

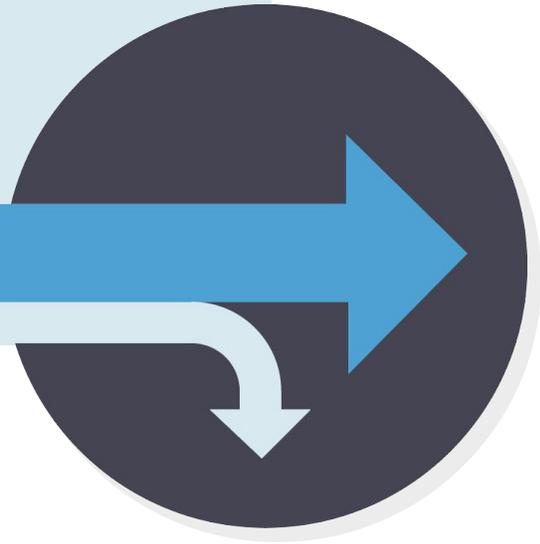
# PERTINENCE ET VALEUR DE LA MODÉLISATION

## Initiative de modélisation énergétique

*Outils le Canada pour réussir la transition*

## Energy Modelling Initiative

*Bringing the Tools to Support Canada's Energy Transition*



Mars 2020

## **Personnes impliquées dans cette initiative**

### **Conseil consultatif**

Rupp Carriveau, Université de Windsor  
Francesco Ciari, Polytechnique Montréal  
David Foord, Université du Nouveau-Brunswick  
Brad Little, Ressources naturelles Canada  
Yi Liu, Fédération canadienne des municipalités  
Lindsay Miller-Branovacki, Université de Windsor  
Mary Beth Garneau, Statistique Canada  
Andrew Rowe, Université de Victoria  
Dave Sawyer, EnviroEconomics  
Kathleen Vaillancourt, ESMIA Consultants  
Mark S. Winfield, Université York  
Steven Wong, Ressources naturelles Canada

### **Équipe exécutive**

Louis Beaumier, Institut de l'énergie Trottier  
Madeleine McPherson, Université de Victoria  
Normand Mousseau, Université de Montréal

### **Personnel**

Marie-Maude Roy, Montage et communication  
Moe S. Esfahlani, Coordination et gestion de projet

## **Pertinence et valeur de la modélisation**

### **Rédaction**

Louis Beaumier, Moe Esfahlani et Marie-Maude Roy

Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal

Normand Mousseau

Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal et Université de Montréal

Madeleine McPherson

Institute for Integrated Energy Systems, University of Victoria

### **Remerciements**

La production de ce rapport a été financée par Ressources naturelles Canada avec la collaboration de l'Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal.

### **À propos de l'Institut de l'énergie Trottier (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 au dialogue sociétal sur les questions énergétiques. Basé à Polytechnique Montréal, l'IET rassemble des professeur·e·s-chercheur·e·s 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.

Institut de l'énergie Trottier  
Polytechnique Montréal  
2900, Boul. Édouard-Montpetit  
2500, chemin de Polytechnique  
Montréal (Québec) H3T 1J4  
Office A-520.40  
iet.polymtl.ca  
@EnergieTrottier

Référence à citer: Louis Beaumier, Moe Esfahlani, Marie-Maude Roy, Normand Mousseau, Madeleine McPherson, 2020. Pertinence et valeur de la modélisation, rapport de l'Initiative de modélisation énergétique, Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal.



# CONTEXTE

La réalisation du mandat de l'Initiative de modélisation énergétique (IME) a été attribuée par Ressources naturelles Canada (RNCan) à l'Institut de l'énergie Trottier (IET) de Polytechnique Montréal, sous la direction de Louis Beaumier (IET), Madeleine McPherson (IESVic) et Normand Mousseau (IET/UdeM). En février 2019, RNCan organisait un

atelier portant sur le développement d'une plateforme de modélisation destinée à permettre la réalisation d'études en matière d'électrification et de décarbonisation en profondeur. À la suite de cet atelier, RNCan a cherché à faciliter l'adoption de politiques fédérales et provinciales favorisant l'électrification et la décarbonisation en profondeur des

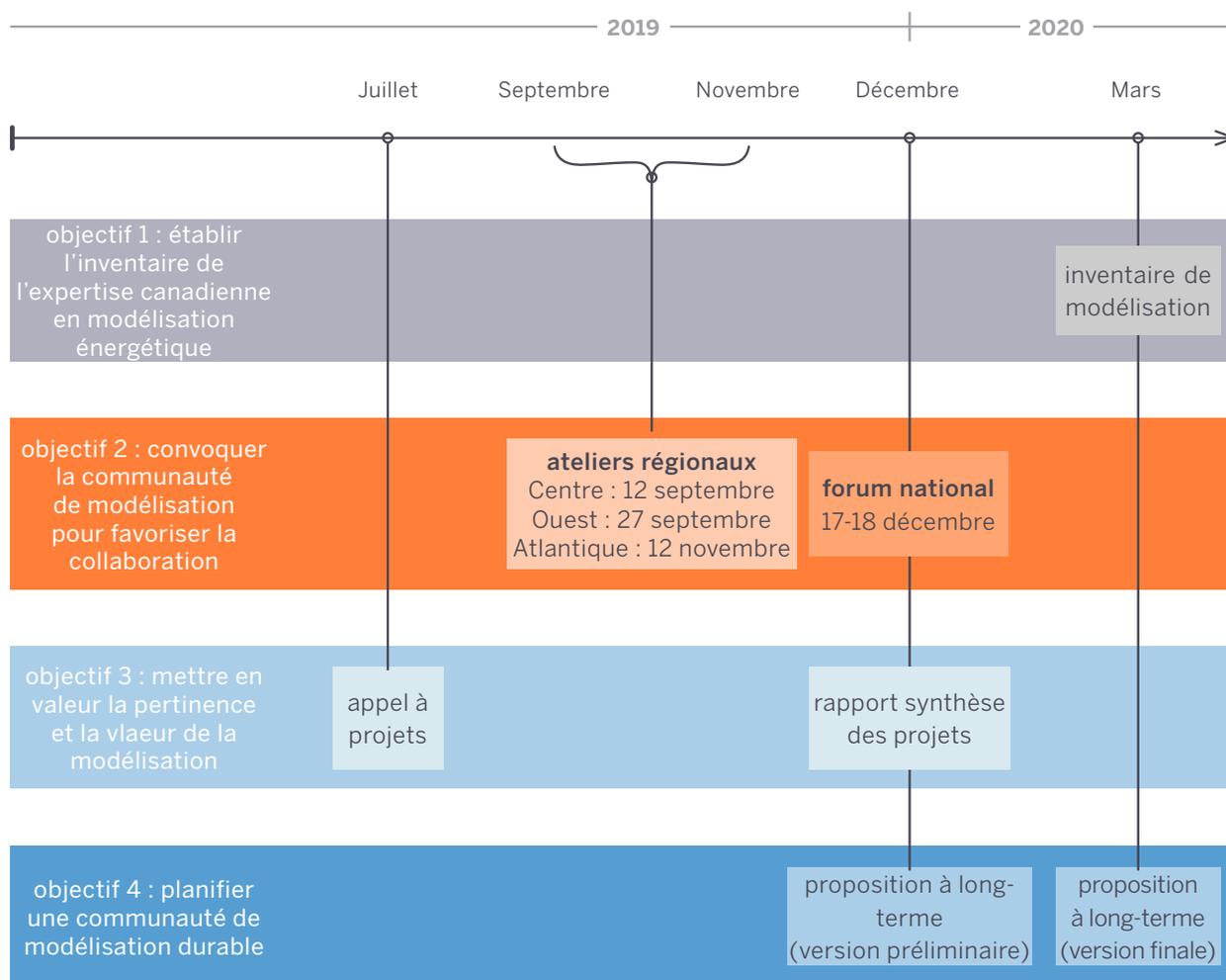


Figure A – Objectifs et calendrier des activités de l'IME

systèmes énergétiques canadiens, et ce, grâce à la mise en œuvre d'un programme coordonné à l'échelle nationale. Un appel de propositions a été lancé pour entamer le dialogue avec les modélisateurs du système électrique canadien et jeter les bases de la création d'un réseau de modélisation visant à « soutenir le processus décisionnel des responsables politiques et des autres parties prenantes dans le but de faciliter la transition vers un avenir électrique propre ».

L'appel de propositions de RNCAN a permis de déterminer le défi majeur de l'initiative, c'est-à-dire décarboniser l'économie et transformer les systèmes énergétiques complexes du Canada. Comme il manque une institution indépendante et une coalition de recherche pour conseiller les intervenants sur divers aspects de ce défi, RNCAN a demandé à recevoir une proposition pour rassembler l'expertise canadienne en modélisation énergétique et développer de manière durable un « milieu canadien de modélisateurs de réseaux électriques ».

En réponse à l'appel de RNCAN, la proposition de l'IME était axée sur quatre

objectifs, chacun associé à diverses activités (voir Figure A).

Depuis juin 2019, l'IME a réuni le milieu des modélisateurs du Canada en organisant trois ateliers régionaux, auxquels ont participé plus de 150 personnes, et un forum national qui a attiré plus de 100 participants provenant du milieu universitaire, des gouvernements, des ONG, des services publics et du secteur privé.

La proposition de création d'un Centre de modélisation énergétique (CME) à long terme, décrite dans le présent document, a bénéficié de plusieurs séries de consultations. Une première ébauche de proposition a été élaborée sur la base des avis d'un conseil consultatif et des idées d'un grand nombre de parties prenantes engagées. Après une année de consultations, d'enquêtes, de conventions et d'échanges soutenus au sein du réseau, nous sommes convaincus que cette proposition reflète les positions d'une partie importante du milieu canadien de la modélisation ainsi qu'un large éventail de parties prenantes.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2. Modélisation énergétique</b>	<b>3</b>
2.1. L'émergence de la modélisation énergétique	3
2.2. Qu'est-ce que la modélisation énergétique ?	3
<b>3. L'utilisation de la modélisation énergétique</b>	<b>5</b>
3.1. Le Royaume-Uni : une approche rationnelle de la conception des politiques fondée sur les données scientifiques qui permet d'atteindre les objectifs climatiques	5
3.2. La Californie : une approche factuelle rigoureuse pour assurer une planification à long terme	11
3.3. La situation au Canada	13
<b>4. L'importance croissante de la modélisation énergétique</b>	<b>15</b>
<b>5. L'expertise en modélisation énergétique au Canada</b>	<b>21</b>
5.1. Modélisateur·rice·s et modèles	21
5.2. L'écosystème	32
<b>6. Les éléments essentiels de la modélisation énergétique</b>	<b>37</b>
6.1. Les avantages de la modélisation énergétique pour l'élaboration des politiques	40
<b>7. Conclusion : l'urgence de prendre un engagement à long terme pour soutenir la modélisation énergétique au Canada</b>	<b>42</b>
<b>8. Références</b>	<b>44</b>
<b>Annexe A – Aperçu des projets de modélisation de l'IME</b>	<b>47</b>



# 1. INTRODUCTION

Le Canada a renouvelé les engagements qu'il a pris dans le cadre de l'Accord de Paris de 2015, soit de réduire ses émissions de 30 % par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2030, et vise même à dépasser cet objectif. Pour atteindre celui-ci, tout en maintenant une économie forte et en conservant le soutien de la population, le gouvernement se doit de fonder ses politiques sur les meilleures données scientifiques disponibles. Cela signifie : (1) recueillir, produire et diffuser des données pertinentes, de qualité supérieure et en temps opportun; (2) soutenir des activités de modélisation énergétique rigoureuses afin de comprendre les liens existants entre les secteurs, l'impact des transformations en cours et tester les politiques; et (3) élaborer des politiques appropriées, efficaces et acceptables, fondées sur des données probantes.

Au cours des deux dernières années, alors que le secteur de l'énergie subit une transformation profonde et rapide au niveau mondial, le gouvernement fédéral a constaté que sa capacité à atteindre ses objectifs climatiques tout en soutenant la force de l'économie canadienne était limitée, ce qui l'a amené à créer des structures visant à combler ces lacunes. Par l'entremise du Centre canadien d'information sur l'énergie (CCIE) et de l'Institut canadien pour des choix climatiques (ICCC), il pallie les faiblesses

relatives à la production et la collecte de données ainsi qu'à l'élaboration indépendante de politiques fondées sur des données probantes.

Après la création du Centre canadien d'information sur l'énergie (CCIE) et de l'Institut canadien pour des choix climatiques (ICCC), le Canada doit encore aborder un élément clé de l'élaboration des politiques fondées sur des données probantes : la modélisation énergétique.

Cependant, comme le démontre ce rapport, le Canada doit encore s'attaquer à un élément clé : la modélisation énergétique structurée. La modélisation énergétique, qui s'appuie sur des données et soutient les politiques, est devenue un outil essentiel de prévision et de planification dans le contexte actuel où le monde subit une transformation sans précédent.

Pourtant, au cours de la dernière décennie et même avant, alors que d'autres pays développés renforçaient leur expertise en modélisation énergétique pour répondre aux fortes perturbations affectant le secteur de l'énergie et relever le défi des changements climatiques, le Canada est allé dans la direction opposée, en choisissant de réduire sa participation directe aux activités de modélisation énergétique et de sous-traiter de plus en plus les analyses à des cabinets de conseil étrangers.

Cette approche a sapé la capacité du Canada de comprendre pleinement les ramifications sociales et économiques des principales transformations et innovations techniques qui ont eu une incidence sur le secteur de l'énergie au cours des 15 dernières années, ceci comprenant le forage horizontal, la fracturation hydraulique et les technologies solaires et éoliennes. Elle a également érodé l'efficacité des efforts climatiques antérieurs du Canada, contribuant à son incapacité à atteindre les objectifs précédents.

Les pages suivantes montreront que le Canada possède déjà une expertise considérable dans le domaine de la modélisation énergétique, allant de la modélisation technique des bâtiments à l'optimisation du réseau électrique et l'évaluation techno-économique des politiques.

Ce rapport vise à démontrer que, bien que le Canada ait pris du retard dans la structuration d'un effort de modélisation énergétique efficace et susceptible de soutenir l'élaboration de ses politiques, l'expertise susmentionnée est déjà largement développée. Cependant, les ressources qui la possèdent sont éparpillées à travers le pays au sein des gouvernements, des universités et des cabinets de conseil; en outre, elles travaillent isolément et ont des impacts limités sur les politiques. Cette situation est coûteuse pour le Canada, mais elle peut être changée dans l'intérêt de tous et toutes, comme discuté dans la proposition d'un Centre de modélisation énergétique.



## 2. MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

### 2.1. L'émergence de la modélisation énergétique

À l'échelle mondiale, la structuration de la modélisation énergétique remonte à la première crise pétrolière des années 1970. Face à cette crise et à une forte augmentation de la demande énergétique, un certain nombre de pays se sont rendu compte qu'ils devaient développer une compréhension factuelle de la transformation de ce système, de son évolution possible au cours des prochaines années et de son impact sur le développement économique et social (Bahn et al. 2005, Breton et al. 2017, Huntington 1982).

Depuis lors, les gouvernements, les services publics et nombre d'autres partenaires économiques ont utilisé un large éventail de modèles énergétiques pour planifier les investissements, assurer l'approvisionnement, informer le public et comprendre l'évolution des systèmes énergétiques.

La plupart des pays développés, y compris le Royaume-Uni, la Suède et la France, et même plusieurs autres grandes entités administratives comme la Californie, ont reconnu que le fait d'avoir accès à un solide milieu de la modélisation énergétique à même de travailler en étroite collaboration

avec les décideurs, est un élément clé de l'élaboration de politiques solides en matière d'énergie et de lutte contre les changements climatiques (Bahn et al. 2005, Breton et al. 2017, Huntington 1982).

De nombreux pays, comme le Royaume-Uni, la Suède et la France, ont reconnu la nécessité de pouvoir s'appuyer sur un solide milieu de la modélisation énergétique.

### 2.2. Qu'est-ce que la modélisation énergétique?

La modélisation est la reconstruction virtuelle (réductionniste) d'une portion de réalité particulière à des fins d'analyse. Impliquant abstraction et simplification, elle est particulièrement utile pour expérimenter les conditions de scénarios alternatifs impliquant des systèmes complexes ainsi que pour prévoir de possibles réalités futures.

La modélisation énergétique vise un large éventail de sujets et utilise diverses approches. Elle couvre la production, le transport, la distribution et la consommation d'énergie.

