



SCENARIOS DU CESAR

Volume 3 • Numéro 1 • Février 2018

POUR DE L'ANALYSE ET DES AVIS EXPERTS
INDÉPENDANTS EN APPUI À L'ÉLABORATION DES
POLITIQUES CLIMATIQUES CANADIENNES

David B. Layzell, Ph.D., MSRC

Louis Beaumier, M.Sc.A.



Avec la collaboration de:



SCENARIOS DU CESAR

Volume 3 • Numéro 1 • Février 2018

POUR DE L'ANALYSE ET DES AVIS EXPERTS INDÉPENDANTS EN APPUI À L'ÉLABORATION DES POLITIQUES CLIMATIQUES CANADIENNES

David B. Layzell, Ph.D., MSRC

Directeur du CESAR et professeur, University of Calgary
dlayzell@ucalgary.ca • <http://www.cesarnet.ca>

Louis Beaumier, M.Sc.A.

Directeur exécutif, Institut de l'énergie Trottier (IET), Polytechnique Montréal
louis.beaumier@polymtl.ca • <http://iet.polymtl.ca>

Pour citer ce document :

Layzell DB et Beaumier L. 2018. *Pour de l'analyse et des avis experts indépendants en appui à l'élaboration des politiques climatiques canadiennes*. Scénarios du CESAR volume 3, numéro 1: 1-52.

Photographie de la première page : (c) Shutterstock.com 717917821 by Antiv

Contexte et remerciements

La production de ce rapport a initialement été proposée par la Fondation Ivey en décembre 2017 dans le but d'intégrer les récents travaux des auteurs aux discussions tenues au cours des deux dernières années (voir l'**Annexe 1**). Il vise à formuler des recommandations relatives aux meilleures manières d'atteindre les objectifs présentés par le Canada et les provinces dans le **Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques** [4].

Les auteurs remercient la Fondation Ivey pour son soutien dans la réalisation de ce rapport. Ils remercient également les évaluateurs externes suivants pour leur contribution et apport critique: Ralph Torrie, Robert Hoffman, Lorne Johnson, Bruce Lourie, Katherine Wynne-Edwards et le personnel du CESAR. DBL remercie la Edmonton Community Foundation pour son soutien, sans lequel plusieurs des idées présentées ici n'auraient pu être développées. LB remercie la Fondation familiale Trottier pour son appui à diverses initiatives liées à l'énergie et aux changements climatiques dont certaines ont contribué à la production de ce rapport.

I V E Y f o u n d a t i o n



DISTRIBUTION Les publications du CESAR sont disponibles en ligne : www.cesarnet.ca.

AVIS LÉGAL Les opinions présentées dans cette publication sont celles des auteurs.

DROIT D'AUTEUR Copyright © 2018 par l'initiative Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR). Tous droits réservés. Aucune partie de la présente publication ne peut être utilisée ou reproduite sous aucune forme, ni par aucun moyen, sans une autorisation préalable écrite, exception faite dans le cas de brèves citations dans une évaluation écrite destinée à être incluse dans une revue, un journal ou un reportage.

ISSN Pour les CESAR Scenarios Papers (imprimé): ISSN 2371-090X

Pour les CESAR Scenarios Papers (en ligne): ISSN 2371-0918

MÉDIAS ET DEMANDES D'INFORMATION Pour toute requête en provenance des médias, veuillez écrire à info@cesarnet.ca ou appeler le 403-220-5161.

ADRESSE POSTALE CESAR, 2603 7th Ave NW, Calgary AB T2N 1A6

VERSION 2

À propos du CESAR

Le CESAR (Canadian Energy Systems Analysis Research) est une initiative de recherche fondée en 2013 à l'Université de Calgary pour comprendre les systèmes énergétiques du Canada et développer de nouveaux instruments de modélisation, d'analyse et de visualisation pour soutenir la transition vers des systèmes durables (sur les plans environnemental, économique et social). Par la création de ressources de données et d'instruments de visualisation, par l'analyse des systèmes énergétiques actuels et historiques et par la modélisation de scénarios énergétiques, les chercheurs du CESAR visent à éclairer les décisions de politiques et les décisions d'investissement afin de guider la transformation vers les systèmes énergétiques de l'avenir.

En 2017 le CESAR a lancé le **Pathways Project**, un effort de modélisation exploratoire, inédit et intensif en technologie pour définir et caractériser des trajectoires crédibles et convaincantes permettant au Canada d'honorer les engagements climatiques de 2030 et de 2050 formulés lors de l'Accord de Paris en 2015. Le site Web du CESAR (www.cesarnet.ca) offre des informations en accès libre sur le Pathways Project, les détails techniques des trajectoires possibles ainsi que des visualisations riches en données sur les systèmes énergétiques du Canada. Les activités de recherche et de communication du CESAR sont soutenues grâce à des subventions, des contrats et des dons philanthropiques.

À propos de l'IET

Créé en 2013, grâce à un don généreux de la Fondation familiale Trottier, l'IET a pour but d'aider à former une nouvelle génération d'ingénieurs et de scientifiques qui comprennent les enjeux énergétiques, de soutenir la recherche de solutions durables pour aider à accomplir la transition qui s'impose et de contribuer à la diffusion des connaissances et aux débats sur les questions énergétiques.

Basé à Polytechnique Montréal, l'IET rassemble des professeurs-chercheurs de HEC, de Polytechnique et de l'Université de Montréal. Cette diversité d'expertises permet la formation d'équipes de travail transdisciplinaires, condition essentielle à la compréhension systémique des enjeux énergétiques dans le contexte de lutte aux changements climatiques.

À propos des auteurs

David B. Layzell, PhD, FRSC

Professeur et directeur de l'initiative Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR), University of Calgary

David Layzell est professeur à l'Université de Calgary et directeur de l'initiative Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR). Au sein de CESAR, il étudie les systèmes énergétiques canadiens et modélise les coûts, les bénéfices et les arbitrages des technologies et des politiques pouvant guider la transformation des systèmes énergétiques canadiens. De 2008 à 2012, il était directeur exécutif du Institute for Sustainable Energy, Environment and Economy (ISEEE), un institut pluri-facultaire de l'Université de Calgary consacré à la formation et à la recherche aux cycles supérieurs.

Avant de s'établir à Calgary, Dr. Layzell était professeur à la Queen's University (Kingston) et directeur exécutif de BIOCAP Canada, une fondation de recherche ciblant les solutions biologiques aux changements climatiques. Alors qu'il était à Queen's, il a fondé Qubit Systems Inc., une société de développement d'instruments scientifiques, et il a été élu membre de la Société royale du Canada (MSRC) pour ses contributions de recherche.

Louis Beaumier M.Sc.A.

Directeur exécutif, Institut de l'énergie Trottier (IET), Polytechnique Montréal

Diplômé de Polytechnique Montréal, Louis Beaumier a travaillé pendant plusieurs années en développement de logiciels. Il a été impliqué dans de nombreux domaines d'application, des systèmes distribués de simulation immersive aux interfaces de reconnaissance de la parole. L'expérience acquise au fil des années et au fil des affectations – de développeur à directeur de la recherche et du développement – lui a permis de comprendre qu'un problème mal compris ou une solution mal présentée sont souvent la principale source de difficultés dans un projet. Après plusieurs années en gestion de produits, au cours desquelles il a affiné sa capacité à comprendre les problèmes et à présenter les solutions, Louis s'est joint à l'Institut de l'énergie Trottier, hébergé par son alma mater. Son travail à l'Institut ajoute un sens de l'engagement qui faisait défaut dans ses fonctions antérieures.

Table des matières

Liste des figures	vii
Liste des tableaux	vii
Abréviations	vii
Sommaire exécutif	1
1. Introduction	3
2. Principaux éléments pour intégrer les analyses et les avis des experts indépendants	5
3. Cadrer le défi climatique : Définir les questions	9
3.1. Questions relatives aux implications des politiques climatiques	9
3.2. Questions liés à la compréhension et à la direction des changements de système qui se produisent pour d'autres raisons que l'atténuation des changements climatiques	11
4. Survol de la modélisation des systèmes énergétiques au Canada	13
5. L'analyse et la modélisation des changements de systèmes	15
5.1. L'importance de définir des trajectoires crédibles et convaincantes	15
5.2. De nouveaux instruments pour le changement de systèmes	21
5.3. Combler lacune en capacités de modélisation	23
5.4. Mettre les modèles à niveau	26
6. Recommandations	29

Références	31
Annexe 1. Sommaire des initiatives ayant mené à ce rapport	34
Annexe 2. Pour une organisation responsable des données énergétiques canadiennes	38
Annexe 3. Vue d'ensemble des modèles des systèmes énergétiques canadiens	44

Liste des figures

Figure 1. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) du Canada par secteur du GIEC et le déclin projeté des émissions, compatible avec l'atteinte des objectifs du Canada sous l'Accord de Paris (2015).	3
Figure 2. L'entrée en marché et l'adoption de technologies à usage domestique au cours des 115 dernières années.	12
Figure 3. La structure des systèmes énergétiques présentant deux flux énergétiques en mesure de satisfaire le besoin de mobilité personnelle et d'accès aux lieux de travail.	18
Figure 4. Dans cette illustration, la cible de réduction des émissions de GES est représentée par l'atteinte d'un sommet de 1000 mètres.	21

Liste des tableaux

Tableau 1. Modèles des systèmes énergétiques canadiens en usage	14
--	-----------

Abréviations

AIE	Agence internationale de l'énergie
CanESS	Canadian Energy Systems Simulator
CCC	Climate Change Committee (Royaume Uni)

CEIO	<i>Canadian Energy Information Organization</i>
CERI	<i>Canadian Energy Research institute</i>
CESAR	<i>Canadian Energy Systems Analysis Research Initiative</i>
CIMS	<i>Canadian Integrated Modelling System</i>
CO_{2e}	Équivalent CO ₂
CRSH	Conseil de recherches en sciences humaines du Canada
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
EGC	équilibre général calculable
E₃MC	<i>Energy, Emissions and Economy Model for Canada</i>
ECCC	Environnement et changement climatique Canada
EIA	<i>Energy Information Administration (É-U)</i>
ETSAP	<i>Energy Technology Systems Analysis Program</i>
GEEM	<i>General Equilibrium Energy Model</i>
GERAD	Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions
GES	Gas à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IET	Institut de l'énergie Trottier
Institut C4P	Institut canadien sur le changement climatique et la croissance propre
LEAP	<i>Long-Range Energy Alternative Planning</i>
MAPLE-C	<i>Model for Analysis of Policies Linked to Energy-Canada</i>
Mt	Mégatonne (ou million de tonnes)
NATEM	<i>North American TIMES Energy Model</i>
ONE	Office national de l'énergie
ONG	Organisation non gouvernementale
OPEP	Organisation des pays exportateurs de pétrole
PIB	Produit intérieur brut
RNCan	Ressources naturelles Canada
TIMES	<i>The Integrated MARKAL-EFOM System</i>
R&D	Recherche et développement
RD&D	Recherche, développement et démonstration
SAIC	<i>Science Applications International Corporation</i>
SEI	<i>Stockholm Environmental Institute</i>
SFU	<i>Simon Fraser University</i>
TIM	<i>The Infometrica Model</i>
WholeSEM	<i>Whole System Energy Modelling Consortia</i>

Sommaire exécutif

En appui au **Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques** (le Cadre), ce document présente une série de recommandations quant aux meilleures pratiques devant permettre au Canada de tirer parti des expertises externes afin de fournir aux Premiers ministres et autres décideurs des avis et des conseils indépendants, fondés sur la science et les données probantes.

L'atteinte des objectifs du Cadre, soit de stimuler la prospérité économique et de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), exigera des changements en profondeur – voire des changements perturbateurs – sur le plan des technologies, des infrastructures et des comportements au cœur des systèmes anthropogéniques responsables des émissions de GES. À ce titre, il est possible que les instruments mobilisés par les politiques climatiques traditionnelles (la tarification du carbone, les réglementations et les incitatifs visant à réduire l'empreinte carbone) soient insuffisants pour atteindre ces cibles. Dans un monde caractérisé par un rythme de changement soutenu, les gouvernements ont besoin d'acquérir une compréhension fine des implications de l'innovation technologique, économique et sociale. Ils doivent également considérer l'utilisation de leviers politiques qui peuvent encourager, inciter ou diriger ces innovations afin qu'elles puissent contribuer à l'atteinte d'objectifs de société, ce qui inclut, sans s'y limiter, la réduction des émissions de GES.

La communauté de chercheurs du Canada peut fournir des avis experts utiles et indépendants, notamment par le développement et l'utilisation de puissants modèles informatiques des dynamiques de changement de système, soutenus par l'accès à des données de grande qualité. Les travaux dans ce domaine permettent de définir et d'évaluer de manière critique des trajectoires de décarbonisation crédibles et convaincantes, en mesure d'atteindre les objectifs du Cadre pancanadien.

Pour réaliser ce potentiel, les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux sont invités à poursuivre leurs efforts visant à améliorer la qualité et l'accessibilité des données sur les systèmes énergétiques du Canada. Nous recommandons également la mise sur pied

d'un Institut (l'Institut canadien sur le changement climatique et la croissance propre ; Institut C4P) ayant pour mandat d'accroître à travers le Canada les capacités de modélisation et d'analyse des dynamiques de changement de système. Il fournirait aux gouvernements (fédéral, provinciaux, territoriaux et municipaux) des analyses indépendantes fondées sur la science et les données probantes, des options politiques et des avis experts portant sur les manières d'honorer leurs engagements liés au Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.

L'Institut C4P devrait être indépendant du gouvernement et bénéficier d'un financement à long-terme (10 ans), idéalement sous la forme d'une dotation constituée de contributions des gouvernements fédéral et provinciaux. La gouvernance de l'Institut serait assurée par un conseil d'administration indépendant constitué d'experts plutôt que de parties prenantes. L'ouverture, la transparence, la fiabilité et la crédibilité feraient partie de ses valeurs essentielles.

Les activités de l'Institut C4P incluraient :

- le renforcement des capacités de modélisation et d'analyse des dynamiques de changement de systèmes, avec une attention particulière aux systèmes anthropogéniques responsables des émissions de GES du Canada;
- la coordination et le soutien du développement, de l'entretien et de l'utilisation d'une gamme de modèles en mesure de projeter des scénarios pour le Canada et ses régions, dont l'évolution de l'offre et de la demande énergétique ainsi que des émissions de GES;
- l'organisation d'ateliers, de conférences, de cours et de comités, et la mobilisation d'experts, de stagiaires et d'un large éventail de parties prenantes afin d'appuyer l'Institut dans sa mission;
- la production d'avis et de perspectives utiles, rigoureuses et fondées sur les données probantes, qui sont non-partisans et sensibles aux différences et similarités régionales;
- la communication pleine, transparente et en temps opportun de ses recherches, idées et avis aux parties prenantes et au public.

