

Rapport final

**TRAJECTOIRES DE RÉDUCTION D'ÉMISSIONS
DE GES DU QUÉBEC – HORIZONS 2030 ET 2050**

Préparé pour :
**MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE
CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES**

Juin 2019

Financé par

**Fondsvert** Québec 

Trajectoires de réduction d'émissions de GES du Québec – Horizons 2030 et 2050

Rapport final

Préparé pour le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Financé par



www.environnement.gouv.qc.ca

PRÉPARÉ PAR:



www.dunsky.com

Avec le soutien de **ESMIA Consultants**, responsable de la modélisation au moyen du modèle NATEM.



Directeur de projet : Philippe Dunsky
Auteurs principaux : Martin Poirier, Kathleen Vaillancourt et Elsa Joly

Photo de couverture: « Château Frontenac, Québec » par Simon Desmarais (<https://www.flickr.com/photos/simonippon/3095102826/>), Creative Commons license.

AU SUJET DE DUNSKY

Dunsky expertise en énergie est une société de conseils stratégiques œuvrant depuis 2004 dans les domaines de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et de la mobilité durable. Basée à Montréal, Dunsky appuie une clientèle nord-américaine par le biais de 3 services clés : quantifier l'opportunité (technique, économique et de marché), concevoir les stratégies (politiques, programmes et réglementation) et en évaluer la performance. Forte d'une équipe de 30 professionnels chevronnés et d'une feuille de route comprenant plus de 300 projets, Dunsky est vouée à accélérer la transition énergétique avec rigueur et objectivité.

SURVOL

EXPERTISE

Efficacité énergétique

Énergies renouvelables

Mobilité durable

SERVICES

Quantifier le potentiel

Concevoir les stratégies

Évaluer la performance

CLIENTS

TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE

AVANT-PROPOS

SOMMAIRE..... I

LA MÉTHODOLOGIE EN BREF	III
RÉSULTATS DE L'ANALYSE.....	IV
IMPLICATIONS POUR LE QUÉBEC	IX
RISQUES ET INCERTITUDES	XIV
PERSPECTIVES POUR LE QUÉBEC.....	XVII

INTRODUCTION1

CONTEXTE.....1

REMERCIEMENTS1

MÉTHODOLOGIE2

DESCRIPTION DU MODÈLE NATEM.....2

SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE4

SCÉNARIOS DE RÉDUCTION5

SCÉNARIO DE BASE.....5

ANALYSE DE SENSIBILITÉ5

SCÉNARIOS ALTERNATIFS6

MOBILITÉ DURABLE / AMÉNAGEMENT URBAIN (1)..... 7

TISSU INDUSTRIEL (2) 8

AJUSTEMENT DU SYSTÈME ALIMENTAIRE (3)..... 9

DEMANDES (4)..... 10

RISQUES TECHNOLOGIQUES (5)..... 10

CAPTAGE ET SÉQUESTRATION DU CARBONE (6) 11

BIOMASSE (7) 11

COMBINAISON DES SCÉNARIOS FAVORABLES (8)..... 11

RÉCAPITULATIF DES SCÉNARIOS11

AUTRES PRÉCISIONS MÉTHODOLOGIQUES.....12

EXPORTATIONS D'ÉLECTRICITÉ 12

CAPTAGE ET SÉQUESTRATION DU CARBONE 13

DEMANDES UTILES ET ÉLASTICITÉS-PRIX 14

VISION PARFAITE DU FUTUR ET ADOPTION DES MESURES..... 15

ÉMISSIONS CONSIDÉRÉES PAR LE MODÈLE 15

CONCURRENCE INTERNATIONALE 16

ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES 16

CHAPITRE 1 : SCÉNARIO DE BASE	17
FAITS SAILLANTS	17
STRUCTURE DU CHAPITRE	19
RAPPEL DES SCÉNARIOS DE RÉDUCTION	20
TRAJECTOIRES GLOBALES ET SECTORIELLES	20
TRAJECTOIRES GLOBALES.....	20
TRAJECTOIRES SECTORIELLES – SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE	21
TRAJECTOIRES SECTORIELLES – SCÉNARIO C.....	22
SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET ANALYSE DES MESURES DE RÉDUCTION.....	23
ANALYSE ÉNERGÉTIQUE ET TECHNOLOGIQUE	25
ANALYSE ÉNERGÉTIQUE.....	25
BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS, COMMERCIAUX ET INSTITUTIONNELS.....	31
SECTEUR INDUSTRIEL	33
TRANSPORTS.....	34
SECTEURS NON ÉNERGÉTIQUES (DÉCHETS, AGRICOLE)	40
ANALYSE ÉCONOMIQUE	42
COURBES DE COÛTS MARGINAUX.....	42
COUTS MARGINAUX, MOYENS ET TOTAUX	45
ANALYSE DE SENSIBILITÉ – PRIX DU CARBONE	46
 CHAPITRE 2 : SCÉNARIOS ALTERNATIFS	 48
FAITS SAILLANTS	48
STRUCTURE DU CHAPITRE	50
ANALYSE ÉNERGÉTIQUE ET TECHNOLOGIQUE	51
MOBILITÉ DURABLE / AMÉNAGEMENT URBAIN (SCÉNARIO ALTERNATIF 1)	52
TISSU INDUSTRIEL (SCÉNARIO ALTERNATIF 2)	57
AJUSTEMENT DU SYSTÈME ALIMENTAIRE (SCÉNARIO ALTERNATIF 3)	61
DEMANDES (SCÉNARIO ALTERNATIF 4)	63
RISQUES TECHNOLOGIQUES (SCÉNARIO ALTERNATIF 5).....	64
CAPTAGE ET SÉQUESTRATION DU CARBONE (SCÉNARIO ALTERNATIF 6).....	65
BIOMASSE (SCÉNARIO ALTERNATIF 7).....	69
COMBINAISON DES SCÉNARIOS FAVORABLES (SCÉNARIO ALTERNATIF 8)	72
ANALYSE ÉCONOMIQUE	75
 PRIORISATION DES MESURES ET IMPACTS POUR LE QUÉBEC	 79
PRIORISATION DES MESURES	79
IMPACTS SUR L'EMPLOI ET L'ÉCONOMIE	85
AXES DE RECHERCHE	87
 CONCLUSION	 89
RAPPEL DES PRINCIPAUX RÉSULTATS	89
PERSPECTIVES POUR LE QUÉBEC	90

ANNEXE – GRAPHIQUES SUPPLÉMENTAIRES (ÉMISSIONS DE GES PAR SECTEUR POUR L'ENSEMBLE DES SCÉNARIOS)92

Bioénergie avec captage et séquestration de carbone (BECSC)

Combinaison d'une bioénergie carbonneutre (p. ex., biomasse) et d'une technologie de **captage et séquestration du carbone (CSC)**. Le carbone absorbé par les arbres et cultures au moment de leur croissance est capturé lors de la combustion de la bioénergie et séquestré, ce qui permet de générer des émissions négatives (réduction nette des concentrations de **GES** dans l'atmosphère).

Capacité de base fiable

La capacité d'un système de production d'électricité à répondre à une charge durant un intervalle de temps et une période précise. La **capacité de base fiable** permet de s'assurer que le réseau électrique sera en mesure de répondre à la demande, même durant les conditions les plus défavorables.

Captage et séquestration du carbone (CSC)

Technologie permettant de capter les émissions de **GES** (généralement de grands émetteurs), de les transporter puis de les séquestrer à long terme, normalement dans des formations géologiques.

« Corporate Average Fuel Economy » (CAFE)

Règlementation visant à améliorer l'efficacité énergétique moyenne des automobiles et camions légers vendus aux États-Unis.

Coût marginal

Coût de la dernière **tonne de CO₂ équivalent** réduite ($\$/\text{tCO}_2\text{éq}$), dans un scénario donné. Comme le modèle optimise en fonction des coûts et choisit d'abord les options les moins coûteuses, le **coût marginal** est le coût par **tCO₂éq** le plus élevé parmi les réductions de **GES** retenues.

Coût moyen

Coût d'une tonne de **GES** réduite obtenu en divisant les **coûts totaux** par le nombre de tonnes de **GES** réduites ($\$/\text{tCO}_2\text{éq}$).

Coûts totaux

Somme de tous les coûts d'un scénario qui sont requis pour l'ensemble des réductions d'émissions de **GES**.

Gaz à effet de serre (GES)

Substances gazeuses présentes dans l'atmosphère et qui contribuent à retenir la chaleur près de la surface de la Terre. L'augmentation des concentrations de **GES** due à l'industrialisation est la principale cause du réchauffement planétaire et des changements climatiques. Les **GES** sont généralement exprimés en **tonnes de CO₂ équivalent (tCO₂éq)**.

Énergie finale

L'**énergie finale** (parfois dite secondaire) représente l'énergie consommée par l'utilisateur final. Elle peut être dérivée de l'**énergie primaire** et avoir subi des transformations pour arriver à la forme destinée à la consommation finale. C'est le cas notamment de l'essence, du diesel et du mazout, qui proviennent du pétrole brut, ou

encore des biocarburants fabriqués à partir de biomasse. À noter qu'en raison des pertes d'énergie associées à la transformation, la quantité d'**énergie finale** est toujours inférieure à celle d'**énergie primaire**.

Énergie primaire

L'**énergie primaire** réfère aux sources d'énergie présentes dans la nature, n'ayant pas subi de transformations (p. ex., l'hydroélectricité, l'énergie éolienne, le gaz naturel, le charbon, le pétrole brut et le bois de chauffage).

