REBÂTIR LE SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE CANADIEN

Vers un avenir sobre en carbone

Auteurs principaux

Potvin, Catherine, McGill University; Burch, Sarah, University of Waterloo; Layzell, David, University of Calgary; Meadowcroft, James, Carleton University; Mousseau, Normand, Université de Montréal; Dale, Ann, Royal Roads University; Henriques, Irene, Schulich York University; Margolis, Liat, John H. Daniels University of Toronto; Matthews, H. Damon, Concordia University; Paquin, Dominique, Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques; Ramos, Howard, Dalhousie University; Sharma, Divya, McGill University; Sheppard, Stephen, University of British Columbia; Slawinski, Natalie, Memorial University

Auteurs collaborateurs

Aitken, Sally, University of British Columbia; Anctil, François, Université Laval; Berkes, Fikret, University of Manitoba; Bernstein, Steven, University of Toronto; Bleau, Nathalie, Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques; Boulet, Benoit, McGill University; Brown, Bryson, University of Lethbridge; Byrne, James, University of Lethbridge; Calvert, John, Simon Fraser University; Creed, Irena, Western University; Cunsolo, Ashlee, Memorial University; Davidson, Debra, University of Alberta; Dyck, Bruno, University of Manitoba; Entz, Martin, University of Manitoba; Etcheverry, José, York University; Etzion, Dror, McGill University; Fenech, Adam, University of Prince Edward Island; Ferguson, Grant, University of Saskatchewan; Gates, Ian, University of Calgary; Hall, Matthew, University of Prince Edward Island; Haley, Brendan, Dalhousie University; Hoffmann, Matthew, University of Toronto; Hoicka, Christina, York University; Holden, Meg, Simon Fraser University; Huang, Gordon, University of Regina; Jegen, Maya, Université du Québec à Montréal; Jodoin, Sébastien, McGill University; Kahane, David, University of Alberta; Kemper, Allison, Ryerson University; Lantz, Van, University of New Brunswick; Larter, Stephen, University of Calgary; Leclair, Jean, Université de Montréal; Lucotte, Marc, Université du Québec à Montréal; Lysack, Mishka, University of Calgary; Mabee, Warren, Queen's University; McCurdy, Patrick, University of Ottawa ; Mauro, Ian, University of Winnipeg; Mkandawire, Martin, Cape Breton University; Messier, Christian, Université du Québec en Outaouais et à Montréal; Morency, Catherine, Polytechnique Montréal; Napoleon, Val, University of Victoria; Oakes, Ken, Cape Breton University; Otto, Sarah, University of British Columbia; Perl, Anthony, Simon Fraser University; Potvin, André, Université Laval; Rayner, Jeremy, University of Saskatchewan; Rivers, Nicholas, University of Ottawa; Robinson, John, University of Toronto; Sadorsky, Perry, York University; Stoddart, Mark, Memorial University; Sylvester, Shauna, Simon Fraser University; Teelucksingh, Cheryl, Ryerson University; Tremblay, Hugo, Université de Montréal; Vasseur, Liette, Brock University; Villeneuve, Claude, Université du Québec à Chicoutimi; Vizina, Yvonne, University of Saskatchewan; Walters, Bradley, Mount Allison University.

AVANT-PROPOS 4

PAROLE D'UN AÎNÉ 6

1. LE CONTEXTE DE LA TRANSITION 7

2. VERS DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES SOBRES EN CARBONE 9
2.1 À propos des systèmes énergétiques 9
2.2 L'offre et la demande d'énergie 10
2.3 Les différences interprovinciales 11
2.4 Brève revue des études de modélisation qui explorent les voies vers une énergie sobre en carbone 13
2.5 Une transformation majeure des sources d'énergie 14
2.5.1 Améliorer l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie 14
2.5.2 Électrifier avec de l'électricité sobre en carbone 15
À DISCUTER — POINT 1 : Minimiser les impacts sur l'environnement et sur la biodiversité 17
À DISCUTER — POINT 2 : L'autoproduction d'énergie : Défis et possibilités 18
2.5.3 Les combustibles sobres en carbone 19

3. LA COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE MONDIALE 22
3.1 Les effets de la transition énergétique sur la compétitivité 22
3.2 Encourager l'innovation 23
3.2.1 Les secteurs où le Canada peut être un chef de file 25
3.3 Le financement de la transition énergétique sobre en carbone 26
3.4 L'enjeu de l'emploi 28

4. GOUVERNER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SOBRE EN CARBONE 29
4.1 Établir l'état des lieux des politiques sobres en carbone 29
4.2 Les caractéristiques de la gouvernance de l'énergie sobre en carbone 33
À DISCUTER — POINT 3 : Définir les rôles adéquats dans la gouvernance multiniveau de l'énergie 34
4.3 Les cadres politiques 35

5. ACCÉLÉRER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SOBRE EN CARBONE 37
5.1 Premier champ d'action : Repenser le déplacement des personnes et des biens 37
5.2 Deuxième champ d'action : Les villes comme laboratoires de la durabilité 39
5.3 Troisième champ d'action : Soutenir l'innovation énergétique dans les communautés autochtones 43
5.4 Quatrième champ d'action : Engager le dialogue avec l'industrie, y compris avec l'industrie pétrolière et gazière 44
5.4.1 Répondre à la demande énergétique de l'industrie lourde 44
5.4.2 Transformer l'industrie pétrolière du Canada 45
À DISCUTER — POINT 4 : L'industrie pétrolière et gazière : Tensions et débats 47
5.4.3 Réduire les émissions fugitives 49

6. LE PÉRIPLE 50
6.1. Préparation 50
6.1.1 Cocréation d'une vision 50
6.1.2 Adapter les arrangements institutionnels 50
6.2 Premiers pas de la mise en œuvre 52
6.2.1 Trouver son chemin parmi les voies qui mènent à une société sobre en carbone 52
6.2.2 La transition comme stratégie de développement sobre en carbone 53
6.3 Vers la décarbonisation profonde : l'importance d'évaluer et d'adapter les meilleures pratiques 54
6.4 Concernant Ressources naturelles Canada : allouer des ressources suffisantes 54

CONCLUSION : L'ÉNERGIE POUR UN AVENIR SOBRE EN CARBONE 55

REMERCIEMENTS 56

ANNEXE 1 : CALCUL DES ÉMISSIONS DE GES PROVINCIALES / TERRITORIALES AGRÉGÉES EN 2030 ET 2050 57

ANNEXE 2 : LE PROCESSUS 58

RÉFÉRENCES 59

AVANT-PROPOS

Dialogues pour un Canada vert (DCV) est un réseau national de plus de 80 universitaires qui offrent leur temps afin d'identifier des solutions positives pour atténuer les changements climatiques. DCV, une initiative de la Chaire UNESCO-McGill Dialogues pour un avenir durable, rassemble des membres provenant de toutes les provinces et représente de nombreuses disciplines en génie, en sciences pures et en sciences sociales.

En tant que réseau, DCV cherche à susciter le changement et à aider le Canada à s'embarquer, dans la transition nécessaire vers une économie sobre en carbone, compte tenu de notre responsabilité collective de protéger les générations futures des conséquences des perturbations climatiques. Ce faisant, nous espérons contribuer à favoriser un dévelop- pement économique et social dans une optique durable.

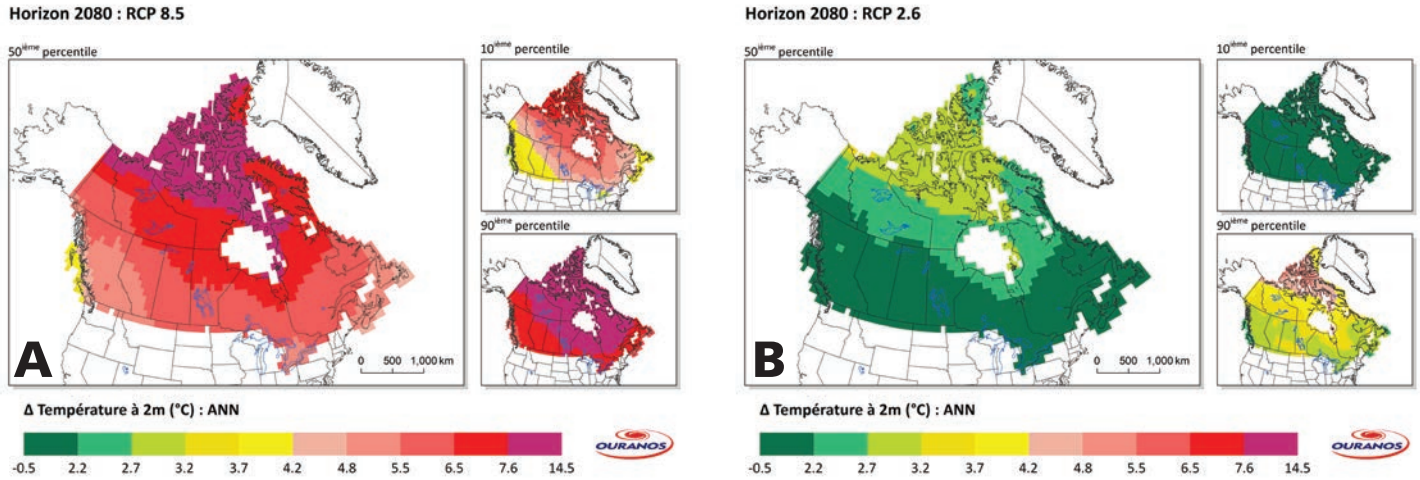
Nous avons formé ce groupe en 2014 parce que la Conférence sur les changements climatiques de Paris de décembre 2015 représentait une occasion inespérée de promouvoir la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le Canada d'aujourd'hui a évolué par rapport à cette époque pourtant récente et nous sommes fiers que les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux ainsi que les chefs autochtones à travers le pays se soient entendus, au plus haut niveau décisionnel, pour créer le *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques*.

Ce document important marque toutefois le début des changements et non la fin de la route. Pour réussir la transition énergétique, il sera nécessaire d'aller au-delà des objectifs généraux du *Cadre pancanadien* et d'adopter des mesures réglementaires et des outils politiques spécifiques, appropriés et fondés sur les connaissances et les meilleures pratiques, car les promesses actuelles ne nous permettront pas d'atteindre notre destination – un monde qui aura évité une augmentation de plus de 2°C de la température mondiale (Figure 1.0).

Figure 1

L'ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES PROJETÉES

A : le scénario de maintien du statu quo (RCP8.5) et **B :** un scénario d'efforts ambitieux limitant l'augmentation de la température mondiale à moins de 2°C (RCP2.6).[1] Les couleurs indiquent le changement de la température moyenne annuelle en surface entre deux périodes : 1971-2000 et 2071-2100.



Commandé par Ressources naturelles Canada à l'automne 2016, *Rebâtir le système énergétique canadien. Vers un avenir sobre en carbone* fait le pont entre les réflexions des universitaires et la prise de décision au sujet de l'énergie et des changements climatiques en offrant plusieurs suggestions sur la façon dont les gouvernements canadiens, les entreprises et les citoyennes et les citoyens peuvent faire avancer les objectifs du *Cadre pancanadien*.

Nous nous appuyons sur des données, des recherches révisées par les pairs et d'autres documents pertinents afin d'explorer les enjeux et les occasions liés à la réalisation d'une transition énergétique sobre en carbone qui constituera les fondations d'un avenir durable. Les conclusions de ce rapport, les opinions exprimées et les actions proposées sont la responsabilité des auteurs et des auteures et ne reflètent pas nécessairement les positions du Gouvernement du Canada.

D'emblée, nous identifions la gouvernance comme un enjeu central pour la réussite de la transition énergétique. Bien que nous reconnaissions le rôle vital de la technologie, nous croyons que les barrières sociales, politiques et organisationnelles sont le principal frein, aujourd'hui, à cette transition. Par conséquent, notre rapport est beaucoup moins centré sur la technique et la technologie que l'on aurait pu s'y attendre dans le cadre d'une discussion sur l'énergie. Nous savons que Ressources naturelles Canada développe des contributions orientées vers la science et la technologie afin d'alimenter les discussions sur la transition énergétique.

Après la révision de centaines d'articles et de rapports et l'analyse de grandes quantités de données, nous sommes plus convaincus que jamais que le Canada doit encourager l'innovation et qu'il peut en tirer des avantages aujourd'hui et dans l'avenir, en exploitant son immense potentiel d'énergie renouvelable et son savoir-faire. Ensemble, nous pourrons ainsi réussir la transition qui nous éloignera des systèmes énergétiques basés sur les combustibles fossiles.

Rebâtir le système énergétique canadien. Vers un avenir sobre en carbone est un rapport universitaire indépendant sur la transition énergétique sobre en carbone produit par Dialogues pour un Canada vert, un réseau d'universitaires provenant de diverses disciplines et de toutes les provinces. À l'invitation de Ressources naturelles Canada, ce rapport examine comment le Canada peut décarboniser son économie tout en demeurant compétitif mondialement.