En soutenant les objectifs du Cadre pancanadien, l'**Institut C4P** soutiendra l'amélioration de la prospérité économique et de la compétitivité dans toutes les régions du Canada, tout en contribuant de manière substantielle à la stabilisation du climat dans l'intérêt des générations futures.

1. Introduction

Sous l'**Accord de Paris sur les changements climatiques** de 2015 [1], le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de GES de 30% par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2030. Il s'est également engagé à s'efforcer avec les autres nations à contenir « l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels ». Il est largement attendu que cet engagement nécessite une réduction des émissions des GES de l'ordre de 80% par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2050 [2], tel qu'illustré par la Figure 1.

En 2016, la majorité des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada ont collaboré pour développer le **Cadre pan-canadien sur la croissance propre et les changements climatiques** [4] (le Cadre), un document qui identifie plusieurs initiatives qui

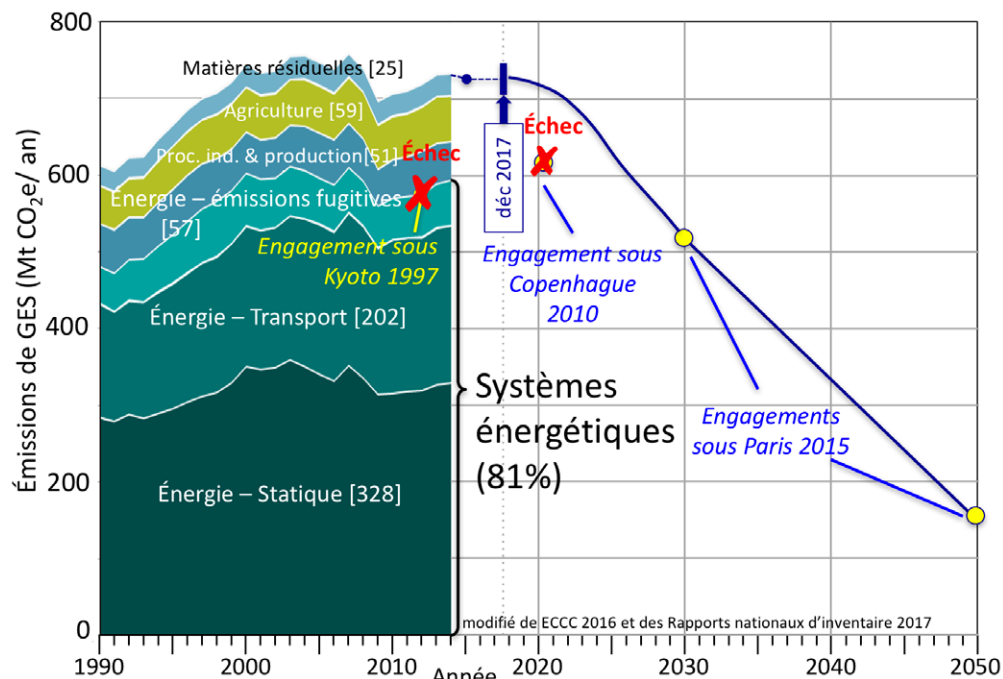


Figure 1. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) du Canada par secteur du GIEC et le déclin projeté des émissions, compatible avec l'atteinte des objectifs du Canada sous l'Accord de Paris (2015). Les objectifs de Kyoto (1997) et de Copenhague (2010) sont également illustrés. Le Vérificateur général du Canada a souligné [3] que la nation a manqué ces deux cibles. Par conséquent, le focus actuel des aspirations climatiques du gouvernement est l'engagement 2030 sous l'Accord de Paris.

seront utilisées par les juridictions pour réduire de manière substantielle les émissions de GES du Canada.

Le Cadre témoigne d'une nouvelle perspective quant au défi que posent les changements climatiques puisqu'il lie explicitement les objectifs de prospérité économique et de faibles émissions de GES. La future économie à basses émissions de GES requiert une transformation mondiale des systèmes anthropogéniques responsables de ces émissions. Une telle transformation sera guidée par des innovations technologiques, sociales et économiques. Une fois achevée avec succès, elle aura redéfini les trajectoires de la prospérité économique et de la compétitivité au XXI^e siècle.

Afin d'accomplir son objectif double, le Cadre engage également les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux à collaborer avec « des experts externes pour donner des conseils éclairés aux Premiers ministres et aux décideurs, évaluer l'efficacité des mesures prises, notamment grâce à la modélisation, et cerner les pratiques exemplaires. Cette collaboration permettra d'assurer que les mesures ciblées dans le Cadre pan-canadien peuvent être soumises à un examen externe indépendant, et qu'elles sont transparentes et s'appuient sur des données scientifiques et probantes. »

Ce rapport s'appuie sur cet engagement intégré au Cadre. Il évalue les meilleures manières de fournir aux décideurs des analyses externes et indépendantes, ainsi que des avis experts portant sur les stratégies intégrées d'atténuation des changements climatiques et de stimulation de la prospérité économique. La collaboration avec les experts a pour objectif d'informer et de soutenir la prise de décision dans toutes les régions, les gouvernements et les secteurs d'activité du Canada.

Les idées et les recommandations présentées dans ce rapport s'appuient sur les discussions qui ont eu lieu à l'occasion de plusieurs rencontres de travail organisées au cours des deux dernières années (**Annexe 1**).

« Ce rapport s'appuie sur [le] Cadre [pour évaluer] les meilleures manières de fournir aux décideurs des analyses externes et indépendantes, ainsi que des avis experts portant sur les stratégies intégrées d'atténuation des changements climatiques et de stimulation de la prospérité »

Ces rencontres ont porté sur des stratégies de mise en valeur du rôle de la science et des données probantes pour soutenir la prise de décision visant à atteindre les objectifs du Cadre pancanadien, notamment en stimulant la prospérité économique et en atteignant les cibles de réduction des émissions de GES du Canada pour 2030 et pour 2050. Les rencontres ont réuni des représentants des gouvernements, des agences de réglementation, des services publics, de l'industrie et des organisations non-gouvernementales, de même que des chercheurs universitaires provenant de partout au pays. Des experts britanniques et américains ont également contribué aux discussions en partageant leurs expériences en matière de soutien aux décideurs, fondé sur les données probantes.

En outre, plusieurs des concepts présentés ici sont issus de travaux conduits dans le cadre de l'initiative Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR) à l'Université de Calgary ou encore à l'Institut de l'énergie Trottier (IET), de Polytechnique Montréal.

2. Principaux éléments pour intégrer les analyses et les avis des experts indépendants

Les engagements climatiques antérieurs du Canada se sont avérés infructueux (Kyoto et Copenhague). Ils requéraient des changements de systèmes en mesure de réduire les émissions d'environ 9 Mt CO₂e par année entre l'entrée en vigueur de l'engagement et la date fixée pour atteindre la cible. En comparaison, les changements de systèmes requis pour atteindre les objectifs du Canada sous l'Accord de Paris devront réduire les émissions d'environ 14 à 15 Mt CO₂e par année entre 2016 et 2030 (**Figure 1**). Une réduction de cette ampleur requerra des changements en profondeur – voire des changements perturbateurs – au niveau des technologies, des infrastructures et des comportements qui constituent les systèmes anthropogéniques responsables des émissions de GES.

Deux décennies de stratégies climatiques n'ayant pas apporté les succès escomptés montrent que la voie menant à l'atteinte des cibles n'est pas connue, d'autant plus que d'importantes différences régionales et entre secteurs économiques sont à prendre en considération. Il est temps d'ouvrir la discussion, de susciter la pleine participation des autres niveaux de gouvernement, de tirer profit de l'expertise sur les dynamiques de changement de systèmes qui

existe au Canada, ainsi que d'élargir la portée des stratégies qui peuvent être mises en œuvre pour réussir la transition de systèmes nécessaire à l'atteinte des objectifs du Cadre pancanadien.

Au nombre des caractéristiques essentielles d'une instance de mobilisation de l'expertise indépendante, on compte notamment les suivantes :

- fondée sur la science et la données probantes ;
- indépendante de toute influence politique ;
- transparente ;
- crédible ;
- utile à la prise de décision ;
- pancanadienne.

« Une réduction de cette ampleur requerra des changements en profondeur – voire des changements perturbateurs – au niveau des technologies, des infrastructures et des comportements qui constituent les systèmes anthropogéniques responsables des émissions de GES. »

En outre, trois éléments supplémentaires sont requis pour tirer profit des analyses et des avis indépendants formulés par les experts :

A. Experts indépendants. Il existe au Canada une expertise sur les systèmes qui sont critiques pour l'économie et les émissions de GES, tant à l'intérieur du gouvernement qu'à l'extérieur. Plusieurs experts ont un intérêt marqué pour l'amélioration de ces systèmes, notamment afin de mieux atteindre des objectifs sociétaux par le biais de l'innovation politique, technologique, sociale ou économique. D'autres experts ont développé une expertise avancée en développement et en utilisation de modèles capables de projeter et d'analyser des scénarios fondés sur des hypothèses relatives aux politiques, aux technologies, aux infrastructures et aux comportements. D'autres encore ont l'expertise nécessaire pour interpréter les résultats des modèles et formuler des options pour les décisions politiques et d'investissement, pour les gouvernements et pour l'industrie.

Un effort intégré et coordonné est requis pour réunir ces experts et ces producteurs de connaissances pour se pencher sur les stratégies

municipales, provinciales, territoriales et nationales qui rendront possible l'atteinte des objectifs du Cadre pancanadien tout en soutenant la croissance propre et la compétitivité.

B. Modèles accessibles. La modélisation informatique des systèmes anthropogéniques complexes promet d'être un instrument puissant pour générer des connaissances fondées sur les données probantes, susceptibles d'améliorer la compréhension des défis et de faciliter l'identification des opportunités propres aux changements de systèmes qui seront en mesure de réaliser les objectifs de décarbonisation du Canada.

Depuis plus de deux décennies, les décideurs en charge de trouver des solutions climatiques politiquement acceptables ont eu pour principale responsabilité de définir les questions devant être résolues par les modèles, ainsi que les hypothèses utilisées à titre d'intrants dans les modèles. Cependant, les experts du gouvernement et les consultants sous contrat public ont souvent l'obligation d'utiliser des hypothèses spécifiques dans leurs modélisations et leurs analyses, évitant par-là d'explorer des hypothèses « difficiles » ou « impopulaires-mais-néanmoins-réalistes » qui devraient être considérées afin de faire des progrès.

Si l'accès à ces modèles était étendu aux chercheurs indépendants, ces derniers pourraient identifier de nouvelles questions et approches pour la gestion des émissions de GES. Ceci permettrait d'identifier des enjeux qui méritent un débat public, mais que les gouvernements hésitent à soulever pour des raisons politiques. Il serait avantageux pour tous les acteurs concernés que ces considérations soient identifiées par des experts externes.

Quels enjeux ces modèles devraient-ils cibler? Puisque la production et l'usage des carburants et de l'électricité compte pour 81% des émissions de GES du Canada (**Figure 1**), les systèmes énergétiques sont les systèmes anthropogéniques qui nécessitent les efforts de modélisation les plus importants. Des modèles transparents devraient être utilisés pour projeter les implications socioéconomiques et environnementales des scénarios énergétiques alternatifs.

*« Éléments requis pour tirer profit
des analyses et des avis indépendants
formulés par les experts :
A. experts indépendants...
B. modèles accessibles...
C. données de grande qualité... »*

La modélisation des systèmes anthropogéniques responsables de la production, de l'usage et de la gestion des matières résiduelles dans les secteurs de l'alimentation et des matières ligneuses est également requise. Ces secteurs de l'économie produisent 12% des émissions de GES. En outre, l'agriculture et la foresterie sont en mesure de capturer une partie du carbone atmosphérique par la création de puits de carbone biologiques (qui peuvent être conceptualisées comme des émissions négatives), mais ces possibilités sont rarement intégrées dans les efforts de modélisation.

Enfin, ces modèles doivent intégrer les technologies qui sont utilisées pour récupérer, transformer et produire certains produits non-énergétiques (tels que le ciment, l'acier, les fertilisants, les produits chimiques, etc.) responsables des derniers 7% des émissions du Canada, lesquelles sont aussi connues par l'expression « émissions de procédés » (process emissions).

Les sections suivantes du rapport considèrent les questions qui font actuellement l'objet d'efforts de modélisation (**Section 3**), les modèles des systèmes énergétiques en usage au Canada (**Section 4**) et le besoin de transparence, de documentation et d'accès libre aux modèles utilisés (**Section 5.4**).

C. Données de grande qualité. Des données fiables et de grande qualité sont le fondement des données probantes qui soutiennent les recherches scientifiques et les analyses de politiques requises pour trouver des solutions aux défis identifiés dans le Cadre pan-canadien. Ceci est particulièrement important pour la modélisation des systèmes énergétiques. En effet, tous les secteurs de l'économie utilisent de l'énergie et des données sont requises pour mieux comprendre quels facteurs (infrastructures et activités) déterminent la demande énergétique et pour comprendre quels carburants ou quelles sources d'énergie satisfont cette demande.

Malheureusement, les données sur le secteur énergétique du Canada sont éparpillées et, même si elles pouvaient être colligées, elles demeurent incomplètes, de qualité variable, d'uniformité insatisfaisante et difficiles d'accès, même au gouvernement fédéral [6]. Au cours des dernières années, le Canadian Energy Research Institute (CERI) a joué un rôle important avec d'autres partenaires (dont les fondations Ivey et Trottier) pour souligner les limites importantes des données énergétiques canadiennes et recommander des mesures permettant d'améliorer la situation. Le travail accompli est complémentaire aux efforts similaires consentis au sein du gouvernement, notamment par Ressources naturelles Canada et Statistique Canada. Ces derniers collaborent avec des représentants

de l'industrie et d'autres ministères fédéraux et provinciaux pour résoudre ce problème.

L'**Annexe 2** décrit certains défis et certaines exigences d'amélioration de la qualité, de la quantité et de l'accès aux données énergétiques au Canada.

3. Cadrer le défi climatique : Définir les questions

Les modèles – notamment les modèles de systèmes très complexes et interconnectés – sont conçus pour répondre à des questions portant particulièrement sur des scénarios hypothétiques d'avenir (« *what-if scenario* ») . En matière de politiques climatiques et de politiques de gestion des émissions de GES, les questions posées aux modèles peuvent être regroupées en deux catégories générales qui rendent compte de deux manières de cadrer l'ampleur du défi climatique.