Endogène

Donnée qui est calculée par le modèle (par opposition à **exogène**). Pour le modèle **NATEM**, les quantités de biocarburants produits, par exemple, sont **endogènes**.

Exogène

Donnée qui est extérieure au modèle, qui est fournie par l'utilisateur (par opposition à **endogène**). Pour le modèle **NATEM**, les demandes utiles, par exemple, sont **exogènes**.

Gaz naturel renouvelable (GNR)

Gaz naturel carboneutre issu de la bioénergie. Il peut être obtenu de différentes manières, notamment par captage aux sites qui émettent du méthane (sites d'enfouissement des déchets, fosses à lisier, etc.), ou par procédé de biométhanisation ou gazéification.

Gigawatt (GW)

Mesure la puissance et équivaut à un milliard de watts. Le plus grand barrage hydro-électrique du Québec, Robert-Bourassa (rivière La Grande), a une capacité de près de 6 **GW**.

« North American TIMES Energy Model » (NATEM)

Modèle techno-économique, multirégional, couvrant en détail les systèmes énergétiques du

Canada, des États-Unis et du Mexique. **NATEM** a été développé à partir du générateur de modèles d'optimisation **TIMES**.

Pompe à chaleur

Également appelée thermopompe, elle permet d'utiliser une source d'énergie (habituellement de l'électricité) pour transférer, plutôt que produire, de la chaleur. Dans un bâtiment, le transfert de chaleur peut s'effectuer vers l'intérieur (chauffage) ou vers l'extérieur (climatisation). Une **pompe à chaleur** est généralement beaucoup plus efficace que l'utilisation directe de l'énergie.

Potentiel de réchauffement planétaire (PRP)

Multiplicateur permettant de comparer différents **gaz à effet de serre** entre eux sur la base de leur impact sur le réchauffement climatique par rapport au CO₂. Par exemple, un **PRP** de 28 a été attribué au méthane dans le modèle, ce qui signifie qu'une tonne de méthane est 28 fois plus puissante qu'une tonne de CO₂. Le **PRP** est également appelé potentiel de réchauffement global (PRG).

Térawattheure (TWh)

Mesure une quantité d'énergie, habituellement d'électricité, et équivaut à un milliard de kilowattheures. Un **térawattheure** peut alimenter environ 40 000 maisons unifamiliales détachées chauffées à l'électricité durant un an.

« The Integrated MARKAL-EFOM System » (TIMES)

Générateur de modèles d'optimisation supporté par un programme de l'Agence internationale de l'énergie et présentement utilisé dans plus de 80 institutions réparties dans près de 70 pays.

Tonne de CO₂ équivalent (tCO₂éq)

Somme des émissions de différents **GES**, ramenée en tonnes de CO₂ sur la base de leur **PRP** respectif. Par exemple, 2 tonnes de CO₂ et une tonne de méthane équivalent à 30 tCO₂éq (le méthane a un **PRP** de 28, donc une tonne de méthane équivaut à 28 tonnes de CO₂).

Trinitrooxypropanol ou 3-Nitrooxypropanol (3-NOP)

Composé organique qui, lorsqu'ajouté à la diète des ruminants, inhibe l'enzyme responsable de la production de méthane.

Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (« Land use, land use change and forestry » - LULUCF)

Secteur d'émission de **GES** couvrant tout changement dans l'utilisation des terres et forêts, par exemple la reforestation, les changements de pratiques agricoles, ou l'étalement urbain. De nombreux acronymes sont utilisés en français : UTCF, UTCATF, ATCATF, ARSS... Afin d'éviter toute confusion, nous avons utilisé l'acronyme anglais dans ce rapport.

Véhicules zéro émission (VZE)

Véhicules automobiles légers entièrement électriques ou fonctionnant à l'hydrogène, ou tout autre véhicule qui n'émet aucun polluant. La norme **VZE** du Québec, qui s'applique aux constructeurs automobiles, vise à augmenter le nombre de **VZE** vendus afin de réduire les émissions de **GES** (la norme touche également les véhicules à faible émission ou VFE).

AVANT-PROPOS

Ce rapport est le fruit d'un exercice de modélisation visant à tracer les grandes lignes d'une décarbonisation de l'économie québécoise. Ni prévision, ni plan d'action, il décline les changements requis pour atteindre les cibles et objectifs du Québec, tout en abordant les coûts et bénéfices qui en découleront pour le Québec. Pour que ces changements aient lieu, des mesures économiques et réglementaires vigoureuses seront nécessaires.

Les mesures se déclinent en quatre blocs : la maîtrise de l'énergie, l'électrification de nombreux usages de l'énergie, la production accrue d'électricité et de bioénergies, ainsi que d'autres mesures touchant l'agriculture, les déchets et l'industrie.

Il existe une certaine latitude quant aux choix possibles pour l'atteinte des cibles de réduction. Le modèle utilisé étant d'abord un outil d'optimisation économique, des arbitrages en fonction de priorités sociétales demeurent possibles. Pour la production d'électricité, par exemple, des choix différents pourraient être faits quant aux filières sollicitées (hydroélectricité, solaire, éolien) pourvu que les critères de fiabilité en énergie et en puissance soient respectés. Il serait possible, par exemple, d'investir davantage dans le stockage ou la gestion de la pointe et produire plus d'énergie variable, ou encore de recourir davantage aux thermopompes pour limiter la nouvelle production requise.

Soulignons par ailleurs que l'incertitude, touchant autant les hypothèses que les résultats, s'accroît avec le temps. Ces derniers, bien que reflétant les meilleures connaissances et prévisions d'aujourd'hui, pourront encore changer avec l'arrivée de nouvelles normes sociales, de nouveaux contextes économiques et, surtout, de nouveaux développements technologiques qui pourraient modifier substantiellement les trajectoires envisagées. Notre exercice de modélisation sur 30 ans présente le portrait d'une économie québécoise largement décarbonisée et permet de poser les gestes appropriés maintenant pour l'atteinte de la cible à l'horizon 2030, tout en gardant en tête les grandes tendances identifiées dans ce rapport à l'horizon 2050 (électrification, bioénergies, etc.) afin d'assurer une cohérence à long terme.

Nous espérons que ce rapport pourra contribuer positivement à l'immense chantier qu'est la décarbonisation de l'économie du Québec.



| SOMMAIRE

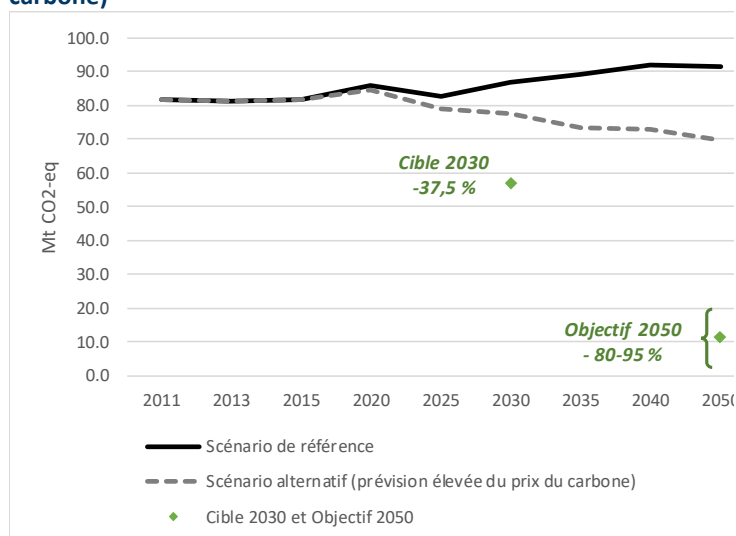
INTRODUCTION

En 2015, dans le contexte de la Conférence de Paris sur le climat, le Québec s’est doté d’une cible ambitieuse de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre (GES), soit une réduction de 37,5 % à l’horizon 2030 par rapport à 1990. Le Québec s’est également donné pour objectif de réduire ses émissions de 80 à 95 % d’ici 2050.

Ces engagements, s’ils sont réussis, feront du Québec un chef de file de la lutte contre les changements climatiques. Toutefois, leur réussite implique des changements sans précédent, notamment dans la structure énergétique du Québec.

C’est dans ce contexte que le Ministère de l’Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) a retenu les services de Dunsky pour répondre aux questions suivantes : **comment le Québec sera-t-il en mesure d’atteindre ses objectifs ? Quelles sont les trajectoires possibles ?**

Graphique S1 : Le portrait des émissions de GES sans changement aux politiques actuelles (selon différentes prévisions du prix du carbone)



La ligne pleine représente la situation avec un prix du carbone indexé annuellement (5 % plus l’inflation), tandis que la ligne en pointillé s’appuie sur un scénario de prix élevé (un prix multiplié environ par 4).

Pourquoi établir des trajectoires ?

C’est dans le cadre de la 22^e conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (COP22), tenue en novembre 2016, que le Gouvernement du Québec a adhéré à la Coalition Under 2. Cette adhésion engage le Québec à réduire ses émissions de GES de 80 % à 95 % d’ici 2050, soit un niveau de réduction qui ramènerait les émissions à un équivalent de deux tCO₂éq par habitant.

L’atteinte de cet objectif implique une vision à long terme en matière climatique. Les trajectoires présentées dans ce rapport constituent une analyse des options possibles, selon les mesures en place et les pratiques et technologies existantes, permettant au Québec d’atteindre non seulement cet objectif de 2050, mais également sa cible de 2030 qui vise une réduction de 37,5 %.

LA MÉTHODOLOGIE EN BREF

La présente étude comprend trois grands volets. D’abord, quatre scénarios de réduction des émissions québécoises de GES, dont certains atteignent la cible de 2030 et l’objectif de 2050, ont été testés à l’aide du modèle NATEM en considérant les différentes solutions technologiques disponibles (voir tableau S-1).

