive à l'exportation
Mesures à prendre	1. Identifier les premiers secteurs d'adoption (tels que l'industrie agroalimentaire) en fonction de l'existence de grappes régionales, de la capacité électrique et de l'industrie de soutien 2. Identifier les obstacles réglementaires à l'utilisation des thermopompes et entamer un processus visant à les lever 3. Élaborer des stratégies de décarbonation et des calendriers de décarbonation spécifiques à chaque sous-secteur afin de structurer le marché 4. Élaborer une réglementation visant à empêcher le déploiement du chauffage à basse température au gaz naturel pour les nouvelles industries et le remplacement des fournaies et des fours	1. Soutenir le déploiement d'infrastructures électriques afin de faciliter l'électrification à grande échelle 2. Mettre en œuvre des programmes favorisant le déploiement d'une industrie de services, notamment en réduisant les prix et en accélérant les déploiements 3. Identifier et soutenir l'innovation dans le secteur des services et de la chaîne d'approvisionnement 4. Utiliser les politiques d'acquisition pour soutenir les nouvelles technologies, la production locale et accroître la compétitivité	
CHALEUR HAUTE TEMPÉRATURE	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Envoyer un signal clair indiquant que la chaleur à haute température devra être décarbonée d'ici 2050; lancer une stratégie de recherche et de projets pilotes	Identifier les technologies permettant de répondre à une grande partie des besoins; lancer un déploiement stratégique	D'ici 2050 : décarboner la chaleur à haute température dans tous les secteurs industriels et manufacturiers; créer une industrie des services et une chaîne d'approvisionnement robuste et compétitive à l'exportation pour certaines technologies et certains secteurs à haute température
Mesures à prendre	1. Identifier les premiers adoptants 2. Identifier les obstacles réglementaires à l'utilisation de solutions à haute température et à faible émission de carbone et entamer le processus visant à les lever 3. Élaborer un calendrier général et des stratégies pour la décarbonation de la chaleur à haute température 4. Identifier les technologies clés et leur état d'avancement	1. Élaborer des stratégies et des objectifs de décarbonation spécifiques à chaque sous-secteur afin de structurer le marché 2. Élaborer une stratégie visant à développer une industrie de l'approvisionnement et des services pour les différentes technologies, en soutenant le renforcement de leur compétitivité 3. Soutenir le déploiement d'infrastructures électriques afin de faciliter l'électrification à grande échelle 4. Utiliser les politiques d'acquisition pour soutenir les nouvelles technologies, la production locale et accroître la compétitivité 5. Renforcer la tarification du carbone pour les grands émetteurs industriels	

Tableau 7 – Stratégie de décarbonation pour l'industrie : objectifs et mesures à prendre (suite)

CSC	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Envoyer un signal clair indiquant que le Canada vise à jouer un rôle central dans le CSC à grande échelle, tant en matière d'innovation que de déploiement	Grâce à des projets pilotes à grande échelle couronnés de succès, commencer le déploiement de sites industriels de CSC à travers le Canada, sous la direction d'entreprises canadiennes	D'ici 2050 : Amener le Canada et d'autres pays à atteindre la carboneutralité grâce au soutien du CSC; faire du Canada l'un des deux ou trois leaders mondiaux dans ce domaine.
Mesures à prendre	1. Renforcer les marchés industriels de tarification du carbone afin d'obliger les grands émetteurs à s'engager en faveur du CSC, y compris dans des projets de biomasse (accompagné d'objectifs) 2. Mettre en place des programmes visant à soutenir des projets pilotes à grande échelle intégrés à un déploiement réel à grande échelle (pas uniquement dans le domaine du pétrole et du gaz) 3. Soutenir les travaux géologiques visant à élaborer des réglementations de sécurité appropriées en matière de séquestration du carbone et à améliorer la cartographie du potentiel de séquestration 4. Élaborer une stratégie visant à protéger la propriété intellectuelle et les connaissances canadiennes et à soutenir la croissance des chefs de file mondiaux canadiens 5. Mener une initiative internationale visant à développer un marché international pour l'élimination du carbone (compensation)	1. Maintenir la valeur du CSC grâce à divers outils (réglementation, contrats pour différence, etc.) 2. Élaborer et mettre en œuvre une stratégie visant à renforcer l'industrie canadienne qui soutient les technologies CSC et à accroître sa compétitivité 3. Élaborer et mettre en œuvre une stratégie visant à faire du Canada un chef de file mondial en matière de CSC, au profit des acteurs internationaux (en renforçant les avantages pour le Canada) 4. Tirer parti de cette capacité pour attirer d'autres industries au Canada 5. Établir un plan crédible pour la viabilité à long terme des installations de séquestration du carbone	
PROCÉDÉS	Court terme (1 à 12 mois)	Moyen terme (1 à 5 ans)	Long terme (5 à 25 ans)
Objectifs	Indiquer que le Canada comprend les avantages économiques liés au soutien à la décarbonation des procédés	Devenir un chef de file mondial dans le développement et l'essai de quelques technologies essentielles pour les procédés	D'ici 2050 : veiller à ce que les procédés industriels canadiens soient entièrement décarbonés
Mesures à prendre	1. Élaborer un plan d'action spécifique pour décarboner les procédés industriels, d'abord par le biais de changements de procédés, puis par le biais du CSC 2. Identifier quelques technologies et industries dans lesquelles le Canada dispose d'un avantage concurrentiel	1. Adopter des objectifs de décarbonation par sous-secteur afin de soutenir les efforts industriels 2. Soutenir des projets pilotes à grande échelle liés à un déploiement à grande échelle au Canada	