3.1. Questions relatives aux implications des politiques climatiques

Jusqu'à présent, la plupart des politiques climatiques ont porté sur les impacts :

1. de la tarification du carbone (ex. : la taxe carbone, les systèmes de plafonnement et d'échange de droits d'émissions);
2. de la mise en œuvre de nouvelles réglementations (ex. : normes de performance pour les bâtiments et les carburants, moratoires sur l'utilisation du charbon thermique, etc.; ou
3. de la mise en œuvre de politiques incitatives (ex. : crédits de rénovation domiciliaire, subventions aux véhicules électriques, déploiement de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable) afin d'améliorer l'efficacité énergétique ou de substituer les carburants.

Afin d'informer les décideurs responsables de l'élaboration et de l'évaluation des politiques climatiques, les modélisateurs de systèmes (et plus particulièrement les modélisateurs des systèmes

énergétiques) ont pour défi de répondre à des questions similaires à celles présentées dans l'**Encadré 1**, ci-dessous.

Au cours des dernières trois décennies, quelques puissants modèles ont été développés et utilisés pour relever ce défi. Au fil du temps, ces modèles ont joué un rôle important en politique climatique. Il convient de souligner que les questions présentées dans l'**Encadré 1** visent principalement l'identification des stratégies de réduction des GES les moins coûteuses et les plus socialement acceptables. Il s'agit à la fois d'une force et d'une faiblesse pour la formulation des politiques historiques de lutte aux changements climatiques.

Il s'agit d'une force parce que l'acceptabilité sociale et l'efficacité-coût sont des critères importants pour atteindre des objectifs politiques. C'est aussi une faiblesse puisque les questions présentées dans l'**Encadré 1** ne prennent pas en considération la possibilité que

« les questions présentées dans l'Encadré 1 ne prennent pas en considération la possibilité que des réductions d'émissions de GES puissent résulter de changements systémiques externes au domaine immédiat de l'énergie. Ceci réduit le répertoire des instruments offerts aux décideurs et risque d'augmenter le coût des politiques climatiques »

Encadré 1 : Questions portant sur les implications des politiques climatiques

- Quel impact l'instrument de politique X aura sur l'usage d'énergie et les émissions de GES dans le secteur Y? En outre, quels seraient les impacts sur l'économie, la compétitivité et les emplois?
- Quel(s) instrument(s) de politique seraient les plus efficaces pour réduire les émissions de GES dans le secteur Y, et quels seraient les coûts, bénéfices et arbitrages associés?
- Quelle est la demande estimée pour les carburants et l'électricité (nationale et internationale), en prenant en considération des scénarios combinant différents instruments économiques et réglementaires? Quelles seraient les impacts sur les économies régionales et nationale, les emplois et les émissions de GES?
- Quels secteurs et quelles régions sont les plus – et les moins – capables de changer leurs systèmes avec l'ampleur requise pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES et aider le Canada à se positionner avantageusement dans les marchés mondiaux des services énergétiques et de la technologie?

des réductions d'émission de GES puissent résulter de changements systémiques externes au domaine immédiat de l'énergie. Ceci réduit le répertoire des instruments offerts aux décideurs et risque d'augmenter le coût des politiques climatiques.

Le Cadre pancanadien lie de manière explicite les objectifs de prospérité économique et de faibles émissions de GES, ce qui rend les limites des questions présentées dans l'**Encadré 1** plus évidentes. Le Cadre met au défi les décideurs – et par extension la communauté des analystes et des modélisateurs de systèmes – d'explorer des scénarios susceptibles d'améliorer à la fois l'économie et l'environnement. Ce défi nous mène à identifier de nouvelles questions et un nouveau type de modélisation pour répondre à ces questions.

3.2. Questions liés à la compréhension et à la direction des changements de système qui se produisent pour d'autres raisons que l'atténuation des changements climatiques

Nous vivons dans une période caractérisée par des changements rapides, en bonne partie imputables à un rythme soutenu d'innovation technologique. L'innovation technologique est susceptible de provoquer des changements majeurs dans la société (innovation sociale) ou dans les modèles d'affaires utilisés pour fournir des services. Au cours du dernier siècle, le rythme d'innovation s'est grandement accéléré pour les technologies d'usage domestique (**Figure 2**).

Au cours des 25 dernières années, les innovations en matière de technologies numériques ont bouleversé des industries importantes telles que la photographie, la musique, la vidéo, le cinéma, les livres, les médias, les télécommunications, la vente au détail et le secteur bancaire. Peu, voire aucune de ces innovations n'a été introduite pour remédier aux préoccupations liées au climat ou pour diminuer

« il est impératif de viser à saisir les implications des nouvelles technologies, des nouveaux modèles d'affaires ou d'innovation sociale, puis de considérer l'usage de leviers politiques susceptibles d'encourager, d'inciter ou de diriger ces innovations de manière à atteindre des buts sociétaux, incluant, mais pas seulement, la réduction des émissions de GES mais sans s'y limiter »

les émissions de GES, mais plusieurs d'entre elles ont néanmoins eu un impact majeur (positif ou négatif) sur la demande en énergie et en matériaux, et par conséquent sur les émissions de GES.

Lorsque l'on envisage les changements systémiques des 30 prochaines années, il est impératif de viser à comprendre les implications des nouvelles technologies, des nouveaux modèles d'affaires ou d'innovation sociale, puis de considérer l'usage de leviers politiques susceptibles d'encourager, d'inciter ou de diriger ces innovations de manière à atteindre des buts sociétaux, incluant, mais pas seulement, la réduction des émissions de GES.

Certaines innovations technologiques ou de modèles d'affaires sont trop récentes pour être présentées dans la **Figure 2**, mais promettent néanmoins de bouleverser les systèmes anthropogéniques. Parmi celles-ci, on compte notamment les véhicules électriques et la conduite autonome, l'émergence de services de mobilité partagée, l'éclairage par diodes électroluminescentes, l'Internet des objets, le commerce en ligne, les systèmes photovoltaïques, les consommateurs-producteurs d'électricité (prosumers), les micro-réseaux de distribution d'électricité et plusieurs autres tout juste émergentes.

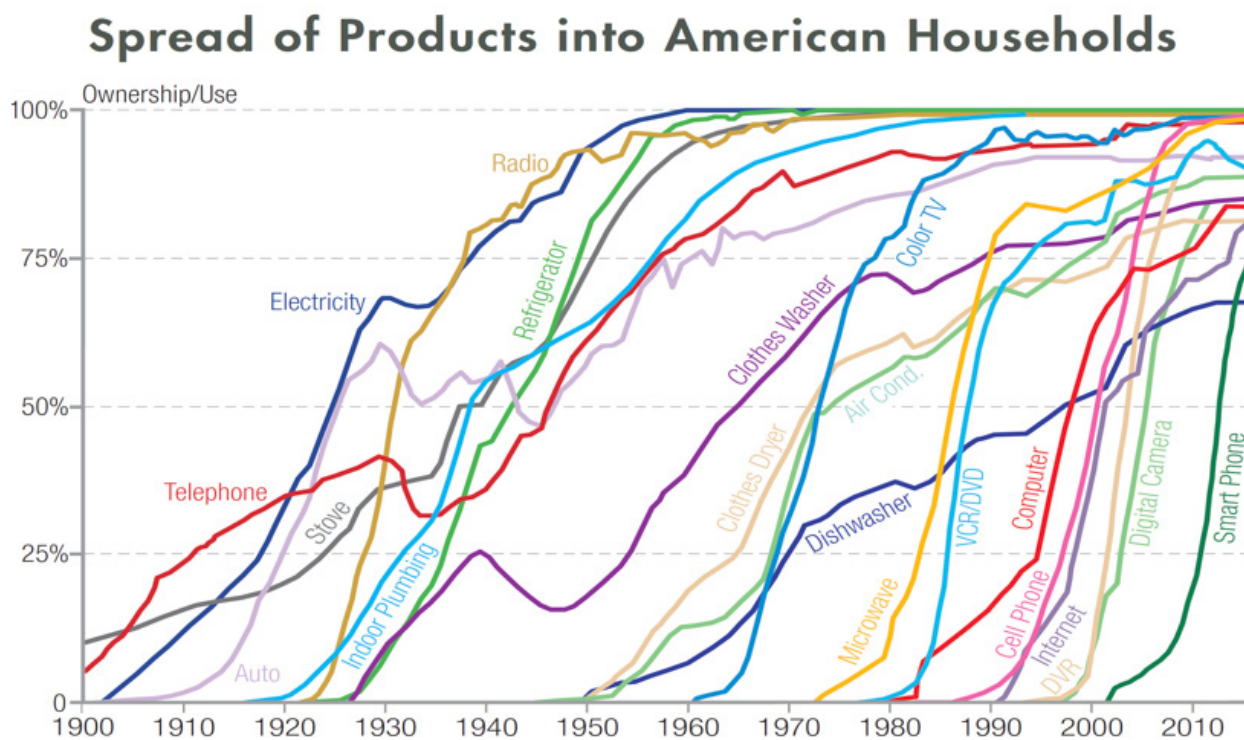


Figure 2. L'entrée en marché et l'adoption de technologies à usage domestique au cours des 115 dernières années. Remarquez que le rythme d'adoption des technologies a augmenté au cours des dernières décennies. Tiré de Cox et Alm, 2016 [6].

Encadré 2. Questions pour comprendre et diriger les changements de systèmes qui se produisent pour d'autres raisons que l'atténuation des changements climatiques

- Quels sont les défis et les conséquences inattendues des systèmes anthropogéniques actuels? Comment ces défis concordent ou ont le potentiel de concorder avec les objectifs du Cadre (réduction des émissions de GES et croissance économique)?
- Comment les innovations technologiques, économiques ou sociales ayant un potentiel de transformation ou de bouleversement pourraient-elles être dirigées pour atteindre des objectifs sociétaux (incluant la réduction des émissions de GES, sans s'y limiter)?
- À quel rythme ces changements pourraient être mis en œuvre, et quels en seraient les coûts, les bénéfices et les compromis?
- Étant donné la nature mondiale de la transition énergétique et la course à la décarbonisation, quelles innovations canadiennes ont le plus grand potentiel de succès mondial?
- Quelle combinaison de trajectoires est la plus susceptible d'atteindre les cibles de réduction des émissions de GES au plus faible coût économique et politique pour chaque province du Canada?
- Dans quels secteurs des investissements en RD&D devraient-ils être consentis pour surmonter les défis de réduction des émissions de GES les plus importants?
- Quels instruments politiques ou instruments d'investissement seraient les plus appropriés pour atteindre les objectifs choisis?

La modélisation technologique à l'échelle des systèmes est nécessaire pour explorer les implications énergétiques et environnementales des innovations susceptibles de créer des bouleversements tout en abordant des questions liées aux politiques telles que celles présentées dans l'**Encadré 2**.

4. Survol de la modélisation des systèmes énergétiques au Canada

Les premiers modèles des systèmes énergétiques canadiens ont été conçus il y a maintenant quarante ans pour répondre à des préoccupations et fournir des avis politiques concernant les coûts, l'offre et la sécurité énergétique à la suite de la crise du pétrole de l'OPEP. Au cours des 20–30 dernières années, ces modèles de sécurité énergétique ont été reconvertis, avec un succès limité, pour répondre au défi climatique et au souhait de concevoir et de mettre en œuvre un système énergétique durable et faible en carbone.

Tel que montré au **Tableau 1**, les modèles appartiennent typiquement à la catégorie des modèles **descendants** (définis sur le plan macroéconomique) ou à la catégorie des modèles **ascendants** (définis sur le plan biophysique), et la majorité sinon l'ensemble d'entre eux ne sont pas complètement transparents. Au contraire, ces modèles sont soit la propriété du gouvernement, soit la propriété de firmes de consultation qui y ont recours pour fournir des avis politiques utiles aux gouvernements. L'**Annexe 3** fournit des détails supplémentaires sur l'historique de ces modèles. Si chaque modèle a ses propres forces et faiblesses, ce rapport n'a pas pour objectif d'en fournir une évaluation systématique.

Il suffit de rappeler qu'aucun modèle ne peut apporter de réponses à l'ensemble des questions présentées ci-haut dans les **Encadrés 1** et **2**. Les modèles descendants et les modèles d'optimisation, de choix des consommateurs et hybrides sont le plus souvent utilisés pour répondre aux questions similaires à celles présentées dans

Tableau 1. Modèles des systèmes énergétiques canadiens en usage. Abréviations : **CanESS**, Canadian Energy Systems Simulator; **CIMS**, Canadian Integrated Modelling System; **ECCC**, Environnement et changement climatique Canada; **ESMIA**, Energy Super Modelers and International Analysts; **GEEM**, General Equilibrium Energy Model; **LEAP**, Long Range Energy Alternative Planning System; **NEB**, National Energy Board; **NATEM**, North American TIMES Energy Model; **RNCan**, Ressources naturelles Canada; **SEI**, Stockholm Environmental Institute; **SFU**, Simon Fraser University; **TIM**, The Infometrica Model, **UA**, Univ of Alberta; **UC**, Univ of Calgary; **UM**, Univ de Montréal. Ce tableau a été adapté de la référence [7].

	Type	Gouv féd.		Firmes de consultants / Universités		
		ONE	ECCC	Navius/SFU	ESMIA/UM	WhatIf?/UC
Descendant (défini sur le plan macroéconomique)	Macro-économétrique	----- TIM ^a -----				
	Équilibre général calculable		EC-pro	GEEM		
	Optimisation				NATEM	
Ascendant (défini sur le plan biophysique)	Choix des consommateurs	Energy 2020 ^b				
	Simulation exploratoire					CanESS
	Hybride		E3MC ^c	CIMS ^d		LEAP

^a Le TIM est actuellement redéveloppé pour ECCC par PolicyModels Corp

^b Développé et soutenue au Canada par Systematic Solutions Inc. (USA)

^c Le CIMS est un modèle en équilibre partiel comprenant des modules d'offre et de demande énergétiques, de choix des consommateurs et du système macroéconomique

^d E3MC (Energy, Emissions and Economy Model for Canada) relie le modèle Energy 2020 au TIM pour son utilisation par ECCC.

l'**Encadré 1** alors que les modèles de simulation exploratoire sont habituellement plus appropriés pour répondre aux questions présentées dans l'**Encadré 2**. Pour répondre à toutes les questions qui sont d'intérêt pour les décideurs, les deux types de modèles sont utiles. En outre, il est attendu que le développement de nouveaux outils de modélisation soit nécessaire.