PAROLE D'UN AÎNÉ

Nous vivons dans un environnement où règnent le chaos et l'incertitude. La réalité dans laquelle nous vivons aujourd'hui nécessite des changements. Nous ne pouvons pas continuer sur un chemin qui menace notre avenir à tous. Nous sommes d'avis que le véritable changement qui doit être apporté, en ce qui concerne les changements climatiques, est un changement de cœur. Nous devons apprendre à connaître et à maîtriser nos propres cœurs avant de devenir les protecteurs de la terre.

En tant qu'aînés et gardiens du savoir, nous partageons nos connaissances pour aider à orienter le changement vers une terre beaucoup plus durable. Les avancées technologiques ont été faites sans s'appuyer sur des valeurs fondamentales, ce qui a mené à beaucoup de déshumanisation et d'aliénation dans notre réalité actuelle.

Nous ne vous conseillons pas de construire un oléoduc, ou de ne pas en construire un, mais nous ne soutiendrons évidemment pas les choix qui blessent la terre et nuisent à notre avenir. Nous avons l'occasion d'écrire une histoire complètement nouvelle. Nous pouvons créer une économie et de nouvelles possibilités pour le pays, basées sur la protection de la terre.

Nous sommes parfaitement conscients que nos structures et systèmes actuels ne changeront pas du jour au lendemain. Nous avons des milliers d'années de connaissances et d'expérience sur la façon de vivre en paix et en équilibre avec la nature. Ce qui est nécessaire, c'est de former une alliance, une relation réciproque avec la terre en soutenant ses lois naturelles.

Les changements climatiques devraient être vus comme une occasion de réfléchir à nous-mêmes et d'apporter les changements qui assureront un avenir à tous nos enfants.

- Aîné Dave Courchene (Nii Gaani Aki Inini—Leading Earth Man)

L'aîné Anishinabe Dave Courchene a parlé ainsi le 18 novembre 2016 au Turtle Lodge de la Première Nation Sagkeeng, Manitoba, lors d'un rassemblement pour discuter des perspectives autochtones concernant le développement d'un oléoduc dans la province (https://youtu.be/nMt5I9gpWTk). L'auditoire était constitué d'aînés et de dirigeants autochtones, ainsi que de représentants des gouvernements fédéral et provincial, de compagnies d'énergie et d'organisations environnementales.
L'aîné Courchene a généreusement offert son propos pour ce rapport.

© Turtle Lodge

1. LE CONTEXTE DE LA TRANSITION

Pour éviter des changements climatiques potentiellement dangereux pour la planète, le Canada et plus de 140 autres pays[2] se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES) afin de maintenir les températures mondiales « nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels ».[3] Le cinquième *Rapport d'évaluation* du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) conclut que cet objectif exigera de restreindre les GES atmosphériques à « environ 450 ppm CO_2-éq » d'ici 2100[4] ce qui implique une réduction de 90 % sous les niveaux de 2010 des émissions dans le secteur de l'énergie et ce d'ici 2040-2070.[5]

Le Canada a également rejoint un groupe de plus de 100 pays connu comme la *High Ambition Coalition*[6] qui prône une action renforcée pour le climat. Il a, de même, adhéré aux *Objectifs de développement durable des Nations Unies*[7] et il participe à Mission Innovation, une initiative de 22 pays et de l'Union européenne qui vise à doubler l'investissement dans l'innovation dans le domaine des énergies propres au cours des cinq prochaines années.[8]

Au niveau national, un des sujets centraux de la *Stratégie canadienne de l'énergie 2015* est la transition énergétique sobre en carbone[9] (ci-après transition énergétique) alors que le *Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques* (ci-après le *Cadre pancanadien*), supporté par le gouvernement fédéral, huit provinces et les trois territoires, « démontre au monde notre engagement à lutter contre les changements climatiques. Il constitue également un plan pour répondre aux besoins des Canadiens ».[10] Les décisions clés qui en découlent comprennent l'établissement d'un prix pour les GES à travers le pays d'ici 2018 et l'abandon progressif des centrales au charbon traditionnelles dans le réseau électrique d'ici 2030. La transition vers des systèmes énergétiques à faibles émissions de carbone est maintenant un objectif réel des Canadiennes et des Canadiens.

Pour explorer les défis et les possibilités que soulève la réalisation d'une transition énergétique établissant les fondations d'un avenir durable, ce rapport s'appuie sur la vaste expertise de ses auteurs et de ses auteures, mettant à contribution des recherches révisées par les pairs, des données et d'autres documents pertinents.

Dans le développement de notre argumentaire, nous avons supposé que la décarbonisation des systèmes énergétiques canadiens se déroulerait dans un monde où d'autres pays prennent des actions décisives pour s'éloigner des systèmes énergétiques fortement émetteurs de GES. Dans les sections 2, 3 et 4, nous explorons les systèmes énergétiques, la compétitivité et la gouvernance d'une société basée sur l'énergie sobre en carbone. Les leçons importantes apprises tout au long de ces sections sont soulignées sous forme de *Leçons à retenir*. La section 5 illustre des voies plausibles vers des systèmes énergétiques sobres en carbone et montre l'importance d'agir à la fois sur l'approvisionnement et la demande énergétiques. S'appuyant sur les premières sections, la section 6 propose un plan d'action qui encadre la voie à suivre. Finalement, quatre *thèmes visant à susciter la discussion* sont inclus dans le rapport, chacun se terminant par une question synthétique. Nous avons choisi de ne pas répondre à ces questions, mais plutôt de les identifier comme étant au cœur de la discussion qui devra se tenir entre l'ensemble des citoyennes et des citoyens concernant ce que doit être la transition énergétique pour le Canada.

Il est possible, bien que ce ne soit pas facile, de transformer la façon dont nous produisons et consommons l'énergie.[11] Pendant deux siècles, le charbon, le pétrole et le gaz ont alimenté la croissance de la civilisation industrielle. Nos systèmes technologiques et nos modes de vie contemporains sont fortement dépendants de l'énergie fossile bon marché. Cependant, en 2015, les combustibles fossiles ont contribué à plus de 80 % des GES responsables des changements climatiques émis au Canada.[12]

Parallèlement, il y a de nombreuses façons de produire de l'énergie sobre en carbone notamment l'hydroélectricité, l'énergie éolienne, l'énergie solaire, la biomasse, la géothermie, la réutilisation des déchets, de même que l'énergie nucléaire et les installations de combustibles fossiles équipées pour le captage et stockage du carbone.[13] Des gains en efficacité spectaculaires, permettant d'obtenir plus de services énergétiques à partir d'une quantité d'énergie précise, sont également possibles, même avec les technologies actuelles.[14] De nos jours, le coût de beaucoup de systèmes d'énergie renouvelable baisse rapidement. Celui de l'énergie solaire photovoltaïque, par exemple, a diminué de 6 à 12 % par an en moyenne depuis 1998.[15] De plus, de nombreuses innovations technologiques et sociales se développent actuellement; au cours des prochaines décennies, nous pouvons donc nous attendre à l'émergence de nouvelles solutions.[16]

Passer à des systèmes énergétiques sobres en carbone demandera des investissements substantiels et soutenus sur de nombreuses décennies.[17] Ceux-ci doivent toutefois être comparés aux coûts de l'inaction et aux conséquences de l'accélération des changements climatiques qui pourraient être sans précédent.[18] Les obstacles à l'accélération de la transition énergétique ne sont pas, de nos jours, avant tout techniques ou économiques, mais plutôt politiques et sociaux.

L'expérience acquise au cours des dernières décennies aux niveaux national[19, 20] et international en matière de politiques sur les changements climatiques, de même que la recherche sur les technologies énergétiques,[21] les systèmes d'innovation[22] et l'historique des transitions sociotechniques[23, 24] suggèrent que :

Le gouvernement et la politique joueront un rôle crucial dans la formation du contexte à l'intérieur duquel les entreprises, les communautés et les ménages pourront innover et s'adapter.[25] Alors que les gouvernements et les politiques publiques sont présents dans la plupart des transitions sociotechniques, ils sont particulièrement importants dans le contexte de transition vers une société sobre en carbone.[26] Les transitions énergétiques précédentes étaient amplement motivées par les avantages immédiats (en coût et en commodité) de l'adoption de nouveaux combustibles ou de nouvelles formes d'énergie (par ex. gaz ou électricité), alors que la motivation pour la transition sobre en carbone provient des risques à long terme associés aux changements climatiques, aux questions de santé publique et à la volatilité des marchés énergétiques. Les gouvernements doivent donc agir pour anticiper et gérer ces risques à l'aide de politiques proactives qui cultivent l'innovation.

Le rythme et l'orientation de la transition énergétique seront liés aux marchés mondiaux et aux négociations internationales. Un renforcement de l'action internationale sur les changements climatiques donne au Canada les moyens d'être plus ambitieux, alors que la détermination affaiblie de nos principaux partenaires commerciaux rend les actions au niveau national plus difficiles – particulièrement par le biais de l'augmentation des inquiétudes à propos de la compétitivité économique. En outre, la recherche, le développement et le déploiement, de même que les réductions des coûts des technologies clés, sobres en carbone, qui y sont associées s'inscrivent dans un marché mondial. La transition représente donc un effort international pour lequel le Canada peut aspirer à jouer un rôle de premier plan.

Le Canada fait face à des enjeux particuliers pour réussir sa transition énergétique, notamment :

- *Une structure économique et sociale à haute intensité carbonique* qui est l'héritage d'une trajectoire de développement basée sur l'exploitation d'un grand territoire et de ressources non renouvelables abondantes. Cette structure nous a donné un niveau de vie moyen enviable, de même que des émissions de GES par personne et par unité de produit intérieur brut parmi les plus élevées au monde.

- *Un important secteur de la production de combustibles fossiles orienté vers l'exportation* qui a enrichi certaines régions et le pays dans son ensemble, mais qui est confronté à un avenir incertain.

- *Des arrangements constitutionnels complexes* impliquant les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, les administrations municipales et les peuples autochtones[27] qui rendent les actions concertées difficiles, particulièrement lorsque les intérêts économiques régionaux ou les points de vue culturels tirent dans des directions différentes.

Il n'est pas possible de savoir aujourd'hui comment la transition énergétique se déroulera exactement. Nous ne pouvons pas déterminer à l'avance les technologies prometteuses qui fonctionneront comme prévu et celles qui décevront, ni comment le coût relatif des divers choix énergétiques évoluera ou quelles innovations sociales se révèleront les plus productives. Nous devons donc prendre des décisions qui nous orienteront dans la bonne direction, tout en conservant la flexibilité nécessaire pour nous ajuster à l'évolution de la situation et aux aspirations personnelles et communes des Canadiennes et des Canadiens.

2. VERS DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES SOBRES EN CARBONE

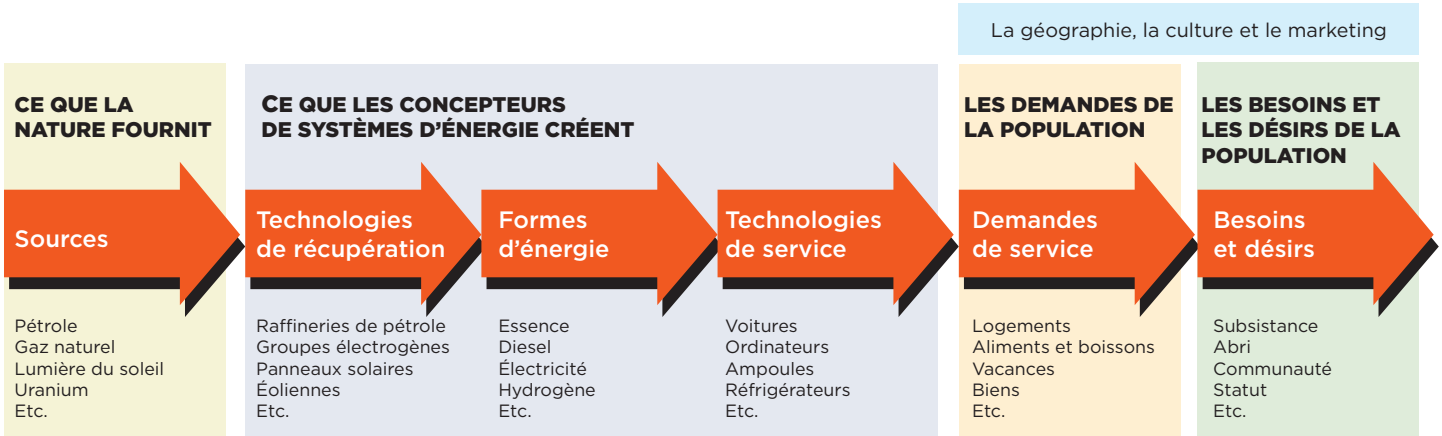
2.1 À PROPOS DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Les systèmes énergétiques relient les sources d'énergie aux services énergétiques demandés par la population (Figure 2.1). Ces services répondent aux besoins et aux désirs comme ceux d'eau potable, de nourriture, d'abri et d'échanges. Ils sont fondamentalement influencés par la géographie, la culture et le marketing. En 2002, une analyse des particularités nationales des pays du G7 a démontré que le climat et la géographie du Canada expliquaient environ 6 % des émissions par personne du pays. Cela suggère que la structure économique, les aspirations et le niveau de consommation auquel nous nous sommes habitués jouent un rôle puissant dans le modelage de la consommation énergétique et des émissions.[28]

Les technologies utilisées pour satisfaire la demande de services énergétiques sont souvent liées à un combustible précis (par ex., l'essence pour un véhicule) définissant ainsi les technologies d'extraction et la forme d'énergie déployée. De nombreuses sources d'énergie peuvent être utilisées pour produire de l'électricité, mais leur disponibilité géographique, leur empreinte environnementale et leur coût varient considérablement.