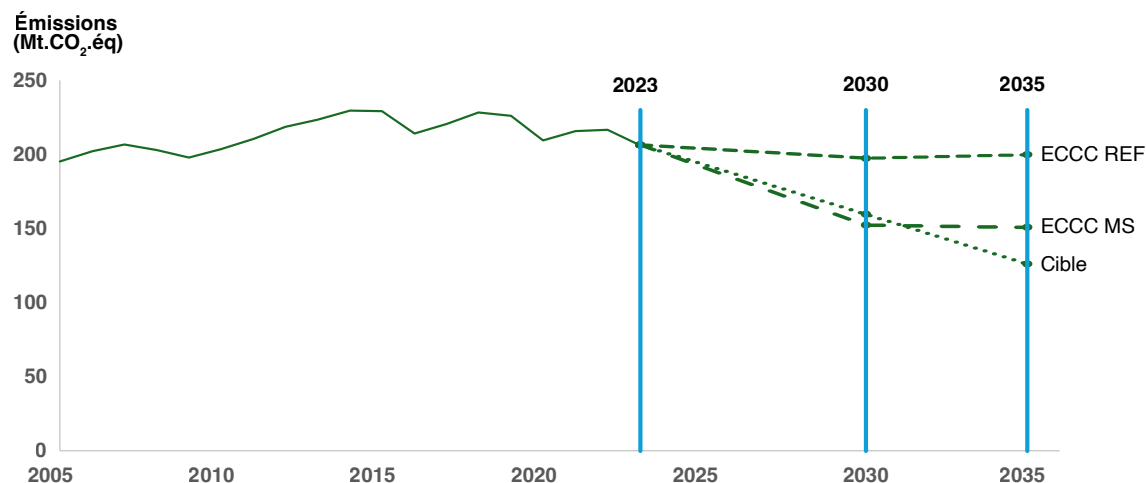
Dans la suite de cette section, nous examinons brièvement l'écart entre l'évolution des émissions de GES dans les secteurs qui n'ont pas été discutés en détail et les objectifs du Canada afin de mieux comprendre l'ampleur des défis auxquels le Canada est confronté. Une analyse plus approfondie des trajectoires permettant d'atteindre la carboneutralité dans ces secteurs sera présentée prochainement. Nous accordons également une attention particulière à l'approvisionnement en électricité, qui constitue un défi global majeur pour la décarbonation de l'ensemble des secteurs.

3.4 Production de pétrole et de gaz naturel

L'extraction et la transformation du pétrole et du gaz naturel sont aujourd'hui la principale source d'émissions du Canada, représentant 30 % du total. Bien que l'intensité carbone de cette production ait diminué au cours de la dernière décennie, cela n'a pas suffi à compenser l'augmentation de la production et à réduire les émissions, même par rapport à leur niveau de 2005. L'expansion de la production au cours des prochaines années, si elle se produit, resterait le principal facteur d'émissions du secteur.

Deux mesures clés sont à la base des réductions prévues dans le scénario des mesures supplémentaires d'ECCC : (i) des exigences plus strictes en matière de méthane, qui représente une part importante de la réduction supplémentaire des émissions totales; et (ii) la mise en œuvre complète de la réglementation proposée sur le plafonnement des émissions, qui fixe le plafond à 27 % des émissions déclarées en 2026. Selon le scénario MS, ces deux mesures permettraient d'obtenir une réduction de 27 % par rapport aux niveaux de 2023, qui serait presque entièrement réalisée avant 2030; sans ces deux mesures, le scénario de référence d'ECCC prévoit que les émissions resteront à peu près au même niveau qu'aujourd'hui (Figure 11).

Figure 11 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant de l'extraction et de la transformation du pétrole et du gaz naturel



Note : le scénario des mesures supplémentaires (MS) comprend notamment un plafonnement des émissions provenant du pétrole et du gaz et un renforcement de la réglementation sur le méthane.