5. L'analyse et la modélisation des changements de systèmes

Pour identifier et éventuellement répondre à des questions similaires à celles présentées plus haut, des experts du gouvernement, de l'industrie, de la recherche universitaire et d'organisations non-gouvernementales ont été conviés à plusieurs rencontres et d'ateliers dont un résumé est donné à l'**Annexe 1**.

Ces rencontres ont mené à un consensus, à savoir qu'**une Initiative est requise pour soutenir la provision d'analyses et d'avis experts et indépendants au sujet des politiques pouvant contribuer à l'atteinte des objectifs du Cadre pancanadien**. Nous avons rassemblé ici certains principes qui semblent cruciaux au succès de cette initiative.

5.1. L'importance de définir des trajectoires crédibles et convaincantes

Nous connaissons depuis longtemps la nature des changements requis pour rendre les systèmes anthropogéniques plus viables sur le plan climatique (voir **Encadré 3**). Pour identifier des politiques et des programmes à la fois crédibles et susceptibles de contribuer à l'atteinte des objectifs climatiques du Canada, il faudra en préciser les détails. Il faudra notamment préciser comment les **trajectoires faibles en carbone** seront adaptées aux différents secteurs et régions tout en stimulant la croissance économique et en améliorant la compétitivité.

Dans ce rapport, une trajectoire faible en carbone renvoie à la séquence et à l'ampleur des changements de technologie, d'infrastructures et de comportement qui sont aptes à modifier les systèmes anthropogéniques de manière à atteindre des réductions d'émission de GES substantielles.

Encadré 3. Vers des systèmes anthropogéniques durables

Voici les objectifs généraux de changement de systèmes, en ordre de priorité (approximatif), identifiés par les participants aux rencontres de travail :

- amélioration de l'efficacité énergétique ;
- électrification (transports, chauffage résidentielle, processus industriels);
- décarbonisation de la production d'électricité;
- substitution des carburants fossiles par des carburants alternatifs / faibles en carbone;
- modification des comportements;
- réduction des émissions de procédés, du secteur agricole, et des émissions fugitives;
- captation et séquestration du carbone.

La **Figure 3** présente la structure d'un système énergétique et offre l'exemple de deux systèmes en mesure de répondre au besoin de mobilité des personnes et l'accès aux lieux de travail. Dans cet exemple, l'expression trajectoire faible en carbone renvoie à la transition d'un système énergétique à un autre.

Il y a deux stratégies pour identifier ces trajectoires par un processus de modélisation des systèmes ; soit en tant que contrainte de résultat (output), soit en tant que contrainte de condition de départ (input). Selon la première stratégie, (typiquement retenue pour répondre aux questions du même ordre que celles présentées dans l'**Encadré 1** ci-haut), les contraintes de départ peuvent être des leviers politiques (ex. : des réglementations, des instruments de tarification du carbone, des politiques incitatives, etc.) conçus pour produire des changements de système, et le modèle devrait généralement être en mesure de générer une ou plusieurs trajectoires de transition vers un système énergétique faible en carbone.

La seconde stratégie est plus appropriée pour répondre aux questions présentées dans l'**Encadré 2**. Les trajectoires faibles en carbone sont alors définies de manière exogène, en prenant appui sur des innovations technologiques, sociales et économiques, établies ou émergentes, et ayant le potentiel de transformer les systèmes anthropogéniques. Le processus de définition des trajectoires inclut notamment :

- une compréhension des caractéristiques techniques, économiques et environnementales du système actuel, ce qui inclut ses effets non intentionnels;

- la création d'un modèle formel, informatisé et détaillé de ce système;
- la vision d'un système alternatif faible en carbone qui remédie également aux effets non intentionnels du système existant, incluant une estimation raisonnable et fondée sur les données probantes de ses coûts, bénéfices et arbitrages;
- une proposition quant au calendrier de déploiement et à l'ampleur des changements de technologie, d'infrastructure et de comportement (i.e. la trajectoire) requis pour réussir la transition, fondée sur les données probantes;
- la traduction de la description de la trajectoire en leviers politiques quantifiables qui peuvent être intégrés au modèle informatique du système actuel, de manière à simuler sa transition vers un système faible en carbone;
- l'évaluation des résultats de la modélisation et l'ajustement de la trajectoire, si nécessaire;
- l'identification et l'évaluation des instruments politiques qui pourraient être utilisés pour inciter et diriger le déploiement de la trajectoire choisie.

Qu'elles soient le produit de la modélisation visant à répondre aux questions de l'**Encadré 1** ou les contraintes de départ de modèles exploratoires visant à générer des options politiques permettant de répondre aux questions de l'**Encadré 2**, les trajectoires sont importantes pour les raisons suivantes :

- Elles précisent le calendrier et les conditions de mise en œuvre des instruments politiques;
- Elles identifient les éventuels gagnants et perdants des changements de systèmes, permettant ainsi aux décideurs de concevoir des stratégies d'atténuation d'impact en amont;
- Elles fournissent des mesures pour évaluer le progrès vers les objectifs sociétaux; et
- Elles permettent d'encourager la participation du public à la définition d'une vision collective et positive de l'avenir.

« Nous ne pouvons prédire l'avenir, mais nous pouvons l'inventer »

—Dennis Gabor, lauréat du prix Nobel (physique, 1971)

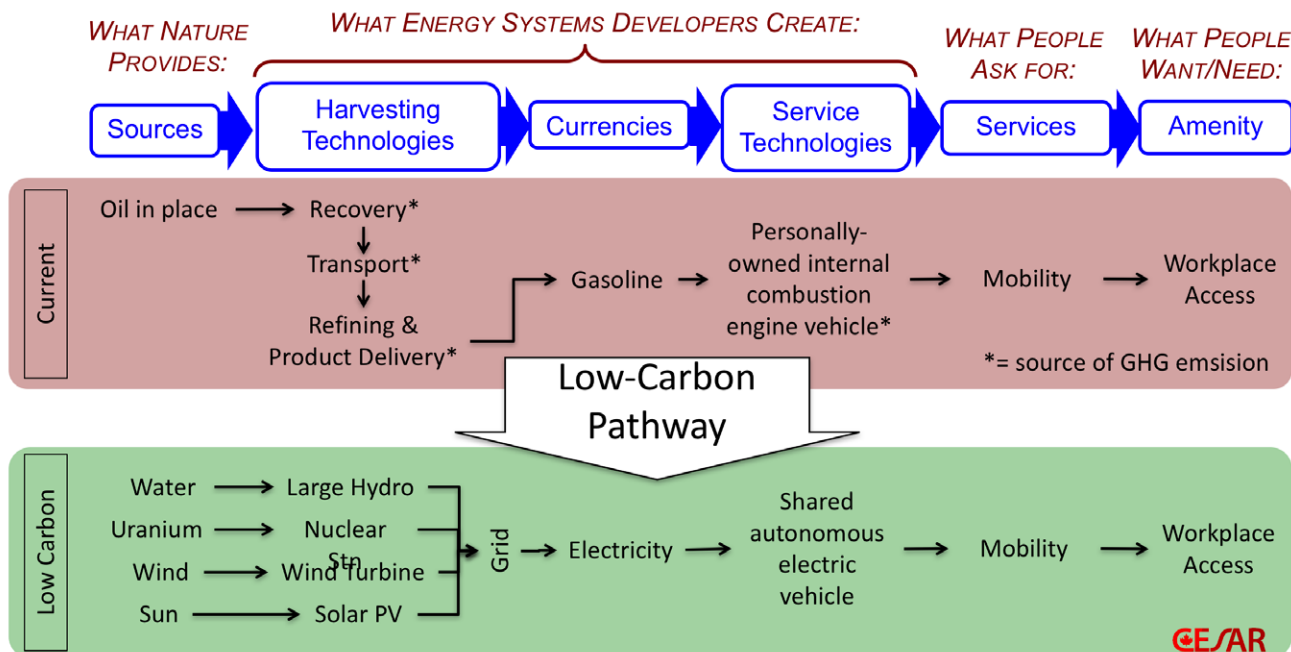


Figure 3. La structure des systèmes énergétiques présentant deux flux énergétiques en mesure de satisfaire le besoin de mobilité personnelle et d'accès aux lieux de travail. Une trajectoire faible en carbone préciserait la séquence et le calendrier des changements de technologie, d'infrastructure et de comportement en mesure de réussir la transition vers le système énergétique faible en carbone. Plusieurs trajectoires peuvent mener à la transition escomptée.

Évaluer les trajectoires faibles en carbone

Quel que soit le processus par lequel elles ont été générées, toutes les trajectoires ne sont pas toutes d'égale valeur. Nous offrons ici trois critères qui devraient être retenus par les innovateurs, les modélisateurs, les analystes et les décideurs pour évaluer les trajectoires proposées et déterminer si elles devraient être considérées pour l'avenir ou si elles méritent qu'on y investisse des ressources privées et publiques :

A. La trajectoire est-elle crédible ?

Pour qu'elles soient susceptibles d'être déployées, les trajectoires doivent être crédibles sur plusieurs plans, dont :

- **Technologique.** Les technologies existent-elles ou est-il attendu qu'elles existent au moment où elles devraient être adoptées largement ? Quelles données probantes justifient cette attente ?
- **Économique.** Les prix attendus des nouvelles technologies, des nouvelles sources d'énergie ou des nouveaux services

sont-ils raisonnables ? Quelles données probantes justifient cette évaluation ?

- **Logistique.** Les nouvelles industries / technologies pourraient-elles être adoptées aussi rapidement qu'attendu ? Quelles données probantes au sujet des transformations historiques permettent de tirer ces conclusions ?
- **Social.** Les parties prenantes accepteront-elles les changements de technologie, d'infrastructure ou de comportement au rythme escompté ? Quelles parties prenantes sont les plus susceptibles d'une adoption précoce ? D'une adoption tardive ? Pourquoi ?
- **Politique.** Les leviers politiques requis pour réaliser le changement de systèmes seront-ils acceptables pour le public et les décideurs ? Quels éléments permettent de l'affirmer ?
- **Technologically.** Do the technologies exist or are they like

B. La trajectoire est-elle convaincante ?

En régime démocratique, le soutien populaire est indispensable pour réussir les changements de systèmes. Les trajectoires doivent par conséquent être convaincantes et attrayantes. À tout le moins, l'avenir auquel mène la trajectoire doit susciter l'intérêt et le soutien des parties prenantes. Par exemple :

- **Commodité.** Le changement de systèmes envisagé générera-t-il plus de commodité ?
- **Confort / plaisir.** Améliorera-t-il le confort ou le plaisir des parties prenantes ?
- **Communauté.** Améliorera-t-il la communauté au sein de laquelle les parties prenantes résident ou travaillent ?
- **Rentabilité.** Permettra-t-il d'économiser voire de générer des rendements pour les individus, les familles, les communautés et les entreprises affectés ?
- **Statut social.** Améliorera-t-il (ou à tout le moins préservera-t-il) le statut social des principales parties prenantes ?

C. La trajectoire rapproche-t-elle le Canada de ses cibles ?

L'atteinte des objectifs du Cadre pancanadien en matière de prospérité économique et d'engagements climatiques est la motivation première pour définir, préciser, puis s'efforcer de mettre en œuvre une trajectoire.

Par conséquent, il est impératif de choisir une trajectoire qui aidera le Canada à atteindre ses cibles de réduction des émissions de GES. On peut en effet concevoir une trajectoire crédible et convaincante ayant des bénéfices économiques et environnementaux importants, mais qui échouerait néanmoins à contribuer aux objectifs à long terme du Cadre pancanadien. Les ressources politiques et financières qui seraient consenties à une telle trajectoire cul-de-sac seraient investies en vain. Non seulement cette trajectoire serait-elle un gaspillage de temps et de ressources, mais elle pourrait conduire à un échec sur le plan climatique.

« une trajectoire faible en carbone idéale pour atteindre les objectifs du Cadre pancanadien est crédible, convaincante et susceptible de mener à l'atteinte de la cible de réduction des émissions de GES à long terme »

La **Figure 4** illustre cet argument en considérant pour cible l'atteinte d'un sommet de 1000 mètres. L'ascension d'une montagne voisine de 300 mètres peut sembler être la réalisation des premiers 30% de la cible. Mais puisque aucune crête ne relie les deux sommets, il est nécessaire de redescendre dans la vallée pour choisir ensuite un des sentiers menant au sommet de 1000 mètres.

Lorsqu'ils font la promotion d'innovations technologiques, sociales ou économiques, leurs partisans ne manquent pas d'en souligner les avantages environnementaux et économiques. Ils omettent généralement d'identifier comment leurs innovations s'inscrivent dans une trajectoire faible en carbone menant vers la cible climatique à long terme. Les décideurs doivent pour cette raison faire preuve de circonspection lorsqu'ils déterminent les critères de sélection des technologies faibles en carbone. La réduction additionnelle des émissions n'est pas un critère suffisant. Il faut également prendre en considération comment l'innovation s'inscrit dans une trajectoire plus générale vers la viabilité.