La modélisation technique porte sur les aspects fondamentaux et techniques de l'énergie. Par exemple, elle permet de déterminer le type d'infrastructure électrique nécessaire pour répondre à une demande spécifique estimée pour une région. Elle englobe également divers aspects de la consommation, souvent liés à l'efficacité énergétique, dans les bâtiments ainsi que les secteurs de la fabrication et de l'industrie. Au cours des dernières années, la définition de la modélisation énergétique a été étendue aux services pour lesquels l'énergie représente un outil central plutôt que l'objectif d'un secteur. Par conséquent, les secteurs du transport et du numérique sont désormais souvent considérés comme faisant partie du domaine de la modélisation énergétique. Compte tenu de l'importance économique de l'énergie, des modèles technico-économiques ont également été élaborés pour essayer d'optimiser les dépenses. Ceux-ci sont par exemple utilisés pour concevoir le réseau électrique ou, plus largement, pour comprendre l'impact de l'accès à l'énergie et des prix afférents sur

le reste de l'économie. Pour ce faire, on a recours à des approches ascendantes, telles que les modèles MARKAL et TIMES, ou à des descriptions élaborées en vertu d'une approche descendante, telle que la méthode d'équilibre général calculable.

Plus récemment, grâce à une utilisation accrue des superordinateurs et, plus important encore, un accès à des ensembles volumineux de données ventilées, on a également commencé à développer une modélisation basée sur les individus. Ceci permet d'intégrer l'impact des choix individuels avec un plus grand facteur de discrimination. Cependant, son utilisation dans l'élaboration des politiques est encore limitée.

Chacune de ces approches a longtemps été principalement développée et appliquée dans des communautés isolées. Cependant, la pression des objectifs climatiques qui nécessitent un réexamen sérieux de l'ensemble du secteur de l'énergie, de la production à l'utilisation, oblige les chercheuses et les chercheurs à unir leurs forces et à rechercher des moyens d'intégrer les différentes approches pour développer une compréhension plus complète des effets de rebond et de rétroaction, des co-développements, etc.



### 3. L'UTILISATION DE LA MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

Depuis la crise pétrolière des années 1970, les pays développés ont utilisé la modélisation énergétique pour prévoir la demande, planifier les investissements dans les infrastructures énergétiques et évaluer l'impact potentiel des prix de l'énergie sur leur économie, et ce, grâce à l'élaboration de différents scénarios. Face aux défis posés par les changements climatiques, de nombreux pays se sont tournés vers la modélisation énergétique pour tester des plans et évaluer l'effet potentiel de diverses mesures politiques, programmes et investissements sur les émissions de GES, ceci dans le but de concevoir des trajectoires efficaces pour atteindre leurs objectifs climatiques.

Nous nous concentrons ici sur deux exemples proches du Canada, aux niveaux politique et historique ou géographique : le Royaume-Uni et la Californie. Grâce à des processus fiables de conception et de mise en œuvre des mesures, ces deux entités administratives ont réussi à atteindre leurs objectifs à plusieurs reprises sans subir de contrecoup économique, ce qui démontre l'importance d'élaborer les politiques en s'appuyant sur une approche scientifique rigoureuse.

Le Royaume-Uni et la Californie ont réussi à atteindre leurs objectifs à plusieurs reprises, sans subir de contrecoup économique, en fondant leurs politiques sur des activités de modélisation énergétique rigoureuses.

#### 3.1. Le Royaume-Uni : une approche rationnelle de la conception des politiques fondée sur les données scientifiques qui permet d'atteindre les objectifs climatiques

Au cours des 15 dernières années, le Royaume-Uni a été un chef de file mondial en matière de lutte contre les changements climatiques. Il a en effet systématiquement atteint et dépassé ses objectifs et élaboré des politiques qui deviennent la référence pour le reste du monde. Avec une gouvernance et des structures indépendantes bien établies,

le leadership britannique en matière de climat a été maintenu même au cours du débat sur le Brexit.

Ce succès peut être attribué à une classe politique qui a unanimement reconnu la nécessité d'agir pour contrer les changements climatiques, ainsi qu'aux efforts précoces consentis par le Royaume-Uni pour créer les institutions essentielles capables de fournir des données, des modèles et des politiques. Nous examinerons ici deux de ces institutions ainsi que le rôle de la modélisation énergétique dans l'élaboration des politiques au Royaume-Uni.

### 3.1.1. Le UK Energy Research Centre (UKERC)

Le gouvernement britannique a reconnu l'importance de maintenir un riche milieu de la modélisation énergétique afin de soutenir avec succès une transition énergétique qui permette d'atteindre ses objectifs autant climatiques qu'économiques. Ce constat a conduit à la création de deux organismes.

L'Energy Research Center (UKERC) [Centre de recherche sur l'énergie du Royaume-Uni] est le principal organisme chargé de coordonner la maintenance, l'utilisation et le développement de différents modèles de systèmes énergétiques au Royaume-Uni. Fondé en 2004 et financé par UK Research and Innovation, le centre vise à soutenir la recherche de calibre mondial s'intéressant aux systèmes

énergétiques durables et appuie le travail de 70 chercheuses et chercheurs dans une douzaine d'universités. Son budget actuel, qui termine son troisième cycle de 5 ans, est d'environ 3 millions de livres par an. Le financement de l'UKERC a été renouvelé pour un quatrième cycle de 5 ans de 2019 à 2024. Ce financement s'ajoute aux subventions et autres soutiens octroyés par divers organismes subventionnaires et de bienfaisance.

En plus des projets de recherche, l'UKERC soutient également quatre « pôles nationaux de recherche en modélisation » qui profitent non seulement à la communauté scientifique, mais aussi à la société dans son ensemble. En effet, ceux-ci effectuent l'examen des preuves, hébergent et conservent les données énergétiques, cartographient et surveillent l'engagement du public envers les systèmes énergétiques, et améliorent la transparence et la compréhension des modèles énergétiques. Ces pôles de recherche sont les suivants :

**Technology and Policy Assessment (Evidence for Decision Making)** – fournir des analyses systématiques des données probantes pour informer les décideurs et les parties prenantes sur les questions clés et les controverses dans le domaine de la politique énergétique.

**Energy Data Centre** – fournir une vitrine complète de la recherche énergétique effectuée au Royaume-Uni et héberger des données énergétiques pour répondre au besoin des secteurs public, privé et

tiers, ceci afin d'assurer un accès dans l'avenir à des ensembles de données utiles et permettre une compréhension à jour du paysage du financement de la recherche énergétique au Royaume-Uni, en particulier en ce qui concerne les activités, l'emplacement où elles ont lieu, les relations entre elles et les résultats qu'elles ont apportés.

**Societal Engagement with Energy Observatory** – développer de nouvelles approches de cartographie afin de générer de manière continue des renseignements librement accessibles sur l'ensemble du système concernant la participation énergétique; servir de plateforme d'information et de lieu d'échange pour les parties prenantes; et transposer l'intelligence sociale acquise pour aider à rendre les transitions énergétiques carboneutres plus équitables, responsables et sensibles au contexte social.

**Energy Modelling Hub** – conserver un ensemble complet de modèles énergétiques pour aider les décideurs à comprendre les stratégies et les compromis nécessaires, et proposer des mécanismes pour soutenir des activités de modélisation transparentes et reproductibles; ceci comprenant un examen des scénarios énergétiques du Royaume-Uni, l'élaboration d'un protocole d'assurance de la qualité et un engagement participatif avec les principales parties prenantes.

Ces mandats, orientés vers la société et les

parties prenantes, contribuent à renforcer le rôle que la modélisation peut jouer pour accroître l'acceptabilité sociale des mesures prises et ainsi lutter contre les changements climatiques au Royaume-Uni.

### 3.1.2. Le UK Committee on Climate Change (CCC)

Pour aider à établir ce programme, un autre organisme indépendant a été créé en décembre 2018 en vertu de la Loi sur les changements climatiques : le Committee on Climate Change (CCC) [Comité sur les changements climatiques du Royaume-Uni]. Ce comité avait pour mandat de :

- Donner des conseils sur l'évolution des budgets carbone du Royaume-Uni et sur les étapes nécessaires pour les atteindre;
- Mener une analyse indépendante et éclairer le débat factuel sur les changements climatiques et leurs impacts afin de soutenir la prise de décisions solidement étayées.

La plupart des membres du CCC sont des professeurs et professeurs d'université, ce qui assure un lien entre le comité et le milieu de la recherche qui réalise la plupart des activités de modélisation des systèmes énergétiques au Royaume-Uni. Financé par le Department of Energy and Climate Change (DECC) et les administrations décentralisées, le CCC gère les modèles énergétiques qu'il a développés, bien qu'il utilise également des modèles élaborés et maintenus par d'autres organismes, ou

mandate des organismes pour effectuer des travaux de modélisation.

### 3.1.3. Model used

Comme la plupart des pays de l'OCDE, le Royaume-Uni ne s'appuie pas sur un seul modèle ou organisme de modélisation. Alors que les efforts de modélisation du CCC soutiennent une vision indépendante des politiques et progrès réalisés vers l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de GES, le gouvernement britannique gère ses propres modèles, y compris la suite de modèles Energy and Emissions Projections (EEP) (DBEIS 2019). Cette suite comprend trois modèles : le Energy Demand Model (EDM) [Modèle de la demande énergétique] qui prévoit les demandes pour diverses sources d'énergie; le Dynamic Dispatch Model (DDM) [Modèle de répartition dynamique] qui se concentre sur la production d'électricité et les prix de gros; et le Price & Bills Model [Modèle de prix et de factures] qui prévoit les prix de détail de l'énergie.

Ces modèles offrent une description publique pleinement documentée.<sup>1</sup>

En plus de ces modèles institutionnels, le gouvernement, par l'entremise du UKERC, soutient également d'autres modèles, principalement ouverts, tels que les modèles technico-économiques UK TIMES développés par l'Energy Institute du University College situé à Londres et le Department of Business, Energy and Industrial Strategy du Royaume-Uni. Le gouvernement soutient en outre un grand nombre de modèles techniques et sectoriels appliqués aux bâtiments, à l'urbanisme, à l'industrie et au transport.

Enfin, un certain nombre de modèles, dont plusieurs prennent en compte l'ensemble du système, sont gérés par des cabinets de conseil privés.

Ces différentes structures fournissent conjointement un riche ensemble de modèles qui facilite les échanges, les discussions et la recherche de solutions alors que le Royaume-Uni poursuit sa transformation énergétique.

### 3.1.4. L'intégration de la modélisation dans l'élaboration de politiques

L'une des utilisations les plus claires et les plus importantes de la modélisation dans la politique énergétique et climatique du Royaume-Uni a été l'établissement

<sup>1</sup> Des renseignements détaillés sur le DDM sont disponibles ici par exemple : <https://www.gov.uk/government/publications/dynamic-dispatch-model-ddm>

Comme la plupart des pays de l'OCDE, le Royaume-Uni a utilisé un large éventail de modèles soutenus à l'interne et à l'externe pour faciliter l'implication de toutes les parties prenantes.

de budgets carbone. Dans son premier rapport en 2008, le CCC a recommandé que les trois premiers budgets couvrent la période allant de 2008 à 2022. Ses propositions ont été adoptées sans difficulté par le gouvernement britannique en 2009.

Bien qu'il n'ait pas été aussi simple de parvenir à un accord concernant la proposition du CCC pour un quatrième budget carbone (couvrant la période allant de 2023 à 2027), celui-ci a néanmoins

été finalement adopté en 2011. Le niveau d'émissions du quatrième budget carbone et l'identification des moyens permettant de l'atteindre ont été déterminés à l'aide du modèle énergétique du DECC ainsi que du modèle MARKAL-UK (CCC, 2010). La réforme recommandée du marché de l'électricité, également basée sur les résultats de la modélisation, a été mise en œuvre par le gouvernement britannique en 2013 (gouvernement britannique, 2013).

## ÊTRE UN CHEF DE FILE MONDIAL À L'AIDE DE LA MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

La modélisation énergétique est au cœur des mesures audacieuses prises par le Royaume-Uni au cours de la dernière décennie, mesures qui façonnent les politiques climatiques dans le monde entier. Les modèles ont joué un rôle majeur dans l'annonce faite il y a trois ans que le Royaume-Uni interdirait la vente de nouveaux véhicules à moteur à combustion interne d'ici 2040. Ce sont à nouveau les modèles qui ont amené le Royaume-Uni à avancer la mise en œuvre de cette interdiction de 2040 à 2035, une décision qui devrait avoir un effet en cascade sur la scène mondiale.

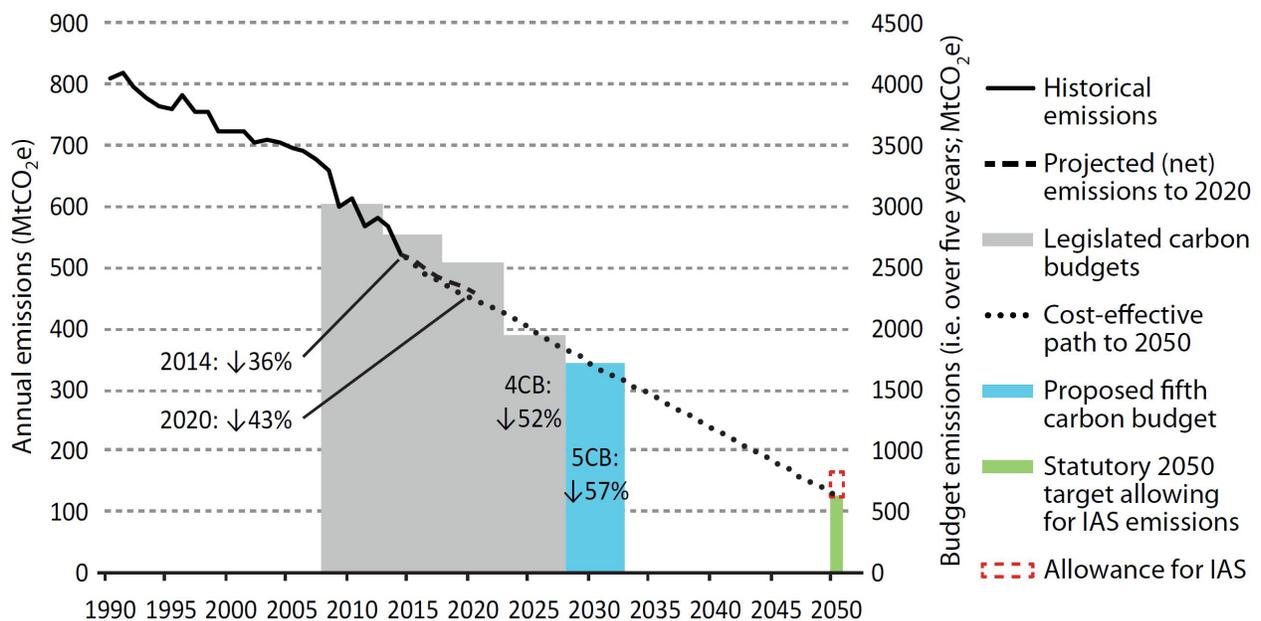
S'appuyant sur les travaux de modélisation du CCC, le Royaume-Uni a également adopté en juin 2019 une loi visant à décarboniser les systèmes de chauffage d'ici 2050. Cette législation donne en outre au Royaume-Uni un avantage dans la définition des objectifs internationaux.

Le fait de gouverner à l'aide d'objectifs concrets étayés par des plans solides donne au Royaume-Uni un avantage significatif en ce qui concerne le développement de la technologie et du savoir-faire liés à ces profondes transformations. Cela permet également au Royaume-Uni de façonner et orienter le débat et les objectifs internationaux dans une direction qui correspond à ses intérêts. Tout cela est soutenu par de rigoureuses activités de modélisation énergétique.

Même si la période d'application du quatrième budget est encore à venir, le cinquième budget (pour 2028 à 2032) a déjà été défini puisqu'il doit, selon la loi, être adopté 12 ans avant sa mise en œuvre. Cette obligation vise à signaler l'orientation prise à l'avance, étant donné le temps nécessaire pour élaborer des politiques, développer les marchés actuellement naissants, permettre aux consommatrices et consommateurs d'adapter leurs comportements et investir en vue de soutenir les infrastructures et l'innovation (CCC, 2016). L'établissement autant à l'avance de ce cinquième budget carbone a permis de recommander d'y inclure l'aviation et la navigation internationale. Le gouvernement britannique a convenu avec

la CEC du niveau d'émissions recommandé pour ce cinquième budget (gouvernement britannique, 2016), ce qui démontre clairement à quel point la modélisation est centrale pour la prise de décisions.

La recommandation du CCC émise dans le quatrième budget carbone concernant la réforme du marché de l'électricité, également basée sur la modélisation, incluait la décarbonisation de l'approvisionnement en électricité, la garantie de la sécurité de l'approvisionnement et la minimisation du coût de l'énergie pour l'ensemble de la population. Le gouvernement britannique a mis en œuvre cette réforme en 2013 (gouvernement britannique, 2013).