3.4.1 L'ampleur de l'écart

La réduction des émissions du secteur de la production de pétrole et de gaz naturel est essentielle à l'atteinte des objectifs d'atténuation actuels du Canada; leur réalisation nécessiterait une stratégie soigneusement élaborée. Les projections d'ECCC montrent clairement que, sans mesures supplémentaires, aucune réduction n'est attendue dans ce secteur avant 2035, ce qui empêcherait le Canada d'atteindre ses objectifs nationaux de réduction. **Cette analyse souligne l'importance des mesures actuellement à l'étude, notamment le plafonnement des émissions de pétrole et de gaz et les réglementations supplémentaires sur le méthane.**

Néanmoins, ces mesures suscitent encore une opposition politique importante, et **il est pour le moins optimiste de supposer qu'elles seront pleinement mises en œuvre dans quelques années seulement.**

Pour atteindre les objectifs, il faudrait donc que

- des exigences supplémentaires en matière de méthane soient mises en œuvre et validées sur le terrain, et que
- une réduction de 27% des émissions nettes liées à la production de pétrole et de gaz soit réalisée, grâce à une diminution de la production, au captage et à la séquestration du carbone ou à l'utilisation d'énergies propres pour une grande partie de la production de chaleur dans les sables bitumineux.

3.4.2 Autres implications de la réduction de l'écart

De plus, il faut garder à l'esprit que, pour atteindre les objectifs de 2035, **ne pas réduire de manière substantielle les émissions du secteur pétrolier et gazier signifie qu'une réduction beaucoup plus importante serait nécessaire dans tous les autres secteurs**, qui sont déjà confrontés aux difficultés décrites dans le présent document. Trouver la ou les solutions permettant de réduire une grande partie des émissions du secteur pétrolier et gazier reste donc un défi qu'il convient de relever de toute urgence.

Néanmoins, la contribution du secteur à la stratégie globale de réduction des GES du pays pourrait être améliorée de plusieurs manières. Par exemple, une utilisation plus intensive du captage et de la séquestration du carbone dans le secteur pourrait permettre d'assurer une transition en douceur vers une transformation fondamentale du secteur, compatible avec l'objectif de zéro émission nette en 2050. Toutefois, **à l'heure actuelle, il est très difficile d'envisager comment le CSC pourrait être économiquement viable, à moins que les coûts ne baissent de manière significative grâce au renforcement du marché du carbone canadien ou à un marché international solide des émissions négatives.** En plus de ces outils économiques, si le captage et la séquestration du carbone doivent être utilisés dans le secteur pétrolier et gazier, ils devront également être testés à grande échelle et déployés rapidement, en tirant éventuellement parti d'autres secteurs émetteurs.

3.5 Agriculture

Les émissions associées à l'agriculture proviennent principalement de sources non liées à l'énergie (notamment les sols, la fermentation entérique et la gestion du fumier). Dans une moindre mesure, certaines émissions liées à l'énergie sont générées dans ce secteur, principalement pour la production de chaleur et les véhicules et machines. **Les émissions de ce secteur ont été parmi les plus difficiles à réduire jusqu'à présent**, en raison d'une combinaison de défis : premièrement, la majeure partie des émissions du secteur (79 %) provient des procédés agricoles, ce qui implique que la réduction des émissions nécessiterait une transformation des pratiques dominantes actuelles ou une réduction de la production agricole; deuxièmement, le reste des émissions provient d'opérations liées à l'énergie et, à ce titre, elles présentent une multitude de défis en ce qui concerne les principales stratégies de décarbonation utilisées dans certains autres secteurs, notamment l'électrification.

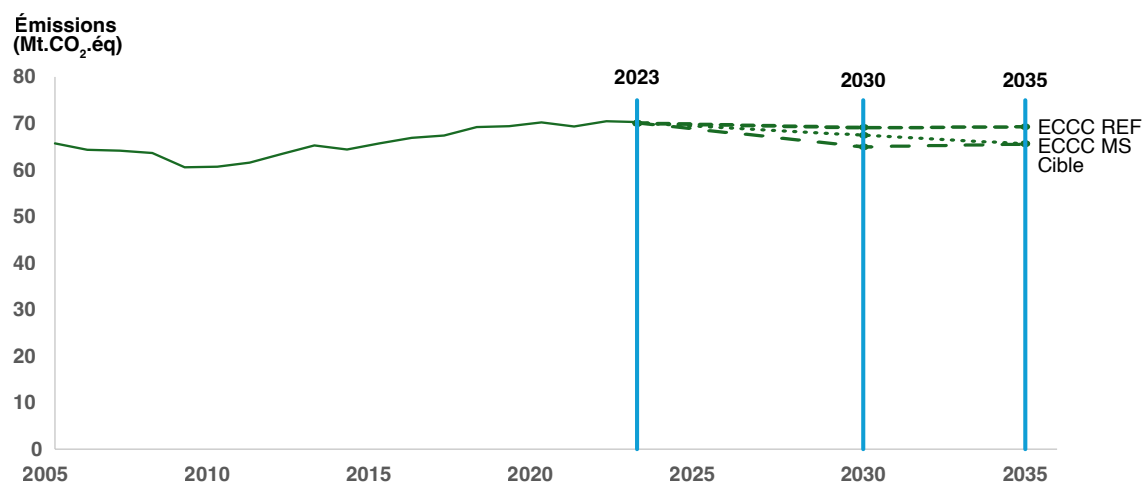
En partie à cause de ces défis, les réductions ont été très limitées récemment dans ce secteur et aucune diminution additionnelle n'est prévue dans le scénario de référence de l'ECCC. Les mesures envisagées dans le scénario des mesures supplémentaires (MS) comprennent principalement un objectif de réduction des émissions provenant des engrais de 30 % par rapport au niveau de 2020 d'ici 2030, ce qui se traduirait par une réduction plus importante avant 2030, après quoi les émissions remonteraient (Figure 12). Aucune autre mesure ciblant l'agriculture n'est incluse dans le scénario MS.