Tableau S-1 – Scénarios de réduction

	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
En pourcentage de réduction par rapport aux émissions de 1990				
Horizon 2030	-25 %	-30 %	-37,5 %	-37,5 %
Horizon 2050	-65 %	-70 %	-75 %	-87,5 %
En émissions totales annuelles permises (MtCO ₂ éq) ¹				
Horizon 2030	68,2	63,7	56,9	56,9
Horizon 2050	31,8	27,3	22,7	11,4

Puis, huit scénarios alternatifs agissant sur les demandes, sur les risques technologiques ou des contraintes d’acceptabilité sociale ont également été modélisés afin d’évaluer leurs effets sur les émissions de GES, le système énergétique, les coûts, etc. Plus spécifiquement, ces scénarios sont les suivants : un aménagement urbain orienté vers la mobilité durable ; une transition vers des industries vertes ; un ajustement du système alimentaire ; une combinaison de ces trois premiers scénarios ; un retrait des options technologiques les plus risquées ; un captage et une séquestration du carbone correspondant au potentiel géologique ; une utilisation accrue de la biomasse ; et la combinaison de tous les scénarios favorables précédents.

Enfin, une analyse économique a été réalisée pour chacun des secteurs à l’étude (transport, industrie, bâtiments, électricité, agriculture et matières résiduelles) afin d’évaluer les coûts marginaux, moyens et totaux liés à l’instauration de ces technologies afin de réduire les émissions de GES. L’évaluation de ces coûts a aussi été effectuée pour les huit scénarios alternatifs.

Comment interpréter les résultats de l’étude ?

Lorsqu’on cherche à déterminer dans quelle mesure il est possible de réduire les émissions de GES, on entreprend souvent une démarche en trois temps : on commence par le potentiel « technique » (tout ce qu’il est techniquement possible de faire), puis le potentiel économique (ce qu’il est possible de faire selon des contraintes économiques), et enfin, on évalue le potentiel « réalisable » qui tient compte des autres barrières de marché (p. ex. préférences des consommateurs, disponibilité des produits, accès au financement).

Ici, notre modélisation est de type technico-économique, ce qui signifie qu’elle ne tient pas compte des barrières de marché. Nous invitons donc le lecteur à garder cela en tête lors de l’interprétation des résultats, notamment en ce qui a trait à :

- **Efficacité énergétique** : Puisqu’il s’agit d’une mesure rentable, le modèle présume que son adoption se fera naturellement. Or, l’efficacité énergétique fait face à de multiples barrières autres qu’économiques, limitant ainsi sa contribution réelle. Il faudra donc s’attaquer à ces barrières pour bénéficier du plein potentiel de l’efficacité énergétique.
- **Autres solutions technologiques** : Pour accélérer l’adoption des technologies sobres en carbone, il sera nécessaire de s’attaquer non seulement aux coûts, mais également aux autres barrières de marché qui pourraient ralentir leur diffusion.

¹ MtCO₂éq = millions de tCO₂éq.

L'étude menée par l'équipe Dunsky est le fruit d'une modélisation détaillée de l'ensemble des solutions, technologiques et autres, connues ou prévisibles en date de 2018. Elle présente les résultats d'un modèle d'optimisation qui vise à atteindre les cibles au plus bas coût, à l'intérieur de contraintes qui lui ont été imposées. Les pages suivantes présentent ces résultats, ainsi que certaines de leurs implications pour la société québécoise.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE

L'analyse est claire : les cibles et objectifs du Québec aux horizons 2030 et 2050, quoique très ambitieux, sont potentiellement réalisables, et ce, sur son propre territoire (c'est-à-dire sans recourir à l'achat de crédits de carbone à l'extérieur). Cela étant dit, cela nécessitera des investissements importants de l'ensemble des agents économiques et impliquera que le Québec entre dans une profonde réforme économique de façon à accélérer la cadence de ses efforts, et qu'il agisse sur tous les fronts pour y arriver :

1/ TECHNOLOGIES : Accélérer les technologies sobres en carbone

Dans chaque secteur, il existe des solutions de rechange technologiques sobres en carbone. Une stratégie de réduction axée sur le remplacement de technologies (p. ex. véhicules électriques à la place des véhicules à essence) pourrait permettre d'accomplir la majeure partie des objectifs de réduction. Cette approche axée sur les technologies nécessiterait d'agir massivement dans chaque secteur.

2/ COMPORTEMENTS² : Agir pour réduire les demandes

Des changements seront nécessaires de façon à induire, par exemple, un transfert modal en faveur des transports collectifs et actifs, un aménagement du territoire plus compact, l'intégration du principe d'économie circulaire dans l'industrie et un ajustement du système alimentaire. En plus d'amener des réductions additionnelles, la réduction des demandes permettra non seulement de *diminuer le coût* de la transition vers les technologies sobres en carbone, mais également *le risque* de manquer nos objectifs si l'on se repose uniquement sur les technologies.

3/ CAPTAGE ET SÉQUESTRATION DE CARBONE : Capturer et séquestrer ce qu'il reste

Les solutions de rechange technologique et les changements de comportement demeurent les meilleurs outils pour transitionner vers un Québec sobre en carbone, entre autres parce qu'ils procurent des cobénéfices majeurs pour la province (santé, économie, etc.). Néanmoins, le captage et la séquestration de carbone (CSC) sont des technologies qui restent disponibles pour capter les émissions restantes. En quelque sorte, le CSC peut être vu comme une police d'assurance.

² Les leviers pouvant mener à des changements de comportements sont multiples et peuvent inclure la réglementation, l'aménagement du territoire, l'amélioration de l'offre de transports collectifs, etc.

Cadre d'analyse et limites méthodologiques

L'élaboration de trajectoires optimisées de réduction d'émissions de GES aux horizons 2030 et 2050 repose sur l'utilisation du modèle d'optimisation énergétique NATEM – Canada.

Les facteurs suivants n'ont pas été pris en compte dans l'analyse :

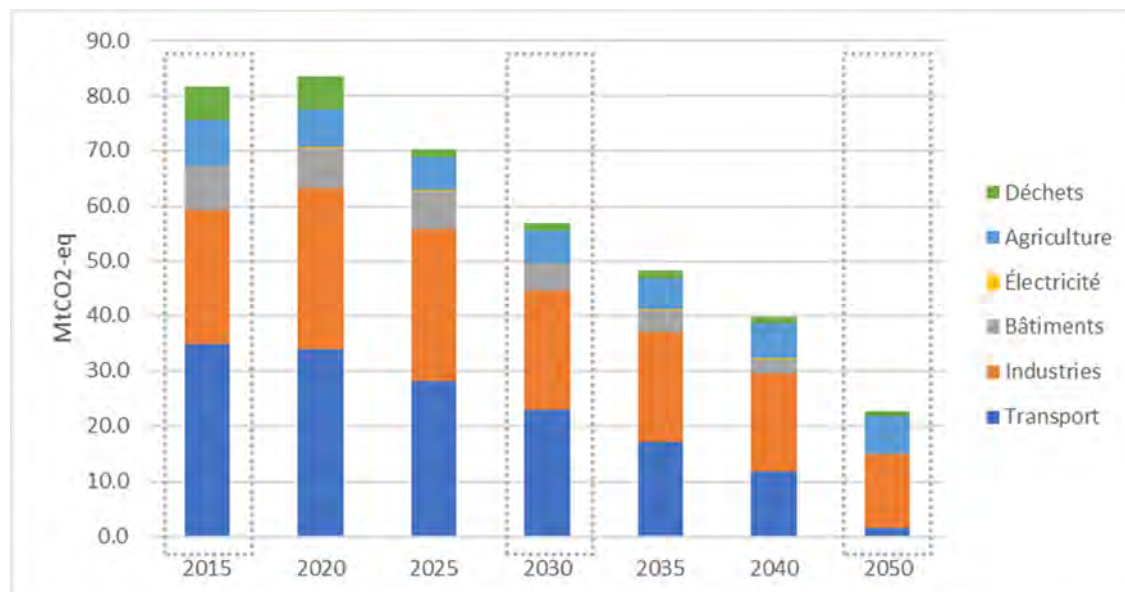
- Les enjeux de concurrence internationale ;
- Les effets des changements climatiques (p. ex. le réchauffement des températures et leur impact sur le chauffage des bâtiments) ;
- Les émissions non comprises dans l'inventaire du Québec, par exemple les mesures touchant l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie ;
- Les émissions liées au cycle de vie des produits, par exemple les émissions pour la fabrication des biens importés ;

Pour plus de détails, nous invitons le lecteur à se référer au chapitre 2 du rapport.