Source: The Fifth Carbon Budget – The next step toward a low carbon economy. Committee Climate Change, London. (CCC, 2016)

Figure 1 – Le cinquième budget carbone recommandé continuerait de réduire les émissions en vue de permettre au Royaume-Uni d'atteindre son objectif pour 2050

## **3.2. La Californie : une approche factuelle rigoureuse pour assurer une planification à long terme**

S'appuyant sur des institutions vieilles de plusieurs décennies telles que le California Air Resources Board (CARB), qui a une longue histoire d'élaboration de politiques basées sur la modélisation, la Californie a adopté une approche factuelle rigoureuse pour atteindre ses objectifs en matière de lutte contre les changements climatiques. Les éléments suivants sont essentiels pour la mise en œuvre de cette approche et l'utilisation de la modélisation énergétique à des fins d'élaboration de politiques.

### **3.2.1. La California Energy Commission (CEC) et le California Air Resources Board (CARB)**

La relative autonomie dont jouit la Californie au sein du système fédéral américain permet d'expliquer la force et le pouvoir des organismes soutenant l'élaboration des politiques climatiques et énergétiques de l'État. La CEC est responsable du rapport semestriel sur la politique énergétique intégrée (Energy Policy Report – IEPR), tandis que le CARB met à jour un plan de cadrage des changements climatiques (Climate Change Scoping Plan) tous les cinq ans. Les mandats des deux organismes sont de plus en plus étroitement liés au plus

récent IEPR qui stipule que « la lutte contre les changements climatiques est le fondement de la politique énergétique de la Californie ». Dans le cadre du IEPR bisannuel, la CEC rend compte des tendances et problèmes concernant l'électricité et le gaz naturel, le transport, l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et la recherche énergétique d'intérêt public.

### **3.2.2. Les modèles utilisés**

Le CARB utilise des modèles ascendants et descendants pour évaluer les options politiques susceptibles de permettre la réduction des émissions dans tous les secteurs de l'économie californienne : soit les modèles Energy 2020 (ascendant) et E-DRAM (descendant) (CARB, 2010). De plus, la CEC et la California Public Utilities Commission (CPUC) ont utilisé le modèle PATHWAYS pour élaborer plusieurs scénarios qui faisaient varier la combinaison de technologies à faibles émissions de carbone et le calendrier de leur déploiement (E3, 2017). De façon significative, avant de collaborer avec le Québec dans le cadre du marché du carbone, le CARB avait également entrepris des exercices de modélisation (CARB, 2012) à la suite des travaux de la Western Climate Initiative (WCI). Aucun exercice de modélisation équivalent n'a été effectué au Canada, même si le Québec a procédé à une simple analyse interne, ce qui montre la différence de ressources entre les deux entités administratives.

### 3.2.3.L'intégration de la modélisation dans l'élaboration de politiques

La production d'un ensemble unique de prévisions dans le contexte de l'IEPR bisannuel de la CEC (CEC, 2015) est l'une des applications les plus importantes de la modélisation énergétique à l'élaboration des politiques. Cet ensemble est composé d'une prévision de base et de projections d'économies supplémentaires, réalisables grâce à une amélioration de l'efficacité énergétique et susceptibles de se produire dans un avenir prévisible, ceci en tenant compte des impacts des politiques futures. L'ensemble de prévisions constitue la base d'une prévision gérée destinée à être utilisée à des fins de planification l'année suivante par la CEC, la CPUC et le California Independent System Operator (CAISO). Il vise également à garantir que la clientèle californienne peut compter sur

un approvisionnement énergétique adéquat à un coût raisonnable. La CEC s'est associée à la CPUC et au CAISO pour former une équipe technique d'harmonisation des processus interinstitutionnels afin de discuter des problèmes techniques et améliorer la coordination de la planification des infrastructures (CEC, 2015).

En vertu de la Global Warming Solutions Act de 2006, connue sous le nom de Assembly Bill 32 (AB-32), la Californie est tenue d'élaborer un plan de cadrage complet afin d'« identifier et formuler des recommandations sur les mesures de réduction directe des émissions, les mécanismes de conformité alternatifs, les mécanismes de conformité basés sur le marché et les mesures incitatives potentielles monétaires et non monétaires » et de réaliser « le maximum de réductions d'émissions de GES techniquement réalisables et rentables ». Un premier plan de cadrage a été adopté en 2008 (CARB, 2008) et est mis à jour au moins tous les cinq ans. La dernière mise à jour, publiée début 2017, définit une stratégie pour permettre à la Californie d'atteindre son objectif de réduction des émissions pour 2030 (CARB, 2017).

Pour évaluer les impacts économiques du plan de cadrage, le CARB a comparé l'activité économique estimée dans le cadre d'un scénario de statu quo (business-as-usual – BAU) aux résultats obtenus lorsque les actions recommandées dans le plan sont mises en œuvre. Le scénario BAU a été élaboré à partir des prévisions du ministère des Finances de la Californie,

S'appuyant sur des institutions vieilles de plusieurs décennies, la Californie a adopté une approche factuelle rigoureuse pour atteindre ses objectifs en matière de lutte contre les changements climatiques.

de la CEC et du modèle E-DRAM. Afin d'examiner les impacts économiques des mesures de plafonnement et d'échange des émissions, la Californie et d'autres administrations partenaires de la WCI ont confié par contrat à ICF International and Systematic Solutions, Inc. la tâche d'effectuer des analyses économiques à l'aide d'Energy 2020, un modèle énergétique multirégional et multisectoriel. Cependant, la portée des secteurs et des scénarios couverts par ce modèle est assez limitée.

### 3.3. La situation au Canada

Les trois principales entités fédérales suivantes mènent des activités de modélisation : la Régie de l'énergie du Canada (REC), Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et Ressources naturelles Canada (RNCan) (Vaillancourt et al., 2014). Les modèles utilisés servent généralement à prévoir les tendances en matière d'énergie et d'émissions de GES. La REC a utilisé une combinaison de modèles commerciaux pour produire ses rapports sur L'avenir énergétique du Canada : soit le modèle énergétique intégré Energy 2020 couplé à un modèle macroéconomique de Stoke Economics. ECCC a eu recours à un cadre de modélisation appelé le Modèle énergie-émissions-économie du Canada (E3MC), basé sur le modèle Energy 2020 et des modèles internes, pour prévoir les tendances futures en matière d'émissions (Environnement Canada, 2014). RNCan a utilisé le modèle MAPLE-C (Modèle pour

analyser les politiques liées à l'énergie au Canada), un modèle d'équilibre servant à prévoir l'offre et la demande d'énergie ainsi que les émissions, et ce, bien que ce modèle ne soit plus utilisé depuis 2006 pour fournir des prévisions. À l'échelle internationale, l'Energy Information Administration (EIA) et l'Agence internationale de l'énergie (AIE) effectuent également une modélisation énergétique de la situation du Canada lorsqu'elles établissent des prévisions énergétiques mondiales.

Bien que les organismes gouvernementaux canadiens aient développé une certaine capacité de modélisation, celle-ci s'est généralement limitée à la production de prévisions basées sur des codes de modélisation élaborés, et dans la plupart des cas gérés, par des cabinets de conseil.

Bien que les organismes gouvernementaux canadiens mentionnés ci-dessus aient développé une certaine capacité de modélisation, celle-ci s'est généralement limitée à la production de prévisions

basées sur des codes de modélisation élaborés, et dans la plupart des cas gérés, par des cabinets de conseil. Des compétences de modélisation plus avancées ont été développées dans les universités canadiennes et les cabinets de conseil connexes.

Ces modèles ont été exploités dans plusieurs initiatives canadiennes récentes de modélisation alliant données climatiques et énergétiques (ECCC, 2016). Une évaluation réalisée en 2015 par le Conseil des académies canadiennes (CAC) a conclu que le Canada peut considérablement réduire ses émissions en utilisant des technologies disponibles dans le commerce et a identifié de nombreuses technologies existantes qui sont capables de réaliser de nouvelles réductions. L'évaluation, menée par un groupe d'expert·e·s composé de huit membres, n'a pas consisté en une recherche primaire. Elle a plutôt visé à clarifier des problèmes que la société civile et le secteur privé ignorent généralement ou qui peuvent porter à confusion, alors qu'ils sont largement compris et acceptés par les spécialistes de l'énergie et du climat, et étayés par la littérature (CAC, 2015).

À l'aide d'un cadre de modélisation macroéconomique intégré (Sawyer et Bataille, 2016), le Deep Decarbonisation Pathways Project (DDPP) a identifié six

trajectoires de décarbonisation pour le Canada. Ceci suggère que le Canada peut réaliser des progrès importants grâce à la décarbonisation de son réseau électrique en utilisant principalement des sources d'énergie renouvelables, ainsi que certains combustibles fossiles associés au CSC, et en remplaçant les sources d'énergie basées sur la combustion par de l'électricité dans de nombreux secteurs. Le Projet Trottier pour l'avenir énergétique (Fondation familiale Trottier, 2016), basé sur le modèle CanESS et le modèle NATEM (un modèle d'optimisation TIMES, géré par ESMIA, qui comprend l'ensemble du système nord-américain), a examiné 11 scénarios différents permettant au Canada d'atteindre divers niveaux de réduction des émissions de GES d'ici 2050 à l'aide d'un modèle d'optimisation et d'un modèle de simulation. Les principales voies permettant de réduire les émissions comprennent l'élargissement de l'utilisation de l'électricité produite sans émission, l'augmentation de l'utilisation des biocarburants dans le secteur des transports et l'amélioration de la conservation et de l'efficacité énergétique. Les plus récentes Perspectives énergétiques canadiennes – Horizon 2050 (Langlois-Bertrand et al., 2018) utilisent une version mise à jour du modèle NATEM, ce qui permet de suivre l'évolution des systèmes énergétiques du Canada en fournissant des résultats ventilés au niveau provincial.



## 4. L'IMPORTANCE CROISSANTE DE LA MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

Depuis les années 1970, la modélisation énergétique a été utilisée pour l'élaboration de stratégies visant à garantir que l'approvisionnement énergétique répondrait à la demande. Par exemple, des efforts considérables ont été consacrés à la planification des infrastructures afin que celles-ci répondent à temps à la croissance attendue de la demande d'électricité. Cela s'est produit dans un monde où les sources d'énergie primaires étaient relativement stables – pétrole conventionnel, charbon et gaz, hydroélectricité et nucléaire – et où cette énergie était utilisée à l'aide de technologies largement traditionnelles allant des moteurs à combustion interne aux chaudières à gaz et aux radiateurs électriques. C'était aussi une époque où le choix de la source d'énergie reposait uniquement sur des arguments économiques.

Au cours des deux dernières décennies, tous les aspects du secteur de l'énergie ont subi de profondes transformations, qui se poursuivent aujourd'hui et devraient s'accélérer alors que le monde entame une transition énergétique à une échelle sans précédent.

Ces transformations se produisent à plusieurs niveaux et entraînent les relations, rétroactions et défis suivants qui sont loin d'être pleinement compris aujourd'hui :

Au cours des deux dernières décennies, tous les aspects du secteur de l'énergie ont subi de profondes transformations. Celles-ci devraient s'accélérer alors que le monde entame une transition énergétique à une échelle sans précédent.

- La nécessité de décarboniser le secteur de l'énergie, et réduire ainsi la principale cause des changements climatiques, en abandonnant les combustibles fossiles sur lesquels repose aujourd'hui plus de 80 % de toute la production d'énergie, ce qui force le monde à repenser son secteur de l'énergie.
- De nouvelles sources d'énergie économiques, comme le gaz et le pétrole de schiste, l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie éolienne, instaurent une nouvelle concurrence et défient les modèles commerciaux actuels, ce qui exerce une pression sur les principaux secteurs économiques.

- Le rôle croissant des nouvelles technologies de stockage d'énergie, allant de l'utilisation de batteries au recours à l'hydrogène, remettent en question l'harmonisation entre l'offre et la demande d'énergie.
- Des habitudes de consommation en évolution rapide dans les domaines des transports et de l'informatique ainsi que la production d'énergie décentralisée exercent également une pression sur le système, en particulier le système électrique; on ne sait pas quels investissements allègeraient le mieux cette pression.
- La perturbation des technologies de l'information, notamment l'utilisation intelligente de l'énergie, l'intelligence artificielle et la G5, bouscule de nombreux modèles économiques en insérant de nouvelles personnes actrices à travers la chaîne énergétique qui va de la production à la consommation.
- La transformation massive des secteurs énergivores, comme le transport et la construction, perturbera les secteurs économiques éloignés de la production.
- Enfin, et fait de la première importance pour le Canada, toutes les régions du pays seront touchées non seulement différemment, mais à différents moments de la transition, ce qui nécessite une compréhension sophistiquée et spécifique à chaque région afin de pouvoir déterminer la meilleure façon d'orienter et de tirer parti de cette transformation.

Même en les considérant individuellement, il est difficile de comprendre comment les transformations du secteur de l'énergie auront un impact sur les investissements, les services, les emplois et d'autres aspects de notre vie. Si on les prend en compte dans leur ensemble, il est impossible d'évaluer leur impact sans recourir à une modélisation rigoureuse.

Même en les considérant individuellement, il est difficile de comprendre comment les transformations du secteur de l'énergie auront un impact sur les investissements, les services, les emplois et d'autres aspects de notre vie par l'entremise d'une analyse qualitative. Prises en compte dans leur ensemble, leur impact intégré sur notre société est tout simplement impossible à évaluer sans recourir à une modélisation rigoureuse qui peut se concentrer soit sur des aspects spécifiques de ces transformations, soit sur une analyse technique, économique et techno-économique transversale. Ces renseignements sont d'une importance

capitale pour assurer l'élaboration des politiques les plus pertinentes, la sélection des meilleurs investissements et l'accompagnement des personnes qui seront le plus affectées par les changements.

Plus important encore, la modélisation énergétique ne se limite pas à faciliter l'identification de la réaction appropriée à avoir face aux changements qui surviennent à l'échelle régionale, nationale et mondiale. Elle favorise également

un positionnement proactif, indiquant où des mesures audacieuses peuvent être mises en œuvre avec un maximum d'avantages, comme le démontre l'exemple du Royaume-Uni. Des activités de modélisation rigoureuses soutiendront l'élaboration de lois et de règlements efficaces ainsi que la conception des trajectoires les plus prometteuses pour permettre au Canada d'atteindre ses objectifs, d'une manière qui reconnaît sa riche diversité économique, géographique et culturelle.

## EFFORTS DE MODÉLISATION POUR SOUTENIR D'AVANTAGE LA DÉCARBONISATION DU RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Même si le réseau électrique canadien est l'un des plus décarbonisés de la planète, de nouvelles réductions d'émissions sont nécessaires pour permettre au Canada d'atteindre ses objectifs climatiques. L'augmentation de la capacité de production d'énergie renouvelable n'est qu'un élément de la solution, et celui-ci comporte encore de nombreuses inconnues. Un récent rapport de la Fondation David Suzuki (Green, 2019) énumère un certain nombre de questions sans réponse sur le rôle que les énergies renouvelables peuvent jouer dans l'avancement de l'électrification :

Quelles pourraient être les limites imposées par les valeurs sociales et environnementales relativement à l'ensemble de solutions optimales du point de vue technologique et économique?

Comment le système actuel peut-il être optimisé pour accélérer la transition?

Quelles sont les technologies précommerciales les plus prometteuses?

Quand et où la capacité de génération d'électricité est-elle requise?

Comment l'énergie nécessaire pour aller au travail et en revenir évoluera-t-elle à mesure que les véhicules autonomes deviendront plus courants et que le milieu professionnel s'adaptera à une automatisation accrue?

De quelle source d'énergie à zéro émission faut-il tirer parti?

Quel rôle peut jouer la génération d'électricité assortie de capacités de capture et stockage de carbone?

L'efficacité énergétique, d'une part, et de nouveaux modèles d'affaires proposant des approches novatrices pour satisfaire les besoins de services énergétiques, d'autre part, peuvent-ils nous aider à réduire de façon marquée notre appétit en énergie?

Quelles sont les économies d'énergie potentielles générées par l'application de principes de croissance intelligente au moment de planifier nos collectivités?

Quels investissements futurs sont requis au chapitre du stockage et du transport de l'électricité?

Il est difficile de fournir une réponse définitive à chacune de ces questions. Bien que certains efforts de modélisation fournissent déjà des éléments de réponse, une modélisation plus avancée, prenant en compte les niveaux municipal à national, devrait mieux soutenir la prise de décisions et l'optimisation des investissements dans les infrastructures, puisque les technologies perturbatrices et les changements de comportement émergents doivent être pris en compte (voir encadré suivant).