3.5.1 L'ampleur de l'écart

Pour réduire les émissions agricoles, il faudrait rapidement remédier au manque d'attention accordé à la décarbonation de l'agriculture afin que les transformations puissent commencer. En l'absence de mesures supplémentaires, peu de transformations sont à prévoir. Les projections soulignent l'impact limité des objectifs de réduction des engrais, mais aussi l'absence de transformation des pratiques visant à réduire les émissions issues de la fermentation entérique ou de la gestion des sols.

En ce qui concerne les équipements, aucune technologie à faible émission de carbone ne commence actuellement à remplacer les technologies émettrices. Cela vaut aussi bien pour les équipements fixes que pour les véhicules et machines agricoles hors route, car les coûts restent très élevés et la disponibilité est limitée dans tout le pays. En outre, décarboner les équipements nécessite un approvisionnement

Figure 12 – Données historiques et projections des émissions de GES provenant de l'agriculture



Note: le scénario des mesures supplémentaires (MS) comprend un objectif de réduction des émissions provenant des engrais

additionnel en énergie à faible émission de carbone, qu'il s'agisse d'électricité, d'hydrogène ou même de carburants liquides durables, ce qui nécessite le déploiement de nouvelles infrastructures de distribution d'énergie.

Pour aligner les réductions dans le secteur agricole sur celles des autres secteurs (afin d'atteindre l'objectif de -50 % d'ici 2035), il serait donc nécessaire de :

- Décarboner **toute** l'utilisation de carburants dans le secteur (21 % des émissions totales)
- Réduire d'un tiers les émissions provenant de la production végétale et animale (79 % des émissions)

3.5.2 Autres implications de la réduction de l'écart

Comme pour l'industrie, des stratégies distinctes sont nécessaires pour le chauffage, les machines agricoles et les procédés afin d'accéder à l'énergie à faible teneur en carbone et aux technologies associées. En ce qui concerne la production de chaleur, l'un des défis liés à l'utilisation d'équipements à faible teneur en carbone est que les besoins en énergie, très importants, sont répartis de manière très inégale tout au long de l'année : le séchage des récoltes, par exemple, nécessite une quantité considérable de chaleur, mais seulement pendant une période très limitée, ce qui complique la rentabilité de l'utilisation d'une forme d'énergie à faible teneur en carbone qui nécessite une infrastructure de distribution fixe sur place. Pour les machines agricoles, les besoins importants en infrastructures pour distribuer l'électricité ou les carburants à faible teneur en carbone aux sites agricoles, la gamme de véhicules et les heures de fonctionnement, et plus généralement le coût des équipements à faible teneur en carbone existants, restent des contraintes importantes qui contribuent à la réticence à transformer à grande échelle les parcs de véhicules. Par conséquent, les mesures politiques visant à réduire les émissions de carbone liées au chauffage et à la décarbonation des machines doivent tenir compte des contraintes liées à l'emplacement et des avantages potentiels : lorsque le réseau électrique est disponible à proximité, par exemple, la mise en place d'infrastructures supplémentaires pour répondre aux besoins en électricité pour la recharge peut s'avérer plus économique et devrait être envisagée; dans les zones plus éloignées ou avec une capacité du réseau limitée, une évaluation plus complète des options disponibles est nécessaire, et des projets pilotes devraient être lancés dès le début afin de réduire le nombre d'options et de mieux les évaluer.

Une stratégie pour décarboner les procédés agricoles nécessite une feuille de route et une planification ultérieure de la manière de généraliser certaines pratiques connues pour leurs faibles émissions. Plusieurs approches sont possibles, par exemple la réduction supplémentaire de l'utilisation d'engrais, l'agriculture régénérative ou l'agriculture biologique, chacune présentant ses propres avantages et inconvénients sur le plan environnemental. Cependant, les solutions dépendent fortement des conditions spécifiques dans lesquelles opère un secteur local, notamment les cultures ou le bétail produits (fruits, céréales, viande bovine, œufs, légumes, etc.).

L'élaboration d'une stratégie nationale efficace est donc difficile et nécessite une planification, des tests et une collecte de données dès que possible. Cela reste l'un des domaines où la réflexion politique est insuffisante, ce qui rend cette source d'émissions très susceptible de prendre une importance considérable au cours des prochaines décennies.