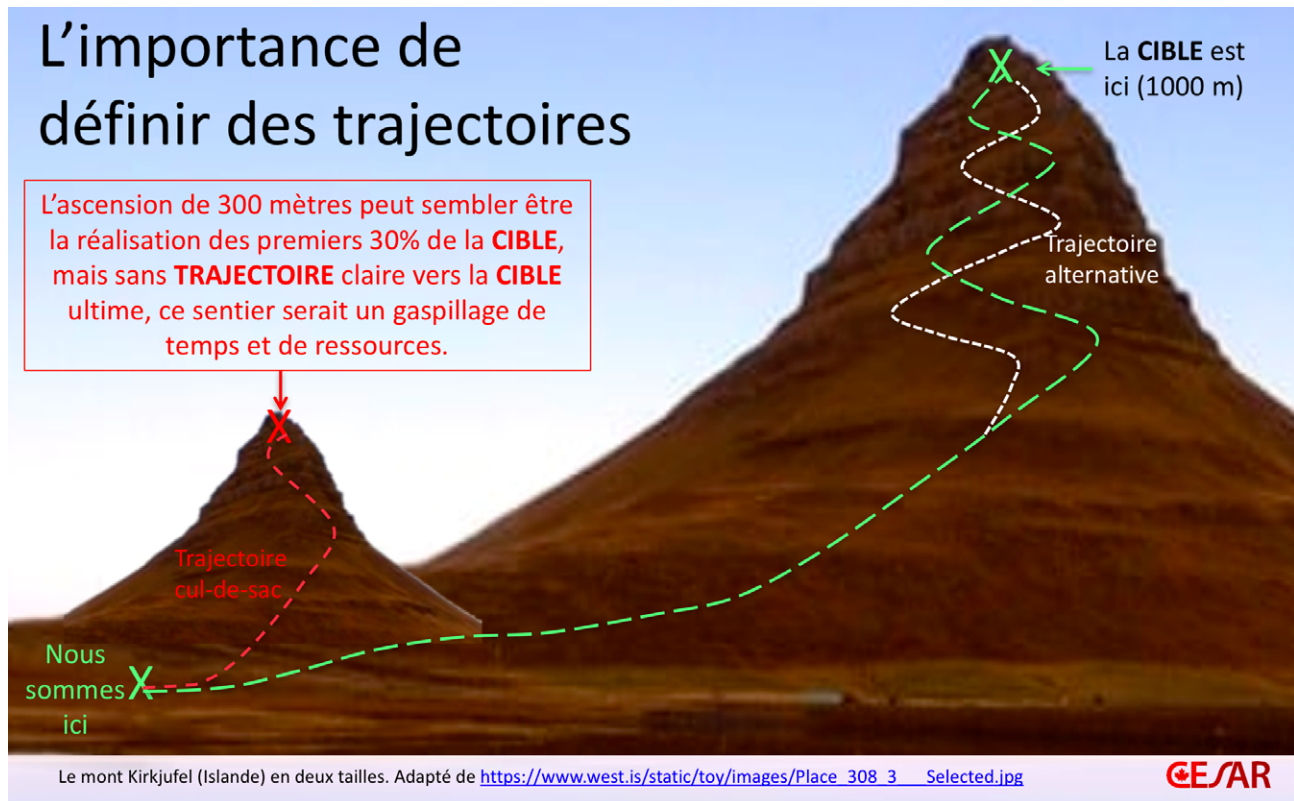


Figure 4. Dans cette illustration, la cible de réduction des émissions de GES est représentée par l'atteinte d'un sommet de 1000 mètres. L'ascension d'une montagne voisine permet d'atteindre un sommet de 300 mètres, mais elle ne constitue pas un avancement vers la destination finale. L'ascension du petit sommet risque donc d'utiliser du temps et des ressources en vain.

En bref, une trajectoire faible en carbone idéale pour atteindre les objectifs du Cadre pancanadien est crédible, convaincante et susceptible de mener à l'atteinte de la cible de réduction des émissions de GES à long terme.

5.2. De nouveaux instruments pour le changement de systèmes

L'atteinte des objectifs du Cadre pancanadien exigera une transformation profonde des systèmes anthropogéniques. Il a été souligné plus haut (Section 3.1) qu'il sera extrêmement difficile – voire impossible – de réaliser de tels changements en ayant exclusivement recours aux instruments conventionnels de gestion des émissions de GES. De nouveaux instruments doivent être utilisés pour réussir le changement de systèmes et garantir que les changements qui

surviennent sont harmonisés avec les objectifs sociétaux, dont la gestion des émissions de GES – mais sans s’y limiter.

Heureusement, plusieurs autres outils existent puisque nos systèmes anthropogéniques laissent à désirer à plusieurs égards. Certains systèmes sont dangereux, alors que d’autres sont inefficaces, excessivement coûteux, délétères pour le tissu social ou dommageables pour la santé physique et mentale.

En remédiant à ces lacunes, les innovateurs et les décideurs peuvent rapidement mettre en œuvre des changements dans les systèmes anthropogéniques qui sont susceptibles d’être influencés ou dirigés pour atteindre des objectifs sociétaux tels que la gestion des émissions de GES. La société pourrait ainsi non seulement faire d’une pierre deux coups, mais le soutien public et la viabilité économique est susceptible d’être meilleure pour de tels changements que pour des instruments politiques qui ne font que cibler la gestion des émissions de GES.

Le cas de la mobilité des personnes en Amérique du Nord illustre bien ces opportunités. Au Canada, l’utilisation des véhicules légers est responsable d’importantes émissions de GES (82 Mt CO₂e/an en 2015) qui résistent jusqu’à présent aux instruments politiques conventionnels tels que les normes de performance pour l’efficacité des véhicules, les normes de propreté des carburants, les taxes sur les carburants intensifs en carbone et les investissements majeurs dans les infrastructures ou le matériel de transport collectif. Entre 1990 et 2015, les émissions de GES per capita en provenance des véhicules légers n’ont chuté que de 9,5% alors que les émissions totales de ce secteur ont augmenté de 17% [8]. L’utilisation d’instruments de gestion des émissions de GES n’a manifestement pas généré une réduction d’émissions suffisante pour atteindre les cibles antérieures (**Figure 1**).

En outre, les systèmes canadiens de transport routier et de mobilité des personnes ont d’autres inconvénients que les émissions de GES, et chacun d’entre eux pourrait justifier un changement systémique

*« De nouveaux instruments
doivent être utilisés pour réussir
le changement de systèmes et
garantir que les changements
qui surviennent sont harmonisés
avec les objectifs sociétaux, dont
la gestion des émissions de GES –
mais sans s’y limiter. »*

substantiel. Parmi ces inconvénients, on compte notamment les accidents routiers (dont plus de 90% sont dus à l'erreur humaine) [9], la congestion et les longs trajets entre le domicile et le lieu de travail (perte de productivité) [10], la valorisation inadéquate du matériel roulant (les véhicules personnels ne sont en usage que 4% du temps) [10], le stationnement (coûteux et ayant des impacts délétères sur l'aménagement urbain) et la pollution de l'air (effets néfastes sur le bilan de santé publique) [11].

Bon nombre des plus grandes sociétés du monde reconnaissent aujourd'hui les lacunes du système actuel de mobilité des personnes et investissent des milliards de dollars dans le développement de nouvelles technologies comme la conduite autonome, l'autopartage et l'électrification des véhicules. La façon dont ces technologies seront déployées déterminera lesquels des inconvénients mentionnés ci-haut pourront être éliminés et dans quelle mesure l'atteinte des engagements du Canada en matière de réduction des émissions de GES sera facilitée ou entravée [12, 13].

Mieux comprendre et modéliser les changements profonds et perturbateurs permettra de fournir aux décideurs de nouveaux instruments pour inciter ou orienter les changements de systèmes pour atteindre les cibles économiques et environnementales établies dans le Cadre pancanadien.

« Mieux comprendre et modéliser les changements profonds ... permettra de fournir aux décideurs de nouveaux instrument pour ... orienter le changement de systèmes pour atteindre les cibles économiques et environnementales établies dans le Cadre pancanadien. »

5.3. Comblant lacune en capacités de modélisation

Dans un monde caractérisé par un rythme de changement soutenu, la compétitivité du Canada dépendra de la capacité des gouvernements et des industries à comprendre la nature de ces changements avant qu'ils ne se matérialisent et à prendre des décisions politiques et des décisions d'investissement qui sont dans l'intérêt supérieur du Canada et de sa population. La modélisation et les analyses du changement de systèmes seront d'une importance capitale pour

fournir aux décideurs des perspectives cruciales et fondées sur les données probantes.

Il existe au Canada une capacité de modélisation du changement de systèmes, notamment dans les universités et les firmes de consultants. Mais la capacité nationale de modélisation n'est pas très avancée et il existe peu, voire pas d'interactions entre les différentes équipes de recherche actives. Lorsque les sociétés ou le gouvernement engagent des analystes de politiques, peu d'entre eux voire aucun ne possède une expertise dans la modélisation des changements de systèmes.

Il faut voir à rapidement combler les lacunes en capacités de modélisation. Le Canada devrait assurer la formation en changements de systèmes d'un nombre plus important d'étudiants des cycles supérieurs, provenant de disciplines variées comme les sciences économiques, le génie, les affaires, ainsi que sciences naturelles et sociales. Ces programmes devraient aussi offrir aux étudiants une excellente opportunité de travailler en collaboration avec l'industrie et les gouvernements pour mener des recherches portant sur des enjeux concrets qui affectent les sociétés.

Nous avons également besoin de meilleurs modèles. Tel qu'il a été mentionné précédemment (**Sections 3 et 4**), la plupart des modèles de systèmes énergétiques ont été conçus à l'origine pour faire face à des préoccupations relatives à la sécurité énergétique et sont adaptés pour répondre aux questions présentées dans l'**Encadré 1**, et très peu d'entre eux peuvent répondre pleinement aux questions présentées dans l'**Encadré 2**. En outre, tous les modèles requièrent une mise à jour continue pour prendre en considération les données historiques ainsi que la multitude de nouvelles technologies, infrastructures, comportements et modèles d'affaires qui forment nos systèmes anthropogéniques.

Au Canada, le développement des ressources énergétiques est une responsabilité provinciale. Ceci milite en faveur d'efforts soutenus de modélisation des systèmes énergétiques dans toutes les provinces et territoires. Bien que le gouvernement fédéral devrait assumer un rôle actif dans l'établissement de normes et renforcer la demande pour le changement de systèmes en modifiant la structure d'incitatifs, la diversité et les particularités régionales rendent impraticable une solution uniforme. La constitution d'une expertise diversifiée et répartie géographiquement est d'autant plus importante que chaque région a ses propres défis et opportunités.

À l'issue des rencontres de travail (**Annexe 1**), il était de l'avis général que le Canada a besoin d'une communauté dynamique de

modélisateurs et d'analystes des changements de systèmes, dont les contributions seraient continuellement mises à l'épreuve, évaluées et améliorées. Les universités ne créeront cette communauté que si elles ont la certitude qu'il s'agit d'un champ de recherche prioritaire et que des subventions de recherche sont disponibles pour soutenir les efforts de leurs chercheurs.

L'idée d'une institution permanente et indépendante chargée de fournir des avis fondés sur les données probantes aux gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux est conforme aux recommandations formulées dans un récent rapport du Mowat Centre (University of Toronto) [14].

Nous devons aussi garantir que les chercheurs interagissent non seulement entre eux, mais également avec les parties prenantes du gouvernement et de l'industrie, ainsi que les membres intéressés du public, notamment par le biais des activités suivantes :

- ateliers et conférences ;
- comités nationaux, régionaux ou sectoriels pour identifier les priorités de RDD&D et coordonner les efforts ;
- panels d'experts pour fournir des avis aux gouvernements (ex. : tel que le CCC du Royaume-Uni [19]) ;
- programmes et cours pour former les étudiants des cycles supérieurs et les analystes de politiques à l'emploi des gouvernements ;
- sites Web transparents et accessibles au public pour rendre disponibles des ressources et les résultats de la recherche ;
- documents de réflexion, rapport et publications scientifiques évaluées par les pairs.

Une communauté travaillant en réseau et similaires à la Whole System Energy Modelling Consortia [15] au Royaume-Uni est un modèle d'organisation qui pourrait être émulé et qui mérite plus ample considération.

« le Canada a besoin d'une communauté dynamique de modélisateurs et d'analystes des changements de systèmes, dont les contributions seraient continuellement mises à l'épreuve, évaluées et améliorées »

5.4. Mettre les modèles à niveau

Tel que souligné précédemment (**Section 4**), presque tous les modèles des systèmes énergétiques construits pour le Canada sont la propriété du gouvernement ou d'entreprises du secteur privé. Et bien que les ministères du gouvernement aient parfois leurs propres modèles, ils ont le plus souvent recours aux consultants pour en assurer développement. En outre, la majorité des modèles qui ont été développés par des universités (habituellement en utilisant des fonds de recherche publics) sont aujourd'hui la propriété de firmes de consultants et par conséquent ne sont plus transparents, ni susceptibles d'être améliorés par des collaborateurs externes.

Les ministères n'ont pas davantage le mandat ni les ressources pour soutenir l'accès libre à leurs modèles, notamment pour faciliter l'accès des chercheurs externes au gouvernement. Les sociétés du secteur privé offrent à leurs clients un accès aux modèles en suivant le principe de la rémunération des services et les clients peuvent décider de ne pas rendre publics les résultats de la modélisation, ce qui en limite l'accès.

Ceci implique que rares sont les chercheurs qui utilisent ces modèles, que la majeure partie des efforts de modélisation sont conduits en compétition plutôt qu'en collaboration et qu'il est très difficile de réaliser une évaluation critique et équitable des forces et faiblesses de n'importe quel modèle. (Il convient de rappeler que les médias ont récemment souligné l'existence de problèmes similaires avec la modélisation australienne des systèmes énergétiques [16]).

L'absence de modèles en accès ouvert et en source ouverte crée une barrière à l'entrée des nouveaux chercheurs en modélisation et en analyse des dynamiques de changement de systèmes. Ceci implique également que les modèles existants ne sont pas aussi performants qu'ils pourraient l'être.

Les modèles de systèmes sont complexes et ils nécessitent des améliorations continues pour intégrer les données les plus récentes ainsi que les nouvelles technologies, infrastructures, modèles d'affaires et comportements. Les modèles à jour doivent également être mis à l'épreuve avec de nouvelles options politiques ou de nouvelles idées de trajectoires de changement de systèmes. Des travaux de cette nature sont susceptibles de constituer une excellente opportunité de formation pour les étudiants des cycles supérieurs. Or pour cela les étudiants doivent pouvoir compter sur un plein accès aux modèles qu'ils auront maîtrisés durant leur cheminement lorsqu'ils accepteront une offre d'emploi au gouvernement, dans l'industrie ou dans les universités.

Idéalement, la communauté des chercheurs canadiens pourrait utiliser en accès libre plusieurs modèles capables d'explorer les dynamiques de changement de systèmes. Ces modèles seraient la propriété ou à tout le moins seraient gérés par une organisation à but non lucratif ayant pour mandat de :

- garantir que les modèles sont bien documentés, transparents et ouverts à la modification pour fins d'amélioration (c.à.d. en source libre) par des individus qualifiés (chaque modèle pourrait être géré par un comité de personnes compétentes et engagées, qui suivraient un ensemble de principes et de politiques définies par l'organisation) ;
- encourager les chercheurs, les consultants et les législateurs à utiliser leur(s) modèle(s) et à contribuer à leur amélioration continue en vertu d'un contrat de licence approprié, tels que ceux définis par Creative Commons [17]. Dans un tel cadre, les améliorations apportées et les apprentissages effectués dans un groupe de recherche seront partagés avec les autres équipes de recherche établies au Canada ;
- coordonner et offrir du soutien pour les études comparatives à l'occasion desquelles plusieurs modèles (tant ceux gérés par l'organisation que des modèles externes) sont mis à l'épreuve pour répondre à une question (similaire au Energy Modelling Forum de la Stanford University [18]). Les comparaisons de modèles permettront de communiquer aux décideurs la robustesse des résultats de modélisation et à montrer comment les structures sous-jacentes des modèles et les hypothèses influencent les résultats ;
- offrir du financement partiel ou complet à la recherche évaluée par les pairs visant à modéliser et analyser des questions issues de programmes de recherche indépendants ou formulées par des parties prenantes du gouvernement et de l'industrie. Le financement pour de tels projets exigerait un contrat de licence approprié [17] ;

« Idéalement, la communauté des chercheurs canadiens pourrait utiliser en accès libre plusieurs modèles capables d'explorer les dynamiques de changement de systèmes. »

- bâtir une communauté dynamique de modélisateurs et d'analystes des systèmes avec des activités telles que celles proposées à la **Section 5.3**.