Figure 2.1

LES COMPOSANTES CLÉS DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES RELIANT LES SOURCES D'ÉNERGIE AUX BESOINS ET AUX DÉSIRS HUMAINS.



2.2. L'OFFRE ET LA DEMANDE D'ÉNERGIE

En 2015, le Canada a produit environ 25,4 exajoules (EJ) d'énergie primaire[29] et en a importé 4,7 EJ de plus, principalement sous forme de pétrole brut et de gaz naturel pour les besoins de l'Est du Canada (Figure 2.2).

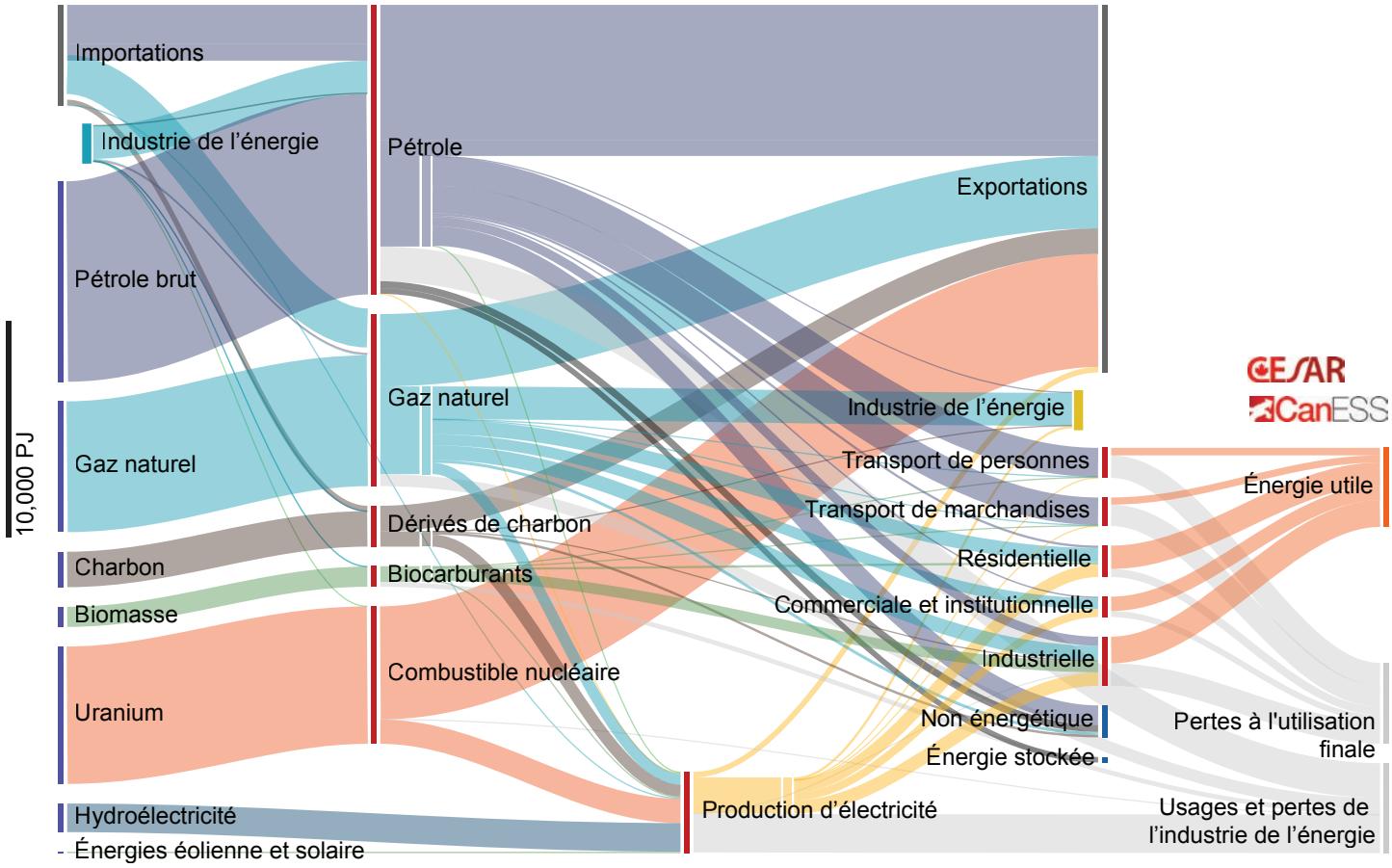
Le Canada est un important producteur d'énergie sur la scène mondiale. Nous sommes le deuxième plus grand producteur d'uranium,[30] le quatrième plus grand producteur de pétrole et le cinquième plus grand producteur de gaz naturel au monde.[31] Des 30,1 EJ d'énergie primaire circulant en 2015, 16,7 EJ (56 %) ont été exportés, principalement aux États-Unis,[32] sous forme de pétrole brut, d'uranium et de gaz naturel.

La demande nationale de combustibles et d'électricité pour les secteurs des transports, du bâtiment et de l'industrie non énergétique a représenté 9,1 EJ (30 %) d'énergie primaire en 2015. Les 4,3 EJ restants (14,1 %) d'énergie primaire ont été consommés lors de la récupération des matières premières énergétiques, de même que pour leur transformation en combustible (par ex. l'essence et le diesel) et en électricité (Figure 2.2)

Figure 2.2

LES FLUX D'ÉNERGIE ASSOCIÉS À LA PRODUCTION DE COMBUSTIBLES ET D'ÉLECTRICITÉ ET LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE AU CANADA EN 2015.

L'épaisseur de chaque flux et de chaque nœud est proportionnelle à l'énergie transformée par le secteur énergétique, exportée dans d'autres pays ou consommée dans les secteurs de la demande au niveau national.[33] © CESAR



En 2015, environ 77 % (13,3 EJ/an) de l'électricité et des combustibles consommés (Figure 2.2) provenaient de combustibles fossiles, comparativement à 86 % à l'échelle planétaire.[34] La majorité des 23 % restants provient de l'uranium (9%), de l'hydroélectricité (8,4%), de la biomasse (5,5%)[35], de l'énergie éolienne et solaire (0,5%). Par personne, les Canadiens consomment environ 372 gigajoules (GJ) d'énergie par année.[a] Un tiers (118 GJ/personne) est associé à la récupération, à la transformation et à la distribution des combustibles et de l'électricité, alors que les deux autres tiers (254 GJ/personne) sont utilisés pour répondre à la demande finale, notamment :

- **Le transport des personnes et des marchandises** qui dépend presque entièrement des produits pétroliers (flux en bleu-gris dans la Figure 2.2). Le Canadien moyen consomme à cette fin 76 GJ d'énergie sous forme de combustibles, soit l'équivalent de plus de 1600 litres d'essence par personne par année;

- **Les immeubles résidentiels et les bâtiments commerciaux** qui dépendent principalement du gaz naturel (flux en bleu dans la Figure 2.2) et de l'électricité (flux en jaune). Les Canadiens consomment à cette fin 67 GJ/personne (environ 18 % de la consommation énergétique annuelle);

- **Les industries qui ne produisent pas d'énergie**[36] et qui tirent leurs ressources énergétiques du pétrole, du gaz, de l'électricité et de la biomasse (flux en vert dans la Figure 2.2) consomment 63 GJ/personne (environ 17 % de la consommation d'énergie annuelle);

- **Certains combustibles** – particulièrement des produits pétroliers – qui sont transformés pour des utilisations non énergétiques telles que pour les plastiques, l'engrais, les produits chimiques, l'asphalte pour les routes et les bardeaux de toiture. Environ 41 GJ/personne (11 % de la consommation d'énergie annuelle) sont contenus dans ces matériaux.

2.3 LES DIFFÉRENCES INTERPROVINCIALES

Les ressources énergétiques disponibles diffèrent selon les provinces et les territoires, ce qui explique les variations observées dans le développement et le choix des sources d'énergie destinées à soutenir leurs populations et leur économie. Par personne,[37] la quantité d'électricité et de combustibles consommés hors du secteur de l'énergie (c.-à-d. pour les transports, pour les bâtiments et pour l'industrie) varie du simple au double selon les provinces (bandes bleu foncé dans la Figure 2.3A). Des différences interprovinciales encore plus grandes existent pour d'autres composantes de notre système énergétique (Figure 2.3A). Par exemple, en 2013 :

- L'énergie importée variait de 141 GJ/personne (Colombie-Britannique) à 949 GJ/personne (Nouveau-Brunswick)

- Les utilisations non énergétiques des combustibles (par ex., pour des produits chimiques et des matériaux) variaient de 0 GJ/personne (Terre-Neuve-et-Labrador) à 189 GJ/personne (Alberta)

- L'énergie consommée par le secteur de l'énergie variait de 17 GJ/personne (Manitoba) à 340 GJ/personne (Alberta)

- La production d'énergie primaire variait de 23 GJ/personne (Île-du-Prince-Édouard) à 6098 GJ/personne (Saskatchewan)

- Les exportations d'énergie variaient de 7GJ/personne (Île-du-Prince-Édouard) à 6192 GJ/personne (Saskatchewan)

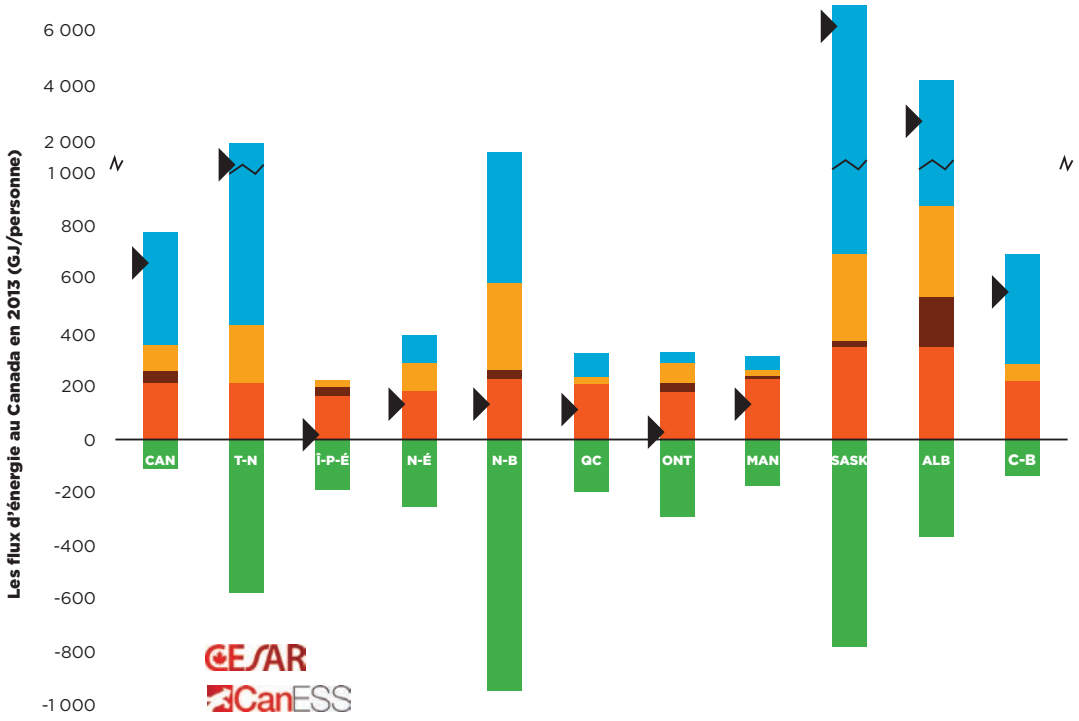
De même, entre le Québec, avec les émissions les plus faibles, et la Saskatchewan, avec les plus élevées (respectivement 10,1 et 67 tonnes d'équivalent CO_2 par personne [t éq.-CO_2/personne]), les émissions de GES par personne (Figure 2.3B) varient considérablement selon les provinces autour de la moyenne nationale de 20,6 t éq.-CO_2/personne[38].