3.6 Déchets

Les émissions liées aux déchets comprennent celles provenant des décharges (85,7 %), du traitement et du rejet des eaux usées (11,4 %), du compostage municipal (2,2 %) et de l'incinération des déchets (0,6 %). Malgré l'existence de solutions économiques permettant de réduire une grande partie de ces émissions, leur déploiement a été inégal à travers le pays et les émissions nationales stagnent depuis 2008 malgré certaines stratégies mises en œuvre pour les réduire, notamment la captage du biogaz ou la production d'énergie à partir de la transformation des déchets solides municipaux.

Les mesures politiques actuellement en place se situent au niveau provincial, notamment en Colombie-Britannique (objectif de détournement des déchets organiques de 95 % pour 2030), en Ontario (stratégie d'économie circulaire avec un objectif de détournement des déchets de 50 % d'ici 2030), au Québec (détournement des déchets organiques de 70 % d'ici 2030 et réglementation sur les rejets de méthane des décharges), au Manitoba (incitations financières pour le traitement des déchets organiques) et à Terre-Neuve-et-Labrador (objectif de détournement de 50 % d'ici 2025 et réduction du brûlage à ciel ouvert et de l'incinération).

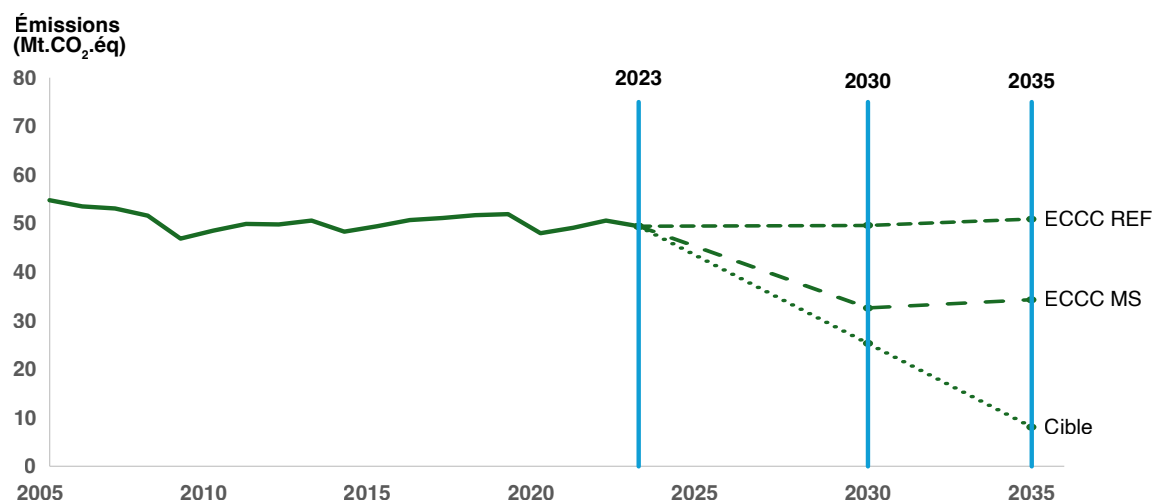
3.6.1 Ampleur de l'écart

Le scénario actuel des mesures d'ECCC prévoit un impact relativement limité des mesures de détournement des déchets organiques. Les trois plus grandes provinces ont toutes des objectifs de détournement importants qui devraient être atteints avant 2035, et les émissions devraient tout de même augmenter par rapport aux niveaux actuels. Le projet de règlement fédéral sur la réduction des rejets de méthane, qui vise à augmenter la capture des gaz d'enfouissement à partir de 2027 à des taux allant de 39 % à 79 % selon la province, permet au scénario MS d'atteindre une réduction considérable avant 2030 (environ 40 % par rapport au niveau actuel). Toutefois, même si ces objectifs étaient atteints, plus de 60 % des émissions actuelles provenant des déchets subsisteraient et aucune autre mesure n'est prévue.

3.6.2 Autres implications de la réduction de l'écart

Comme pour les autres secteurs, la réduction des émissions provenant des déchets nécessite plus qu'une simple intensification des approches actuelles. Les principales stratégies de réduction des émissions provenant des déchets ayant été déployées à plus grande échelle au cours des dernières années, certaines contradictions sont apparues dans les

Figure 13 – Données historiques et projections des émissions provenant des déchets



Note: Le scénario des mesures supplémentaires (MS) inclut la réglementation fédérale sur les gaz d'enfouissement

approches non coordonnées au sein d'une même région. Par exemple, le détournement des déchets organiques visant à maximiser le compostage peut permettre d'atteindre un certain niveau de réduction, grâce au compost produit, mais cela réduit le potentiel de captage de biogaz dans les décharges, car celles-ci contiennent moins de déchets organiques en raison de ce détournement. Inverser les priorités n'éliminerait pas cette contradiction.