1/ ACCÉLÉRER LES TECHNOLOGIES SOBRES EN CARBONE

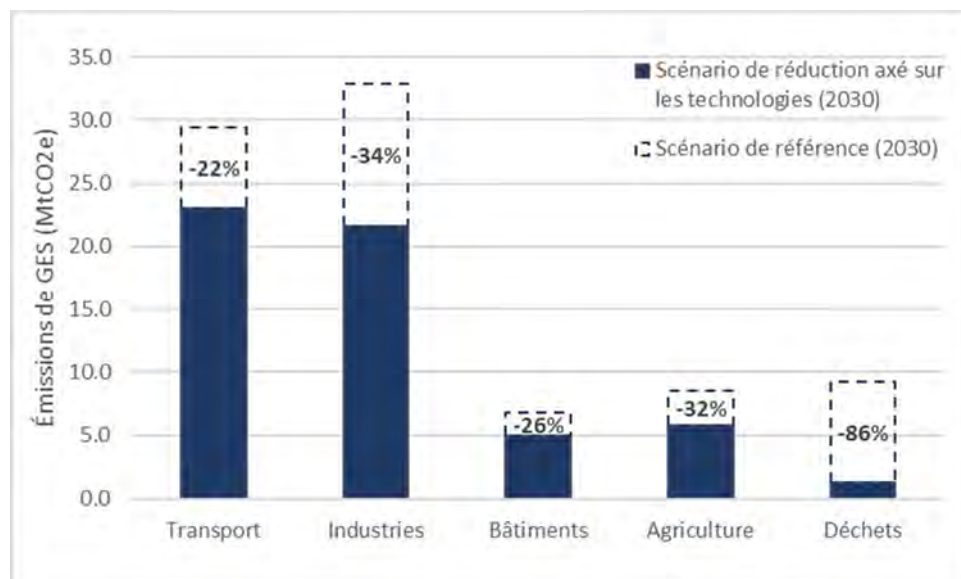
L'ampleur du défi à surmonter pour atteindre les cibles et objectifs de réduction du Québec, surtout à l'horizon 2050, ne laisse pas la possibilité d'écarter quelque option que ce soit. Chaque secteur d'émissions doit être sollicité pour réduire son empreinte carbone. C'est aussi vrai pour 2030, même si la barre est moins haute (graphique S2).

Graphique S2 : Les émissions par secteur, selon le scénario technologique de réduction réalisable le plus ambitieux (scénario C), sans changement de comportements (demandes).



Pour 2030, en comparaison aux émissions de 2015, les réductions proviennent surtout du transport et des déchets, et dans une moindre mesure, de l'agriculture et des bâtiments. Les émissions industrielles restent relativement stables, reflétant le fait que les réductions tout de même substantielles obtenues (34 % par rapport au scénario de référence de 2030) viennent essentiellement compenser l'effet de la croissance prévue de la production. Ce constat souligne l'importance d'agir également dans le secteur industriel afin de compenser les effets prévus de la croissance.

Graphique S3 : La réduction des émissions attendue pour chaque secteur en 2030.



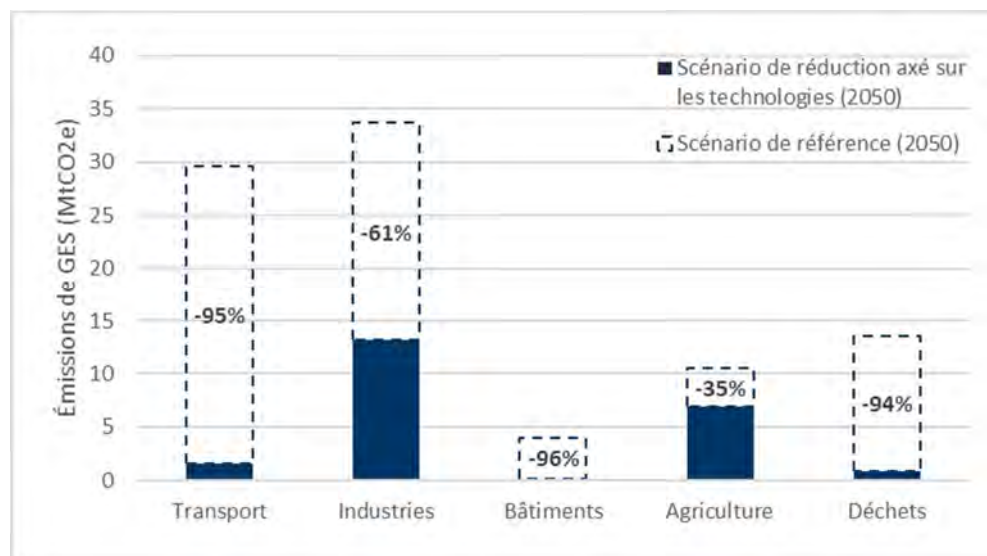
En 2050, le portrait est quelque peu différent et la variation entre les secteurs s'accroît. Pour certains secteurs, il serait possible d'atteindre une très grande réduction (au-delà de 90 %) :

- Les **transports** pourront être largement électrifiés (environ 50 % de la consommation totale d'énergie) et, pour les segments où ce n'est pas possible, être alimentés à la bioénergie (biocarburants) (près d'un tiers de la consommation totale d'énergie).
- Les **bâtiments** pourront eux aussi être électrifiés (ceux qui chauffent aujourd'hui au gaz naturel et au mazout) ou se tourner vers la bioénergie (chauffage à la biomasse et gaz naturel renouvelable (GNR) par exemple).
- Les **déchets** pourront être traités de façon à pratiquement éliminer leurs émissions (jusqu'à 94 %, par compostage généralisé, captage du méthane au site d'enfouissement et valorisation énergétique).

En revanche, il sera plus difficile de réduire significativement les émissions dans les deux autres secteurs :

- Le secteur des **industries**, aujourd'hui le deuxième plus gros émetteur après les transports, atteint un plafond à 61 % de réduction des émissions de GES à l'horizon 2050 (par rapport au scénario de référence de 2050). Malgré une forte électrification et un usage accru de la bioénergie (qui s'attaque directement aux émissions de combustion seulement), les émissions de procédé demeurent largement présentes en 2050. Certains sous-secteurs seront toutefois en mesure de réduire ou d'éliminer les émissions de procédé par l'application de nouvelles technologies.
- L'**agriculture** représente seulement 10 % des émissions actuellement, mais son potentiel de réduction est limité à 35 % à l'horizon 2050. La majorité des émissions du secteur agricole provient de l'utilisation d'engrais pour les sols, de la gestion du fumier et des animaux destinés à la consommation alimentaire, des activités où la technologie existante ne permet pas d'atteindre des niveaux de réduction élevés.

Graphique S4 : La réduction des émissions attendue pour chaque secteur en 2050.



Ainsi, d'un point de vue strictement technologique, il semble tout à fait possible d'atteindre la cible de 2030 (-37,5 %) seulement par la réduction des émissions de GES québécoises. En revanche, le recours aux technologies ne suffit pas à lui seul à atteindre l'objectif à plus long terme qui pourrait donc nécessiter des mesures additionnelles axées notamment sur la réduction des demandes ou encore l'achat de crédits de carbone internationaux. En jouant uniquement sur des changements de technologie, avec un recours limité au captage et séquestration du carbone (CSC)³, notre modélisation montre qu'on peut atteindre 75 % de réduction en 2050, ce qui s'avère insuffisant pour atteindre le minimum de 80 % nécessaire pour respecter l'objectif du Québec. Atteindre 80 % et plus de réduction des émissions québécoises d'ici 2050 nécessitera donc soit de développer de nouvelles technologies, soit de jouer sur d'autres facteurs, comme les choix qui influencent la demande énergétique.

2/ AGIR POUR RÉDUIRE LES DEMANDES

Pour atteindre l'objectif 2050, il sera incontournable de jouer sur les demandes totales en énergie. Cela passera par un examen des choix qui influencent nos façons de consommer, de se déplacer, de construire nos villes ou encore de nous alimenter.

En agissant sur ces leviers, et avant même de s'attaquer aux changements technologiques, les émissions de GES seront réduites d'emblée de 20 % en 2050 par rapport au scénario de référence. En y ajoutant les réductions technologiques, des réductions de 85 % sous le niveau de 1990 sont possibles en 2050. Ceci nous indique que les objectifs du Québec sont atteignables à la condition de miser, non seulement sur les technologies, mais également sur la réduction des demandes anticipées découlant de tendances actuelles et de politiques publiques (p. ex., aménagement du territoire). En outre, cela permettra de diminuer la

³ Pour tenir compte des enjeux d'acceptabilité sociale, de fiabilité de la séquestration géologique et de maturité de la technologie de CSC, le recours au CSC a été limité à un niveau de 2,5 MtCO₂éq/an. En outre, la génération d'émissions négatives (utilisation conjointe de bioénergie et de CSC ou BECSC) n'a pas été considérée dans le scénario présenté ici.

facture totale, puisqu'une diminution des demandes amènerait une baisse du coût marginal de plus de 40 % à l'horizon 2050.

Pour cela, le Québec devra s'attaquer aux défis suivants :

- **Mobilité et aménagement**

Densification des villes, nouvelle construction plus compacte et transfert modal (davantage de transport en commun et transports actifs, train et covoiturage pour le transport des passagers, transfert du camion vers le train pour le transport des marchandises, etc.).

- **Tissu industriel**

Transition vers des industries vertes et intégration des principes d'économie circulaire⁴.

- **Système alimentaire**

Diminution du gaspillage alimentaire et diversification des sources de protéines du régime alimentaire⁵.

3/ CAPTER ET SÉQUESTERER CE QU'IL RESTE

Étant donné l'incertitude entourant le changement de comportements lié à la réduction des demandes et le développement des technologies dans le temps, ou pour aller au-delà de 85 % en 2050, le captage et séquestration de carbone (CSC)⁶ pourrait s'avérer nécessaire. Cette technologie consiste à capter une quantité de carbone pour le séquestrer dans le sol. Elle est donc une option complémentaire, mais qui doit être prévue en parallèle dès maintenant pour assurer la possibilité d'y avoir recours au besoin.

Notre analyse montre qu'une fois les besoins réduits (#2 ci-haut) et les technologies sobres en carbone adoptées (#1 ci-haut), les émissions de GES qui subsistent sont principalement issues des procédés industriels ainsi que de l'agriculture (émissions non énergétiques). Il est possible que de nouvelles technologies fassent leur apparition, permettant ainsi de réduire ces émissions pour le moment incompressibles. Des réductions de demandes plus importantes que celles considérées dans cette étude pourraient également permettre des réductions accrues dans ces secteurs. Dans le cas inverse, le CSC pourrait combler la différence.