[a] En comparaison, la consommation énergétique mondiale est d'environ 80 GJ/personne.

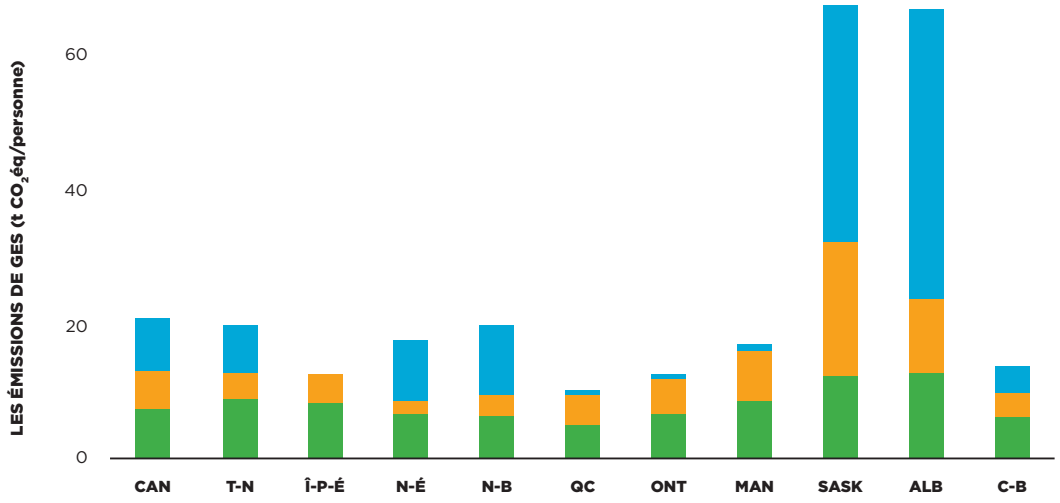
Figure 2.3

COMPARAISON DES FLUX D'ÉNERGIE CANADIENS ET PROVINCIAUX PAR PERSONNE EN 2013 ET DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES) PAR PERSONNE EN 2014.[39] **A**: Les importations sont montrées avec une contribution négative (vert), alors que la consommation domestique de combustibles et d'électricité pour des services énergétiques (orange), les utilisations non énergétiques (marron), la consommation énergétique par le secteur de l'énergie (jaune orangé) et l'énergie produite et exportée sous forme de combustibles et d'électricité (bleu) sont positives. La pointe de la flèche montre la production d'énergie nationale ou provinciale. **B :** Les émissions par personne sont montrées pour le secteur de l'énergie (bleu), les industries non énergétiques (jaune orangé), de même que pour les transports et les bâtiments (vert).

A



B



2.4 BRÈVE REVUE DES ÉTUDES DE MODÉLISATION QUI EXPLORENT LES VOIES VERS UNE ÉNERGIE SOBRE EN CARBONE

La structure et la nature des futurs systèmes énergétiques ont été modélisées par de nombreux groupes se focalisant sur la décarbonisation, notamment :

a. Le **Deep Decarbonisation Pathways Canada Project [DDCP]** 2015. *Pathways to Deep Decarbonisation*[40]

b. Le **Conseil des académies canadiennes [CAC]** 2015. *Solutions technologiques et politiques pour un système énergétique à faibles émissions au Canada*[41]

c. Le **Projet Trottier pour l'avenir énergétique [PTAE]** 2016. *Canada's Challenge & Opportunity : Transformations for Major Reductions in Greenhouse Gas Emissions*[42]

d. Le **Energy & Materials Research Group [EMRG]** 2016. *Is win-win possible? Can Canada's government achieve its Paris commitment… and get re-elected?*[43]

e. **Environnement et Changement climatique Canada [ECCC]** 2016. *Stratégie canadienne de développement à faible émission de gaz à effet de serre à long terme pour le milieu du siècle*[44]

Récemment, Bataille (2016)[45] a révisé trois de ces études (DDCP, CAC et PTAE) afin d'identifier les leçons à retenir pour les parties prenantes et les décideurs. À partir de celle-ci, quelques points paraissent particulièrement pertinents :

Une décarbonisation profonde de 60 % ou plus est possible. PTAE et EMRG atteignent une réduction de 60 à 70 %; le DDCP conclut qu'il est possible d'atteindre une réduction allant jusqu'à 88 %. Les coûts estimés varient de 200 $/t$CO_2$ [EMRG] à 350 $/t$CO_2$ [DDCP] et à plus de 650 $/t$CO_2$ pour PTAE.

L'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie sont cruciales. Un maximum d'efficacité et de conservation, comme celles obtenues à l'aide d'un aménagement urbain transformé, est essentiel pour faciliter la décarbonisation à un coût minimum.

L'électrification avec de l'énergie sobre en carbone est essentielle. L'électrification des usages énergétiques distribués et stationnaires (par ex., les bâtiments et le conditionnement de l'eau) et des transports (particulièrement les véhicules personnels et les véhicules de transport urbain de marchandises) sont des voies essentielles pour la décarbonisation même si elles augmentent le besoin d'électricité de 150 à 200 %. Il faudra donc remplacer les centrales thermiques fonctionnant aux combustibles fossiles, en plus de répondre aux nouvelles demandes de production, en s'appuyant sur des solutions zéro ou sobre en carbone comme l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'hydroélectricité, l'énergie nucléaire et la cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité) à partir de combustibles fossiles jumelée au captage et le stockage du carbone. Le stockage de l'énergie provenant des ressources renouvelables variables sera aussi nécessaire.

Le transport de marchandises lourdes et l'aviation pourraient être alimentés par les biocarburants. Alors que le changement de mode de transport – plus de trains et moins de camions, de même que des trains à haute vitesse ou des *hyperloops* pour remplacer les avions – pourrait contribuer à la décarbonisation de l'aviation et du transport de marchandises lourdes, il y aura sûrement une demande continue de combustibles à forte densité énergétique. Les biocarburants pourraient jouer un rôle crucial afin d'instaurer un *cycle fermé du carbone* dans cette portion des futurs systèmes énergétiques.

Il est difficile de répondre aux besoins énergétiques élevés de l'industrie. Les industries du fer, de l'acier, du ciment, des produits chimiques et des engrais exigent toutes des températures élevées qui sont actuellement obtenues par la combustion de combustibles fossiles. À court terme, les émissions devront être jumelées au captage et au stockage du carbone ou à la chaleur fournie par des sources non émettrices comme l'énergie nucléaire ou l'électricité.

LEÇON À RETENIR 1

Les modèles explorant l'avenir énergétique s'accordent sur le fait que les systèmes énergétiques sobres en carbone dépendront de trois composantes clés : l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie, la mise en valeur de l'électricité sobre en carbone et le déploiement de combustibles à faibles émissions.

Malgré l'accord général des modèles sur les points identifiés précédemment, ceux-ci diffèrent sensiblement en ce qui concerne la trajectoire à suivre, les politiques idéales et les coûts de la transition énergétique. Il est difficile de comparer ces modèles parce qu'ils sont pratiquement tous privés et leurs détails ne sont accessibles qu'à un très petit nombre d'individus, ils deviennent ainsi de véritables boîtes noires quant à leur fonctionnement et aux suppositions sur lesquelles ils s'appuient.

Le Canada a besoin de scénarios et de modèles bien documentés, à la fine pointe de la technologie, avec des codes sources ouverts et accessibles à tous, afin de tester les hypothèses, comparer les conclusions et explorer de nombreux avenirs énergétiques possibles. Ces modèles auront besoin de sources de données fiables sur les systèmes énergétiques des provinces et des divers secteurs de consommation, des données qui font cruellement défaut aujourd'hui.

LEÇON À RETENIR 2

Des améliorations sont nécessaires en matière de production et d'accès à des données de qualité sur les systèmes énergétiques. Les gouvernements fédéral et provinciaux doivent financer la création et l'amélioration de modèles et de scénarios à la fine pointe des connaissances, bien documentés et s'appuyant sur des données et des codes sources ouverts et accessibles à tous.

2.5 UNE TRANSFORMATION MAJEURE DES SOURCES D'ÉNERGIE

Notre demande énergétique par personne est parmi les plus élevées au monde. Similaire à celle des États-Unis et de l'Australie, elle représente plus du double de la demande de l'Union européenne.[46] Aucun secteur particulier de l'économie n'est responsable de cette consommation énergétique et des émissions élevées qui y sont associées : collectivement, nous conduisons de gros véhicules sur de longues distances, nous vivons dans des maisons spacieuses dans un climat froid et nous transportons les marchandises par camion plutôt qu'au moyen de trains, plus efficaces. Le Canada est également un grand pays, riche en ressources naturelles – dont du pétrole, du gaz, des minéraux et des produits agricoles et forestiers – qui demandent de grandes quantités d'énergie pour être extraites, traitées et transformées.

Dans le contexte des accords climatiques internationaux, le Canada est responsable des émissions associées à l'énergie consommée sur son territoire, y compris les émissions liées à la production d'énergie pour l'exportation. En nous basant sur ce panorama, nous avons identifié quelques éléments clés qui semblent incontournables pour atteindre un avenir énergétique sobre en carbone.

2.5.1 AMÉLIORER L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

Environ un tiers de la consommation énergétique nationale est associé à l'extraction, à la transformation et à la distribution des combustibles fossiles, de même qu'à la production d'électricité; un tiers fournit des services énergétiques « utiles » et un tiers est perdu durant sa conversion en services (Figure 2.2, côté droit). La définition d'« utilité » est généreuse puisqu'elle ne remet pas en question les choix de mode de vie : ainsi, entre 1990 et 2013, les Canadiennes et Canadiens ont acheté plus de camions légers et de VUS que d'automobiles et la taille moyenne des maisons n'a pas cessé d'augmenter.[47]

Il y a plusieurs façons de promouvoir la conservation de l'énergie et d'améliorer l'efficacité énergétique. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, « les scénarios comprenant une meilleure efficacité et d'autres mesures pour limiter la demande d'énergie [...] montrent une augmentation moins généralisée et rapide des options du côté de l'approvisionnement. »[48] De façon similaire, l'Agence internationale de l'énergie indique que « l'efficacité énergétique, de même que les changements structuraux et la conservation ciblée de l'énergie sont des instruments cruciaux pour réduire les émissions tout en supportant [...] la croissance économique. »[49]

Les marchés mondiaux ont investi 130 milliards de dollars américains dans l'efficacité énergétique en 2014.[50] Les courbes de réduction des coûts des GES suggèrent que les mesures d'efficacité énergétique comme remplacer l'éclairage incandescent pour des diodes électroluminescentes, moderniser l'isolation et améliorer l'efficacité des systèmes moteurs sont les plus rentables.[51] Bashmakov et al. (2009)[52] fournissent une liste des 15 principales options techniques pour mettre en œuvre l'efficacité énergétique, incluant les turbines à gaz naturel à cycle combiné, les chaudières à gaz efficaces et les véhicules hybrides.

L'efficacité énergétique repose en partie sur la « redécouverte » de l'ingénierie pour économiser de l'énergie. Par exemple, l'écologie industrielle examine comment le gaspillage d'énergie peut être transformé en apport énergétique utile, ce qui peut se faire en jumelant une industrie productrice de chaleur avec une industrie énergivore.[53]

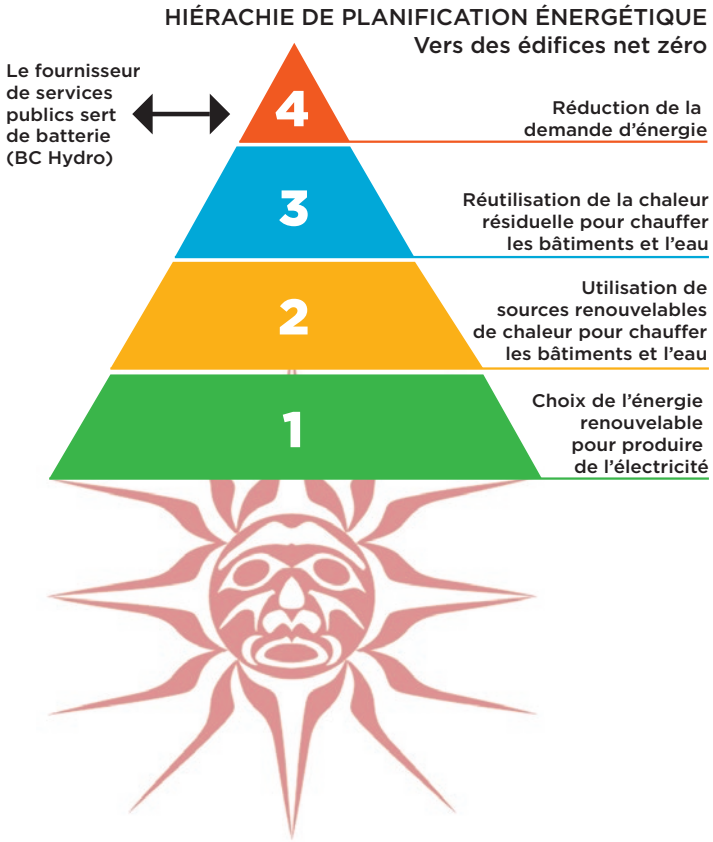
Les mesures d'efficacité énergétique se conjuguent avec le déploiement accéléré de solutions sobres en carbone telles que des infrastructures cyclables plus sûres et plus pratiques, des technologies actives comme des capteurs qui ferment l'éclairage lorsque personne n'est dans la pièce ou des appareils qui s'adaptent à notre comportement (par ex., le thermostat Nest[54]). Il a été prouvé, de même, que les pratiques agricoles sans labour réduisent la consommation d'énergie par rapport aux pratiques de labour traditionnel lorsque les récoltes sont mesurées sur une base annuelle.[55] La recherche de produits à faible consommation d'énergie devrait orienter les futurs développements technologiques telles que les technologies intelligentes[56] et les innovations en gestion.