Une stratégie coordonnée pourrait résoudre ces contradictions, en tirant parti du fait que la plupart des stratégies mises en œuvre jusqu'à présent sont associées à un sous-produit précieux (engrais composté et biométhane, dans l'exemple ci-dessus). L'approche devrait donc tenir compte de ces sous-produits afin de maximiser la valeur des ressources organiques. Cela nécessite un examen attentif des difficultés techniques liées à la réalisation de la transformation (par exemple, certains procédés sont fortement influencés par la pureté de la matière digérée, ou certaines régions ont du mal à utiliser le compost produit dans les installations municipales), qui à leur tour affectent la valeur du produit énergétique obtenu. De plus, pour maximiser la contribution de ces choix à la trajectoire régionale vers la carboneutralité, il faut situer le sous-produit dans une planification plus large de l'utilisation de la biomasse.

3.7 Production d'électricité

Dans toutes les trajectoires de carboneutralité modélisées pour le Canada, l'électrification est le principal outil de décarbonation : cela suppose une expansion significative des réseaux actuels, construits en amont des besoins énergétiques des secteurs. L'augmentation de capacité requise, même dans les cinq prochaines années, est considérable : de 5 % à 20 % de capacité de production supplémentaire (selon la province), ainsi que le remplacement des sources émettrices. Si l'on prend cela au pied de la lettre, cela signifie qu'une nouvelle capacité de production considérable doit être construite rapidement dans toutes les provinces. Or, ces exercices de modélisation sous-estiment grossièrement les besoins en électricité (Mousseau et Langlois Bertrand, 2025).

Au cours des 20 dernières années, le secteur de l'électricité a vu ses émissions diminuer considérablement, en grande partie grâce à l'élimination progressive de la production d'électricité au charbon en Ontario et au remplacement ou à la conversion de la production d'électricité au charbon en production au gaz naturel en Alberta. Il est plus difficile de poursuivre cette tendance, car les provinces qui dépendent de la production thermique ont souvent peu d'autres capacités de base (en particulier l'Alberta, la Saskatchewan, la Nouvelle-Écosse et le Nouveau-Brunswick). Pour réduire considérablement ces émissions afin d'atteindre les projections d'ECCC pour 2035 (les chiffres du REF et des MS sont similaires pour 2035, avec respectivement 18 et 14 Mt.éq. CO₂ restantes en 2035, compte tenu de la mise en œuvre supposée du Règlement sur l'électricité propre), il faudrait donc une stratégie efficace pour garantir que la fiabilité et la résilience restent élevées afin de maintenir les services fournis à la population par ces réseaux.

3.7.1 L'ampleur de l'écart

Répondre à ces besoins d'expansion implique des investissements considérables dans les infrastructures, similaires à ceux observés entre 1970 et 1990, mais bien supérieurs aux niveaux historiques récents pour la plupart des services publics à travers le pays. De plus, si les augmentations de capacité et le remplacement de la production thermique attirent beaucoup l'attention dans le débat sur le déploiement des infrastructures nécessaires pour décarboner les secteurs par l'électrification, cela ne donne qu'une image assez incomplète des transformations nécessaires. L'ajout de capacités de production dans de

nouveaux sites et à partir de sources plus gourmandes en espace, comme l'éolien et le solaire, implique une mise à niveau des capacités de transport d'électricité dans toutes les provinces et, idéalement, entre les provinces, en tirant parti de réseaux plus intégrés. En outre, la plupart des réseaux de distribution ont également un besoin urgent d'entretien et de modernisation, compte tenu de l'intensification de la demande due à l'électrification. En d'autres termes, l'évaluation des coûts d'investissement et de la logistique liés à l'expansion de la capacité du réseau implique de prendre en compte des coûts importants qui vont au-delà de ceux des nouvelles installations de production. Hydro-Québec, par exemple, a évalué ses besoins totaux à 185 milliards de dollars entre 2023 et 2035, afin d'augmenter d'environ 30 % la capacité de production et de moderniser les réseaux de transport et de distribution dans toute la province.

Si les investissements nécessaires pour répondre aux besoins à court terme sont importants, ils permettront toutefois de réaliser des économies considérables : le remplacement des combustibles fossiles par l'électricité pour de nombreux services se traduit généralement par l'utilisation d'équipements à la fois plus efficaces sur le plan énergétique et plus productifs. Néanmoins, la construction d'un réseau capable de soutenir la décarbonation dans tous les secteurs doit être réalisée très rapidement, en particulier dans les provinces où l'électricité ne représente aujourd'hui qu'une petite partie des services énergétiques. Par conséquent, la planification du déploiement doit être achevée de toute urgence dans les provinces où elle n'a pas encore eu lieu, afin que les fonds puissent être obtenus et que la construction puisse commencer.