## LES DÉFIS DES MODÈLES ÉNERGÉTIQUES

Aucun outil de modélisation unique ne peut saisir la complexité du secteur de l'énergie, de la production à la consommation. Les modèles énergétiques couvrent donc une large gamme d'échelles, de secteurs et d'aspects énergétiques. Voici une brève classification des différents aspects qui doivent être couverts par la modélisation énergétique.

### ÉCHELLE

La modélisation peut être réalisée à différentes échelles, allant des éléments individuels – bâtiments, unités de production – aux systèmes complets – villes, réseau électrique. Elle peut également couvrir différentes échelles géographiques ou sectorielles. Cette division existe depuis la création du domaine.

Bien que la plupart des activités de modélisation dirigées par le gouvernement soient conçues à l'échelle nationale, il est toujours nécessaire d'inclure des considérations locales, car de nombreuses transformations liées à l'énergie sont de nature locale. Par exemple, le nombre croissant de véhicules électriques et l'intégration de la production d'énergie décentralisée au niveau des villes ont un impact sur le réseau électrique au niveau de la distribution.

De même, des transformations à l'échelle de la ville peuvent jouer un rôle clé dans la demande d'énergie et doivent être prises en compte dans l'élaboration des politiques. Étant donné que ces décisions d'urbanisme dépendent de l'emplacement de la ville, elles nécessitent une modélisation réalisée au niveau de la ville ou de la région.

### MODÉLISATION DE LA DEMANDE

Comme la demande subit de rapides transformations sous les pressions sociales et technologiques, le développement de modèles permettant de prévoir la demande au-delà des hypothèses universelles standard a suscité beaucoup d'intérêt au cours des dernières années. Cet effort de modélisation est grandement facilité par l'accès à des données plus fines.

Dans le secteur de l'électricité en particulier, l'évolution de la demande ne peut pas être une simple projection du passé. Pour la plupart des modèles, la demande est exogène, mais les nouvelles technologies font de la demande un paramètre dynamique du système.

Étant donné que les conséquences les plus immédiates sont locales et à court terme, affectant ainsi le fonctionnement du réseau, il est également nécessaire de modéliser l'évolution de la demande à une échelle plus large pour la prendre en compte dans les activités de planification.

## **TECHNOLOGIES PERTURBATRICES**

Il est extrêmement difficile de modéliser un bouleversement car ce type d'événement a tendance à être inattendu par nature. Cependant, il est essentiel de saisir ces bouleversements pour garantir que les investissements et les politiques correspondent le plus possible à la réalité sur le terrain.

Les véhicules électriques seront responsables de nombreuses perturbations affectant le réseau électrique : ils représenteront en effet des charges variables, aussi bien dans l'espace que dans le temps. Lorsqu'ils sont connectés au réseau, ils agissent comme des dispositifs de stockage qui pourraient être utilisés pour équilibrer le réseau ou contribuer à un programme de réponse à la demande visant à réduire le pic de demande. Dans tous les cas, ils modifieront le profil de la demande de manière encore imprévue.

L'intégration de la production d'énergie décentralisée affectera également le fonctionnement du réseau à plusieurs niveaux. Les variations de la capacité de production le rendront en effet moins prévisible, de la phase de production à la phase de distribution. Dans cette dernière, le flux d'énergie ne sera plus unidirectionnel, ce qui aura éventuellement une incidence sur la durée de vie du transformateur et, finalement, sur la gestion des actifs.

Il s'agira de relever des défis à court terme (exploitation du réseau), à moyen terme (utilisation et intégration du stockage) et à long terme (planification de l'expansion des capacités de production, modèle d'affaires, etc.).



## 5. L'EXPERTISE EN MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE AU CANADA

Au cours des 10 à 15 dernières années, les efforts de modélisation réalisés à l'interne au niveau fédéral ont considérablement diminué. Par exemple, les Perspectives énergétiques du Canada, produites par Ressources naturelles Canada, ont cessé d'être publiées après 2006 (CNR, 2006). Le gouvernement fédéral s'appuie également de plus en plus sur une expertise étrangère pour l'utilisation de son modèle principal (Energy 2020), ce qui limite sa capacité à étudier différents scénarios, à contrôler les intrants et à valider les prévisions.

Néanmoins, le Canada possède une expertise et des compétences solides et diversifiées en matière de modélisation énergétique. Une fois mieux structurées, celles-ci pourraient contribuer de façon beaucoup plus importante à l'élaboration des politiques alors que le pays entreprend, à l'instar du reste du monde, une transformation majeure de son système énergétique, de son économie et de sa société pour relever le défi des changements climatiques.

### 5.1. Modélisateur·rice·s et modèles

Une grande variété d'actrices et d'acteurs effectuent des travaux de modélisation énergétique au Canada, notamment des universitaires, des gouvernements, des

Le Canada possède une expertise et des compétences solides et diversifiées en matière de modélisation énergétique. **Une fois mieux structurées**, celles-ci pourraient contribuer de façon beaucoup plus importante à l'élaboration des politiques.

services publics, des organismes de réglementation et des cabinets de conseil. Le domaine est actuellement structuré d'une façon qui reflète son développement relativement organique : la plupart des spécialistes travaillent dans des milieux assez restreints qui se sont développés de manière indépendante et poursuivent des objectifs disparates sans interagir beaucoup les uns avec les autres.

En mars 2019, Ressources naturelles Canada a lancé un appel de propositions pour jeter les bases d'un réseau de modélisation énergétique qui pourrait soutenir la prise de décisions des responsables politiques et d'autres parties

prenantes dans le contexte de la transition énergétique. Cette démarche a conduit au lancement de l'Initiative de modélisation énergétique (IME) dont le mandat consistait, entre autres, à cartographier le milieu de la modélisation énergétique et de l'expertise connexe au Canada.

En conséquence, les livrables et tâches de l'IME ont été conçus pour répondre au

besoin de renforcer et mobiliser le milieu, ceci afin de faire converger l'expertise en modélisation vers des approches applicables dans la prise de décisions politiques et économiques. Ces livrables comprennent l'identification et la synthèse des projets les plus pertinents ainsi que la constitution d'un inventaire exhaustif de l'expertise dans ce domaine au Canada.à

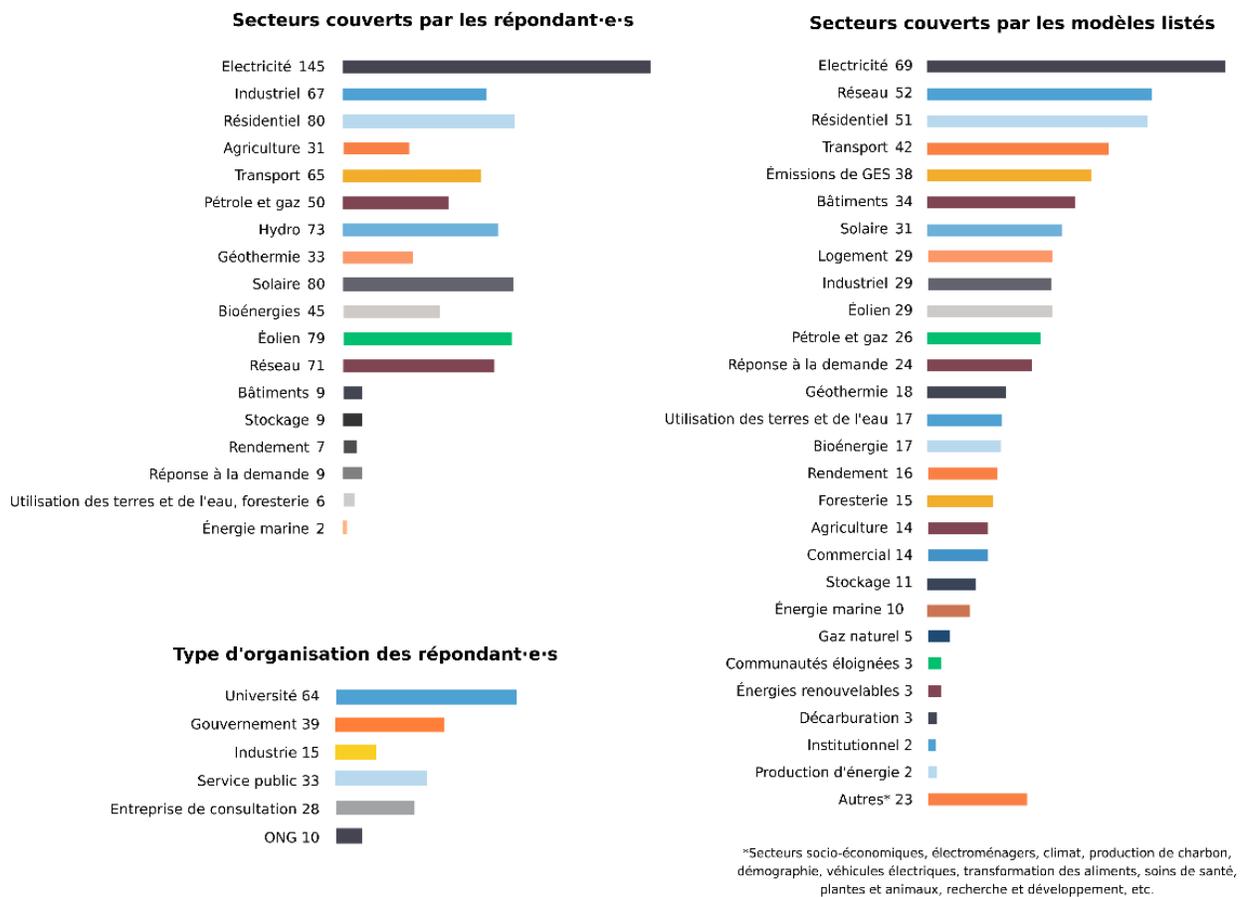


Figure 2 – Aperçu de l'inventaire produit

### 5.1.1. Des activités de modélisation riches et concrètes

La grande participation observée aux divers événements organisés à travers le pays concernant la modélisation énergétique et les réponses à l'enquête d'inventaire qui a été menée sur le sujet a donné une première mesure de l'étendue et de la profondeur de l'expertise canadienne en la matière.

La diversité des parties prenantes qui ont participé à ces événements souligne l'importance de constituer un inventaire répertoriant l'expertise en matière de développement de la modélisation ainsi que les personnes utilisatrices potentielles. La conservation de cet inventaire devrait aider à coordonner le réseau et encourager la collaboration. L'un des rares points de consensus clair sur lequel s'entendaient les participantes et participants aux trois ateliers régionaux et à la plupart des sections du forum national était la nécessité de créer une structure capable 1) d'agir en tant qu'« intermédiaire entre la modélisation et l'utilisation des modèles » et, par conséquent, de contribuer au « décloisonnement » du milieu de la modélisation et d'autres parties prenantes du domaine de l'énergie et 2) de fournir un soutien indispensable pour la conservation des modèles, leur diffusion et la formation nécessaire à leur utilisation.

Les projets de modélisation financés La réponse de l'appel à projets de modélisation de l'IME confirme la richesse de l'expertise canadienne en matière

de modélisation énergétique. Malgré un budget ne permettant de financer que 10 projets, 43 propositions ont été soumises en réponse à l'appel de propositions lancé à la mi-juin 2019, et ce, alors que le délai de réponse n'était que de trois semaines. Ces chiffres ont dépassé les attentes initiales étant donné le court délai alloué pour la préparation des propositions et la réalisation des projets ainsi que le relativement faible montant d'argent accordé.

L'éventail des propositions soumises illustre la richesse et la fertilité du milieu de la modélisation énergétique au Canada. Bien que les ressources disponibles ne permettent de financer que 10 projets, 13 rapports, dont un projet volontaire et deux projets non éligibles au financement (parce que réalisés par des organismes gouvernementaux) ont été reçus. L'annexe A fournit plus de détails sur ces projets.

La sélection a été difficile compte tenu de la qualité des propositions. Les projets ont été sélectionnés en fonction de leur potentiel de contribuer à la prise de décisions politiques et économiques, de résoudre des problèmes importants liés à la décarbonisation, ou d'aider à concevoir des solutions innovantes, des synergies et des avantages allant au-delà de la seule transition énergétique, ceci tout en montrant l'étendue des activités de modélisation au Canada.

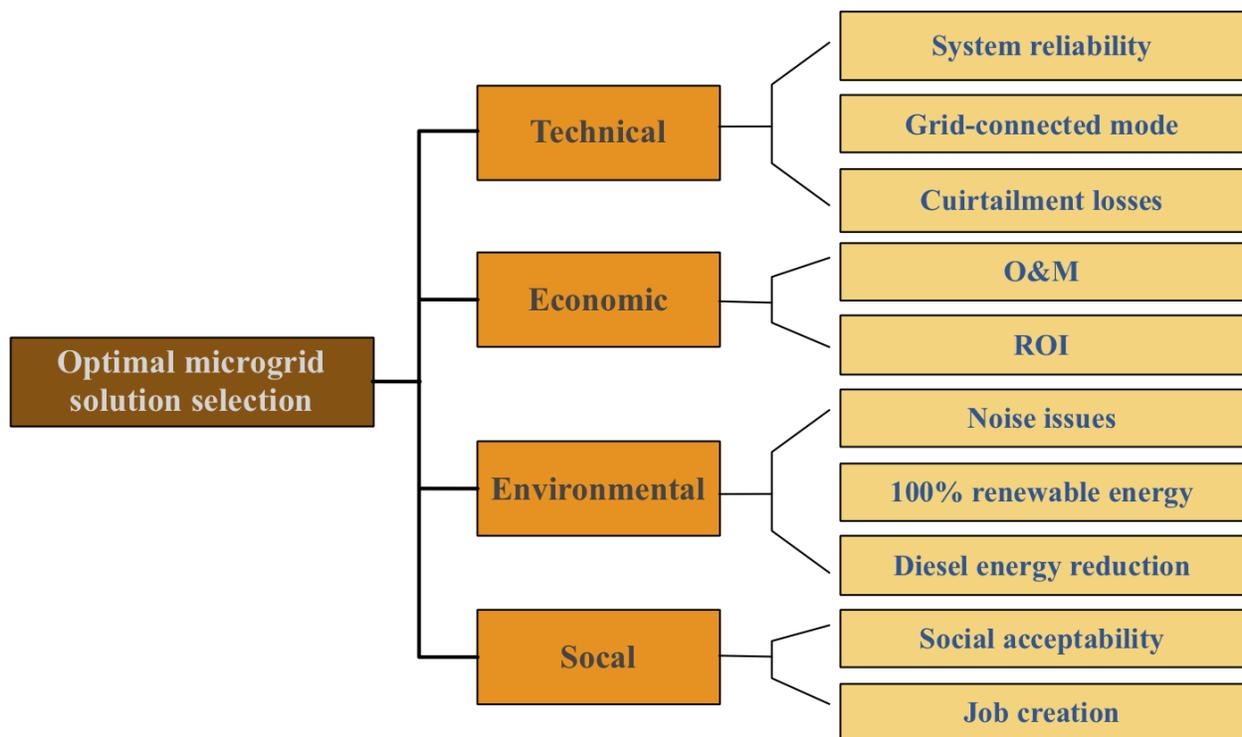
Ci-dessous, nous regroupons certains des projets sous trois thèmes afin d'illustrer le potentiel de complémentarité du milieu canadien de la modélisation. Cette

complémentarité permet d'aborder différents aspects d'un problème plus important, chacun présentant un intérêt pour différentes parties prenantes et fournissant des renseignements essentiels et stratégiques aux analystes des politiques ainsi qu'aux décisionnaires.

### Micro-réseau, réseau intelligent et décarbonisation des communautés éloignées

L'un des problèmes particuliers du Canada est la nécessité de desservir ses collectivités éloignées hors réseau, en particulier les communautés autochtones. Ces communautés dépendent principalement

de l'électricité produite par des générateurs diesels qui, compte tenu de leur coût et de la pollution qu'ils génèrent, limitent la croissance potentielle de ces communautés (Knowles, 2016). Le gouvernement fédéral s'est engagé à réduire cette dépendance par l'entremise de plusieurs programmes découlant du Cadre pancanadien et à investir 220 millions de dollars sur six ans (Infrastructure Canada, 2018, p. 7). La modélisation énergétique peut soutenir ces efforts en facilitant la mise en œuvre de mesures qui maximisent les avantages et optimisent le processus de transition; trois projets soumis à l'IME ont proposé des solutions attractives dans ce domaine.