Le financement pour ces activités devrait provenir de l'organisation, et il serait possible pour les chercheurs universitaires d'obtenir des fonds des organismes subventionnaires fédéraux (le CRSNG et/ou le CRSH) pour offrir un processus de l'évaluation par les pairs de qualité supérieure. Il est également important que l'organisation collabore avec des organisations à but non lucratif accrédités et des firmes de consultation pour honorer son mandat.

Il est important de souligner qu'il y a également des avantages à ce que les modèles des dynamiques de changement de systèmes demeurent dans le secteur privé, puisqu'alors leur propriétaire prend la pleine responsabilité de leur développement et de leur mise à jour. Un défi important pour l'organisation consistera à déterminer quels types de modèles devraient être acquis et quels types devraient être construits.

Le Climate Change Committee (CCC) [18] du Royaume-Uni a lié avec succès la modélisation des systèmes énergétiques à la provision de soutien à la prise de décision politique. Constitué par une loi du parlement, le CCC a pour mandat explicite de fournir des informations et des avis indépendants au gouvernement. Sa recherche a principalement porté sur les questions présentées dans l'Encadré 1. L'organisation a notamment (a) une politique de transparence complète au niveau des hypothèses et des résultats, et (b) une politique de documentation et d'explication des disparités de résultats de modélisation observées entre les modèles. En outre, le CCC collabore étroitement avec le gouvernement pour contribuer à des travaux de nature analytique, soit pour diminuer le désaccord lié à des enjeux spécifiques, soit pour communiquer le désaccord sur d'autres enjeux qui méritent une attention plus soutenue. Le Canada pourrait tirer profit d'une organisation similaire.

6. Recommandations

Combinant les objectifs de prospérité économique et de réduction substantielle des émissions de GES, le Cadre pancanadien [4] souligne également l'importance de collaborer avec « *des experts externes pour donner des conseils éclairés* », s'appuyant sur « *des données scientifiques et probantes* », aux « *Premiers ministres et aux décideurs* ».

Ce rapport fait le bilan des délibérations tenues à l'occasion de divers ateliers (**Annexe 1**) afin d'imaginer comment la communauté de chercheurs canadiens pourrait offrir des avis experts indépendants susceptibles d'aider les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux du Canada à atteindre les objectifs du Cadre pancanadien.

Voici les recommandations issues de ce travail :

1. Les efforts actuels consentis par les ministères du gouvernement pour améliorer la qualité, la quantité et l'accessibilité des données portant sur les systèmes énergétiques devraient être salués et soutenus.
2. Le gouvernement fédéral devrait prendre l'initiative d'établir une nouvelle organisation indépendante [nom suggéré : **Institut canadien sur le changement climatique et la croissance propre (Institut C4P)**] ayant pour mandat de développer les capacités de modélisation et d'analyse des dynamiques de changement de systèmes au Canada. Il fournirait aux gouvernements (fédéral, provinciaux, territoriaux et municipaux) des analyses indépendantes s'appuyant sur les données probantes et scientifiques, des options politiques et des avis experts quant aux meilleures manières d'honorer leurs engagements liés au Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques.
3. L'**Institut C4P** devrait être indépendant du gouvernement et bénéficier d'un engagement de financement à long terme (10 ans), idéalement sous la forme d'une dotation créée par les contributions des gouvernements fédéral et provinciaux. La gouvernance de l'Institut serait assurée par un conseil d'administration indépendant composé de experts plutôt que de parties prenantes. L'ouverture, la transparence, la fiabilité et la crédibilité feraient partie de ses valeurs fondamentales.

4. Parmi les activités de l'**Institut C4P**, on compterait notamment :

- le renforcement des capacités de modélisation et d'analyse des dynamiques de changement de systèmes, avec une attention particulière aux systèmes anthropogéniques responsables des émissions de GES anthropogéniques du Canada;
- la coordination et le soutien du développement, de la mise à jour et de l'utilisation d'une gamme de modèles aptes à projeter des scénarios pour le Canada et ses régions, portant notamment sur l'évolution de l'offre et de la demande énergétiques, ainsi que des émissions de GES;
- l'organisation d'ateliers, de conférences, de cours et de comités, et susciter la participation d'experts, de stagiaires et de multiples parties prenantes afin d'assister l'Institut dans sa mission;
- la production d'avis et de perspectives utiles, rigoureuses et fondées sur les données probantes, qui sont non-partisans et sensibles aux différences et similarités régionales;
- la communication pleine, transparente et en temps opportun de ses recherches, idées et avis aux parties prenantes et au public.

5. Les perspectives utiles pour les politiques incluraient notamment :

- la projection de l'offre et de la demande énergétique et des émissions de GES attendues, compte tenu des politiques et des engagements actuels;
- les politiques supplémentaires qui pourraient être requises pour combler l'écart entre les politiques actuelles et les cibles, ainsi que leurs coûts, les bénéfices et les arbitrages;
- la probabilité que les politiques en vigueur et les politiques proposées aient les résultats escomptés pour atteindre des cibles prédéfinies.

En soutenant les objectifs du Cadre pancanadien, l'**Institut C4P** aidera toutes les régions du Canada à améliorer leur prospérité économique et leur compétitivité, tout en contribuant de manière substantielle à la provision d'un système climatique stable et sain pour les générations futures.

Références

- [1] Organisation des Nations Unies. 2015. « L'Accord de Paris », <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/fre/l09f.pdf>
- [2] Peters, Andrew, Solomon et Freidlingstein. 2015. Measuring a fair and ambitious climate agreement using cumulative emissions. Environ. Res. Lett 10: 105004, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/10/105004>
- [3] Bureau du Vérificateur général du Canada. 2017. « Rapport 1 — Progrès vers la réduction des gaz à effet de serre — Environnement et Changement climatique Canada », http://www.oag-bvg.gc.ca/internet/Francais/parl_cesd_201710_01_f_42489.html
- [4] <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/meteo/changementsclimatiques/cadre-pancanadien/plan-changement-climatique.html>
- [5] Fondation Ivey et Ressources naturelles Canada. 2017. « The Pathways, Forecasting and Energy Data Experts Workshop », Rapport de synthèse, Ottawa, Canada. Le 12 septembre 2017.
- [6] Cox et Alm. 2016. « Onward and Upward! Bet on capitalism – It works », O'Neil Centre for Global Markets and Freedom, SMU Cox School of Business. Rapport annuel 2015-16, https://www.smu.edu/-/media/Site/Cox/CentersAndInstitutes/ONeilCenter/Research/AnnualReports/2016_annual_report_full.ashx?la=en
- [7] IET. 2017. « Pour une initiative permanente de modélisation des systèmes énergétiques canadiens », Institut de l'énergie Trottier (IET), Montréal, Canada, <http://iet.polymtl.ca/publications/initiative-permanente-modelisation-systemes-energetiques-canadiens/>
- [8] Calculé avec les données du Rapport national d'inventaire (Environnement et changement climatique Canada) et des données du recensement (Statistique Canada), <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a47>
- [9] Gill, Kirk, Godsmark et Flemming. 2015. « Automated Vehicles: The Coming of the Next Disruptive Technology », Ottawa, Canada. Le Conference Board du Canada, <http://www.conferenceboard.ca/e-library/abstract.aspx?did=6744>
- [10] Arbib et Seba. 2017. « Rethinking Transportation 2020 – 2030 – A RethinkX Sector Disruption Report », mai 2017, <https://www.rethinkx.com/transportation>

- [11] Smith et McDougal. 2017. « Costs of Pollution in Canada: Measuring the impacts on families, businesses and governments », International Institute for Sustainable Development, <http://www.iisd.org/library/cost-pollution-canada>
- [12] Wadud, MacKenzie et Leiby. 2016. « Help or hindrance? The travel energy and carbon impacts of highly automated vehicles », Transportation Research Part A 86: 1-18, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856415002694?via%3Dihub>
- [13] KPMG 2015. « The Clockspeed Dilemma: What does it mean for automotive innovation? Forecasts up to a trillion more vehicle miles travelled with autonomous vehicle as average vehicle occupancy may go below 1.0. », <https://home.kpmg.com/ca/en/home/insights/2016/03/the-clockspeed-dilemma.html>
- [14] Hartmann, Holden et Urban. 2017. « The Road to Paris. Navigating the intergovernmental Path to our climate change commitments », The Mowat Centre, University of Toronto, <https://mowatcentre.ca/the-road-to-paris/>
- [15] Whole System Energy Modelling Consortia (WholeSEM). <http://www.wholesem.ac.uk>
- [16] Saddler. 2017. « Explainer: Why we shouldn't be so quick to trust energy modelling », 28 novembre 2017, <https://theconversation.com/explainer-why-we-shouldnt-be-so-quick-to-trust-energy-modelling-88228>
- [17] Creative Commons, <https://creativecommons.org/licenses/>
- [18] Energy Modelling Forum, Stanford University, <https://emf.stanford.edu>
- [19] Committee on Climate Change, Royaume-Uni, <https://www.theccc.org.uk>
- [20] Davis. 2017. « The Development of a Technology-Explicit Bottom-Up Integrated Multi-Regional Energy Model of Canada », mémoire de maîtrise, University of Alberta. https://era.library.ualberta.ca/files/cht24wj84j/Davis_Matthew_B_201709_MSc.pdf
- [21] <https://www.energycommunity.org/default.asp?action=introduction>
- [22] <https://www.eia.gov>
- [23] <https://www.ceri.ca>

ANNEXES

Annexe 1. Sommaire des initiatives ayant mené à ce rapport

Les initiatives ci-après ont été rendues possibles grâce à l'appui financier et logistique de certaines organisations : *Clean Economy Fund*, Conference Board du Canada, *Edmonton Community Foundation*, *Energy Future Laboratory*, Fondation familiale Trottier, Fondation Ivey, Office national de l'énergie, Ressources Naturelles Canada.

Le 5 avril 2016, Montréal

Présentation des résultats du *Projet Trottier pour l'avenir énergétique*

Hôte : L'Institut de l'énergie Trottier

Sommaire : Le Projet Trottier pour l'avenir énergétique représente une analyse globale et quantitative de l'ingénierie des systèmes énergétiques futurs du Canada, avec un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 80 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990. L'étude a été réalisée à l'aide de deux modèles quantitatifs détaillés pour quantifier les émissions issues de la combustion et calibrés à partir de données historiques.

URL : <http://iet.polymtl.ca/tefp/>

Le 12 mai 2016, Ottawa

Informing Canadian Policies on Canadian Greenhouse Gas Emissions Reduction Through Modelling Workshop

Hôte : Le Conference Board du Canada

Sommaire : Lors de cet atelier sur invitation seulement, les présentateurs et les participants ont partagé pendant une journée complète leurs perspectives sur les meilleures stratégies pour soutenir la prise de décision par la modélisation. Parmi les sujets abordés, on retient : les modèles, les approches de modélisation, les résultats de modélisation et l'aide à la décision politique.

URL : <http://www.ivey.org>

Août 2016

Entretiens avec des acteurs clés de l'atténuation des changements climatiques

Animateur : Ken Ogilvie

Sommaire : Série d'entretiens réalisés pour explorer les options institutionnelles disponibles pour informer la création d'un Comité national consultatif qui aurait un mandat et une structure similaires à ceux d'autres organisations phares chargées de trouver des solutions au défi climatique. L'accent a été mis sur les institutions compatibles avec le cadre de gouvernance canadien impliquant les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux. Parmi les organisations évaluées, on retient : le *Committee on Climate Change* du Royaume-Uni, le *California Air Resources Board* et le *Governor's Council on Climate Change* du Connecticut.

URL : <http://www.Ivey.org>

Décembre 2016, Calgary

Scenarios for Alberta's Energy Future

Hôte : Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR) Initiative, University of Calgary

Sommaire : Une séance de présentation d'affiches et une réception pour près de 170 participants, visant à souligner les réalisations du CESAR au cours de l'année 2016. Le CESAR étudie les trajectoires de décarbonisation à forte composante technologique.

URL : <http://www.cesarnet.ca/publications/posters>

Janvier 2017, Montréal & février 2017, Calgary

Canadian Energy Information Organisation Design Charrettes

Promoteur : La Fondation Ivey et la Fondation familiale Trottier

Hôte : L'Institut de l'énergie Trottier (IET), la Chaire de gestion du secteur de l'énergie à HEC Montréal et le Canadian Energy Research Institute (CERI)

Sommaire : Ces deux charrettes ont réuni un large éventail de parties prenantes du secteur de l'énergie et d'organisations gouvernementales pour collaborer à la formulation d'une proposition en faveur d'une nouvelle initiative de données énergétiques. Consultez l'Annexe 2 pour prendre connaissance des principales réalisations de ces sessions.

URL : <http://www.ceri.ca/ceio>

Le 12 septembre 2017, Ottawa

The Pathways, Forecasting and Energy Data Experts Workshop
(Generation Energy)

Hôte : La Fondation Ivey et Ressources naturelles Canada

Sommaire : Cet atelier sur invitation a rassemblé des experts des données énergétiques et de la modélisation. Ils ont offert des présentations sur les résultats des modèles actuellement utilisés pour caractériser l'avenir énergétique du Canada, l'éventail des pratiques de modélisation de l'énergie au Canada et leur limites, l'état actuel des données énergétiques au Canada et les défis à relever dans ces domaines.

URL : <http://www.ivey.org>

Le 12 octobre 2017, Winnipeg

Just the Facts: Evidence Based Energy Strategies (Generation Energy
Forum Concurrent Session)

Hôte : Ressources naturelles Canada

Sommaire : Une table ronde portant sur l'importance des données transparentes et précises et de la modélisation comme appui à la prise de décisions relatives à l'avenir canadien.

URL : <http://www.nrcan.gc.ca/20093>

Décembre 2017, Montréal

Le rôle de l'université dans la stratégie de transition énergétique
(mémoire de consultation publique)

Auteur : L'Institut de l'énergie Trottier (IET)

Sommaire : Mémoire déposé dans le cadre de la consultation lancée par Transition énergétique Québec (TEQ) en amont de l'élaboration de son premier plan directeur. Il vise notamment à rappeler le potentiel de savoir et d'analyse que représente la communauté universitaire pour appuyer une transformation de société aussi profonde que celle qu'il nous faut mener au cours des prochaines décennies.