Dans l'ensemble, le principal écart à combler ici est lié à l'augmentation de la production et de la distribution d'électricité propre afin de répondre à la demande des différents secteurs. Cela nécessite :

- d'augmenter la production totale d'électricité d'environ 40 à 50 % d'ici 2035 et la capacité électrique du réseau de 60 à 70 % (voir section suivante), et
- de renforcer les infrastructures de transport et de distribution afin de répondre aux besoins des clients.

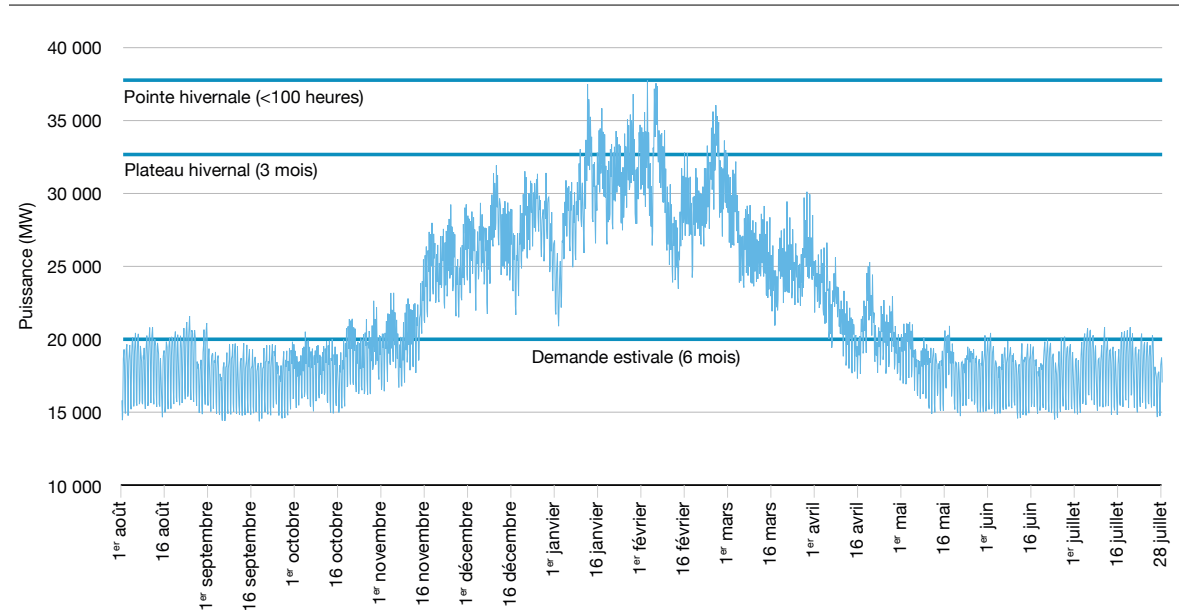
3.7.2 Autres implications de la réduction de l'écart

Décarboner les secteurs par l'électrification implique une transformation du rôle de l'électricité dans le panier énergétique qui va bien au-delà de l'augmentation absolue de la capacité décrite ci-dessus. Certains des services clés qui doivent être électrifiés, comme abordé dans d'autres sections du présent rapport et qui devraient permettre de réduire les émissions de GES, contribueront à modifier la structure de la demande, ce qui compliquera l'extension du réseau. Ainsi, l'électrification du chauffage des locaux dans les bâtiments résidentiels et commerciaux (voir Section 2.1) et, dans une moindre mesure, mais non négligeable, l'électrification des transports ajouteront des contraintes en exacerbant considérablement la demande de pointe en hiver, à moins que ces pointes ne soient activement gérées et réduites grâce à diverses options technologiques et politiques (Edom et Mousseau 2023; 2025).

La Figure 14 montre le profil de la demande au Québec, la province qui compte actuellement la plus grande part de chauffage électrique des bâtiments. Comme l'indique la figure, ce niveau d'électrification entraîne un plateau de la demande hivernale où la demande est supérieure de plus de 50 % pendant deux ou trois mois par rapport au reste de l'année, en plus d'un petit nombre d'heures pendant l'hiver où les températures sont les plus froides et où la demande atteint des pics supérieurs de 20 % à la moyenne du plateau hivernal. Sans une gestion prudente de ces périodes, le risque d'augmentation des coûts résultant de la nécessité de construire des capacités uniquement pour répondre à la demande pendant ces périodes, mais qui ne servent à rien le reste de l'année, est très élevé.

À très court terme, l'électrification des services nécessite donc un développement très rapide des capacités électriques et une gestion de la congestion du réseau dans les régions où l'électricité fournit actuellement moins de services. Par exemple, dans les régions où le gaz naturel assure la quasi-totalité du chauffage résidentiel, l'électrification du chauffage et des transports personnels peut d'abord concerner des zones géographiques concentrées, telles que les quartiers riches : compte tenu de la capacité limitée du réseau de distribution local, cette électrification peut rapidement entraîner un goulot d'étranglement qui doit être résolu par une modernisation du réseau, afin de ne pas ralentir l'électrification ou d'amplifier les inégalités face à la décarbonation.