Source: Smart Microgrid Solutions to Reducing Fossil Fuels Dependence in Canada's Rural and Remote Communities. EMI Project Report (Cao 2020). [https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/UNB\\_Cao\\_Smart\\_-Microgrid\\_Solutions.pdf](https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/UNB_Cao_Smart_-Microgrid_Solutions.pdf)

Figure 3 – Hiérarchie de critères d'évaluation de la faisabilité d'un micro-réseau.

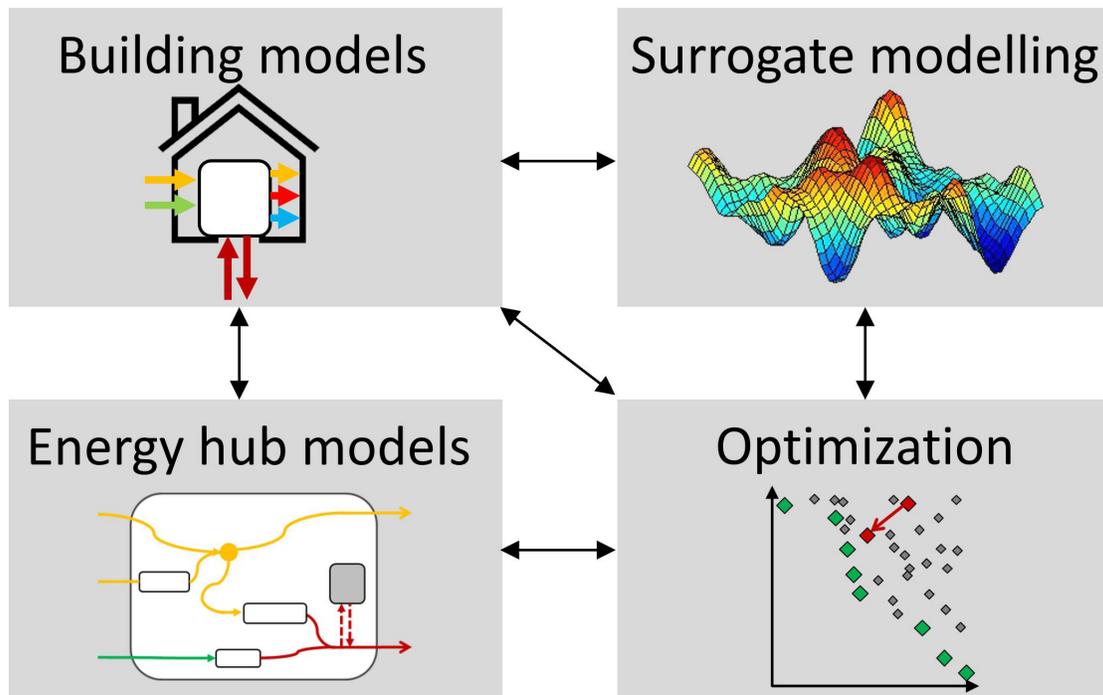
L'un des principaux obstacles à l'intégration des énergies renouvelables dans les communautés éloignées est le climat extrême qui règne dans les territoires canadiens et qui représente un défi pour le déploiement des infrastructures de production d'énergie renouvelable. L'un des projets sélectionnés a été soumis par le Collège du Yukon; intitulé « Modélisation des réseaux électriques éloignés fonctionnant au diesel dans les territoires canadiens », il peut tester la résilience du réseau et, plus important encore, déterminer l'infrastructure minimale de secours, fonctionnant au diesel, nécessaire pour assurer la sécurité énergétique des populations du Nord.

L'Université du Nouveau-Brunswick a, quant à elle, soumis un projet intitulé « Solutions de micro-réseaux intelligents pour réduire la dépendance aux combustibles fossiles dans les communautés rurales et éloignées du Canada ». Ce projet va plus loin que le précédent en proposant une plateforme de modélisation permettant d'optimiser les décisions d'intégration des énergies renouvelables dans des micro-réseaux intelligents. Cette approche impliquerait des coûts relativement faibles et assurerait un rendement maximal du capital investi permettant de garantir que l'argent des contribuables dépensé par le gouvernement aurait le maximum d'impact et atteindrait

la plus grande efficacité pour desservir les communautés éloignées.

Finalement, un projet volontaire a été soumis par des étudiantes et des étudiants l'Université de Victoria. Intitulé « BESOS – une plateforme extensible de simulation des bâtiments et de l'énergie », il propose un modèle d'estimation de la consommation d'électricité au stade de la conception de nouveaux bâtiments résidentiels, couplé au volume de production et de stockage d'énergie renouvelable, ce qui permet une indépendance énergétique maximale des unités et réduit l'incertitude dans le réseau.

Ensemble, ces trois projets de modélisation peuvent offrir des solutions exceptionnelles pour assurer la sécurité énergétique, une dépendance minimale aux générateurs diesel et une utilisation maximale des énergies renouvelables, ceci afin de réduire les émissions tout en apportant des technologies de pointe aux communautés éloignées du Canada. Étant donné que la plupart des personnes qui ont participé aux événements de l'IME ont souligné et convenu que les communautés autochtones devraient être parmi les principales parties prenantes de cette initiative, ces projets possèdent une valeur extraordinaire.



Source: BESOS – an Expandable Building and Energy Simulation Platform. EMI Project Report (Faure et al 2020). [https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/03/UVic\\_Faure\\_BESOS.pdf](https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/03/UVic_Faure_BESOS.pdf)

Figure 4 – Aperçu des principales fonctionnalités du modèle BESOS

### La modélisation au niveau de la ville pour améliorer la planification urbaine

Les municipalités constituent une autre catégorie de parties prenantes qui est bien positionnée pour bénéficier d'efforts de modélisation mieux coordonnés, comme on l'a mentionné et souligné à plusieurs reprises durant les ateliers. À mesure que la quantité d'énergie consommée dans les centres urbains augmente, les villes deviennent des zones d'intervention cibles importantes pour la transition énergétique. Des initiatives telles que l'électrification des transports, l'expansion des transports en commun et l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments ont été largement appréciées dans la boîte à outils

politiques des municipalités.

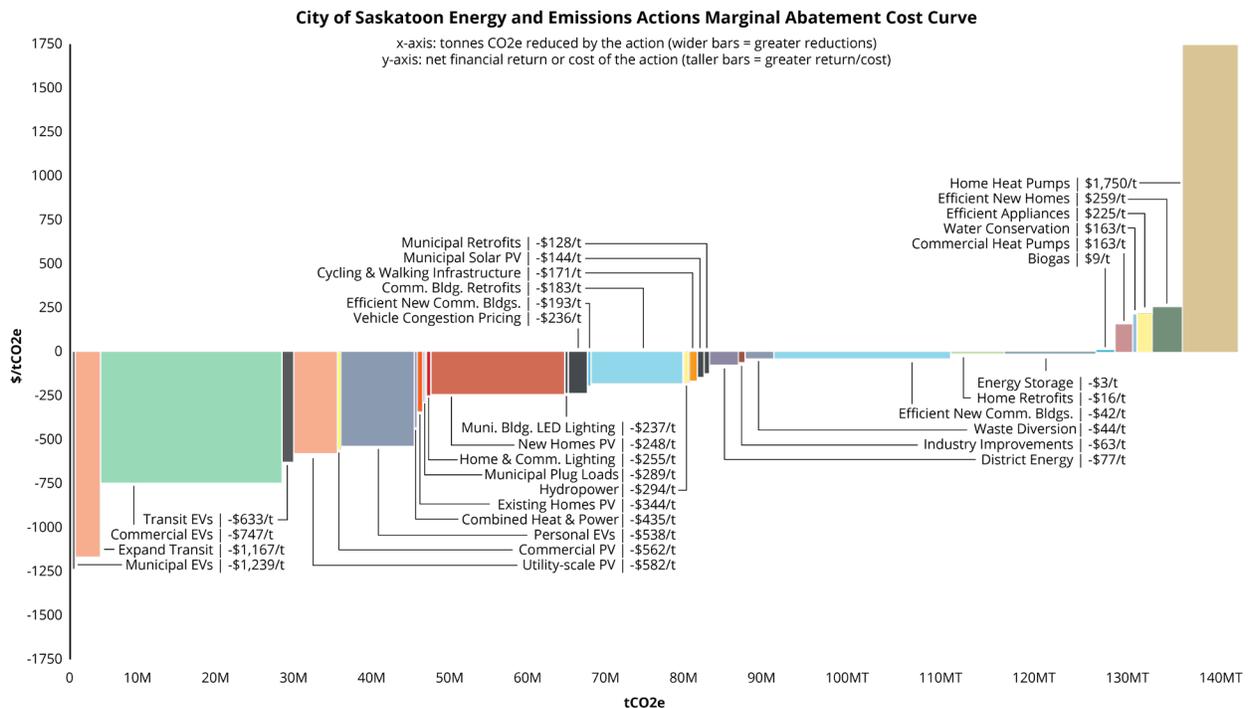
D'une part, les gouvernements municipaux n'ont pas le plein contrôle juridictionnel nécessaire sur tous ces secteurs pour pouvoir appliquer les politiques. D'autre part, les modèles existants qui associent les données énergétiques et économiques ont tendance à manquer de dimension spatiale, ce qui rend difficile la prise en compte de nombreuses actions ciblées par de telles politiques. Bien qu'il existe des modèles applicables au niveau de la ville, ceux-ci sont relativement moins avancés que les modèles infranationaux et nationaux (Keirstead et al., 2012). Deux des projets soumis à l'IME ont établi des repères concernant le type de modélisation

le plus à même d'éclairer la planification des politiques municipales.

Premièrement, le projet « Modélisation de l'atténuation urbaine des changements climatiques dans les municipalités canadiennes », soumis par Sustainability Solutions Group, fournit un modèle sophistiqué et visuel qui aide les villes à évaluer l'impact des stratégies de politique urbaine (par ex. les miniréseaux, le zonage, les transports) sur la prise de décision financière des ménages et des entreprises en fonction du coût et des économies que ces stratégies pourraient permettre. Ce modèle a déjà été déployé au Canada dans des municipalités de toutes tailles (allant de 8 000 à 2,8

millions d'habitants) et représente donc les meilleures pratiques actuelles pour soutenir les plans d'action municipaux de lutte contre les changements climatiques. Plus particulièrement, le conseil municipal de Toronto a utilisé une analyse basée sur ce modèle pour adopter à l'unanimité le rapport TransformTO, qui présente une solution pour réduire les émissions de la ville de 80 % d'ici 2050. La figure suivante illustre le potentiel de réduction des émissions de GES de chaque action évaluée sur l'axe des x et indique si cette action entraîne des coûts ou des économies (données négatives) par tonne.

Deuxièmement, le projet « Interactions des politiques agissant aux échelles locale,

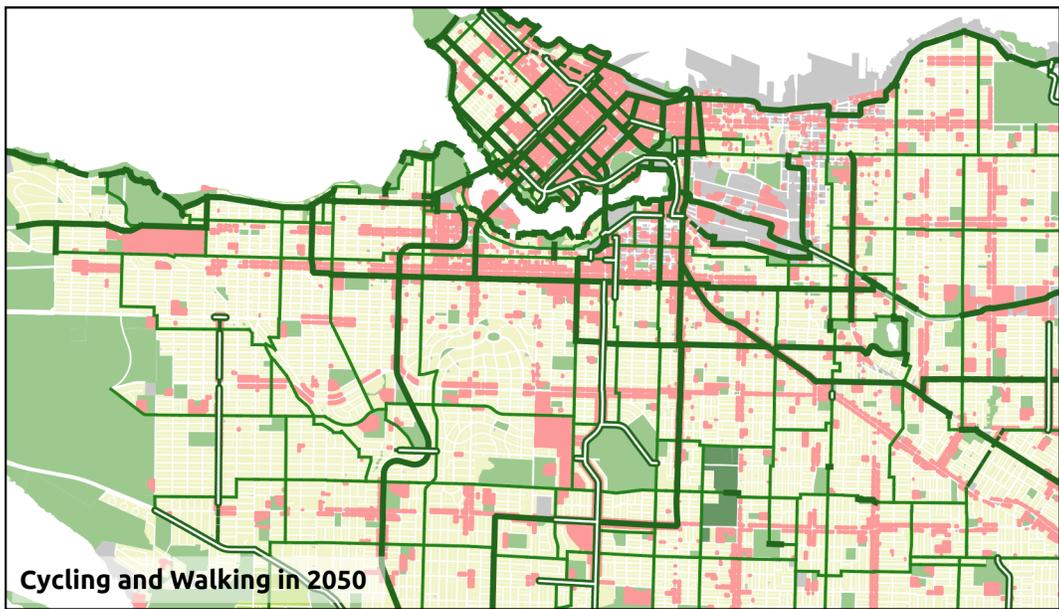
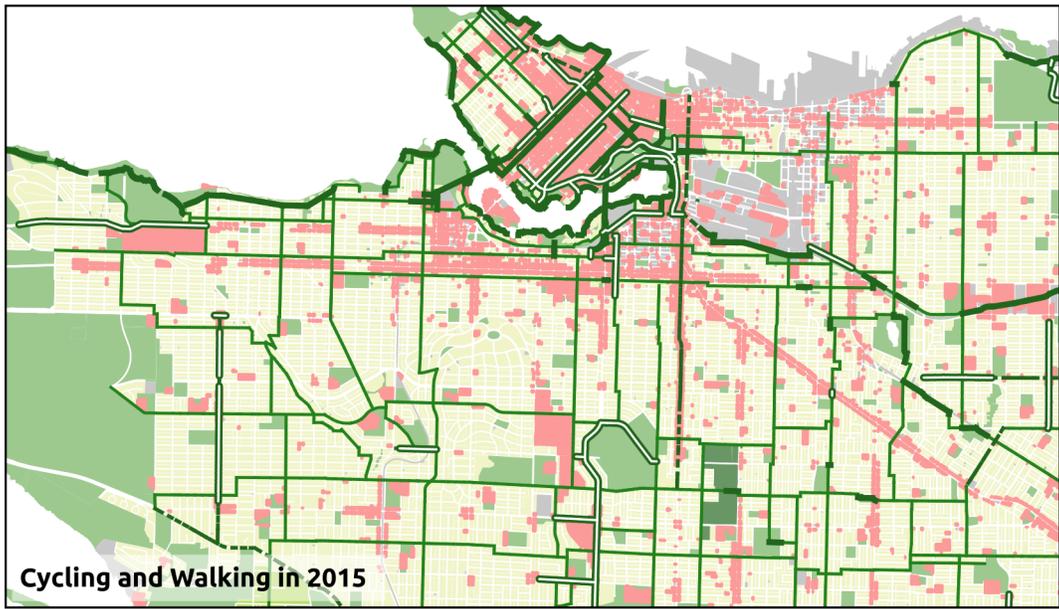


Source: CityInSight - Modelling urban climate mitigation in Canadian municipalities. EMI Project Presentation (Herbert et al 2020). [https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2019/12/P08\\_Herbert\\_Spatially\\_Resolved\\_Modelling\\_of\\_Energy\\_and\\_Emissions.pdf](https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2019/12/P08_Herbert_Spatially_Resolved_Modelling_of_Energy_and_Emissions.pdf)

Figure 5 – Stratégies de réduction de GES et leur coût/gain potentiel pour la ville de Saskatoon

infranationale et nationale pour soutenir la transition énergétique au Canada », présenté par l'Université Simon Fraser, offre un autre modèle spatial urbain de la consommation d'énergie et des émissions de GES. La principale caractéristique de ce modèle est qu'il permet d'évaluer l'efficacité et les coûts des politiques urbaines (par ex. le transport en commun, l'utilisation des terres) à la lumière des politiques provinciales et nationales en matière de réduction des émissions de

GES. En outre, il peut saisir les coûts et avantages non observés qui influencent les décisions énergétiques des ménages et des entreprises. L'outil de modélisation utilisé, qui combine un modèle associant des données énergétiques et économiques avec un modèle d'utilisation des terres et des infrastructures urbaines, a testé la façon dont l'interaction des politiques peut affecter la consommation d'énergie en milieu urbain et les émissions de GES dans la ville de Vancouver.