URL : <http://iet.polymtl.ca/publications/role-universite-strategie-transition-energetique/>

Décembre 2017, Calgary

Pathways to Sustainability: Canada's Energy Future

Hôte : Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR) Initiative, University of Calgary

Sommaire : Une séance de présentation d'affiches et une réception pour près de 160 participants, visant à souligner les réalisations du CESAR au cours de l'année 2017.

URL : <http://www.cesarnet.ca/publications/posters>

Annexe 2. Pour une organisation responsable des données énergétiques canadiennes

On observe au cours des dernières années une augmentation du nombre de chercheurs et d'analystes qui s'efforcent de comprendre les systèmes énergétiques, de prédire ou de projeter des scénarios énergétiques et qui évaluent ou proposent des options politiques pour la gestion des gaz à effet de serre (GES).

L'absence de données historiques ou la piètre qualité des données disponibles pour le Canada et les provinces a été contrariante pour les chercheurs et les analystes, notamment lorsqu'ils observent les accomplissements impressionnants de la Energy Information Administration américaine (EIA, [22]). Cette situation a mené à des appels en faveur de la mise sur pied d'une organisation responsable de la collecte et la diffusion de données de grande qualité sur les systèmes énergétiques canadiens (nom de travail proposé : **Canadian Energy Information Organization (CEIO)**).

Le **Canadian Energy Research Institute (CERI)** [23] a pris le rôle de chef de file des efforts visant à comprendre et caractériser la situation des données énergétiques canadiennes, et à bâtir un consensus national relatif à la nécessité de mettre sur pied une organisation responsable de la collecte et la diffusion de données de grande qualité sur les systèmes énergétiques canadiens. Cette annexe résume les nouvelles idées et les recommandations produites à l'issue d'une série d'ateliers et de consultations portant sur cet enjeu.

A2.1 Enjeux des données énergétiques

- **Manque de données.** Au nombre des aspects problématiques identifiés lors des rencontres, on compte : les données sur les nouvelles technologies, la cogénération, les source d'énergie renouvelable, l'infrastructure de transport de l'énergie et le potentiel de stockage énergétique.
- **Données incohérentes.** Au nombre des défis identifiés, on compte notamment : l'existence de plusieurs fournisseurs de données (départements et ministères provinciaux et fédéraux, associations industrielles, etc.) qui utilisent de multiples définitions pour les mêmes termes, différentes méthodes de collecte et de gestion de données, différentes périodes, régions ou secteurs d'activités pour le suivi. À titre d'exemple, il y a plus de 10 définitions pour les émissions de

GES selon le secteur d'activité, les expressions « consommation finale » et « consommation pour utilisation finale » portent à confusion, de même que « bilan énergétique » et « comptabilité énergétique » employées différemment par les fournisseurs de données.

- **Données de qualité variable.** Certains résultats ou informations qui apparaissent contradictoires sont en réalité la conséquence d'erreurs commises lors du passage des sources primaires aux sources secondaires ; les données ne reposent pas toutes sur les mêmes méthodes de collecte. L'évaluation de 26 indicateurs de données énergétiques provenant de sources variées montre que 42% d'entre elles varient de plus de 10%.
- **Données non crédibles.** Les principaux utilisateurs de données énergétiques, dont bon nombre ont participé aux rencontres organisées par la Fondation Ivey, étaient d'avis que les données sont peu fiables, notamment en raison des problèmes soulignés ci-haut.
- **Retard dans la production des données.** Dans l'ensemble des données évaluées et utilisées en 2016, 61% avaient été produites en 2016, 9% en 2015 et 30% en 2014. En outre, la majorité des données ne sont disponibles que sur une base annuelle. Pour constituer une base de données complète, il faut évaluer plus 20 sources de données, de taille et d'importance variables.
- **Confidentialité.** Des considérations de confidentialité posent des défis importants pour la distribution des données énergétiques. Dans plusieurs cas, les considérations de confidentialité invoquées semblent arbitraires, et il y a lieu de penser que la divulgation des données ne compromettrait pas la compétitivité des industries.

Fin 2016, début 2017, le CERI s'est associé à l'Institut de l'énergie Trottier (IET) et à la Chaire en gestion du secteur de l'énergie (HEC Montréal) pour organiser deux ateliers de co-construction visant à construire collectivement une proposition de mandat pour une organisation responsable de la collecte et la diffusion de données sur les systèmes énergétiques canadiens.

Les ateliers tenus à Montréal et Calgary, rassemblèrent un large éventail de parties prenantes du secteur de l'énergie en provenance du secteur privé, du secteur public et de la société civile. De ces deux journées de travail a émergé un consensus quant à certains aspects

de la situation actuelle relative aux données énergétiques, tel que présenté ci-bas :

A2.2 Résultats et remarques

- Une quantité considérable de données énergétiques fait d'ores et déjà l'objet de collecte, d'analyse et de communication par les gouvernements, les agences de réglementation du secteur énergétique, les associations industrielles, les groupes de réflexion et d'autres organisations non-gouvernementales. Toutefois, **il n'existe pas de dépôt central ou de centre de données** où ces organisations pourraient avoir accès librement et gratuitement à des données énergétiques de grande qualité.
- Les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux reconnaissent qu'**il est nécessaire d'améliorer** la qualité et la cohérence de l'information énergétique. Le besoin pour des données énergétiques améliorées est également reconnu par de nombreux utilisateurs au Canada.
- Il est **largement reconnu** que les données actuelles sont insuffisantes pour répondre au besoin d'information complète, à jour et cohérente.
- **L'apparition de nouvelles sources de données** met à l'épreuve les méthodes traditionnelles de collecte et de communication de l'information énergétique. Ces nouvelles sources présentent également des opportunités pour l'acquisition, l'analyse et la communication des données.
- **L'amélioration de la confiance du public et des parties prenantes** dans l'information énergétique et les décisions politiques associées est un enjeu capital. La transparence des données, la gouvernance, le modèle de financement, la provision d'un service non partisan par des experts et le soutien des gouvernement fédéral et provinciaux peuvent tous contribuer à l'amélioration de la confiance.
- La Energy Information Administration (EIA) américaine et l'Agence internationale de l'énergie (AIE) peuvent servir d'exemples dignes de confiance pour constituer une **agence à guichet unique au Canada**.

Les éléments essentiels d'une organisation canadienne responsable de la collecte et la diffusion de données sur les systèmes énergétiques

ont été identifiés en s'appuyant sur la compréhension partagée de l'état actuel des données énergétiques au Canada.

Énoncé de mission :

« Fournir des données impartiales, transparentes et de qualité, et des analyses sur l'offre et la demande énergétiques afin de soutenir une discussion informée au sujet des politiques publiques portant sur l'énergie et ses impacts (environnementaux, économiques et sociaux) ».

A2.3 Principales fonctions et services

- constituer un dépôt central pour les données énergétiques – afin de simplifier l'accès à l'information, de coordonner la collecte d'informations et d'éviter la duplication des informations ;
- faciliter l'accès à des données traçables de haute qualité – il est important que les données puissent être retraçables jusqu'à leur source, et que leur processus de génération et de collecte soit documenté ;
- identifier et combler les lacunes au niveau des données – les lacunes peuvent être identifiées à l'interne ou par des agences et organisations existantes ;
- plaider en faveur de l'adoption de normes et de directives pour mener à bien la collecte des données énergétiques, et diriger la collaboration visant à définir ces normes et directives – il est nécessaire de normaliser plusieurs indicateurs du secteur de l'énergie (ex. : il y actuellement plus de 10 façons de calculer les émissions de GES) ;
- diriger le processus de médiation pour résoudre le problème de confidentialité des données – collaborer avec les producteurs d'énergie pour atténuer leurs préoccupations liés aux risques pour la compétitivité suite à la divulgation de données énergétiques ;
- mener des contrôles de qualité pour améliorer la cohérence et l'uniformité des données ;
- analyser les données historiques et identifier les tendances ;
- explorer les nouvelles sources de données ;
- produire de l'information à partir des données brutes – créer des indicateurs décrivant les tendances et les changements

(ex. : la demande énergétique par individu, ou par mètre carré) ;

- fournir des données et de l'information de qualité aux processus de réglementation et aux débats publics.

A2.4 Principales caractéristiques

- L'organisation doit être soutenue pour les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, et liée intimement avec les organisations qui œuvrent à la collecte de données énergétiques afin d'éviter le dédoublement des efforts et pour assurer le partage en temps opportun des données. Parmi les modèles de partage de données, on compte notamment l'Institut canadien d'information sur la santé (une agence indépendante qui collabore avec toutes les provinces), le Centre canadien de la statistique juridique et l'ancien programme Mesures volontaires et Registre des émissions de GES.
- L'organisation doit posséder une structure de gouvernance qui garantit son indépendance politique et son impartialité, afin de mener à bien ses fonctions essentielles de service de données.
- L'organisation devrait être dépolitisée et avoir un conseil d'administratif ou un conseil consultatif constitué d'un vaste éventail de parties prenantes afin de survivre aux cycles politiques (une stratégie également employée par la Commission sur l'écofiscalité, le Climate Change Committee britannique et Petrinex).
- L'organisation devrait être conçue comme un bien public au service de tous les Canadiens. Par conséquent, elle devrait bénéficier de financement en provenance des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux. Un financement fédéral initial pourrait éventuellement être bonifié ou remplacé en partie par du financement provincial. La mise sur pied d'une organisation canadienne responsable de la collecte et la diffusion de données sur les systèmes énergétiques ne devrait pas être tenue en otage par les hésitations d'une seule province ou d'un seul territoire.

A2.5 Problèmes à surmonter

- L'harmonisation des méthodes de collecte de données afin d'améliorer leur comparabilité et leur utilisation dans l'analyse des politiques énergétiques.
- La collecte obligatoire de données et le partage volontaire des données.
- Trouver une solution équilibrant les enjeux de collecte de données, de confidentialité et d'accès libre.
- Relier les données et la modélisation et l'analyse de politiques (ex. : tel qu'il est pratique courante en Suède, au Royaume-Uni et en Californie).
- L'organisation doit être indépendante, mais elle doit aussi être imputable financièrement et trouver des sources de financement durable.
- L'accès à de nouvelles sources de données dans une économie où se multiplient les producteurs-consommateurs (*prosumers*).

Annexe 3. Vue d'ensemble des modèles des systèmes énergétiques canadiens

Cette annexe a été préparée par Robert Hoffman, président of WhatIf? Technologies Inc. (le développeur et le propriétaire du modèle CanESS) en utilisant, lorsque possible, les formulations fournies pour décrire chaque modèle sur les site Web respectifs ou dans leurs publications. Elle fournit un historique des modèles des systèmes énergétiques au Canada ainsi que des détails relatifs à l'approche utilisée par chacun pour conduire les modélisations.

Les modèles sont présentés en ordre alphabétique et certains d'entre eux ne sont plus utilisés.

A3.1 CanESS (Canadian Energy Systems Simulator)

Le modèle Canadian Energy Systems Simulator (CanESS) a été développé par la whatIf Technologies Inc., une société établie à Ottawa et fondée en 1989 par Robert Hoffman et Bert McInnis afin de développer des modèles de simulation sur mesure à l'aide des instruments de modélisation de la suite whatIf. CanESS a pour origines le programme de modélisation socioéconomiques des ressources à Statistique Canada, le développement de bases de données sur l'utilisation finale de l'énergie pour Ressources naturelles Canada et le développement de modèles sur mesure des systèmes énergétiques pour le compte de l'Office national de l'énergie, de Ressources naturelles Canada et de Transport Canada.

Le modèle CanESS est entré en opération en 2004 et il a depuis été utilisé pour une vaste gamme d'analyses de scénarios, incluant le Projet Trottier pour l'avenir énergétique et le CESAR Pathways Project à la University of Calgary. whatIf? Technologies et l'équipe du Canadian Energy Systems Analysis Research (CESAR) group à la University of Calgary collaborent depuis 2013 pour continuer le développement de CanESS.

CanESS est un modèle de systèmes exploratoire conçu pour simuler des trajectoires énergétiques et les trajectoires de processus de transformation des matériaux qui sont intensives en technologie et dont les stocks et les flux sont constants, pour l'ensemble du Canada et les provinces. Au sein du modèle, les paramètres des tables de survie et des parts marginales qui déterminent la structure de l'économie canadienne sont spécifiés par les utilisateurs. CanESS peut ainsi être utilisé pour explorer un vaste éventail de trajectoires, incluant les

trajectoires de décarbonisation visant l'atteinte des cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). CanESS ne modélise pas le comportement des agents économiques qui adoptent les nouvelles technologies puisqu'il est attendu que ce comportement serve à tout le moins en partie à réduire les coûts d'opération. Les décideurs cherchent à changer le comportement des agents de manière à contribuer à l'atteinte d'objectifs sociétaux tels que la prospérité économique, la résilience écologique et la stabilisation du système climatique. Les taxes et les politiques réglementaires et incitatives qui affectent les prix de marché et les coûts sont des instruments susceptibles de produire le changement de comportement requis pour atteindre ces objectifs.

Les versions actuelles de CanESS se concentrent sur la représentation de technologies qui sont déployées ou qui pourraient l'être pour transformer les sources d'énergie en énergie utile, propre à satisfaire les besoins des acteurs économiques en énergie mécanique, en chaleur et en éclairage. Le modèle tient compte de l'offre énergétique issue de la production domestique et des importations, ainsi que de la configuration de l'utilisation énergétique pour l'exportation et au sein des ménages canadiens. CanESS peut être étendu pour prendre en compte les dynamiques du changement structurel dans un cadre cohérent avec l'offre et la configuration des matériaux et de l'énergie.

Dans la mesure où les technologies sont incorporées dans les stocks, l'horizon temporel du modèle est suffisamment loin pour prendre en considération au moins un et idéalement deux renouvellements de stocks. CanESS conduit ainsi des itérations annuelles, et ce pour une période maximale d'un siècle.

A3.2 CIMS (Canadian Integrated Modelling System)

Le modèle CIMS a été développé par le groupe Energy and Materials Research de la Simon Fraser University au cours des trois dernières décennies sous la direction du Dr. Mark Jaccard. CIMS est conçu comme un instrument d'analyse des politiques énergétiques et climatiques. Il est essentiel au programme de recherche en politiques du groupe. L'utilisation du modèle CIMS par de tierces parties est offert commercialement par la société Navius Research Inc.