Figure 14 – Demande moyenne d'électricité sur deux ans au Québec (2021-2022 et 2022-2023)



Source : Mousseau et Langlois-Bertrand (2025)

Enfin, il convient de noter que la discussion ci-dessus se concentre sur 2035 : la tâche d'électrifier les services dans le cadre des trajectoires vers la carboneutralité va bien au-delà des besoins avant 2035 et est en fait encore plus importante à long terme. La planification et le déploiement des infrastructures au cours des prochaines années devront donc être réalisés de manière à faciliter l'apprentissage par l'expérience et à conduire à des ajustements dans la planification des constructions ultérieures.

4 Conclusion

Alors que d'autres pays transforment leur économie pour atteindre la carboneutralité, le Canada prend du retard, manque ses objectifs et, surtout, passe à côté des opportunités technologiques et économiques offertes par une révolution basée sur l'électricité.

Pour que le Canada tire profit de cette révolution et maintienne sa compétitivité, il doit revoir sa stratégie actuelle et adopter une approche sectorielle axée avant tout sur la transformation technologique vers des solutions à faible émission de carbone plutôt que de se contenter de compter simplement les émissions.

Les stratégies présentées dans ce rapport constituent un point de départ pour discuter de la manière d'atteindre cet objectif.

5 Références

AIE. 2025. Heat pumps. Paris : Agence internationale de l'énergie. En ligne, <https://www.iea.org/energy-system/buildings/heat-pumps>

Canada. 2025. Projections des émissions de gaz à effet de serre du Canada. Gouvernement du Canada. En ligne, <https://data-donnees.az.ec.gc.ca/data/substances/monitor/canada-s-greenhouse-gas-emissions-projections/?lang=en/>

Canada. 2024. Premier rapport biennal de transparence du Canada en vertu de l'Accord de Paris. Gouvernement du Canada.

ECCC. 2025. Rapport d'inventaire national : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada 2025. Environnement et changement climatique Canada.

Edom, É., Beaumier, L., Mousseau, N. 2023. *Gestion de la demande de pointe d'électricité au Québec dans un contexte de décarbonation*. Rapport préliminaire, Institut Trottier de l'énergie, Polytechnique Montréal. <https://iet.polymtl.ca/fr/publications/rapport/gestion-de-la-demande-de-pointe>

Edom, É., Mousseau, N. 2025. Une définition intégrée de la demande de pointe en électricité dans les climats froids : intérêts et avantages stratégiques et opérationnels. Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal.

Parlement européen. 2025. Quels sont les progrès réalisés par l'UE en matière de lutte contre le changement climatique ? (infographies) En ligne, <https://www.europarl.europa.eu/topics/fr/article/20180706ST007407/les-progres-de-l-ue-vers-ses-objectifs-climatiques-infographies>

Harvey, J. 2024. Guide sur la décarbonation industrielle compétitive. J:Harvey Énergie et décarbonation industrielle, CRITM and PRIMA. https://www.critm.ca/wp-content/uploads/2024/04/PRIMA-24-102_Guide_Decarbonation_VF.pdf

Langlois-Bertrand, S., Mousseau, N. 2025. *La décarbonation du transport hors route*. Dans Langlois-Bertrand, S., Mousseau, N., Beaumier, L. (Eds.), *Perspectives énergétiques canadiennes*, 3^e édition, Institut de l'énergie Trottier – Polytechnique Montréal

Langlois-Bertrand, S., Mousseau, N., Vaillancourt, K., Bourque, M. 2024. *Les trajectoires vers un Canada carboneutre – Horizon 2060*. Dans Langlois-Bertrand, S., Mousseau, N., Beaumier, L. (Eds.), *Perspectives énergétiques canadiennes*, 3^e édition, Institut de l'énergie Trottier – Polytechnique Montréal. [En ligne] <https://iet.polymtl.ca/fr/publications/rapport/les-trajectoires-vers-un-canada-carboneutre>

Mousseau, N., Langlois-Bertrand, S. 2025. Infrastructure : opérationnaliser la transition vers la carboneutralité. Dans Langlois-Bertrand, S., Mousseau, N., Beaumier, L. (Eds.), *Perspectives énergétiques canadiennes*, 3^e édition, Institut de l'énergie Trottier – Polytechnique Montréal

OEE. 2025. Base de données complète sur la consommation d'énergie. Ressources naturelles Canada. https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/menus/evolution/tableaux_complets/liste.cfm

Saxifrage, B. 2024a. Canada is out of excuses. Europe slashes climate pollution while we founder. The National Observer (November 18th). Online, <https://www.nationalobserver.com/2024/11/18/analysis/canada-emissions-GHG-climate-pollution-EU>

Saxifrage, B. 2024b. Germany and the U.K. have cut their climate pollution in half. Here's how Canada stacks up. The National Observer (November 18th). Online, <https://www.nationalobserver.com/2024/04/12/analysis/germany-uk-cut-climate-pollution-half-how-canada-stacks-up>