⁴ Réduction et valorisation des déchets à tous les niveaux de l'économie, ainsi qu'augmentation de la durée de vie et réutilisation des produits manufacturés.

⁵ Cette diversification des protéines alimentaires se traduirait par une diminution de la consommation de produits d'origine animale. Bien que cette diminution ait un effet indéniable sur la réduction des émissions de GES (et autres impacts environnementaux), son impact sur le territoire québécois est limité étant donné que la production québécoise d'élevage est intégrée au commerce interprovincial et international (fortes importations et exportations).

⁶ Il existe plusieurs variantes du captage et séquestration de carbone (CSC) : (1) le CSC « traditionnel » qui consiste à capter les émissions (provenant de combustibles fossiles) à la sortie d'une usine, rendant le bilan de cette usine neutre en carbone ou presque ; et (2) la bioénergie avec CSC (BECS), qui consiste à produire de l'électricité à partir de bioénergie, et d'en capter les émissions produites. Puisqu'il s'agit d'émissions biogéniques (c.-à-d. provenant de la biomasse récente), les capter et les séquestrer revient à retirer du CO₂ de l'atmosphère, donc à générer des émissions négatives. Il existe aussi quelques avenues de valorisation du carbone, La séquestration dans des formations géologiques adéquates est la seule variante exploitée à grande échelle présentement.

Soulignons que l'objectif 2050 pourrait être atteint à un coût moindre en ayant davantage recours au CSC que ce qui a été envisagé ici (plafond de 2,5 MtCO₂éq par an). Toutefois, ce faisant, le Québec laisserait de côté d'importants cobénéfices que les mesures de réduction à la source offrent (qualité de l'air, santé humaine, indépendance par rapport aux produits pétroliers et balance commerciale).

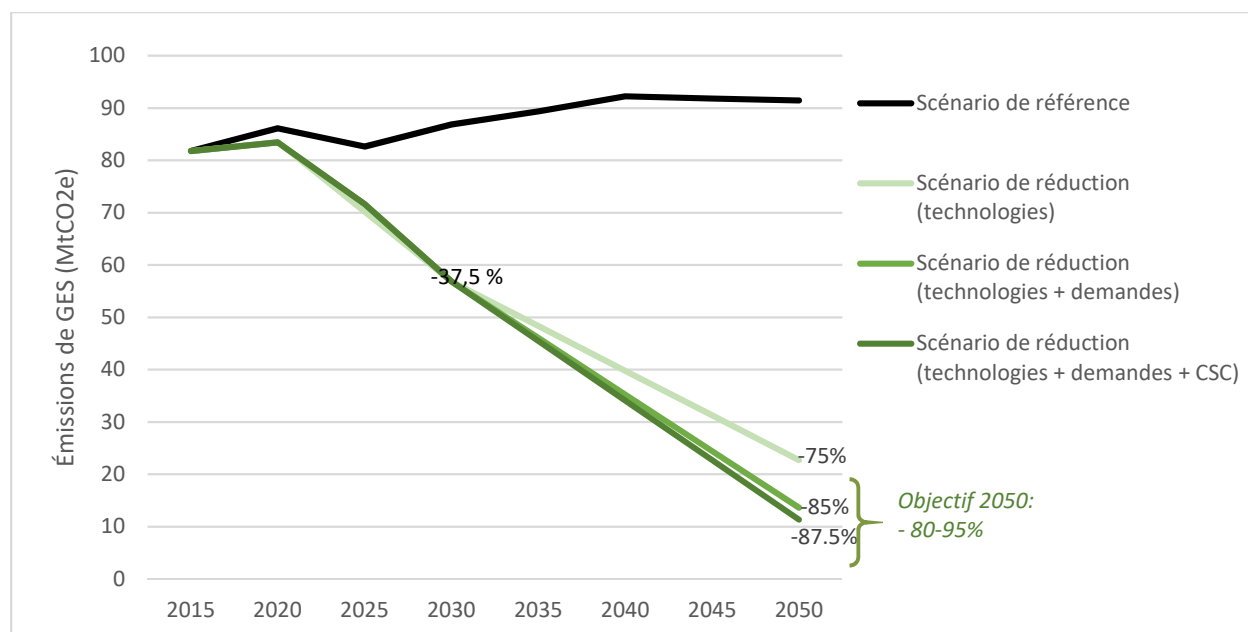
Dans cette optique, les technologies de CSC offrent une relative marge de manœuvre pour atteindre l'objectif à l'horizon 2050, advenant que les mesures de réduction s'avèrent insuffisantes.

Rappelons également que l'analyse se base sur les solutions connues aujourd'hui et qu'il est possible que de nouvelles solutions apparaissent au cours de l'horizon visé, notamment celui de 2050, offrant ainsi davantage de possibilités pour l'atteinte des cibles et objectifs.

Achat de crédits carbone

Dans le cas où le Québec n'arriverait pas à atteindre sa cible de 2030 ou son objectif de 2050 sur son territoire, l'achat de crédits de carbone internationaux, notamment sur le marché du carbone, demeurerait une possibilité pour combler la différence. Toutefois, cette option est risquée, car le prix et la rareté des crédits de carbone pourraient augmenter significativement dans le temps. Réduire les émissions au Québec viendrait donc diminuer le risque financier associé à l'achat de crédits carbone, tout en investissant dans son économie et en améliorant à la fois la qualité de l'air et la balance

Graphique S5 : La réduction des émissions en jouant sur trois leviers : l'optimisation technologique, la réduction de demandes et le CSC.



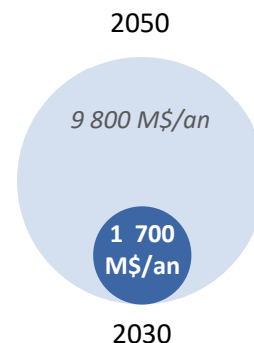
IMPLICATIONS POUR LE QUÉBEC

Atteindre les objectifs de réduction que s'est fixés le Québec nécessitera un changement de cap majeur pour la société québécoise, ce qui aura une incidence sur l'économie du Québec, son environnement et sa population.

1/ INVESTISSEMENTS ET COÛTS

Tout d'abord, pour mettre en œuvre les solutions technologiques nécessaires à l'atteinte des objectifs du Québec, des investissements significatifs seront requis. Pour atteindre la cible de 2030, on estime qu'avec des solutions technologiques uniquement, des investissements moyens de 1,7 milliard de dollars par année (sur la période 2021-2030)⁷ seront nécessaires en sus des investissements déjà prévus dans le scénario de référence. Ces investissements pourraient être réduits en privilégiant des mesures en lien avec la réduction de demandes.

Le coût net⁸ moyen annuel est évalué à 950 millions de dollars par année sur la période 2021-2030 (et à 8,5 milliards de dollars par année sur la période 2031-2050, sans tenir compte de nouveaux progrès technologiques présentement inconnues). Ces coûts correspondent à un coût moyen de 87 \$/tCO₂éq à l'horizon 2030 (et de 220 \$/tCO₂éq à l'horizon 2050) - voir les graphiques 1-29 et 1-30).



Faits à noter :

- Seule une partie de ces coûts serait assumée par le gouvernement du Québec. Le reste sera absorbé par les industries, entreprises et ménages sur le territoire du Québec. Le gouvernement pourra intervenir, par exemple, dans la recherche et développement de solutions, en offrant des aides financières pour encourager l'adoption de technologies propres ou encore en mettant sur pied des mesures, des politiques et des réglementations pour changer les comportements.
- Ces coûts n'incluent pas la valeur monétaire d'autres bénéfices majeurs, comme la diminution des coûts pour le système de santé ou encore le gain de productivité chez les travailleurs en meilleure santé (grâce à l'amélioration de la qualité de l'air et les transports actifs). En ce sens, le coût net sera assurément moins élevé.
- Rappelons également que des innovations futures imprévisibles actuellement pourraient venir diminuer la facture totale pour le Québec.

⁷ L'ensemble des valeurs monétaires indiquées dans ce rapport sont exprimées en dollars constants de 2018.

⁸ Les coûts incluent l'ensemble des coûts incrémentaux (c.-à-d. les coûts additionnels des technologies propres par rapport aux technologies de base), ainsi que les économies d'énergie et autres coûts et économies d'opération pour l'ensemble des secteurs économiques (particuliers, entreprises, administrations publiques). Ils tiennent compte également de la valeur résiduelle des actifs à la fin de l'horizon temporel de modélisation. Il existe de grandes incertitudes sur ces estimés en raison des hypothèses nécessaires à leur calcul. Nous invitons le lecteur à se référer au chapitre 1 du rapport pour plus de détails.

2/ BALANCE COMMERCIALE ÉNERGÉTIQUE

2030
+
2 milliards \$/an



2050
+ 5 milliards \$/an

Avec la décarbonisation de l'économie, le portrait énergétique du Québec opérera un changement sans précédent. On assistera à une forte diminution de la dépendance au pétrole et au gaz naturel importés, au profit de l'électricité et des bioénergies produites au Québec. En rapatriant ces capitaux présentement dédiés aux importations d'énergie fossile, le Québec pourra les réinvestir dans des projets de production d'électricité renouvelable.

En 2030, la balance commerciale interprovinciale et internationale du Québec pour l'énergie s'améliorera de près de 2 milliards de dollars par an grâce à une réduction substantielle des importations de pétrole brut et, dans une moindre mesure, de gaz naturel. D'ici 2050, ce gain se porte à près de 5 milliards de dollars par an⁹.