L'approche avant-gardiste de l'efficacité énergétique proposée par les peuples autochtones est reconnue dans le concept d'autochtonisation qui insiste sur le besoin d'« interdépendance, de réciprocité et de respect envers la nature ».[57] Comprendre le lien entre la terre et l'énergie peut guider les activités de développement des ressources en soutien à la transition énergétique. Par exemple, le « triangle énergétique » de la Première Nation T'Sou-ke combine la réduction de la consommation énergétique avec la réutilisation de la chaleur et des déchets énergétiques et l'électricité sobre en carbone. Il illustre l'intégration des actions technologiques et des comportements lors de la conception de bâtiments à consommation nette zéro abordables (Figure 2.4).

L'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie sont cruciales pour réduire ou éviter la consommation d'énergie tout en diminuant les coûts. Ainsi, un scénario développé pour la France, qui s'appuie sur des données approximatives concernant le nombre de personnes par ménage, la taille de la maison, le nombre de kilomètres parcourus, les limites de vitesse sur les routes, le nombre de passagers par véhicule et plus encore, suggère que les mesures d'efficacité énergétique pourraient réduire la consommation énergétique de 49 % pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments, de 67 % pour la mobilité et de 48 % pour la consommation électrique des appareils électroménagers, des appareils électroniques et des ordinateurs.[58]

Figure 2.4

L'INTÉGRATION DES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME ÉNERGÉTIQUE SOBRE EN CARBONE DE LA NATION T'SOU-KE © NATION T'SOU-KE



LEÇON À RETENIR 3

L'amélioration de l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie représente une contribution importante et rentable à la transition vers des systèmes énergétiques sobres.

2.5.2 ÉLECTRIFIER AVEC DE L'ÉLECTRICITÉ SOBRE EN CARBONE

Malgré le fait que 80 % de l'électricité du Canada soit sobre en carbone, la production des centrales thermiques au charbon dans certaines provinces contribue significativement aux émissions moyennes du secteur de l'électricité de 2,6 t éq.-CO_2 par personne (Figures 2.2 et 2.3). Les statistiques nationales cachent cependant des différences importantes entre les régions; comprendre ces similarités et différences régionales est essentiel afin d'adapter les solutions technologiques politiques et de faciliter la transformation des systèmes énergétiques.

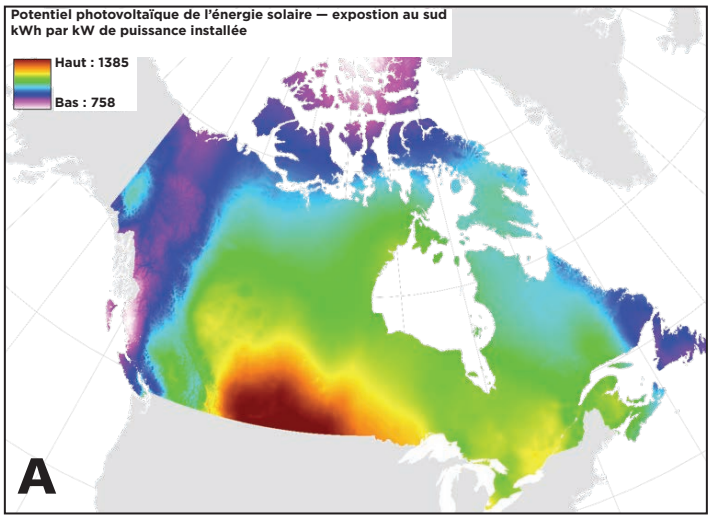
En 2013, Terre-Neuve-et-Labrador, l'Île-du-Prince Édouard, le Québec, l'Ontario, le Manitoba et la Colombie-Britannique ont produit de l'électricité en émettant moins de 1 t éq.-CO_2/personne alors que le Nouveau-Brunswick a émis 4,7, la Nouvelle-Écosse 7,2, l'Alberta 12,5 et la Saskatchewan 17,2 t éq.-CO_2/personne (données provenant de la Figure 2.3). La décarbonisation des systèmes énergétiques demandera donc aux provinces grandes émettrices de transformer en profondeur leurs modes de production d'électricité.[59]

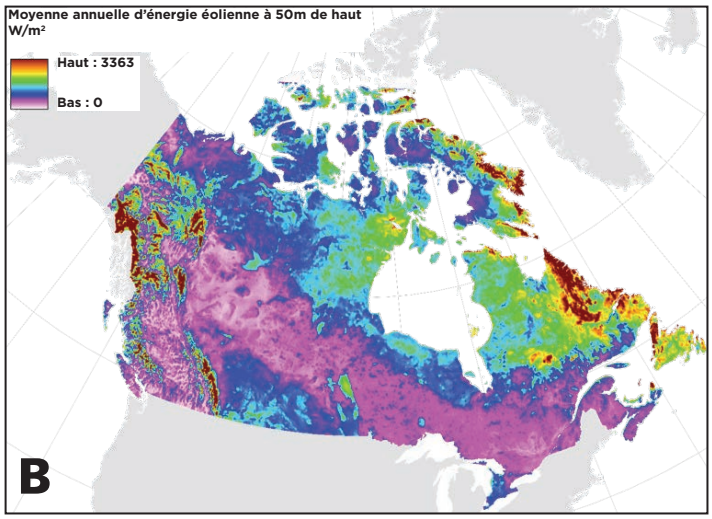
Les ressources énergétiques renouvelables abondent au Canada (Figure 2.5). L'Allemagne construit un système électrique qui s'appuie sur l'énergie éolienne et sur l'énergie solaire moyennant un ensoleillement de 1500 à 1800 heures par année.[60] De leur côté, des villes canadiennes qui comptent actuellement sur des sources d'électricité à intensité carbonique élevée (Calgary, Edmonton et Saskatoon) reçoivent plus de 2200 heures d'ensoleillement par année.[61] *L'étude pancanadienne sur l'intégration de l'énergie éolienne* a calculé qu'en distribuant la production éolienne dans l'ensemble du Canada, il était possible d'ajouter 65 GW au réseau, ce qui fournirait 35 % de la charge vive annuelle du système.[62] L'Île-du-Prince-Édouard répond déjà à plus de 25 % de ses besoins en électricité par le biais de la production éolienne sur l'île.

Figure 2.5

LES POTENTIELS D'ÉNERGIE SOLAIRE ET D'ÉNERGIE ÉOLIENNE

A : Énergie solaire potentielle annuelle basée sur la radiation solaire journalière moyenne de 1974 à 1993.[64] **B :** Énergie éolienne potentielle. Les données représentent les densités moyennes de la puissance du vent à 50 m de hauteur au-dessus du niveau du sol, calculées en fonction des observations enregistrées toutes les six heures de 1958 à 2000.[65]





L'énergie marémotrice et l'énergie houlomotrice pourraient aussi contribuer à produire de l'électricité sobre en carbone. La Nouvelle-Écosse héberge la seule centrale marémotrice en Amérique du Nord à Annapolis Royal (20 MW), de même qu'une turbine marémotrice en eau vive à l'échelle du MW (2 MW) en activité depuis novembre 2016. L'impact potentiel de la turbine sur la vie marine est actuellement à l'étude. En Colombie-Britannique, les modèles suggèrent que l'hydroélectricité et l'énergie houlomotrice/marémotrice pourraient devenir d'importantes sources d'approvisionnement en électricité dans l'avenir.[66]

Puisque les ressources renouvelables variables fluctuent de façon horaire, saisonnière et régionale, leur déploiement exige l'emploi d'une stratégie de stockage afin d'assurer un apport énergétique aux moments opportuns. Certaines variations peuvent également être équilibrées en combinant les sources d'énergie à un même endroit.

Le stockage au moyen de barrages hydroélectriques peut lier la production d'énergie et la demande. Les réservoirs hydroélectriques de la Norvège, par exemple, permettent de soutenir des niveaux élevés de puissance éolienne au Danemark et dans les pays voisins.[67] Les réservoirs hydroélectriques existants en Colombie-Britannique, au Manitoba, au Québec et à Terre-Neuve-et-Labrador, qui représentent tous ensemble des centaines de térawatt-heures, pourraient avoir une fonction similaire pour le Canada.

Une trajectoire possible de transition énergétique passe donc par la coopération interprovinciale pour renforcer les raccordements au réseau à l'intérieur et entre les provinces et les territoires. Les modèles suggèrent qu'en Saskatchewan, par exemple, l'importation d'électricité est l'option la moins coûteuse.[68] Le renforcement de l'interconnectivité régionale du réseau de distribution électrique permettrait de réduire les fluctuations à travers les différentes régions.

Cependant, les grands barrages hydroélectriques ont des impacts environnementaux et sociaux significatifs. De nombreux groupes demandent l'adoption de meilleures pratiques environnementales lors du développement de l'énergie renouvelable en fonction de la perte d'accès aux rivières préexistantes[69] par les populations locales, de même que des risques pour la santé environnementale[70] (Encadré 1).[71] Les plus récents barrages hydroélectriques à grande échelle connaissent également une augmentation rapide des coûts qui dépasse les prix actuels de l'énergie solaire et éolienne.

Les infrastructures hydroélectriques actuelles peuvent servir le déploiement de la production d'énergie renouvelable et réduire considérablement les coûts de l'électricité, profitant ainsi de la synergie offerte par la révolution technologique qui se déroule dans les secteurs de l'électricité et de l'énergie. Les batteries sont déjà une solution de stockage d'énergie pour certaines applications à petite échelle et la viabilité commerciale des fermes de batteries permettant de fournir une capacité importante de stockage pour le réseau de distribution électrique est en train d'être démontrée.[83] La chute rapide des coûts et la performance améliorée des ressources renouvelables – particulièrement de l'énergie éolienne et de l'énergie solaire – de même que les technologies de stockage d'énergie et le développement de « réseaux intelligents » facilitent l'intégration des ressources renouvelables à tous les niveaux, y compris au niveau local.

1

À discuter :

MINIMISER LES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT ET SUR LA BIODIVERSITÉ

La conservation des ressources naturelles et de l'environnement autant pour les générations futures que pour le bien-être des autres espèces est un élément essentiel d'une transition durable. L'empreinte écologique de la société humaine a presque doublé au cours des 50 dernières années, notamment avec un niveau de consommation qui épuise les réserves naturelles et qui modifie la composition de l'atmosphère.[72]

Au Canada, plus de 500 espèces sont en péril et ont été mises sur la liste de protection fédérale.[73] Les changements climatiques sont une menace qui grandit rapidement; les taux d'extinction prévus seront près de six fois plus élevés avec l'augmentation de la température mondiale attendue selon le scénario du « statu quo » qu'avec une température constante.[74]

Les infrastructures énergétiques soulèvent d'importantes préoccupations pour la biodiversité.[75] L'évaluation des coûts environnementaux totaux et cumulatifs par kilowatt d'énergie pourrait permettre la sélection de projets énergétiques durables. Par exemple, alors que l'hydroélectricité au fil de l'eau est souvent présentée comme une option bonne pour l'environnement par rapport aux barrages installés sur des réservoirs, elle peut avoir des coûts environnementaux supplémentaires considérables lorsque des routes et des lignes électriques doivent être construites pour desservir de nombreux projets à petite échelle.[76] Une planification intégrée qui tient compte des effets cumulatifs est cruciale pour réduire à la fois les impacts environnementaux totaux et le coût des nouvelles infrastructures associées à la production d'énergie.[77]

Il serait possible d'aller plus loin et de s'engager à n'accepter aucune perte en biodiversité lors de l'évaluation des possibles projets énergétiques à l'aide, par exemple, d'une grille d'analyse de risques hiérarchisés :[78] (1) les projets évitent d'augmenter les risques pour la biodiversité; (2) ils réduisent les risques lorsque l'évitement n'est pas possible; et (3) tous les risques inévitables qui restent sont réparés ou compensés.[79] Pour réussir, il est essentiel que les compensations soient significatives, qu'elles satisfassent le critère d'additionnalité[80] et qu'elles assurent que les pertes soient plus que compensées par les gains des écosystèmes équivalents (par ex., par le biais de la remise en valeur, de la restauration et de l'expansion des aires protégées).