Source: Interactions of policies acting at the local, sub-national, and national scales for Canada’s energy transition. EMI Project Report (Murphy et al 2020). [https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/SFU\\_Murphy\\_Jaccard\\_Griffin\\_Pardy\\_Budd\\_Interactions\\_Of\\_Policies\\_At\\_Different\\_Scales-1.pdf](https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/SFU_Murphy_Jaccard_Griffin_Pardy_Budd_Interactions_Of_Policies_At_Different_Scales-1.pdf)

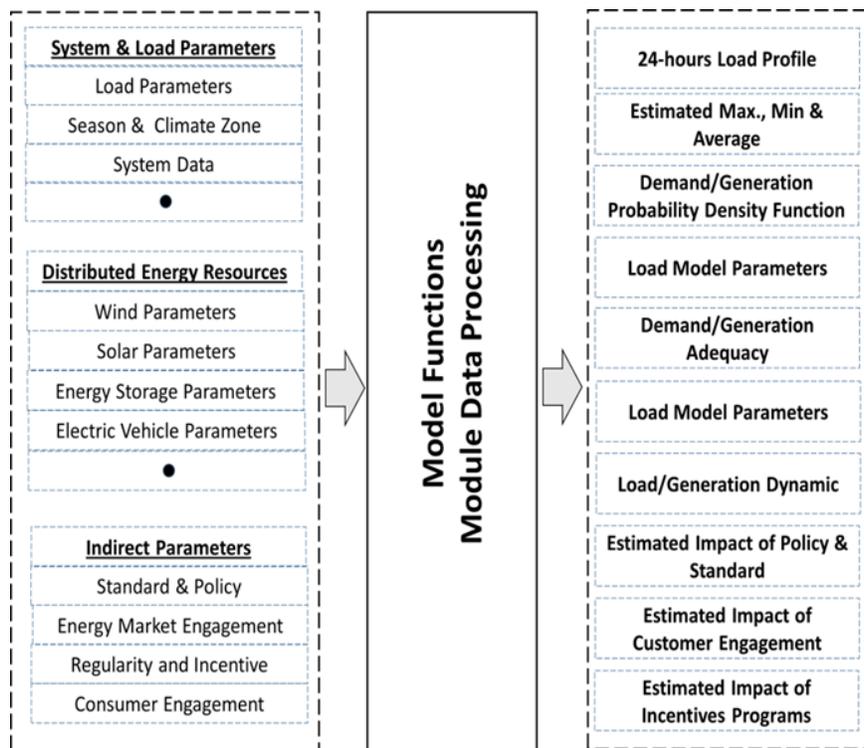
Figure 6 – Mode d’utilisation du sol et réseau cyclable de Vancouver dans le cadre de sa stratégie de la ville renouvelable (Renewable City Strategy)

## Revoir le fonctionnement du réseau au niveau communautaire

Les services publics d'électricité (y compris la production, la distribution et les autres gestionnaires du réseau) forment un autre groupe clé de parties prenantes, comme l'a souligné le forum national de l'IME. Traditionnellement, les services publics sont les organismes qui ont le plus investi pour développer une expertise de modélisation à l'interne, bien qu'ils aient également collaboré avec des spécialistes à l'externes. Ce secteur est l'un des plus mis à l'épreuve compte tenu des bouleversements technologiques qui le touchent à tous les niveaux et d'une

manière à peine envisagée jusqu'à présent. Deux des projets financés s'intéressent à certains de ces problèmes.

Le premier, soumis par l'Université de Waterloo, est intitulé « un modèle de charge basé sur les regroupements pour une communauté résiliente et durable ». Ce modèle peut être utilisé pour augmenter la résilience et l'adéquation d'un réseau communautaire dans des conditions climatiques sévères grâce à une rigoureuse planification de ses ressources et de sa capacité de production, ce qui peut avoir comme avantage collatéral d'augmenter la fidélité de sa clientèle. L'approche unique du modèle permet aux services



Source : A Cluster-Based load Model for a Resilient and Sustainable Community. EMI Project Report (Salama et al. 2020). [https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/UWaterloo\\_Salama\\_Gouda\\_A-cluster-based-load-model-for-a-resilient-and-sustainable-community-1.pdf](https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/UWaterloo_Salama_Gouda_A-cluster-based-load-model-for-a-resilient-and-sustainable-community-1.pdf)

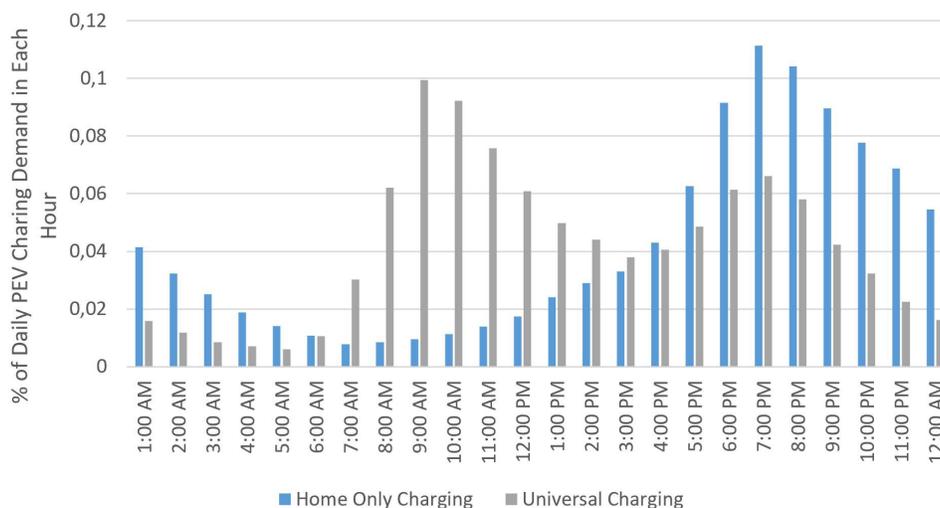
Figure 7 – Représentation modulaire des relations entrée/sortie dans un modèle de charge par regroupement

publics de retarder l'expansion d'une infrastructure en améliorant les mesures de gestion de la demande. Grâce à ses fonctions sophistiquées et à ses modules complets, il peut également optimiser les stratégies de bouquet énergétique et améliorer l'emplacement des systèmes communautaires de production et de stockage d'énergie solaire tout en repoussant les limites de leur pénétration.

L'autre projet, intitulé « Modélisation de l'augmentation de la demande de recharge des véhicules électriques au Québec » a été soumis par IQCarbone. Ce modèle est un exemple convaincant de la façon dont des modèles utiles peuvent être appliqués à de nouveaux ensembles de données pour élargir la portée de leur valeur. Il utilise des données du ministère des Transports du Québec dans un modèle initialement conçu pour le nord-est des États-Unis et offre des scénarios

de demande d'électricité pour la recharge des véhicules électriques spécifiques au Québec. Ces scénarios à haute résolution tiennent compte du moment du jour et peuvent servir à planifier l'utilisation d'énergie renouvelable pour la recharge de véhicules ou à déterminer les périodes optimales pour ces activités de recharge. Le modèle peut être utilisé non seulement pour soutenir la prise de décisions en matière d'investissement destiné au développement de ses infrastructures de production, mais aussi pour établir de nouveaux facteurs de dépréciation des infrastructures, et ce, grâce à l'étude à une micro-échelle de l'impact de la recharge des véhicules sur le vieillissement des transformateurs.

Ces projets n'offrent qu'un aperçu des types de modèles qui sont déjà disponibles au Canada et qui peuvent être utilisés pour soutenir la conception de politiques



Source: Modeling Increased Electric Vehicle Charging Demand in Quebec. EMI Project Report (Purdon et al 2020) [https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/lqcarbone\\_Purdon\\_Bahn\\_Modeling\\_Increased\\_Electric\\_Vehicle\\_Charging\\_Demand\\_In\\_Qc.pdf](https://emi-ime.ca/wp-content/uploads/2020/02/lqcarbone_Purdon_Bahn_Modeling_Increased_Electric_Vehicle_Charging_Demand_In_Qc.pdf)

Figure 8 – Distribution de la demande horaire de recharge de véhicules électriques par jour, pour différents scénarios d'utilisation au Québec

et la prise de décisions économiques par un large éventail d'acteur·rice·s. Il y avait beaucoup d'autres projets à fort potentiel pour lesquels aucun financement n'était disponible et un grand nombre d'autres qui ont été répertoriés dans l'inventaire et qui doivent encore être présentés. Ils plaident en faveur du développement de l'expertise en modélisation énergétique au Canada, présentant ce domaine comme un terrain fertile qui, s'il est bien exploité, peut réduire le besoin de recourir à l'expertise étrangère et permettre d'obtenir de meilleurs résultats adaptés à la réalité canadienne.

La richesse du potentiel de modélisation énergétique du Canada met également en lumière un fait important : les lacunes observées dans la façon dont la modélisation est actuellement utilisée comme outil de prise de décision ne découlent pas d'un manque d'expertise, mais plutôt de l'absence d'un organe de coordination permettant de l'exploiter. En plus de permettre d'optimiser les mesures de lutte contre les changements climatiques, une approche coordonnée de la modélisation pourrait créer des synergies susceptibles d'apporter une valeur socio-économique ajoutée.

## 5.2. L'écosystème

À l'heure actuelle, le milieu de la modélisation énergétique au Canada peut être décrit comme un domaine d'activités qui s'est développé de manière organique à partir d'initiatives et de collaborations

isolées plutôt que comme une structure coordonnée et stratégiquement conçue pour atteindre des cibles nationales et provinciales. À ce titre, les parties prenantes peuvent être regroupées dans les quatre catégories générales suivantes.

### 5.2.1. Les modélisatrices et modélisateurs

Les modélisatrices et modélisateurs développent et maintiennent des modèles énergétiques. Plusieurs travaillent dans le milieu universitaire en tant que professeures et professeurs, étudiantes et étudiants et associées et associés de recherche. On en trouve également dans le secteur privé qui agissent en tant que consultantes et consultants indépendantes ou qui travaillent au sein d'entreprises de conseil qui desservent une vaste clientèle, allant des organismes gouvernementaux (aux niveaux municipal, provincial et fédéral) aux entreprises, en passant par les organisations industrielles et les services publics. De nombreux services publics et certains organismes gouvernementaux emploient également à l'interne un personnel dédié à la modélisation qui exploite des modèles qui sont directement pertinents pour leurs activités.

Le milieu universitaire, qui rassemble la majorité des modélisatrices et modélisateurs s'intéressant à l'énergie, travaille principalement au développement de modèles de pointe en raison des structures incitatives du financement académique. Cette situation encourage

l'innovation et le développement de modèles plutôt que leur maintenance et leur utilisation, ce qui pose un problème majeur. Les modèles connaissent soit un succès immédiat en offrant des opportunités de retombées lucratives pour monétiser leur maintenance ou, comme c'est souvent le cas, ils sont utilisés pour des publications de recherche, puis abandonnés. Quoiqu'il en soit, le manque de coordination et la dispersion des efforts de modélisation conduisent à l'abandon de modèles, à une duplication des travaux et à un manque de continuité, et par conséquent à la perte de nombreux modèles intéressants à mesure que les étudiantes et étudiants ainsi que les chercheuses et chercheurs passent à d'autres projets.

### 5.2.2. Les ressources de données

Même si Statistique Canada est une importante source de données énergétiques pour le milieu de la modélisation, aucune source centrale n'est disponible. Les sources de données sur l'énergie sont dispersées dans une variété d'organismes qui comprennent des parties prenantes clés, telles que les gouvernements, les services publics et les organisations industrielles.

Par exemple, la Régie de l'énergie du Canada (REC), qui possède une unité de modélisation interne, gère également un vaste ensemble de données énergétiques qu'elle partage avec le grand public.

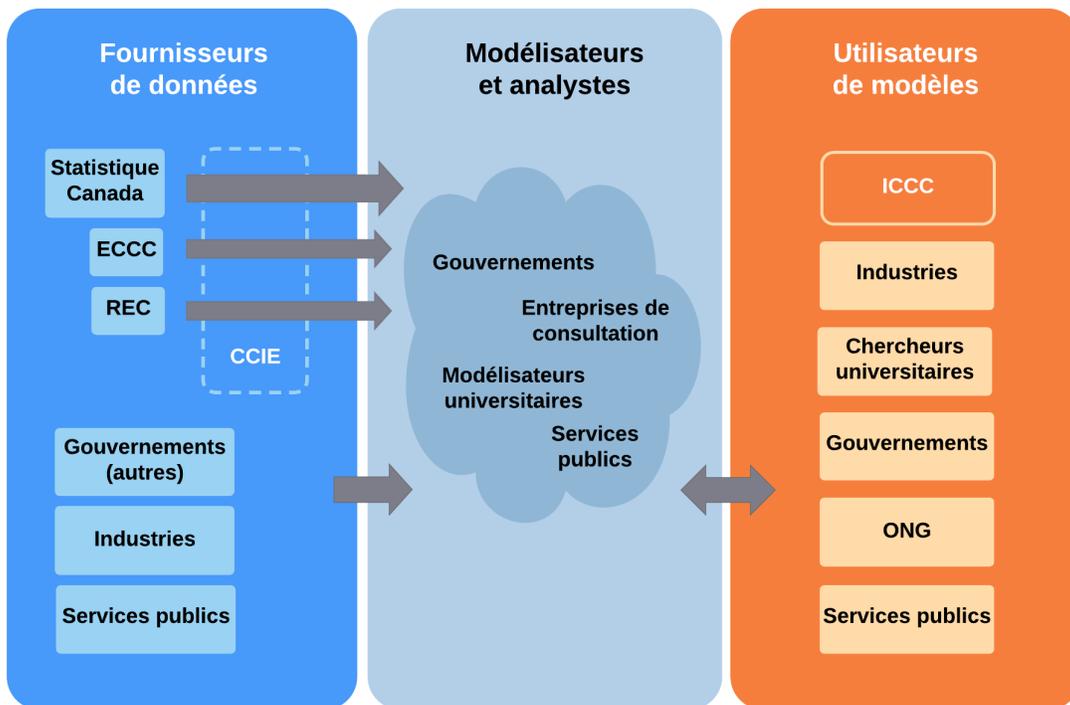


Figure 9 – Écosystème actuel

ECCC conserve aussi un large ensemble de données qu'il diffuse partiellement dans ses rapports bisannuels. Certains gouvernements provinciaux et municipaux partagent également les données qui sont à leur disposition, à condition que leur divulgation ne pose aucun problème de confidentialité ni ne rencontre d'autres obstacles juridiques.

Les services publics sont les organismes qui protègent le plus leurs données, et ce, pour un certain nombre de raisons, entre autres le fait que leurs données, en particulier celles concernant la consommation, sont plus délicates en matière de confidentialité. Bien qu'ils partagent occasionnellement leurs données avec certaines chercheuses et chercheurs, ils les lient à des accords de non-divulgation stricts qui limitent l'utilisation des données à un projet spécifique et empêchent que celles-ci soient utilisées pour d'autres études ou partagées avec le milieu plus large de la modélisation.

La REC, ECCC et Statistique Canada ont récemment uni leurs forces pour créer une entité attendue et préconisée depuis longtemps par le milieu de la modélisation : le Centre canadien d'information sur l'énergie (CCIE). Ce centre devrait devenir un guichet unique pour les données énergétiques tout en les rendant accessibles au grand public. Même si le CCIE ne recueille pas de nouvelles données, il mobilise la compétence de Statistique Canada pour rassembler les données existantes partout au pays en négociant avec différents intervenants et

en leur offrant des cadres technologiques et juridiques qui les encouragent et leur permettent de partager leurs précieuses données.

Cependant, le CCIE en est encore à ses premiers stades de développement, qui consistent à déterminer son rôle, les mécanismes qui sont à sa disposition ainsi que les stratégies de leur mise en œuvre. Pour être en mesure de remplir son mandat, définir des objectifs et concevoir des stratégies, le CCIE devra collaborer étroitement avec sa base d'utilisatrices et d'utilisateurs. Comme le milieu de la modélisation a été identifié comme un utilisateur primordial, un effort coordonné par ce milieu a été lancé en collaboration avec le CCIE afin de déterminer les priorités et besoins communs. L'objectif de cette démarche consiste à permettre au CCIE de se concentrer sur son mandat initial, qui vise à fournir un accès renouvelé aux données, plutôt que chercher à découvrir ces besoins et priorités.

### **5.2.3. Les utilisatrices et utilisateurs de modèles**

Les utilisatrices et utilisateurs de modèles utilisent directement les résultats de la modélisation ou l'analyse des résultats à des fins diverses, souvent liées à des activités d'anticipation et de planification. Ce groupe comprend des organismes gouvernementaux à divers niveaux, des services publics, des organisations industrielles – comme l'Association canadienne des producteurs pétroliers (ACPP) et l'Association canadienne de

l'énergie éolienne (canWEA) – et des organismes non gouvernementaux – tels que l'Institut de l'énergie Trottier (IET), la Fondation David Suzuki, le Centre de recherche sur l'analyse des systèmes énergétiques canadiens (CESAR) et le tout nouvel Institut canadien pour des choix climatiques (ICCC).

Certains membres de ce groupe (ACPP, gouvernements et services publics) utilisent les résultats et leur analyse pour tirer des conclusions servant à leurs travaux et à la réalisation de leur mandat, alors que d'autres (ICCC) agissent comme intermédiaires en utilisant les résultats pour produire une analyse qui leur est destinée directement ou est destinée à la clientèle de ces membres. Certains instituts de recherche (CESAR, IET) utilisent également des modèles pour soutenir leurs activités de recherche plus larges ou pour enrichir le débat au sujet de choix à faire concernant le système énergétique.