3/ DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET EMPLOI

Le Québec bénéficiera de **création d'emplois et de croissance économique** dans les secteurs à faible niveau d'émission de GES, chez les fournisseurs de technologies propres et de bioénergie, en efficacité énergétique et en production d'électricité, entraînant des besoins de formation pour les travailleurs. Selon une étude consacrée aux impacts économiques de l'efficacité énergétique, celle-ci permettrait à elle seule de créer ou maintenir 25 000 emplois et de faire croître le PIB du Québec de 4 milliards de dollars en moyenne par année à l'horizon 2030¹⁰. Le développement accéléré du secteur énergétique, avec la production d'électricité locale et la fabrication de biocarburants, sera aussi porteur pour la province et ses régions.

En revanche, la restructuration de l'économie affectera d'autres secteurs. Une **perte d'emplois** est à prévoir dans le secteur pétrolier, tandis que le gaz naturel sera touché, mais dans une moindre mesure, car une bonne partie des besoins pourront être comblés avec du gaz naturel renouvelable (une forme de bioénergie).

L'atteinte de cibles et objectifs de réduction ambitieux mènera également au développement de nouvelles technologies commercialisables, voire **exportables** (telles que les anodes inertes pour la production d'aluminium), ou qui procureront un avantage concurrentiel au Québec. Le Québec pourra ainsi se **positionner favorablement** pour faire partie de la nouvelle économie verte, qui pourrait représenter, d'ici 2030, un marché de 10 000 milliards de dollars à l'échelle mondiale¹¹.

↗ Exportations



Économie verte :
10 000 milliards \$/an
à l'échelle mondiale

⁹ Chiffres obtenus en comparant les importations et exportations de l'énergie du scénario de réduction par rapport au scénario de référence en 2030 et 2050. Notons que le scénario de référence lui-même inclut déjà une amélioration substantielle de la balance commerciale énergétique en 2050.

¹⁰ Dunsky expertise en énergie. 2018. *The Economic Impact of Improved Energy Efficiency in Canada - Employment and other Economic Outcomes from the Pan-Canadian Framework's Energy Efficiency Measures*.

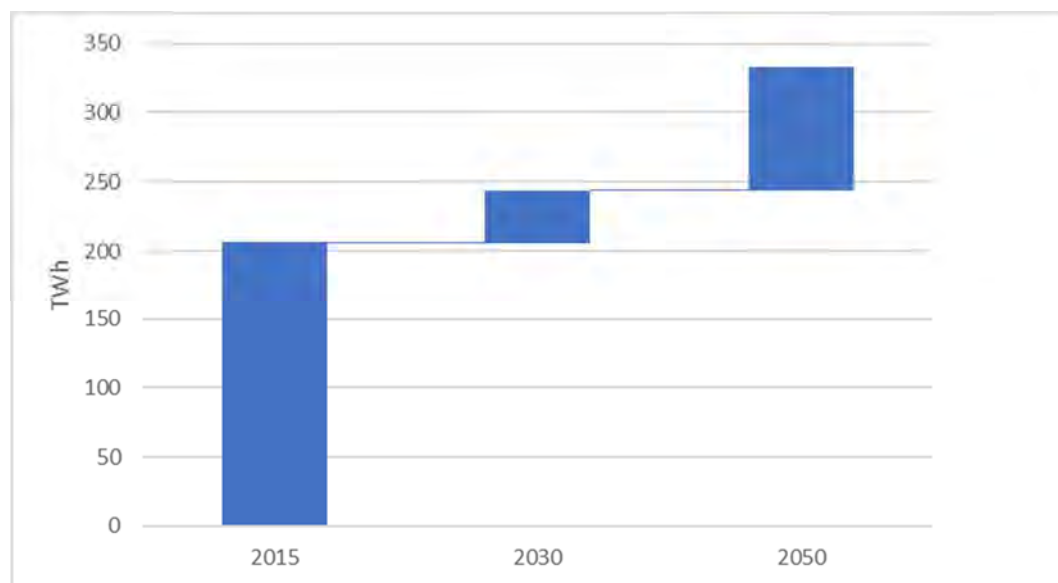
¹¹ Basé sur une étude de The Global Commission on the Economy and Climate (2015) "*Seizing the Global Opportunity*". Selon cette étude, le marché mondial des technologies sobres en carbone s'élevait à 5 500 milliards de dollars américains en 2011, et bénéficie d'une croissance annuelle de 3 %.

Enfin, grâce à son approvisionnement énergétique sobre en carbone, le Québec bénéficiera d'une **attractivité** accrue auprès des entreprises qui chercheront à réduire leur empreinte carbone ou à se prémunir contre les risques — notamment financiers — d'un resserrement de la réglementation en matière d'émissions de GES et des fluctuations de prix des hydrocarbures.

4/ GÉNÉRATION D'ÉLECTRICITÉ

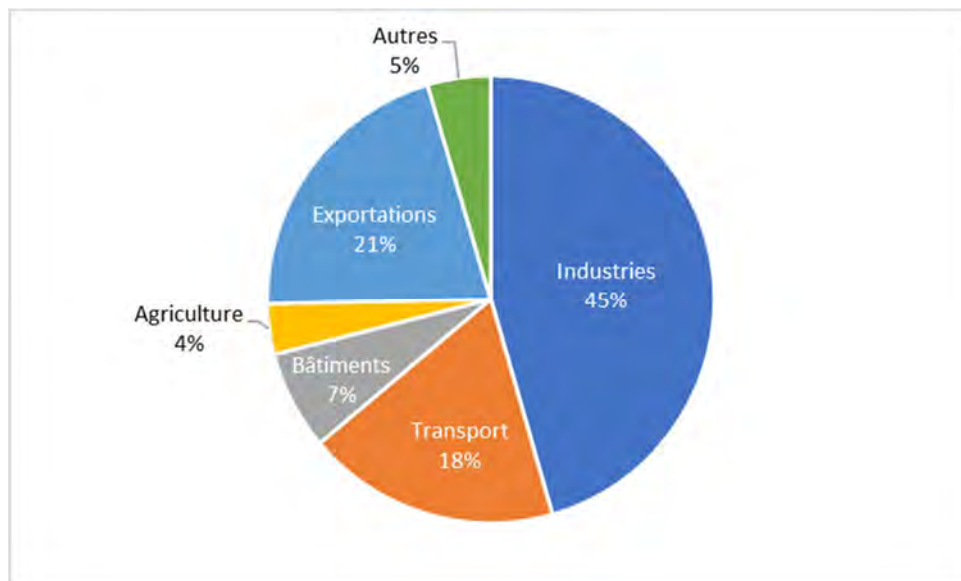
Pour répondre à l'électrification croissante des systèmes (dans les transports, les bâtiments et l'industrie), il sera nécessaire, tout d'abord, de consommer l'électricité plus efficacement (en privilégiant l'efficacité énergétique), mais également d'augmenter la production d'électricité, à partir de sources propres comme l'éolien, l'hydroélectricité et le solaire (graphique S6).

Graphique S6 : L'électricité additionnelle requise pour répondre à l'électrification croissante des systèmes, (selon le scénario de réduction alternatif sur les technologies et la réduction des demandes).



Afin d'atténuer les coûts associés à la croissance des besoins en électricité, le Québec pourrait accroître ses efforts en efficacité énergétique, au-delà de ce qui est inclus dans le modèle (le potentiel est en effet plus élevé). Considérant que la grande majorité de l'électricité additionnelle à l'horizon 2050 est utilisée dans le secteur industriel (graphique S7), l'accent pourra être mis sur ce secteur. Cela aurait notamment pour effet d'améliorer la productivité énergétique de nos industries, améliorant ainsi leur compétitivité.

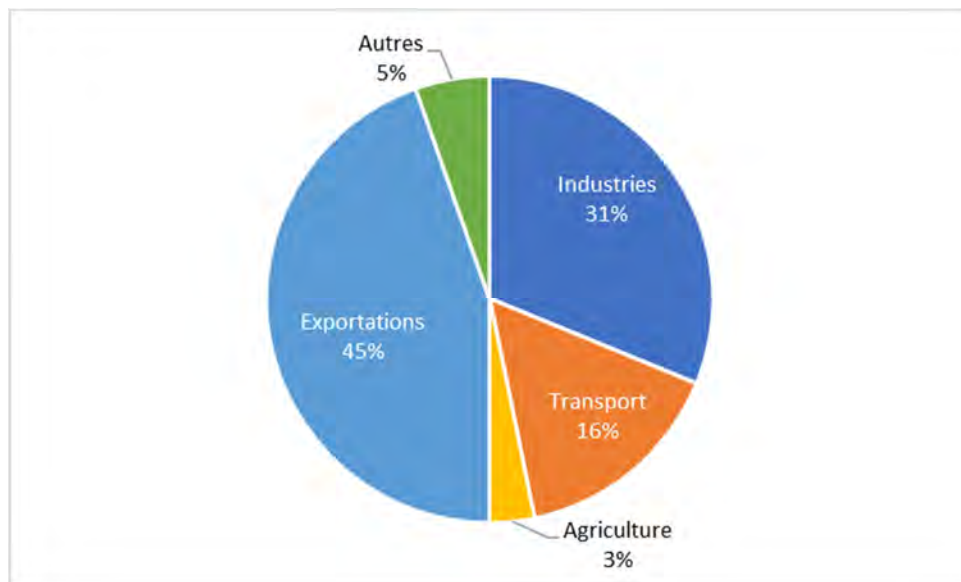
Graphique S7 : La répartition de la consommation additionnelle d'électricité à l'horizon 2050.