Lorsqu'on vise la durabilité, les projets d'énergie sobre en carbone peuvent réduire leur empreinte tout en se combinant à d'autres développements, limitant ainsi les impacts négatifs sur l'environnement. Ainsi, on pourrait minimiser l'empreinte nette des réservoirs hydroélectriques en y ajoutant des éoliennes[81] ou un parc de modules photovoltaïques flottants. De même, les zones industrialisées ou urbaines pourraient accueillir des toits solaires, promouvoir le chauffage géothermique et favoriser la transformation énergétique de la biomasse des déchets afin de réduire les impacts des infrastructures énergétiques sur les écosystèmes naturels, tout en se rappelant que l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie réduisent le besoin d'investir dans des infrastructures énergétiques coûteuses et potentiellement dommageables.

Un engagement à protéger l'environnement peut contribuer à favoriser l'innovation en motivant le développement de technologies énergétiques sobres en carbone à impact environnemental réduit. Par exemple, 26 mesures ont été identifiées pour réduire la mortalité, causée par les éoliennes, des oiseaux et des chauves-souris. Elles peuvent être mises de l'avant dans le cadre d'une hiérarchie d'atténuation pendant le processus de délivrance de permis.[82] L'élimination, la réduction et la compensation des impacts environnementaux sont susceptibles d'augmenter l'acceptation sociale des projets d'énergie renouvelable en évitant les conflits communautaires coûteux qui freinent la transition énergétique sobre en carbone.

Comment la protection de l'intégrité environnementale et la préservation de la biodiversité peuvent-elles faire partie intégrante de la transition énergétique sobre en carbone ?

Les technologies de la gestion de la demande et des réseaux intelligents permettent de coordonner les fluctuations de la demande énergétique et les approvisionnements en énergie renouvelable variable (Encadré 2). Ainsi, la ville de Summerside à l'Île-du-Prince-Édouard gère son propre réseau d'électricité et possède un parc éolien de 12 MW. En utilisant un réseau intelligent et un système de stockage d'énergie thermique résidentiel, la ville peut entreposer les surplus d'énergie éolienne pour le chauffage des maisons ce qui lui permet de subvenir à environ la moitié de ses besoins en électricité à partir de l'énergie éolienne.[84]

Une analyse de la disponibilité physique des sources d'énergie renouvelable par province, visant à vérifier l'adéquation entre la demande énergétique et le potentiel d'énergie renouvelable, suggère que l'approvisionnement excède la demande.[85]

2

À discuter :

L'AUTOPRODUCTION D'ÉNERGIE : DÉFIS ET POSSIBILITÉS

La diminution continue des coûts de production d'énergie décentralisée et des technologies de stockage et de gestion de la demande crée, pour les citoyens et les communautés, de nouvelles occasions de s'impliquer dans le système énergétique. Les toits solaires, par exemple, créent un potentiel de production d'énergie à l'échelle résidentielle.[86] Jumelées à des batteries peu coûteuses ou raccordées au réseau, ces solutions sont au cœur d'une reprise en main citoyenne de la question énergétique qui pourrait devenir caractéristique de la transition sobre en carbone.[87, 88]

Un tel développement a déjà commencé dans plusieurs pays à travers le monde. En Allemagne, par exemple, la Loi sur l'énergie renouvelable de 2000 a permis à des citoyens ordinaires de devenir des acteurs dans l'économie émergente de l'énergie renouvelable. En 2013, 46 % de la puissance énergétique renouvelable était dans les mains des citoyens allemands (35 % chez des individus et 11 % chez des agriculteurs) alors que les grandes compagnies d'électricité en contrôlaient seulement 5 %.[89] Jumelée à l'augmentation spectaculaire du nombre de coopératives de l'énergie (qui sont passées de 66 en 2001 à 888 en 2013[90, 91]), cette loi a fait des Allemands des « citoyens énergétiques » qui assument un rôle actif dans la transition énergétique.

Au Canada, certains distributeurs d'électricité achètent déjà de l'électricité produite par les consommateurs. Puisque les coûts d'installation de services de production délocalisée d'énergie renouvelable continuent de chuter, les distributeurs devront ajuster leurs modèles d'affaires au fur et à mesure que davantage de citoyens et d'industries se tourneront vers l'autoproduction.

Sans une vision claire et des politiques préventives, cette transition pourrait cependant être douloureuse en contribuant à l'augmentation des prix de l'énergie et des coûts financiers des fournisseurs privés et publics — ce qui affecterait tous les Canadiens. Un tel changement pourrait également soulever des problèmes d'équité. Tous n'auront pas accès à l'espace nécessaire pour bénéficier de cette occasion. De plus, l'autoproduction pourrait être vue comme la « privatisation » de ce qui, dans de nombreuses régions, est un secteur d'activité en grande partie public.

En se situant entre les citoyens et les services publics à grande échelle et en donnant aux citoyens un rôle direct et actif dans leur avenir énergétique, les coopératives de l'énergie et les entités locales ou régionales sans but lucratif ont été proposées comme une façon de démocratiser l'accès à, et le contrôle, des sources décentralisées d'énergie sobre en carbone.[92]

Quel rôle devrait jouer l'autoproduction d'énergie dans les futurs systèmes énergétiques ?

Le nucléaire est encore une autre option sobre en carbone qui produit à la fois chaleur et électricité; cette technologie fournit actuellement une part importante de l'électricité sobre en carbone de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick. L'Ontario s'est engagé à de nouveaux investissements substantiels pour rénover et étendre considérablement la durée de vie d'au moins une de ses installations nucléaires existantes.[93]

Malgré la capacité du nucléaire à fournir une grande quantité d'énergie avec des émissions très faibles ou nulles, l'élargissement du rôle de l'énergie nucléaire dans le cadre de la transition à faible émission de carbone demeure controversé en soulevant des enjeux comme l'élimination des déchets, le risque de prolifération, l'acceptabilité du public et la viabilité économique à long terme. Rejoignant 10 000 Canadiens,[94] une série d'échanges en ligne qui se sont étalés sur un an et qui portaient sur la gestion des déchets nucléaires a conclu que le problème de l'élimination des déchets demeure une préoccupation.[95] Pour ce faire, un consensus existe favorisant l'entreposage en profondeur. Cependant la Société de gestion des déchets nucléaires n'a pas encore choisi de site d'enfouissement.

Des efforts de recherche sont en cours au Canada et dans le monde entier pour répondre à ces préoccupations, y compris les travaux sur les petits réacteurs modulaires qui pourraient fournir une chaleur et une puissance combinées. Les progrès réalisés dans ces technologies pourraient améliorer le positionnement concurrentiel de l'énergie nucléaire en tant que solution à faibles émissions de carbone dans le futur.[96]

LEÇON À RETENIR 4

Étant donné que 80 % de l'électricité canadienne est déjà sobre en carbone et que de nombreuses ressources renouvelables demeurent inexploitées, le Canada a le potentiel d'augmenter de manière significative sa production électrique tout en éliminant les émissions de GES du secteur.

2.5.3 LES COMBUSTIBLES SOBRES EN CARBONE

Les combustibles sobres en carbone représentent le troisième élément de la décarbonisation des systèmes énergétiques. Il semble probable que l'aviation et le transport de marchandises lourdes continueront d'exiger des combustibles qui ont une densité énergétique élevée. Il est donc essentiel que ces carburants ne causent pas une augmentation nette de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère. Les combustibles créés à partir de biomasse récoltée de façon durable, de la réduction électrochimique du CO_2 atmosphérique ou de l'électrolyse pour produire de l'hydrogène offrent dans ce cas un avantage significatif par rapport aux hydrocarbures fossiles, mais, à ce jour, aucune voie n'est économiquement viable ou faisable à l'échelle demandée pour relever ce défi.[97]

Les biocarburants sont renouvelables s'ils sont produits à partir de sources durables de matières premières et s'ils peuvent être mélangés à des taux croissants avec des combustibles fossiles, permettant par le fait même aux infrastructures existantes d'être utilisées pendant le changement vers une énergie plus verte. La croissance des biocarburants traditionnels – éthanol à base de maïs ou de blé et biodiesel à base d'huile végétale – peut être limitée par la crainte que le détournement de cultures vivrières pour la production de carburant fasse finalement monter les prix de la nourriture[98] et élargisse significativement les opérations agricoles à l'échelle locale, régionale ou mondiale.[99]

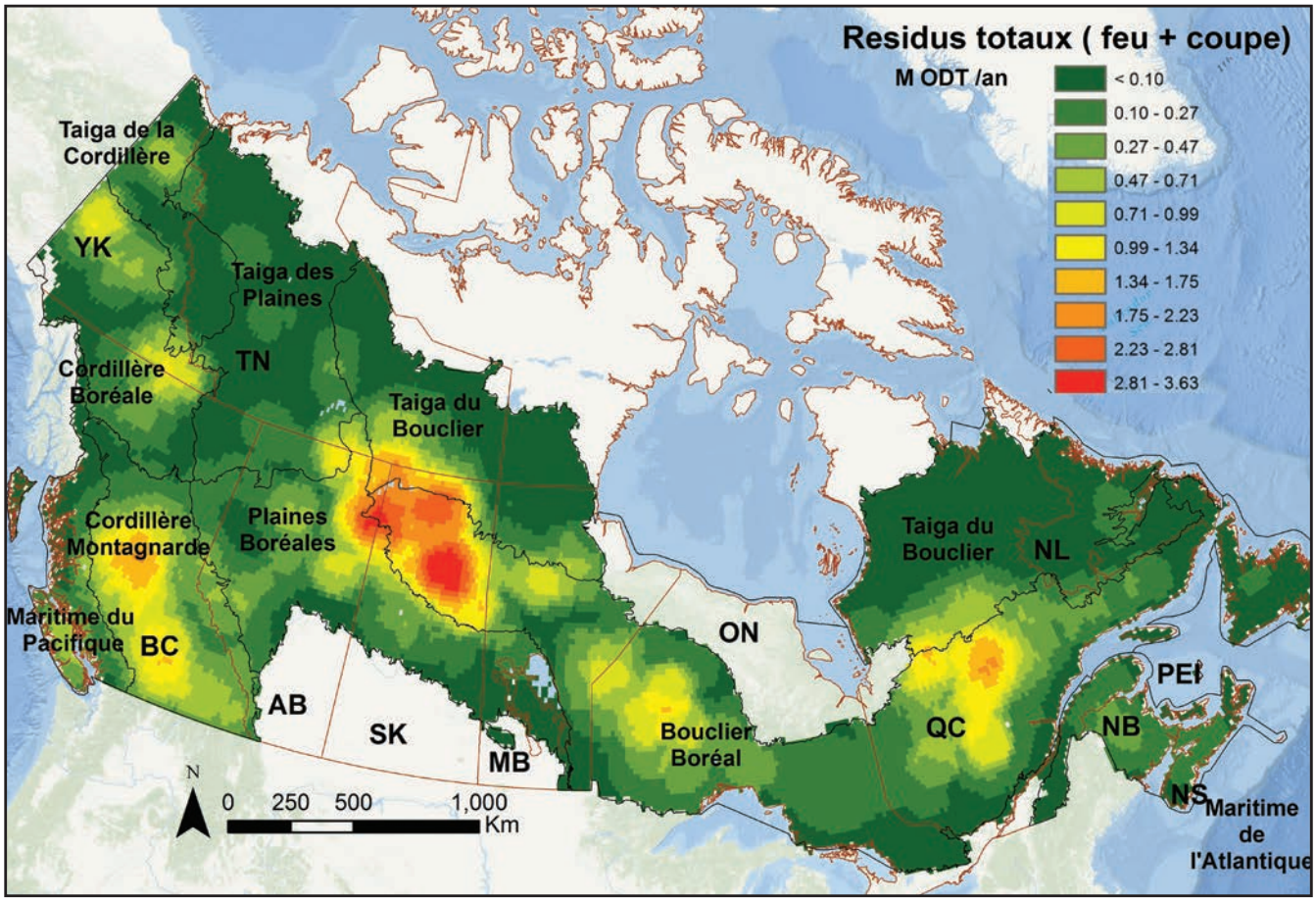
Les biocarburants dits de « seconde génération » peuvent être produits à partir de matières premières lignocellulosiques non alimentaires (par ex. le bois, la paille et les algues) par le biais d'une approche de bioraffinage – un procédé qui génère souvent des coproduits tels que la chaleur et l'électricité. Ces biocarburants sont actuellement en démonstration à l'échelle commerciale aux États-Unis et en Europe, avec une importante usine en activité à Edmonton. Le développement d'une capacité de production importante pourrait s'accomplir en tirant profit des infrastructures existantes et en s'appuyant sur les chaînes d'approvisionnement établies dans les secteurs agricole et forestier.[100, 101]