Un certain nombre d'utilisatrices et d'utilisateurs de modèles (par ex. la REC, ECCC et CanmetENERGY), diverses provinces (par ex. la Colombie-Britannique, l'Alberta et le Manitoba), des municipalités (par ex. les villes d'Ottawa et d'Edmonton) et des services publics provinciaux gèrent leurs propres ressources de modélisation internes. Elles et ils utilisent également des modèles externes et d'autres analyses pour compléter leurs travaux. Lorsque les utilisatrices ou les utilisateurs de modèles ne se servent pas de leurs ressources internes, ils et elles s'appuient souvent,

mais de manière ponctuelle, sur des contrats signés avec des spécialistes externes ou, en de rares occasions, avec des universitaires. En conséquence, les modèles utiles ne sont souvent pas maintenus ou mis à jour car il n'y a aucune probabilité fiable qu'ils puissent être déployés régulièrement, ni aucune incitation à investir dans leur maintenance. En tant que tel, le succès et l'utilité des modèles sont éphémères et le fruit d'une coïncidence plutôt que le produit d'une prise de décision stratégique et d'un investissement dans une perspective nationale.

Sans coordination, il est difficile pour ce groupe de trouver les bons modèles et d'accéder à l'expertise pour exécuter les codes, modifier et personnaliser les hypothèses et, en général, engager un dialogue avec d'autres parties prenantes ayant des intérêts similaires.

#### **5.2.4. Les sources de financement**

Les sources de financement des activités de modélisation varient selon le contexte organisationnel. Néanmoins, le système actuel de sources de financement ne favorise pas les activités de modélisation qui ont une valeur collective ou qui peuvent être durables ou applicables au-delà de leur contexte immédiat.

Les modélisatrices et les modélisateurs universitaires qui innovent et développent des modèles peuvent bénéficier du financement fourni par les trois conseils et d'autres bailleurs de fonds, comme le

CNRC. Cependant, ces organismes ne sont intéressés que par la recherche innovante et n'offrent pas de ressources pour le maintien et la mise à jour des modèles.

Les spécialistes du secteur privé doivent compter sur les opportunités de contrats avec les gouvernements et les ONG, qui offrent souvent des contrats à durée limitée, ont besoin des résultats rapidement et ne peuvent pas forcément s'engager sur le long terme. À ce titre, les sources de financement du secteur privé sont imprévisibles et rarement fiables, ce qui rend difficile l'investissement dans le développement de modèles.

Quelques parties prenantes qui s'appuient fortement sur des modèles conservent une expertise à l'interne. Ce sont ces professionnelles et professionnels qui ont l'accès le plus fiable aux sources de financement puisqu'ils font partie d'un personnel permanent. Cependant, les

gouvernements, les services publics et d'autres organismes qui gèrent la modélisation à l'interne doivent adopter certaines approches et perspectives particulières, ce qui limite leur capacité à étudier d'autres approches et modèles plus récents et potentiellement plus utiles. Pourtant, même ces organismes qui utilisent des modèles et qui prennent des engagements à long terme avec leurs professionnelles et professionnels sont souvent confronté au même dilemme. Ces personnes peuvent parfois bénéficier d'occasions de comparer les résultats de leurs modèles internes (ou de leurs contracteurs habituels) avec des modèles externes qui se trouvent être disponibles et concordants avec les problèmes en question. Néanmoins, sans une ressource externe permanente, les ressources de modélisation internes demeurent limitées à leur propre partialité, et ce, malgré leur permanence.



## 6. LES ÉLÉMENTS ESSENTIELS DE LA MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE

Le gouvernement a annoncé qu'il prévoit toujours atteindre et même dépasser ses objectifs de réduction des émissions de GES pour 2030 et qu'il vise la neutralité carbone pour 2050. Étant donné que l'énergie est directement responsable de 80 % des émissions de GES du Canada, l'atteinte de ces objectifs nécessitera une profonde transformation du système énergétique canadien, de la production à l'utilisation de l'énergie, ce qui affectera la vie quotidienne de l'ensemble des Canadiennes et des Canadiens ainsi que les activités d'une grande partie de son économie. Pour maximiser les avantages de cette transformation massive, les politiques, les programmes et les investissements doivent être orientés stratégiquement.

Des activités de modélisation énergétique rigoureuses et intégrées sont un outil essentiel pour soutenir le développement de cette approche stratégique.

Comme expliqué dans la section précédente, le Canada peut compter sur un milieu de la modélisation énergétique riche et diversifié. Cependant, il manque à ce milieu les occasions d'intégration et de rassemblement qui lui permettraient de répondre de manière satisfaisante aux besoins de compréhension du système et d'élaboration de politiques qu'il est nécessaire de combler pour pouvoir relever

les défis actuels. Ce manque de structure réduit considérablement l'impact de la modélisation énergétique pour plusieurs raisons :

Des activités de modélisation énergétique rigoureuses et intégrées sont un outil essentiel pour soutenir le développement d'une approche stratégique de la transition énergétique.

### **1. Les attentes diverses des intervenantes et intervenants en matière de modélisation**

Non seulement la modélisation énergétique est-elle complexe et vaste, mais elle est également souvent mal comprise. Par exemple, les perspectives peuvent être confondues avec des prédictions; des contraintes techniques ou économiques sont souvent imposées et limitent le champ d'application; et la question posée pourrait ne pas refléter le résultat escompté.

### **2. Le manque de transparence**

L'opacité de l'hypothèse et des données

utilisées dans de nombreux modèles empêche une compréhension précise de la valeur des modèles et de leur aire d'application. Cela inspire également aux intervenantes et intervenants et aux parties intéressées qui ne sont pas impliquées dans les modèles une certaine méfiance à l'égard de tout exercice prospectif, ce qui fait qu'il est plus difficile de soulever des questions pertinentes et de créer une base scientifique commune pour permettre au débat d'évoluer.

### **3. La difficulté d'accéder aux données**

La qualité de la modélisation énergétique dépend en grande partie de la qualité des données d'entrée. Pourtant, l'accès aux données ouvertes est difficile; une grande partie de celles-ci sont confidentielles, d'origine douteuse, ou considérablement dépassées ou incomplètes, ce qui réduit la capacité du Canada à réaliser des activités de modélisation de qualité par rapport à ses partenaires commerciaux et concurrents mondiaux.

### **4. Le manque de soutien des modèles énergétiques à long terme**

Bien que des fonds soient disponibles pour le développement de nouveaux modèles ou la réalisation de travaux de modélisation intermittents sur des projets spécifiques, le Canada n'offre aucun financement pour un soutien à long terme des modèles, comprenant entre autres la mise à jour des bases de données, le développement des activités de modélisation et la formation des utilisatrices et utilisateurs. Cela a conduit à une situation très inefficace où la plupart des modèles disparaissent lorsque leur créatrice ou créateur passe à d'autres

projets, que ce soit après l'obtention d'un diplôme ou d'un nouvel emploi. En obligeant les universitaires à constamment réélaborer les mêmes codes de manière isolée, la structure actuelle engendre un grand gaspillage de ressources, en plus d'être coûteuse et sous-optimale.

À partir de ces limites, qui ont été longuement discutées dans diverses activités et consultations tenues au sein de l'IME, un certain nombre d'éléments ont été identifiés comme étant des éléments clés pour concevoir une infrastructure de modélisation énergétique performante :

#### **1. La continuité des modèles**

Pour comprendre la transformation à long terme du secteur de l'énergie, et suivre son évolution sur de courtes périodes, il est essentiel de pouvoir compter sur un certain nombre de modèles stables, supportés sur de longues périodes, et qui utilisent des critères objectifs.

#### **2. L'augmentation de la transparence**

Les modèles sont plus que jamais utilisés comme fondement des débats entourant les politiques et les choix. Pour instiller la confiance dans les résultats, faciliter les échanges et garantir que les décisions sont prises sur la base de données scientifiques, de nombreuses administrations choisissent de travailler avec des modèles ouverts qui peuvent être testés, analysés et réexécutés de manière indépendante. Cette transparence ne se limite pas aux seuls modèles; les contraintes, les limites et les hypothèses doivent également être discutées.

### **3. Les scénarios de référence**

L'élaboration de scénarios de référence permet de comparer différentes méthodes et de mesurer plus efficacement l'importance des divers résultats. Il s'agit d'un élément primordial pour mener des débats et poser des actions concrètes en matière d'énergie en se fondant sur les connaissances.

### **4. Le partage des ressources**

Le manque d'organisation actuel entraîne une situation de grande inefficacité. Il existe un besoin important de structurer le partage des données, des codes et des modèles ainsi que des hypothèses et des scénarios. L'élimination de la duplication des efforts augmentera considérablement la capacité d'analyse et permettra de mener à bien la transformation énergétique.

### **5. La livraison de résultats en temps opportun**

Les consultations menées par l'IME ont souligné la frustration des décideurs et des analystes en ce qui concerne la difficulté d'obtenir de la part du milieu de la modélisation des résultats en temps opportun sur des questions d'intérêt, et ce, contrairement aux situations observées dans d'autres pays. Il est impératif que le Canada s'assure que le milieu de la modélisation est structuré de manière à offrir un soutien rapide et approprié aux personnes qui ont besoin de cette information.

### **6. La formation et l'éducation**

Comme la modélisation énergétique est complexe, il faut former et instruire non seulement les modélisatrices et modélisateurs, mais aussi les

décideurs et le grand public, afin que cet outil essentiel puisse jouer pleinement son rôle dans la transition énergétique.

### **7. Le travail constant avec tous les partenaires**

Le milieu de la modélisation énergétique est vaste et riche. Le gouvernement fédéral a également créé de nouvelles structures qui peuvent interagir avec le milieu de la modélisation; le Centre canadien d'information sur l'énergie (CCIE) en est un exemple. Ce dernier visera à atténuer certaines restrictions actuelles concernant l'accès à des données de qualité. Le milieu de la modélisation énergétique sera également en mesure de fournir les analyses nécessaires à l'Institut canadien pour des choix climatiques, qui a pour mandat d'élaborer des recommandations politiques sur l'atténuation des émissions de GES, l'adaptation aux changements climatiques et la croissance propre. La création d'un lieu destiné à faciliter la collaboration et les échanges aura non seulement un effet multiplicateur important sur les efforts de modélisation au Canada, mais favorisera également le développement d'efforts encore plus pertinents.

### **8. La modélisation multidimensionnelle**

Pour maximiser les effets positifs des politiques, les modèles capables de coupler plusieurs aspects sociaux, techniques et économiques du système énergétique sont essentiels. Cela requiert une structure capable de coordonner la collaboration, de fournir des infrastructures et, compte tenu de la quantité de travail que cela représente, d'assurer la continuité.

Bien que certains de ces éléments essentiels de la modélisation énergétique puissent émerger d'initiatives locales ou intermittentes, ils ne peuvent pas perdurer à long terme ou être intégrés au niveau national sans l'existence d'une structure spécifique dotée du mandat approprié, comme cela a été démontré dans les pays qui ont réussi à intégrer de rigoureuses activités de modélisation énergétique dans l'élaboration de leurs politiques.

## 6.1. Les avantages de la modélisation énergétique pour l'élaboration des politiques

Les contraintes environnementales et les développements technologiques imposent une transformation du secteur de l'énergie si profonde que la pensée traditionnelle ne suffit plus pour assurer la conception de bonnes politiques. La vitesse même de ces transformations nécessite le développement d'une capacité à prendre en compte un contexte beaucoup plus vaste afin d'évaluer l'impact d'une politique potentielle ou estimer le contexte dans lequel ces politiques s'appliqueront.

Comme indiqué ci-dessus, les gouvernements du monde entier utilisent la modélisation pour évaluer l'évolution possible des secteurs économiques, la façon dont ceux-ci réagiront aux politiques et les indicateurs d'impact des politiques.

La modélisation de l'énergie et des

émissions de GES est au cœur de la politique britannique sur les changements climatiques. Ceci découle du fait que le Royaume-Uni a opté pour un type de gouvernance très tourné vers l'avenir en adoptant un budget carbone douze ans à l'avance. Une telle approche doit s'appuyer fortement sur la modélisation pour tester les trajectoires possibles et l'impact à long terme de diverses politiques et technologies, y compris les effets de rebond, qui sont notoirement difficiles à évaluer par l'entremise de simples développements de scénarios. La décision d'adopter une approche très ouverte par rapport à la modélisation énergétique a également permis à ces outils, ainsi que les résultats qu'ils apportent, de jouer un rôle important dans les débats publics.

Au-delà de ces avantages universels, dans le contexte canadien, un milieu de la modélisation énergétique ouvert et structuré peut jouer un rôle essentiel et permettre d'élaborer des politiques avec succès tout au long des cycles électoraux :

1. Développer un consensus scientifique sur un certain nombre de questions et contribuer à faire évoluer le débat. Passer ainsi du constat de l'existence d'un défi dans le secteur de l'énergie, résultant de la pression environnementale, économique et technologique, à la sélection des meilleures politiques pour relever ce défi. Ceci est valable pour tout l'échiquier politique ainsi que les différentes et différents partenaires de la société civile.

2. Permettre l'élaboration d'un large éventail de politiques, adaptées aux réalités régionales, tout en rendant possible l'atteinte des objectifs mondiaux.

3. Assurer la stabilité dans l'application des politiques et, en même temps, soutenir une flexibilité suffisante pour

s'adapter à la réalité et aux changements de perspectives.

4. Renforcer l'appui du public en fournissant une information plus indépendante et en soutenant l'autonomisation des groupes grâce à l'accès aux outils de modélisation partagés.



## 7. CONCLUSION : L'URGENCE DE PRENDRE UN ENGAGEMENT À LONG TERME POUR SOUTENIR LA MODÉLISATION ÉNERGÉTIQUE AU CANADA

*Au Royaume-Uni, l'incertitude qui régnait dans le contexte de financement au cours des années 90 et au début des années 2000 a rendu difficiles le développement et le maintien d'une expertise de modélisation au sein des universités britanniques. L'élaboration et le maintien de la plupart des modèles nécessitent des investissements importants et à long terme, et une grande partie de cette expertise est détenue par les équipes de chercheur·e·s. Afin de permettre l'utilisation des modèles, pour répondre à des questions particulières en lien avec le marché ou des politiques, il est possible d'obtenir un financement destiné à l'obtention de services de consultation; cela est néanmoins insuffisant pour maintenir les ressources en modélisation. Au cours de la dernière décennie, une augmentation soutenue du financement, sous l'impulsion des conseils de recherche, résout en partie ce problème (initialement par l'entremise du programme Towards a Sustainable Energy Economy (TSEC), puis du programme Energy du RCUK). [traduction libre]*

*UKERC Energy Research Landscape  
Energy Systems Modelling (Strachan, 2011)*

Les objectifs climatiques et environnementaux, les nouvelles sources d'énergie, les technologies de stockage et la transformation des secteurs axés sur l'énergie auront un impact majeur sur l'économie canadienne et la vie quotidienne de chaque citoyenne et citoyen. Planifier ces transformations pour s'assurer que les objectifs sont atteints, tout en maximisant les avantages pour l'ensemble des Canadiennes et des Canadiens, est un défi primordial pour tous les gouvernements, les services publics et le secteur privé. Il est nécessaire de posséder de solides ressources en modélisation pour être en mesure de mettre en place la bonne politique, sélectionner le meilleur investissement et structurer les services dans ce monde en évolution rapide. Cela nous permettrait également de nous projeter dans l'avenir,

de tester des approches et d'évaluer l'impact de différentes décisions. À l'heure actuelle, cependant, ces ressources en modélisation ne sont pas disponibles au Canada.

Comme l'ont démontré les efforts de mobilisation de l'Initiative de modélisation énergétique, le milieu de la modélisation énergétique du Canada est riche et varié. Il couvre un large éventail d'approches et abrite plusieurs foyers techniques et géographiques. Il est présent dans les gouvernements, les services publics, les organismes de réglementation, le secteur privé et le milieu universitaire à travers le pays.

Cependant, comme nous l'avons découvert, la plupart des membres de ce milieu travaillent en grande partie de manière

isolée, en échangeant des idées avec leurs proches collègues, mais sans connaître les ressources globales en modélisation existant au Canada. Ce milieu est fragile et, sans la mise en œuvre de programmes assurant le développement et le maintien à long terme de modèles spécifiques, il ne peut pas tirer parti des investissements importants faits par les conseils de recherche pour le développement de modèles particuliers. Suivant le schéma de fonctionnement observé au Royaume-Uni il y a dix ans, le Canada finance la mise au point de nouveaux modèles liés à des problèmes spécifiques, principalement par l'entremise de ses conseils de recherche. Cependant, le manque de ressources pour assurer la maintenance des modèles fait en sorte que ceux-ci sont soit abandonnés à la fin de la période de financement, soit transférés à des consultants qui n'ont pas les moyens de poursuivre des développements importants.