Mis à part l'électrification au Québec des transports, de l'industrie et du bâtiment, 21 % de cette nouvelle production vient augmenter les exportations vers les autres provinces pour les appuyer dans l'atteinte de leur propre cible. Ce pourcentage serait vraisemblablement beaucoup plus élevé sans la contrainte sur les exportations d'électricité imposée au modèle.

À l'horizon 2030, les tendances sont sensiblement les mêmes, avec toutefois une importance accrue pour les exportations (45 % de la consommation additionnelle d'électricité) et moindre pour les industries (31 %). Le secteur des Bâtiments n'apparaît pas dans ce graphique, car sa consommation totale d'électricité à l'horizon 2030 décroît, l'efficacité énergétique compensant les besoins accrus dus à l'électrification et à la croissance démographique dans ce secteur.

Graphique S8 : La répartition de la consommation additionnelle d'électricité à l'horizon 2030.



5/ SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

La réduction de l'utilisation du mazout dans les bâtiments et du pétrole dans les transports aura un impact positif significatif sur la qualité de l'air, et par ricochet, sur la santé des Québécois. Le recours accru à la bioénergie pourrait cependant augmenter le niveau de particules dans l'air ; la prudence devra donc être de mise lors du choix du type de bioénergie et de l'endroit où elle sera utilisée (particulièrement dans les grands centres urbains).



Les besoins supplémentaires en électricité nécessiteront de construire davantage de barrages hydroélectriques, de parcs éoliens ou de parcs solaires. Malgré l'empreinte carbone très faible de ces sources d'énergie, elles ne sont pas sans conséquence sur l'environnement. Afin de limiter les impacts, le Québec pourrait investir davantage dans l'efficacité énergétique, ou encore favoriser les secteurs industriels peu énergivores.

RISQUES ET INCERTITUDES

Étant donné l'horizon de temps considéré, l'incertitude sur les résultats de l'analyse à l'horizon 2050 demeure élevée, bien que celle pour 2030 soit moindre. Il convient donc de porter attention aux risques et opportunités suivants, qui pourraient complexifier ou faciliter selon le cas l'atteinte des cibles et objectifs, notamment pour 2050.

1/ RISQUES ET OPPORTUNITÉS TECHNOLOGIQUES

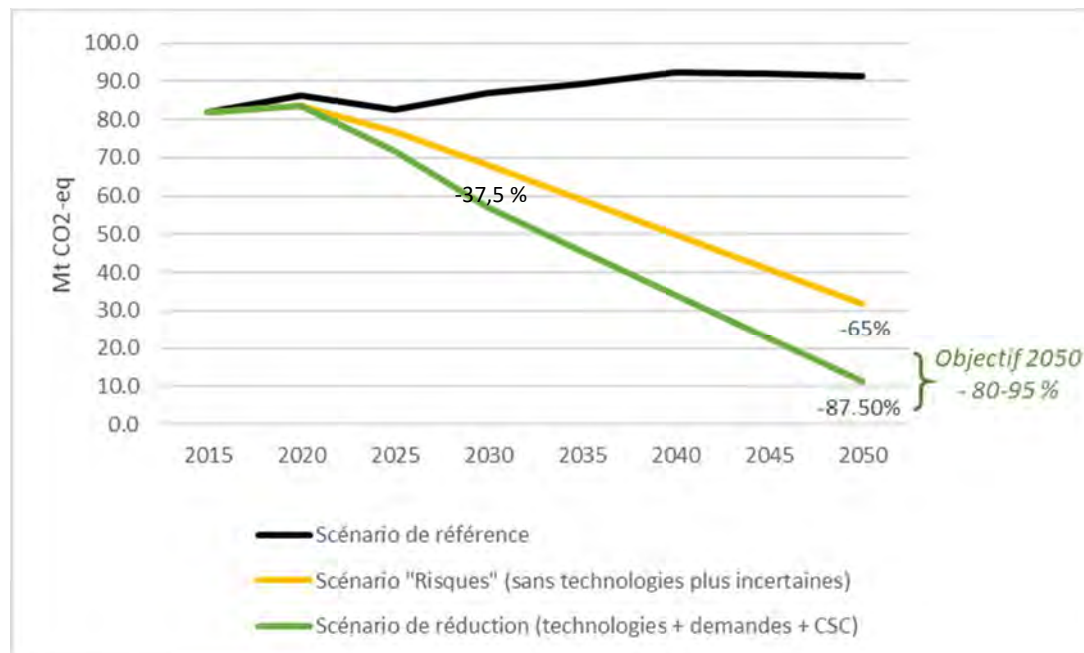
Nous réitérons que notre analyse tient seulement compte des technologies connues à ce jour, qu'elles soient commercialisées ou en développement. Considérant le rythme des innovations dans les dernières décennies, il est probable que de nouvelles technologies fassent leur apparition d'ici 2030 et encore plus d'ici 2050. Ces nouvelles technologies pourraient alors faciliter l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de GES, en offrant davantage de choix dans les solutions à mettre en œuvre, et à un coût qui pourrait s'avérer moindre.

À l'inverse, certaines technologies en développement ou en processus d'homologation pourraient ne pas se matérialiser tel que prévu, mettant à risque certaines réductions d'émissions de GES. Nous avons pour cela modélisé un scénario excluant le recours aux technologies les moins certaines¹². Dans ce cas, les réductions maximales pouvant être atteintes seraient de l'ordre de 65 % en 2050, loin de l'objectif minimal de 80 % (graphique S9)¹³. Ceci confirme l'importance d'appuyer le développement de technologies afin de consolider les options de réduction disponibles. Cela souligne également l'importance des efforts visant à réduire les demandes énergétiques en premier lieu.

¹² Cela concerne les anodes inertes pour la production d'aluminium, la molécule 3-NOP qui bloque la production entérique de méthane chez les bovidés, l'électrification du camionnage lourd, les procédés de réduction directe à l'hydrogène, le CSC limitée à une faible utilisation et la substitution limitée du clinker dans la production de ciment.

¹³ Comme l'impact du retrait de ces technologies est beaucoup plus important à l'horizon 2050 qu'en 2030 et que l'objectif de réduction de 2050 est plus difficilement atteignable que la cible de réduction de 2030, nous avons fait porter l'analyse du risque sur l'année 2050 qui nous apparaît plus pertinente. De plus, bien que le scénario A établisse la cible de 2030 à 25 %, il est fort possible que des réductions additionnelles puissent être atteintes malgré le retrait des technologies risquées.

Graphique S9 : L'impact du retrait des technologies plus risquées sur l'atteinte des cibles et objectifs.



2/ ACCEPTABILITÉ SOCIALE



Notre analyse montre que, d'ici 2050, un virage devra s'effectuer pour délaisser les énergies fossiles, au profit d'une plus grande électrification. Miser sur l'efficacité énergétique sera essentiel pour atténuer les besoins additionnels en électricité, mais il est probable que cela ne suffise pas. Ainsi, on prévoit que le Québec aura besoin de 125 à 185 TWh de plus à l'horizon 2050 par rapport à 2015¹⁴. L'ajout de nouveaux barrages, parcs éoliens ou panneaux solaires pourrait soulever des enjeux d'acceptabilité sociale.

L'analyse souligne également que l'atteinte des cibles et objectifs passera par la réduction de la demande totale en énergie. Augmenter la densité des villes, favoriser le transport en commun, se tourner vers le train pour le transport des marchandises, tout cela exigera un changement profond d'orientation en matière de transport et d'aménagement du territoire. L'appui de la population à ce changement de cap sera donc essentiel.



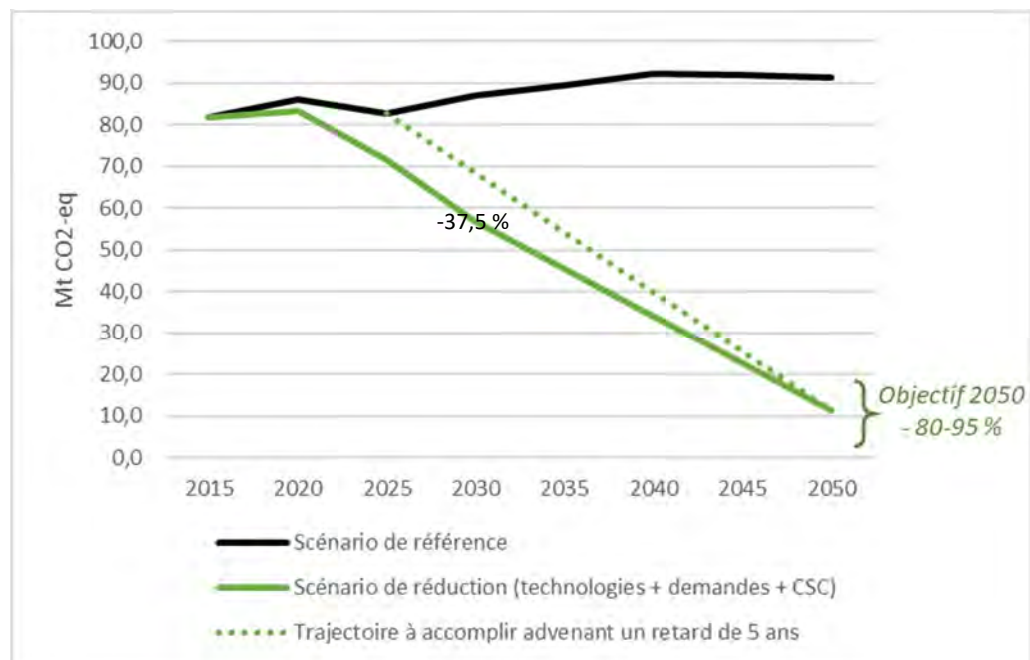
Finalement, le recours au CSC pourrait également soulever des enjeux d'acceptabilité liés notamment aux craintes à propos de l'injection aux sites de séquestration, même pour les premières tonnes séquestrées, bien que nous ayons par ailleurs sévèrement limité cette option dans le scénario de base.