Le secteur forestier, en particulier, peut profiter d'une stratégie de bioraffinage[102] qui valoriserait les résidus forestiers sous-utilisés et des matières premières opportunistes telles que le bois endommagé par les insectes ou par le feu (Figure 2.6). La quantité de bois récoltée au Canada pour la production de bois d'œuvre, de pâtes et de papiers est en deçà des limites durables de coupes permises imposées par la législation. Un modèle suggère que les résidus, le bois sous-utilisé et les matières premières opportunistes pourraient fournir jusqu'à 50 millions de tonnes sèches/année. Cette matière première est dispersée sur une large étendue géographique et sa qualité est hautement variable. Néanmoins, avec une gestion efficace de la chaîne d'approvisionnement, l'utilisation de ces matières premières pourrait augmenter radicalement la disponibilité des biocarburants de seconde génération, menant ainsi à la diversification et à la croissance de l'économie d'origine biologique du Canada. Ces biocarburants pourraient également être produits à partir de matières premières prédestinées, telles que les cultures énergétiques (peuplier ou panic raide) ou les algues. De telles cultures demanderont encore plusieurs années de développement, mais elles pourraient amener des avantages supplémentaires.[103]

Figure 2.6

LES ZONES AYANT UN POTENTIEL ÉLEVÉ DE RÉCOLTE DE BIOMASSE FORESTIÈRE PROVENANT DES RÉSIDUS LIÉS AUX RÉCOLTES ET AUX INCENDIES, EN TONNES DE MATIÈRE SÈCHE PAR ANNÉE[104]

Reproduite avec permission. © Service canadien des forêts



En se basant sur le cycle de vie, les réductions des émissions obtenues par le maïs, le blé, le colza et le soja varient entre 30 et 80 %,[105] mais peuvent atteindre plus de 85 % si des huiles usées sont utilisées.[106] Les émissions des biocarburants peuvent être réduites en utilisant des déchets comme matière première. Ce procédé fait disparaître les émissions associées à l'élimination des déchets et crée un carburant viable sans la nécessité de récolter des matières premières supplémentaires. Des réductions additionelles peuvent être obtenues en remplaçant des combustibles fossiles par des biocarburants à base de déchets, ce qui mène à une séquestration nette de carbone.[107]

Par unité d'énergie thermique libérée lors de la combustion, le gaz naturel produit moins de CO_2 que le pétrole ou le charbon (soit 51 kg versus 73 ou 92 kg de CO_2 par GJ);[108] le gaz naturel a par conséquent été proposé comme un combustible de transition à la fois pour la production d'électricité, en remplacement du charbon, et pour le transport, en remplacement du diesel ou de l'essence. Néanmoins, le gaz naturel n'est pas une source d'énergie sobre en carbone, particulièrement lorsque les émissions de méthane provenant des fuites sont prises en considération[109, 110, 111] puisque ce gaz est un GES beaucoup plus puissant que le CO_2.

Pour le transport, le gaz naturel a l'avantage de produire moins d'émissions de particules et de pollution de l'air que l'essence ou le diesel. Toutefois, à moins que les industries responsables de l'extraction, de la valorisation et du transport du gaz naturel réussissent à réduire radicalement leurs émissions fugitives, il n'est pas réaliste de soutenir que le gaz naturel peut être un combustible de transition vers un avenir énergétique plus durable.

Il y a un intérêt croissant pour l'utilisation de gaz naturel d'origine biologique (gaz naturel renouvelable) qui permet de réduire les émissions totales. Lorsqu'il provient de sources de biomasse résiduelle comme les déchets solides municipaux, et qu'il est généré à partir de la digestion anaérobique ou par pyrolyse ou gazéification, le gaz naturel renouvelable est un biocarburant[112] qui peut être introduit dans le réseau des gazoducs et ainsi réduire l'empreinte des GES de cette source d'énergie.[113]

Une étude récente, qui a examiné la production de méthanol et d'oxyde de diméthyle à partir d'un mélange d'hydrogène et de CO_2, a rapporté des réductions d'émissions très avantageuses dans l'ensemble du système en comparaison avec le scénario de référence des combustibles fossiles.[114] Une usine pilote qui peut convertir le CO_2 en combustibles synthétiques reproduisant l'essence ou le diesel est actuellement à l'essai à Squamish, Colombie-Britannique.[115] Ces technologies en sont toujours à leurs balbutiements, mais elles offrent une perspective intéressante dans la transition vers une économie plus verte.

LEÇON À RETENIR 5

En offrant une alternative crédible pour complémenter puis remplacer les combustibles fossiles utilisés dans le transport de marchandises lourdes et l'aviation, les combustibles sobres en carbone jouent un rôle central dans la transition énergétique.

3. LA COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE MONDIALE

La force du dollar canadien étant étroitement liée au marché mondial du pétrole et du gaz, le secteur énergétique a depuis longtemps été une composante centrale de l'économie canadienne en contribuant considérablement à sa balance commerciale.[116] Dépendants – directement ou indirectement – d'emplois et de revenus générés par le secteur du pétrole et du gaz, de nombreux Canadiens sont sérieusement préoccupés par l'avenir de cette industrie dans le contexte d'une transition vers une société énergétiquement sobre en carbone. La production pétrolière et gazière du Canada étant principalement destinée à l'exportation, l'évolution du secteur est largement déterminée par la demande et par les prix mondiaux.

À titre d'exemple, les secteurs d'activité reliés au pétrole et au gaz se sont rétractés à la suite d'une chute des prix mondiaux au cours des cinq dernières années, alors que d'autres secteurs se sont développés, notamment le secteur des services – l'immobilier, la finance, l'assurance –, mais aussi le secteur de la construction.[117] Selon l'Agence internationale de l'énergie, le ralentissement du développement des sables bitumineux est dû aux faibles prix du pétrole, ce qui cause des retards et des annulations de projet (par ex., le projet minier de sables bitumineux Pierre River de Shell) et la réduction des activités de forage depuis juillet 2014.[118] Suivant le rapport de l'Agence internationale de l'énergie, la durée du cycle de baisse des prix déterminera la perspective à long terme pour le développement des sables bitumineux et il faut s'attendre à un ralentissement de la croissance de la production après 2015; ainsi, l'Association canadienne des producteurs pétroliers a récemment revu à la baisse ses prévisions de croissance même si elle s'attend toujours à une croissance de l'industrie jusqu'en 2030.

Au moment où le Canada s'engage à réduire ses émissions de GES et se positionne comme chef de file pour atténuer les changements climatiques, et où l'industrie pétrolière et gazière fait face à l'incertitude à l'échelle mondiale, il est primordial d'assurer notre compétitivité future.

3.1 LES EFFETS DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SUR LA COMPÉTITIVITÉ

Les coûts, les prix, l'utilisation de technologies innovatrices ainsi que la qualité et la performance des produits et services sont des facteurs cruciaux pour la compétitivité des entreprises.[119] Avant d'adopter de nouvelles politiques pour stimuler la transition énergétique sobre en carbone, il est important d'examiner leurs effets potentiels sur la compétitivité des firmes canadiennes. Parmi les secteurs économiques qui sont à haute intensité d'émissions et qui sont exposés à la concurrence commerciale, on retrouve la fabrication d'acier, de pâtes et papiers, d'aluminium, de produits chimiques industriels, d'engrais et d'autres produits primaires, de même que les raffineries de pétrole et certains secteurs extractifs, comme celui lié à l'exploitation et à la valorisation du bitume. Représentant en moyenne 5 % du produit intérieur brut, ces secteurs sont responsables de 1 à 4 % de l'ensemble de l'économie dans la plupart des provinces. Cependant, ces secteurs en représentent environ 20 % en Alberta et en Saskatchewan.[120]

Ces dernières années, divers outils économiques ont été mis à la disposition des secteurs à haute intensité d'émissions exposés à la concurrence commerciale pour les aider à relever les défis de la transition vers une société sobre en carbone :

- **exemption.** A pour effet de soustraire un secteur de l'application d'une politique pour éviter les effets sur sa compétitivité.[121, 122]
- **rabais fiscal.** A pour effet de compenser les secteurs qui ont subi des pertes de profit ou de valeur de l'actif dues à la transition énergétique sobre en carbone.
- **objectifs de recyclage axés sur les produits**. Les rabais conditionnels aux extrants de production sont parfois connus comme des rabais axés sur les produits.[123]

Toutefois, il est important de ne pas s'arrêter à l'entreprise lorsque l'on évalue la compétitivité globale. Les activités économiques qui ont des effets secondaires négatifs sur l'environnement et les sociétés, tels que la pollution et les impacts sur la santé, peuvent influencer la compétitivité future d'un pays.[124] Ces facteurs doivent être pris en considération lors des discussions sur la transition énergétique; le défi de la concurrence internationale doit être pondéré au regard des attentes croissantes des Canadiens envers la responsabilité sociale et environnementale des entreprises.[125]

Il est de plus en plus évident que la mise en œuvre des mesures environnementales augmentera la rentabilité à long terme de plusieurs secteurs[126] par le biais de la réduction des coûts et de la production de revenus.[127] Ces transformations peuvent être monétisées par le biais de « labels verts » qui pourraient représenter un avantage compétitif dans un monde où les consommateurs – et les employés – sont de plus en plus conscients de la dégradation de l'environnement.[128]

Les entreprises réagissent de façon différente aux pressions environnementales. Les compagnies réactives ont tendance à résister au changement, en partie à cause de l'incertitude politique,[129] limitant leur développement aux aptitudes minimalement nécessaires pour demeurer compétitives dans un monde sobre en carbone. D'autres adoptent, dans une perspective à long terme, un vaste éventail d'approches, notamment des investissements dans les énergies alternatives, un dialogue multipartenarial et des objectifs d'efficacité énergétique pour encourager

la compétitivité à long terme.[130] Par exemple, 12 compagnies de sables bitumineux ont lancé la *Canada's Oil Sands Innovation Alliance* (COSIA) en 2013 dans l'objectif d'accélérer la performance environnementale de l'industrie par le biais de l'action collaborative parce qu'elles ont reconnu que la réputation de l'industrie des sables bitumineux déclinait de concert avec l'accès aux marchés (par ex. les pipelines).[131]

LEÇON À RETENIR 6

La proactivité des entreprises face aux défis environnementaux influence, comme il a été démontré, leur compétitivité future.[132, 133] Les entreprises canadiennes sont en mesure d'anticiper le changement et de se préparer pour la transition.

3.2 ENCOURAGER L'INNOVATION

Malgré un bilan solide en matière de recherche universitaire, l'innovation des entreprises au Canada est faible en comparaison avec ce qui se fait à travers le monde.[134] Les entreprises canadiennes ont souvent acquis leurs innovations des États-Unis en se contentant d'exporter vers le grand marché américain. Les entreprises canadiennes ont néanmoins prospéré, ce qui ne les a guère stimulées à changer. Dans l'avenir, renforcer l'innovation pourrait être bénéfique compte tenu des enjeux environnementaux et des prix instables du pétrole.

Une politique d'innovation fournit un angle critique pour considérer la transition énergétique. Dans les économies dynamiques et modernes, l'innovation est souvent considérée comme la voie royale vers la compétitivité, l'emploi, les marchés et la prospérité permanente. La littérature sur les politiques d'innovation définit un ensemble de conditions générales pour une économie innovatrice, notamment la stabilité macroéconomique et les régimes adéquats de propriété intellectuelle, de même que l'élaboration de mesures plus ciblées pouvant fournir un soutien financier aux différentes étapes de la chaîne de l'innovation.[135, 136]

Concernant la transition énergétique, trois importantes mises en garde méritent d'être apportées : premièrement, l'innovation sobre en carbone exige un soutien politique spécifique.[137] Deuxièmement, l'innovation sobre en carbone ne doit pas être réduite à l'innovation technique; elle implique également une transformation des pratiques commerciales, des approches sociales et des mécanismes financiers.[138] Troisièmement, les innovations sociales qui ne sont pas forcément commercialisables peuvent également contribuer à la décarbonisation tant en améliorant la qualité de vie.