Le modèle CIMS est présenté comme un modèle hybride, incorporant des éléments ascendants qui reposent sur la caractérisation des technologies et des éléments descendants d'ordre macroéconomique. À titre de modèle d'analyse des politiques, il est conçu pour être

à la fois explicite sur le plan de la caractérisation des technologies et réaliste sur le plan des comportements. Ce modèle d'équilibre intégrant les secteurs de l'économie et de l'énergie simule l'interaction de l'offre et de la demande énergétiques, et de la performance macroéconomique de secteurs cruciaux de l'économie, tout en considérant les effets sur la balance commerciale.

CIMS simule l'évolution du stock de biens capitaux au cours de la période considérée, en prenant en considération le retrait de circulation, les modernisation et les nouveaux achats. Cette évolution est le fruit des décisions des consommateurs et des entreprises, qui évaluent périodiquement et de manière séquentielle l'opportunité d'acquisitions technologiques, avec une clairvoyance limitée. Le modèle calcule les coûts énergétiques et les émissions à chaque nodule liant la demande et les services énergétiques dans l'économie. À chaque itération de période, une partie des stocks de biens capitaux est retirée suivant une fonction qui tient compte de l'âge de ces biens, la demande pour de nouveaux biens capitaux croît ou chute en fonction de l'estimation exogène de la production économique, puis l'interaction subséquente entre l'offre et la demande énergétique et les rétroactions macroéconomiques entre le secteur énergétique et le reste de l'économie. Une simulation de modèle conduit des itérations entre l'offre et la demande énergétique jusqu'à ce que le changement des prix de l'énergie chute sous une valeur plancher, puis répète cette procédure de convergence pour toutes les autres périodes de 5 ans, pour une simulation embrassant habituellement entre 30 et 35 ans. Une procédure itérative de convergence similaire est utilisé pour équilibrer les marchés des biens et services.

Le modèle CIMS simule la compétition des technologies à chaque nodule de service énergétique dans l'économie, en fonction d'une comparaison de leur coût de cycle de vie tempérée par des contrôles spécifiques à certaines technologies, telle qu'une part de marché maximale pour les technologies qui ne peuvent capturer l'ensemble d'un marché, en raison de contraintes physiques, techniques ou réglementaires. Plutôt que de fonder sa simulation des choix technologiques sur les coûts financiers et la taux d'actualisation sociale, le CIMS a recours à une formule de calcul du coût de cycle de vie qui tolère un écart à l'analyse ascendante conventionnelle en incluant des coûts intangibles qui reflètent les préférences révélées et déclarées des consommateurs et des entreprises quant aux technologies spécifiques et au moment de l'acquisition.

A3.3 Energy 2020

ENERGY 2020 est un modèle de dynamiques de systèmes développé par George Backus et Jeff Amlin et devenu opérationnel en 1981. Il tire ses origines du travail accompli par le Dartmouth Systems Dynamics Group alors que les politiques énergétiques étaient délaissées par Washington et prises en main par les États et les entreprises. Il combinait un modèle de l'offre détaillé connu sous le nom de Fossil2 et un modèle de demande énergétique tout aussi détaillé, DEMAND81.

En 1985, ENERGY 2020 a été acquis par Systematic Solutions Inc., une société établie en Ohio. Sous la direction de Jeff Amlin, SSI a accompli des projections, des simulations et des analyses de politiques pour plus de 30 États et provinces en Amérique de Nord, ainsi que pour des sociétés du secteur de l'énergie et des gouvernements sous-fédéraux et nationaux dans une douzaine de pays.

ENERGY 2020 est aujourd'hui un modèle énergétique intégrant plusieurs régions qui fournit une simulation détaillée des secteurs de l'offre et de la demande pour de nombreux types de carburants. Il est utilisé pour analyser et projeter les impacts d'une variété de considérations politiques liés au marché de l'énergie et aux émissions qui en résultent. Lorsqu'il est intégré à un modèle macroéconomique, ENERGY2020 peut être utilisé pour estimer les impacts des politiques énergétiques sur l'ensemble de l'économie.

Le modèle est paramétré avec des données locales pour chaque région, état ou province, de même que pour tous les fournisseurs d'énergies associés qui sont stimulés. Le modèle est ainsi en mesure de rendre compte des caractéristiques uniques (physiques, institutionnelles et culturelles) qui influencent les choix relatifs à la consommation énergétique. Les intrants et les hypothèses du modèle peuvent être personnalisés par l'utilisateur afin d'adapter le modèle au niveau d'analyse désiré.

L'Office national de l'énergie et Environnement et changement climatique Canada ont tous deux mis en œuvre des versions de ENERGY2020. Ils ont également des ressources affectées pour soutenir la préparation des perspectives sur l'énergie et des analyses de politiques, en ayant recours à ENERGY2020 et souvent en complément avec The Informetrica Model (TIM) ou d'autres modèles de l'ensemble de l'économie.

A3.4 GEEM et EC-Pro

Le GEEM et le EC-Pro sont deux modèles d'équilibre général calculable (EGC). Le GEEM (General Equilibrium Energy Model) a été mis en œuvre au Canada par la société Navius Research Inc. EC-Pro a été mis en œuvre par Environnement et changement climatique Canada afin de renforcer leur gamme de modèles utilisés à l'interne.

Les modèles EGC sont utilisés pour simuler comment les secteurs économiques pourraient évoluer sous différentes conditions économiques et ainsi fournir des perspectives sur les conséquences probables des politiques climatiques et énergétiques sur certaines variables, dont : la production économique (PIB), la consommation d'énergie, les émissions de GES, le commerce régional de biens et services et la compétitivité des secteurs.

Dans les modèles EGC, chaque secteur est caractérisé par ce qu'il produit (ex. : l'électricité) et les intrants requis pour la production (ex. : capitaux, main-d'œuvre, énergie et matériaux). Les biens produits sont ensuite vendus à d'autres producteurs (intrants intermédiaire), aux ménages (consommateurs finaux), ou à d'autres régions et au reste du monde à titre d'exportations. Les biens peuvent également être exportés dans d'autres régions ou dans le reste du monde. À chaque période d'itération, le modèle ajuste les prix afin que les marchés liquident tous les biens et les facteurs. GEEM prend en considération explicitement comment les politiques et les conditions économiques modifient la structure et la croissance de l'économie. Par exemple, une politique comme une taxe carbone risque d'augmenter le coût de la production des biens et services intensifs en énergie. En conséquence, les secteurs intensifs en énergie comme les pâtes et papiers pourraient voir leur compétitivité diminuer. Une plus faible production de papier diminuera les intrants requis par ce secteur, tels que l'électricité et la matière ligneuse. Par la suite les biens capitaux et la main-d'œuvre seront redistribués dans l'économie, ce qui stimule la croissance dans d'autres secteurs et d'autres régions.

Les éléments fondamentaux de modèles EGC sont une table d'intrants-extrants ou une matrice de comptabilité sociale pour une année donnée et un ensemble d'élasticité qui indiquent comment les marchés répondent aux changements de coût des intrants et aux changements de demandes pour les biens et services produits, le tout étant conditionnel à des contraintes budgétaires.

A3.5 LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning system) – Canada

Le LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System) a été développé par le Stockholm Environment Institute afin de soutenir l'analyse de politiques énergétiques et l'évaluation des mesures d'atténuation des changements climatiques. LEAP est une plateforme informatique sur laquelle des modèles de plusieurs systèmes énergétiques peuvent être développés, aux échelles régionale, nationale et internationale. LEAP est compatible avec une vaste gamme de méthodologies de modélisation, de telle sorte que les modèles peuvent être développés même pour des pays qui disposent de données limitées. Depuis sa mise en service au début des années 1990, LEAP est devenue la plateforme favorite pour de nombreux pays ayant des obligations de (reporting) en vertu de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques.

Un modèle LEAP a été développé pour le Canada dans le cadre d'un projet de mémoire de maîtrise [19] sous la direction de Amit Kumar, Ph.D., professeur de génie mécanique à la University of Alberta.

La version la plus récente (LEAP2018) [20] offre de nouvelles capacités analytiques pour évaluer les impacts sur le bilan de santé publique (mortalité), sur les écosystèmes (perte de récoltes) et sur le climat (changement de température) des scénarios d'atténuation des changements climatiques, ainsi que de nouvelles capacité de modélisation du secteur forestier et des changements d'occupation du territoire.

A3.6 MAPLE-C

MAPLE-C (Model for Analysis of Policies Linked to Energy – Canada) est la version canadienne du National Energy Modelling System (NEMS) américain, développé pour Ressources naturelles Canada de 2000 à 2010 par la société Science Applications International Corporation (SAIC), établie à Reston, en Virginie. SAIC est un intégrateur de technologie de premier plan dans les marchés techniques, du génie, de l'intelligence et des technologies d'information d'entreprise. La société a également développé le NEM pour le compte de la Energy Information Agency américaine.

MAPLE-C utilise une approche fondée sur le marché pour conduire des analyses du secteur énergétique. Pour chaque carburant et secteur consommateur, le modèle équilibre l'offre et la demande énergétique en considérant la concurrence économique entre les

sources d'énergie. Il reflète l'économie canadienne ainsi que ses composantes provinciales.

Les projections publiées dans le Quatrième rapport du Canada sur les changements climatiques de 2006 sont tirées de ce modèle.

Ressources naturelles Canada n'utilise plus MAPLE-C. Après avoir déboursé plusieurs millions de dollars sur le contrat signé avec SAIC et le personnel, le projet a été abandonné.

A3.7 NATEM (North American TIMES Energy Model)

Le NATEM (North American TIMES Energy Model) est un modèle d'optimisation des systèmes énergétique pour l'Amérique du Nord développé par ESMIA Consultants Inc., une société établie à Montréal. ESMIA Consultants Inc. est dirigée par Kathleen Vaillancourt et elle tire ses origines des travaux menés par les chercheurs du GERAD (Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions), issus de HEC Montréal, Polytechnique Montréal, l'Université McGill et l'Université du Québec à Montréal.

Le NATEM utilise le générateur de modèle TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System), développé et distribué par le ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program) de l'Agence internationale de l'énergie. Les générateurs de modèles MARKAL-TIMES sont des modèles génériques qui peuvent être adaptées par des intrants pour représenter l'évolution des systèmes énergétiques à l'échelle nationale, régionale, provinciale ou communautaire, pour une période de 40 à 50 ans. Les modèles de la famille de modèles MARKAL sont aujourd'hui utilisés par 77 institutions dans 37 pays.

NATEM est utilisé pour trouver les trajectoires les moins coûteuses de transition vers un système énergétique faible en carbone. Il comprend 13 régions canadiennes, 9 régions américaines et 1 région mexicaine, pour un total de 23 régions.

Les modèles d'optimisation reposent sur des techniques de programmation mathématique. Ils ont pour origine les travaux en analyse des activités par Koopmans, Leontief, Dorfman, Samuelson, Solow et Dantzig. L'optimisation consiste à trouver la valeur maximale (ou minimale) d'une combinaison de variables pondérées dont les valeurs sont soumises à des contraintes. Le problème d'optimisation paradigmatique consiste à minimiser les coûts d'un système de production soumis à des contraintes au niveau des intrants et des extrants, des contraintes au niveau de la disposition de l'offre de produits et des contraintes sur les niveaux d'activité (lesquels ne peuvent être négatifs). Le calcul ignore la dimension temporelle : il

n'y a ni temps de départ, ni de profil temporel, ni d'indices de temps pour les variables ou les paramètres. Les problèmes d'optimisation supposent qu'un agent contrôle toutes les activités du système. Le mode d'analyse privilégié est celui de la statique comparative.

Pour appliquer les techniques de programmation mathématique à la modélisation des systèmes énergétique, il était nécessaire de reconnaître l'importance du concept de profil temporel – ou de trajectoire – et de relier le système au temps, notamment pour reconnaître que les stocks et les installations existantes sont des coûts irrécupérables. Le concept de trajectoire ou dynamique temporelle est généralement incorporé en ajoutant le concept de périodes, puis en traitant chaque période comme un problème d'optimisation indépendant. Cette procédure repose sur l'idée que l'identification d'une solution optimale à chaque période permettra d'identifier la solution optimale pour l'ensemble des périodes. Les contraintes sont utilisées pour représenter le concept de stocks de biens capitaux qui peuvent survivre d'une période à l'autre et pour reconnaître qu'il peut y avoir des stocks existant au début de la première période.

Conçues dans le contexte des crises de l'énergie des années 1970, les premières utilisations ont ciblé l'offre : l'objectif était de réduire au minimum le coût de production d'une gamme de vecteurs énergétiques, étant donné le cours mondial du pétrole. Lorsque l'enjeu des changements climatiques s'est ajouté à l'agenda dans les années 1980, il a été largement reconnu que le fardeau de réduction des émissions échoyait aux consommateurs comme aux producteurs d'énergie. Il était alors nécessaire d'élargir les activités considérées pour intégrer les producteurs et les consommateurs de vecteurs d'énergie. Les consommateurs ont besoin de services tels que l'éclairage, le chauffage et la climatisation des espaces, la chaleur élevée pour les processus de transformation, l'énergie mécanique stationnaire et l'énergie mécanique mobile. Ces usages finaux de l'énergie sont rendus possibles par l'utilisation de vecteurs énergétiques. Pour certains services, certaines substitutions sont possibles entre vecteurs énergétiques et les consommateurs choisiront les installations qui transforment les vecteurs en services finaux tout en minimisant le coût. Il est attendu que les consommateurs répondent aux prix des vecteurs énergétiques grâce à l'élasticité-prix.

A3.8 TIM (The Informetrica Model)

Le TIM (The Informetrica Model) est un modèle macro-économétrique pour le Canada, développé à l'origine pour être le modèle Candide du Conseil économique du Canada de 1965 à 1972. Le projet Candide

a été inspiré par Lawrence Klein et le WAIFM (Wharton Annual and Industry Forecasting Model) de la University of Pennsylvania. Un modèle macro-économétrique est un ensemble d'équations stochastiques assorti de relations définitionnelles et institutionnelles déterminant le comportement des agents économiques. Les paramètres du modèle sont tirés de corrélations entre variables issues de séries temporelles provenant principalement du système de comptabilité nationale. Les comptes d'entrée-sortie donnent un détail industriel et sont intégrés dans la structure du modèle macro-économétrique. Établie à Ottawa et fondée en 1972, la société Informetrica Ltd. a mis à jour et développé ce qui est devenu le modèle TIM et a fourni des services d'analyse prospective grâce à celui-ci. Lorsque Informetrica a mis fin à ses opérations en 2013, Environnement Canada s'est porté acquéreur des droits d'usage de TIM. Environnement Canada utilisait le TIM en combinaison avec leur version de Energy 2020.