¹⁴ 125 TWh dans le scénario de réduction axé sur la réduction des demandes et 185 TWh dans le scénario de réduction sans changement aux demandes. En comparaison, la production totale d'électricité était de 206 TWh en 2015.

3/ RETARDS DANS LA RÉDUCTION DES GES

L'atteinte des cibles et objectifs implique une transformation majeure. Cela va nécessiter d'importants changements dans nos façons de faire, ainsi que des investissements conséquents. Advenant que le Québec tarde à infléchir la tendance actuelle, l'effort sera encore plus grand et le temps pour y arriver plus court (graphique S10). Le changement de cap sera donc encore plus difficile à opérer et les coûts pour s'y rendre inévitablement plus grands.

Graphique S10 : L'impact d'un retard dans la mise en œuvre de solutions de réduction des émissions de GES.



4/ ALLER AU-DELÀ DE LA CIBLE 2030 ?

Cette sous-section présente une brève analyse de la possibilité de dépasser la cible de 37,5 % de réduction de GES pour 2030.

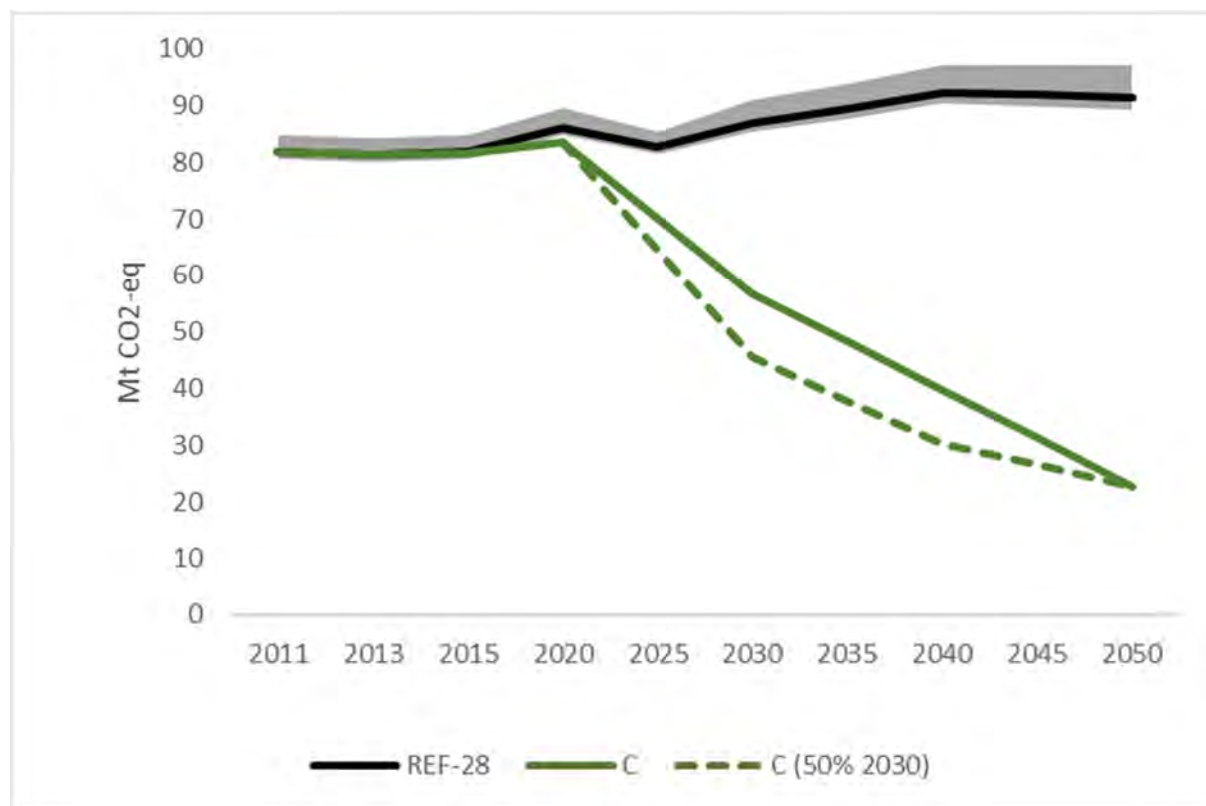
Les travaux de modélisation indiquent qu'il serait possible d'atteindre la cible de réduction des émissions de GES de 37,5 % en s'appuyant sur des solutions technologiques (scénario C). Ces modélisations nous indiquent aussi qu'il serait vraisemblablement nécessaire¹⁵, pour tendre vers une réduction de 50 % des émissions de GES, non seulement de mettre en œuvre le plein potentiel de solutions technologiques, mais également d'agir sur les comportements permettant de réduire la demande totale en énergie et de miser sur un recours accru au CSC.

Les coûts marginaux augmentent substantiellement au-delà de la cible de 37,5 % de réduction de GES. Pour des réductions de GES de l'ordre de 45 % à 50 % par rapport à 1990, des coûts marginaux de l'ordre de 500 \$/tCO₂éq sont à prévoir.

¹⁵ Selon les scénarios modélisés, le niveau de réductions de 50 % en 2030 ne peut être atteint avec les niveaux de taxe ayant été testés dans le modèle. Des analyses supplémentaires seraient requises pour évaluer les conditions permettant l'atteinte d'un tel niveau de réduction.

Le scénario de réduction C représente un changement de cap majeur et un défi par rapport au scénario de référence, lequel inclut déjà les politiques gouvernementales en vigueur (voir graphique S11). Beaucoup d'incertitude prévaut, tant sur la capacité et la disposition de l'ensemble des parties prenantes de la société d'agir pour réduire les émissions de GES, que sur l'acceptabilité face au recours accru à certaines mesures dont le CSC. Accroître le niveau de réduction d'émissions de GES visé implique également une exposition accrue au risque par rapport aux nouvelles technologies non encore éprouvées, car la marge de manœuvre des options disponibles est réduite.

Graphique S11 : L'impact d'un dépassement de la cible de 2030



PERSPECTIVES POUR LE QUÉBEC

Ce qu'on peut retenir de toute cette analyse, c'est que le défi climatique est d'ampleur. Toutefois, non seulement le Québec est parmi les mieux placés à l'échelle internationale pour le relever, mais il peut en tirer des bénéfices importants, tant pour son économie que pour la santé des Québécois. En particulier :

- L'électricité provient presque entièrement de sources renouvelables, plaçant le Québec à l'avant-plan de la course pour décarboniser l'électricité ;
- Le Québec a déjà réussi un premier jalon de l'électrification des usages, soit la conversion de la majorité du chauffage résidentiel à l'électricité dans les années 1980 ;
- Le Québec dispose encore d'abondantes ressources renouvelables (que ce soit hydroélectrique, éolienne ou solaire), lui permettant encore d'accroître sa production d'électricité sans émission de GES à des coûts très compétitifs ;
- À l'inverse, le Québec ne produisant ni pétrole ni gaz naturel, sa transition vers l'énergie propre est beaucoup plus facile que pour des régions dont l'économie dépend en partie des énergies fossiles ;

- La biomasse est disponible en grande quantité sur le sol québécois, permettant ainsi la production de bioénergie et de biocarburants locaux ; et
- Le Québec dispose également d'un potentiel géologique suffisant pour le CSC.

Au regard de cette analyse, voici les priorités qui émergent en vue de la cible de 2030 :

Si le Québec souhaite tirer le maximum de cobénéfices de sa transition vers une société sobre en carbone — tant pour l'économie que pour la santé humaine —, il lui faudra prioriser l'électrification des transports, la réduction et la valorisation des déchets, ainsi que la production et l'utilisation de bioénergies (ceux-ci représentent 60 % des réductions attendues en 2030).

Les réductions dans les transports sont parmi les plus coûteuses, mais sont probablement celles qui procurent les bénéfices les plus importants (amélioration de la balance commerciale du secteur énergétique, de qualité de l'air et de la santé des Québécois).

Afin de minimiser les coûts et les risques de cette transition, le Québec devra miser davantage sur l'efficacité énergétique et la réduction des demandes. Des actions en matière d'urbanisme, d'aménagement du territoire, d'économie circulaire ou d'ajustement du système alimentaire rendront la marche moins grande à monter quand viendra le temps de remplacer les technologies actuelles par des solutions de rechange sobres en carbone.

Le captage et la séquestration du carbone (CSC) peuvent avoir un rôle à jouer comme technologie de dernier recours afin de permettre au Québec d'atteindre ses cibles et objectifs sans nécessiter l'achat de crédits. Le CSC peut également contribuer à réduire les coûts de la transition. Les scénarios qui ne placent pas de limite au CSC sont en effet les moins coûteux. Il faut toutefois rappeler que ces mesures sont peu efficaces d'un point de vue énergétique et n'apportent pas les cobénéfices des autres options de réductions. Le recours au CSC peut aussi comporter des enjeux d'acceptabilité sociale.

Nous concluons que le Québec est particulièrement bien placé pour réussir la décarbonisation de son économie et pour tirer son épingle du jeu sur les plans de l'économie et de la santé humaine. Toutefois, l'effort nécessaire ne doit pas être sous-estimé, et devra viser *toutes les occasions* de réduction sans exception.