Ce manque de financement des activités de maintenance s'observe également au sein des ministères et organismes gouvernementaux. Les modèles sont

généralement sous la responsabilité de très petites équipes, souvent composées d'une ou deux personnes seulement, qui parviennent à peine à maintenir l'ensemble de données à jour et à exécuter les scénarios demandés, sans avoir la capacité de développer, documenter complètement ou ouvrir le modèle au reste du milieu.

Le Canada paie le prix fort pour ne PAS avoir structuré ses ressources en modélisation énergétique afin d'en tirer le meilleur parti. Cette situation limite considérablement la possibilité d'établir une base scientifique pour lancer un débat national et la capacité à dégager un consensus. Elle limite également le développement des politiques les plus pertinentes, leur optimisation et leur suivi, ainsi que la possibilité de procéder à des investissements éclairés. Au-delà du coût économique considérable que cela représente, le manque de tels outils constitue un obstacle aux décisions démocratiques, car cela laisse la population dans l'ignorance des défis, des options et des solutions possibles.



## 8. RÉFÉRENCES

Bahn, O., Haurie, A., Zachary, D.S., 2005. Mathematical Modelling and Simulation Methods in Energy Systems, in: Filar, J.A., Krawczyk, J.B. (Eds.), Mathematical Models, Vol. II. EOLSS/UNESCO, Oxford, pp. 241-257.

Breton, Simon-Philippe, Mark Purdon, Louis Beaumier et Normand Mousseau, 2017. Pour une initiative permanente de modélisation des systèmes énergétiques canadiens, Institut de l'énergie Trottier (IET), Canada.

CARB, 2008. Climate Change Scoping Plan: a framework for change. California Air Resources Board, Sacramento.

CARB, 2010. Economic Models. California Air Resources Board. Website, <https://www.arb.ca.gov/cc/scopingplan/economics-sp/models/models.htm>, Sacramento.

CARB, 2012. Staff Report: Initial Statement of Reasons for Proposed Amendments to the California Cap on Greenhouse Gas Emissions and Market-Based Compliance Mechanisms to Allow for the Use of Compliance Instruments Issued by Linked Jurisdictions. California Air Resources Board, Sacramento.

CARB, 2017. 2017 Climate Change Scoping Plan Update: The Proposed Strategy for Achieving California's 2030 Greenhouse Gas Target. California Air Resources Board, Sacramento.

CCA, 2015. Solutions techniques et politiques pour un système énergétique à faibles émissions au Canada. Conseil des académies canadiennes, Ottawa.

CCC, 2010. The Fourth Carbon Budget – Reducing Emissions through the 2020s. Committee Climate Change, London.

CCC, 2016. The Fifth Carbon Budget – The next step toward a low carbon economy. Committee Climate Change, London.

CEC, 2015. 2015 Integrated Energy Policy Report. California Energy Commission, Sacramento.

- DBEIS, 2019. Energy and emissions projections: Methodology overview, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, UK Government, 19 pp. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/794741/energy-emissions-projections-methodology-overview.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/794741/energy-emissions-projections-methodology-overview.pdf)
- E3, 2017. Tools: PATHWAYS Model. E3. Website (accessed February 3, 2017): <https://www.ethree.com/tools/pathways-model/#>, San Francisco.
- ECCC, 2016. Stratégie canadienne de développement à faible émission de gaz à effet de serre à long terme pour le milieu du siècle. Environnement et Changement climatique Canada, Ottawa.
- Environnement Canada, 2014. Tendances en matière d'émissions au Canada. Environnement Canada, Ottawa.
- Fondation familiale Trottier, T.C.A.o.E., David Suzuki Foundation, 2016. Défis et opportunités pour le Canada : Transformations pour une réduction majeure des émissions de GES, Canada. <http://iet.polymtl.ca/tefp>
- Green, T., 2019. Zeroing in on Emissions: Canada's Clean Power Pathways – A Review. David Suzuki Foundation, Vancouver.
- Hall, L.M.H. and A. R. Buckley (2016). A review of energy systems models in the UK: Prevalent usage and categorisation, *Applied Energy* 169, 607–628.
- Hardt, L, P. Brockway, P. Taylor, J. Barrett, M. Sakai, R. Gross, P. Heptonstall, 2018. How do the energy-system models informing UK energy policy represent energy demand and demand-side interventions?, Scoping note, UK Energy Research Centre, 13 pp. <http://www.ukerc.ac.uk/asset/F8F01B26%2DFB42%2D4BFC%2D891AB0D2E32292CF/>
- Huntington, H.G., Weyant, J.P., Sweeney, J.L., 1982. Modelling for insights, not numbers: the experiences of the energy systems modelling forum, *Omega* 10, 449-462.
- Infrastructure Canada, 2018. Investir dans le Canada : le plan d'infrastructure à long terme du Canada, Ottawa. Pp.71. ISBN: 978-0-660-26128-7.
- Keirstead, J., Jennings, M., & Sivakumar, A., 2012. A review of urban energy system models: Approaches, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3847-3866.

- Knowles, J., 2016. Power Shift: Electricity for Canada's Remote Communities. Conference Board of Canada.
- Langlois-Bertrand Simon, Vaillancourt Kathleen, Bahn Olivier, Beaumier Louis, Mousseau Normand, 2018. Perspectives énergétiques canadiennes. Institut de l'énergie Trottier et e3 Hub [Web]
- Ressources naturelles Canada, 2006. Perspectives énergétiques du Canada : scénario de référence de 2006, Division de l'analyse et de la modélisation, Ressources naturelles Canada, 218 pp.
- Sawyer, D., Bataille, C., 2016. Still Minding the Gap: An Assessment of Canada's Greenhouse Gas Reduction Obligations. Deep Decarbonization Pathways Project Team, Paris.
- Strachan, Neil, 2011. UKERC Energy Research Landscape: Energy Systems Modelling. UKERC, University College London.
- UK Government, 2013. Energy Act 2013 Chapter 32, United Kingdom.
- UK Government, 2016. The Carbon Budget Order 2016, United Kingdom. <http://www.legislation.gov.uk/uksi/2016/785/made>
- Vaillancourt, K., Alcocer, Y., Bahn, O., Fertel, C., Frenette, E., Garbouj, H., Kanudia, A., Labriet, M., Loulou, R., Marcy, M., 2014. A Canadian 2050 energy outlook: Analysis with the multi-regional model TIMES-Canada. Appl. Energy 132, 56-65.
- Zonooz, Mohammad Reza Faraji, Z.M. Nopiah, Ahmad Mohd.Yusof, and Kamaruzzaman Sopian, 2009. A Review of MARKAL Energy Modeling, European Journal of Scientific Research 26, 352-361.



# ANNEXE A – APERÇU DES PROJETS DE MODÉLISATION DE L'IME

Cette annexe présente un aperçu des projets de modélisation qui ont été soumis à l'IME. De plus amples informations à leur sujet - rapports de projet, matériel présenté au forum national - sont disponibles à cette adresse : <https://emi-ime.ca/fr/projets/>.

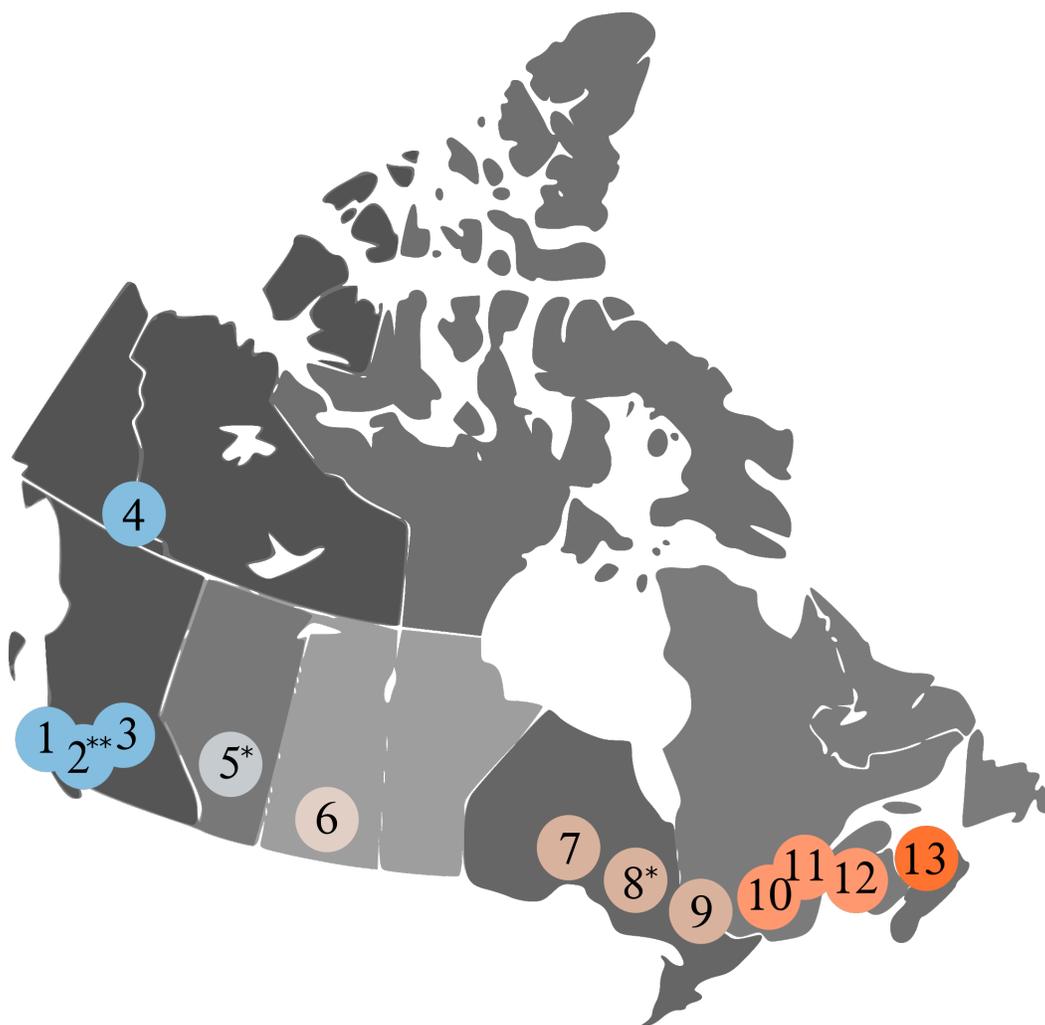


Figure A.1 – Répartition géographique des projets de modélisation reçus par l'IME

Tableau A.1 – Liste des projets de modélisation reçus par l'IME

	<b>Titre du projet</b>	<b>Équipe du projet</b>	<b>Organismes affiliés</b>	<b>Échelle géographique</b>	<b>Échelle temporelle</b>
<b>1</b>	Examining the contribution of hydroelectric renewal and greenfield development to grid decarbonization: An enhanced capacity expansion model	Reza Arjmand, Richard Hendriks, Madeleine McPherson	Sustainable Energy Systems Integration & Transitions Group, Université de Victoria Department of Civil and Mineral Engineering, Université de Toronto	Nationale	De mesures à l'heure à des mesures annuelles
<b>2**</b>	BESOS – an Expandable Building and Energy Simulation Platform	Gaëlle Faure, Theo Christiaanse, Paul Westermann, Ralph Evins	Energy Systems and Sustainable Cities group, Université de Victoria	Locale, régionale, municipale, provinciale	De plusieurs mesures par minutes à des mesures mensuelles
<b>3</b>	Interactions of policies acting at the local, sub-national, and national scales for Canada's energy transition	Rose Murphy, Mark Jaccard, Bradford Griffin, Thomas Budd, Aaron Pardy	School of Resource and Environmental Management, Université Simon Fraser Canadian Energy and Emissions Data Centre, Université Simon Fraser	Municipale, provinciale, interprovinciale, nationale	Quinquennale
<b>4</b>	Modelling of Remote Diesel-Based Power Systems in the Canadian Territories	Jason Zrum, Spencer Sumanik, Michael Ross	Northern Energy Innovation, Yukon Research Centre, Collège du Yukon	Régionale, municipale, provinciale, territoires	De mesures à la minute à des mesures annuelles
<b>5*</b>	Hourly Electricity Projections from Canada's Energy Future 2019	Mantaj Hundal, Michael Nadew, Matthew Hansen	Division des perspectives énergétiques, Régie de l'énergie du Canada	Provinciale, interprovinciale	De mesures à l'heure à des mesures annuelles

<b>6</b>	Management of Canada's energy transition and associated risks through optimized CGE approach	Guohe Huang, Hua Zhu, Jocelyn Crivea, Renfei Liao, Lirong Liu, Jiapei Chen, Xiaoyue Zhang	Université de Regina, Saskatchewan, ministère de l'Environnement de la Saskatchewan	Provinciale, interprovinciale, nationale à provinciale	Mesures annuelles diverses (chaque année, aux trois ans, aux cinq ans)
<b>7</b>	A Cluster-Based load Model for a Resilient and Sustainable Community	Magdy Salama, Ahmed Gaouda, Mohamed Nassar	University de Waterloo QualSys Engco Inc	Régionale, municipale	De mesures à l'heure à des mesures annuelles
<b>8*</b>	Pumped Hydro Storage (PHS) and Battery Energy Storage Systems (BESS): An Assessment of Energy 2020 Initial Response and Identification of Possible Improvements	Jean-Sébastien Landry, Glasha Obrekht, Robin White, Raj Ghosh, Monique Brugger, Justin Quan, John St-Laurent O'Connor, Kyprianos Antzoulidis, Afshin Matin	Environnement et Changement climatique Canada	Provinciale, interprovinciale, nationale	Mesures mensuelles, plurimensuelles et annuelles
<b>9</b>	Modelling urban climate mitigation in Canadian municipalities	Yuill Herbert, Ralph Torrie, Michael Hoffman, Robert Hoffman, Bastiaan Straatman, Jeremy Murphy, Chris Strashok, Marcus Williams, Deryn Crockett, Mel de Jager	WhatIf? Technologies. Sustainability Solutions Group	Locale, régionale, municipale	S/O
<b>10</b>	Modeling Increased Electric Vehicle Charging Demand in Quebec	Mark Purdon, Olivier Bahn, Samuel Forget Lord, Lisa Aultman-Hall, Jonathan Dowds	Institut québécois du Carbone. École des sciences de la gestion de l'UQAM Hautes études commerciales de Montréal (HEC). Université du Vermont	Provinciale	Mesures à l'heure

<b>11</b>	Toward a smarter electricity consumption	Thomas Dandres, Ana Carolina Rieks- tin, Antoine Langevin, Lawrence Abdul- nour, Julien Walzberg, Manuele Margni, Réjean Samson, Mohamed Cheriet	Polytechnique Mon- tréal. Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) Synchromedia Laboratory, École de technologie supé- rieure (ÉTS)	Provinciale, in- ter-provinciale, nationale	Mesures en temps réel (aux 5 minutes), annuelles, ajustables
<b>12</b>	Smart Microgrid Solutions to Reducing Fossil Fuels Dependence in Canada's Rural and Remote Communities	Bo Cao	Emera & NB Power Research Centre for Smart Grid Techno- logies, Université du Nouveau-Brunswick	Locale, régio- nale	Mesures à l'heure
<b>13</b>	Open and Accessible Renewable Electricity System Modelling for Prince Edward Island	Matthew McCarville, Peter Rukavina, Matthew Hall	Université de l'Île- du-Prince-Édouard	Régionale, pro- vinciale	Mesures à l'heure ou plus rappro- chées

\* Ces projets ont été sélectionnés, mais en raison de leurs affiliations organisationnelles, n'étaient pas éligibles à un financement.

\*\* Ce rapport de projet a été soumis de manière volontaire.



**emi-ime.ca**



**@ModellingEnergy**

Traduction et révision : Sabine Monnin (sabine\_monnin@hotmail.com)

Mise en page : Éloïse Goussard (goussardeloise@gmail.com)

Référence à citer: Louis Beaumier, Moe Esfahlani, Marie-Maude Roy, Normand Mousseau, Madeleine McPherson, 2020. Pertinence et valeur de la modélisation, rapport de l'Initiative de modélisation énergétique, Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal.

©2020 Institut de l'énergie Trottier, Polytechnique Montréal.

Ce rapport n'engage que ses auteur·rice·s.

version: 20200331