À ce jour, les dépenses en recherche, développement et déploiement (RD&D) en matière d'énergie ciblent principalement le secteur des énergies fossiles. Entre 2011 et 2015, les investissements fédéraux et provinciaux dans la RD&D se sont élevés à un total de 2,261 milliards de dollars pour l'industrie des énergies fossiles, y compris le captage et le stockage du carbone, et à 1,394 milliards de dollars pour les énergies renouvelables.[139] Le *Cadre pancanadien*, cependant, donne une place importante aux technologies propres, à l'innovation et aux emplois en explorant les façons d'encourager les phases initiales de l'innovation, d'accélérer la commercialisation et la croissance, de promouvoir l'adoption et de renforcer la collaboration et les indicateurs de succès.

Au cours des dernières années, des efforts considérables ont été consacrés à la compréhension de la meilleure façon de devenir un chef de file mondial de l'innovation.[140] Le rapport d'un groupe d'experts commandé par le Gouvernement du Canada a proposé six recommandations pour stimuler l'innovation,[141] dont la simplification du Programme de la recherche scientifique et du développement expérimental, l'utilisation de l'acquisition pour soutenir l'innovation et l'aide aux entreprises innovatrices pour accéder au capital de risque nécessaire. Une autre étude a identifié l'accès au financement et à l'engagement de la part des organismes de régulation comme étant les barrières à l'expansion des technologies propres les plus urgentes à franchir.[142]

Les recherches récentes suggèrent que la transition énergétique sobre en carbone exige un nouveau modèle pour définir les relations entre les utilisateurs d'énergie, les producteurs d'énergie, la technologie et le gouvernement,[143] incluant, par exemple, un accès plus direct au gouvernement pour les innovateurs émergents. Au lieu de l'avènement d'une seule percée technologique, il est probable qu'une multitude de technologies devront être déployées et que le gouvernement sera appelé à jouer des rôles différents comme acheteur,[144] gestionnaire et créateur de marché. Plusieurs des technologies courantes ont bénéficié du soutien direct du gouvernement (par ex., les téléphones intelligents, internet, les biotechnologies et les médicaments), ce qui indique que le financement direct du gouvernement est important.[145]

Le Canada s'en tire bien comparativement aux autres membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique en ce qui concerne les investissements en RD&D (Figure 3.1). Cependant, le financement direct du Canada est relativement limité, soulignant ainsi l'importance de reconsidérer les stratégies et les programmes d'investissement. Dans le budget fédéral 2017, la création d'Innovation Canada est proposée afin de « simplifier le support aux innovateurs » ainsi que la révision des programmes d'innovation des entreprises[146] qui pourraient bénéficier de la recherche en innovation.

Figure 3.1

LA DISTRIBUTION DES INVESTISSEMENTS EN RECHERCHE, DÉVELOPPEMENT ET DÉPLOIEMENT (RD&D) PAR CATÉGORIE EN 2012[147]

Toutefois, l'innovation va bien au-delà du financement direct. Par exemple, soutenir l'innovation dans le contexte d'un problème complexe comme les changements climatiques pose un défi important à cause de l'impossibilité inhérente de planifier et de gérer de façon conventionnelle face à un avenir imprévisible.[148] Pour établir un cadre adéquat pour l'innovation, le gouvernement doit définir les orientations de façon ample afin de permettre l'exploration, la découverte, et l'apprentissage. En suivant cette approche, le Danemark a adopté une stratégie de bricolage de faible technologie pour développer l'énergie éolienne, encourageant ainsi l'apprentissage et l'expérimentation, ce qui lui a finalement permis de devenir un chef de file mondial en matière d'énergie éolienne.[149]

LEÇON À RETENIR 7

Alors que les investissements sont nécessaires pour encourager l'innovation dans les systèmes énergétiques, la volonté des entreprises de prendre des risques et la capacité des gouvernements de fournir une orientation et un soutien à long terme sont tout aussi essentielles.

3.2.1 LES SECTEURS OÙ LE CANADA PEUT ÊTRE UN CHEF DE FILE

Même si l'économie du Canada est petite comparativement à celle des États-Unis (9 %) et aux plus grandes économies du monde, elle peut se positionner dans des niches précises.[150] À titre d'exemple, *Canadian Solar* possède des filiales de son entreprise dans 24 pays et plus de 8 900 employés à travers le monde.[151] Les occasions de développer des produits et des services innovateurs sobres en carbone sont considérables, variées et souvent différentes selon les régions, comme, par exemple : l'énergie renouvelable marine dans la région de l'Atlantique, l'industrie du transport au Québec, la construction automobile en Ontario et le captage et le stockage du carbone dans l'Ouest canadien.[152]

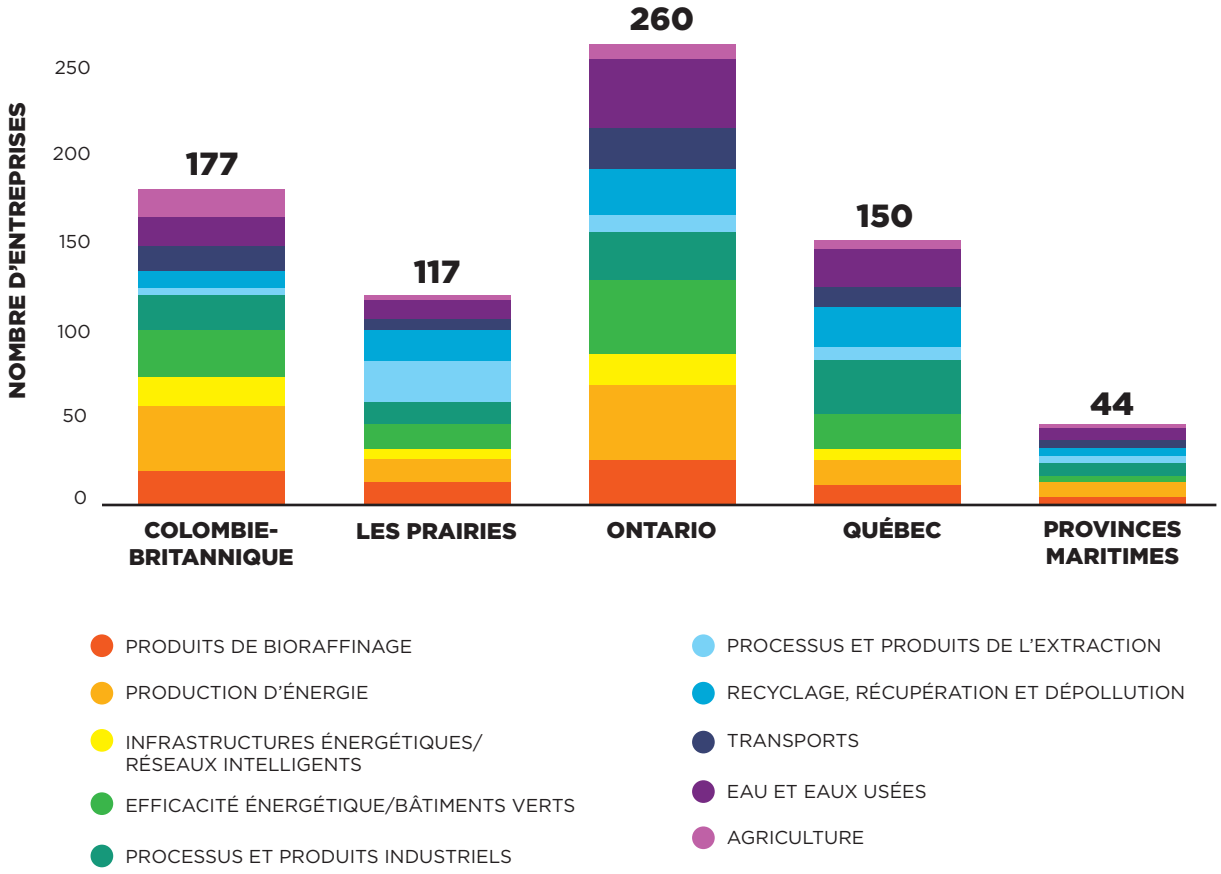
Une étude commandée par Ressources naturelles Canada a identifié les composantes de véhicules électriques et hybrides ainsi que les infrastructures de recharge et les batteries comme étant des domaines de leadership.[153] Elle a également souligné les possibilités d'amélioration en matière d'efficacité énergétique pour les bâtiments et pour les processus industriels, et elle a identifié un potentiel de compétitivité mondiale en ce qui concerne l'hydroélectricité non conventionnelle, la bioénergie, la valorisation énergétique des déchets, l'énergie solaire, le développement de projets hors réseau, le captage et le stockage du carbone, les systèmes de piles à combustible, les bioraffineries et les biocarburants.

L'état actuel de l'industrie des technologies propres au Canada fournit également des indications sur son potentiel compétitif. En 2014, ce secteur comprenait 774 entreprises générant des revenus de 11,63 milliards de dollars.[154] Les activités de ce secteur couvrent un éventail très large – la production d'énergie, l'efficacité énergétique et les processus industriels prennent la tête en termes de nombre d'entreprises. Selon *Analytica Advisors*, les investissements de l'Ontario dans les ressources renouvelables et la gestion de l'énergie intermittente expliquent la vitalité de la province en matière d'infrastructures énergétiques, de réseaux à petite échelle, d'efficacité énergétique et de bâtiments verts.[155] Dans les Prairies, il existe un potentiel important dans le domaine des bioraffineries et, notamment, dans l'innovation des processus d'extraction, de recyclage, de récupération et de dépollution (Figure 3.2). La mise en place d'incitations adéquates pourrait augmenter la production d'électricité propre s'appuyant sur le potentiel d'énergie solaire dans les Prairies et le potentiel d'énergie éolienne dans les provinces de l'Atlantique.

Figure 3.2

LE NOMBRE D'ENTREPRISES CANADIENNES DE TECHNOLOGIES PROPRES PAR SECTEUR EN 2014

© Analytica Advisors 2016.[156]



Dans certains domaines, l'innovation, les investissements et les bases industrielles existent déjà et des efforts limités peuvent stimuler le potentiel compétitif. Par exemple, les investisseurs peuvent tirer profit de l'expertise de l'industrie pétrolière et gazière dans la conception et l'exploitation de grands projets d'ingénierie, y compris les installations en mer, pour faire fonctionner des projets d'énergie renouvelable comme la géothermie, l'énergie éolienne en mer, l'énergie houlomotrice et l'énergie marémotrice.[157]

Les technologies de transformation dans le secteur du pétrole et du gaz pourraient permettre à l'industrie d'évoluer et de développer des énergies renouvelables, notamment celles qui utilisent les systèmes biologiques dans les gisements de pétrole, les nanotechnologies ou encore la production d'hydrogène *in situ* pour transformer les gisements de pétrole, soit en ressources électriques à grande échelle soit en source d'hydrogène.[158] Les puits de pétrole existants ou abandonnés pourraient également servir au développement de la géothermie.[159] L'innovation concerne aussi la consommation d'énergie. Sur la base de son grand potentiel d'énergie renouvelable jumelé à son climat froid, le Canada peut être compétitif pour attirer de nouvelles industries grandes consommatrices d'énergie comme, par exemple, pour le stockage de données.[160]

3.3. LE FINANCEMENT DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SOBRE EN CARBONE

Historiquement, un des obstacles majeurs à l'adoption étendue des énergies sobres en carbone a été la différence de coût entre l'électricité produite à partir de sources renouvelables et celle provenant de sources non renouvelables. Les sociétés de capital de risque, les individus ou les compagnies qui investissent dans les entreprises en phase de démarrage prennent leurs décisions sur la base des risques et des rendements attendus, en investissant généralement pour des périodes de 5 à 10 ans. Ils préfèrent investir dans des projets faiblement capitalisés et de haute technologie, tels que des projets d'efficacité énergétique, d'éclairage, de stockage d'énergie et d'énergie éolienne et solaire. Les projets fortement capitalisés et à risques technologiques élevés – comme le captage et le stockage du carbone, les biocarburants avancés, la technologie non éprouvée des cellules solaires et la technologie houlomotrice – ont de la difficulté à trouver du financement et le soutien gouvernemental devient souvent nécessaire pour combler le fossé entre innovation et mise en marché, aussi nommé la « vallée de la mort ».[161]

Les gouvernements jouent un rôle clé pour dépasser ces obstacles, notamment dans la mise en place de tarifs de rachat, en agissant comme premier adoptant et acheteur public à grande échelle de technologies sobres en carbone, par leur soutien financier ou leurs programmes de subvention pour la recherche et le développement, en réduisant les subventions pour les énergies fossiles, en établissant la tarification du carbone, en mettant en place des normes relatives au portefeuille d'investissement sur les énergies renouvelables et en créant des partenariats publics-privés.

Le taux annuel moyen d'accroissement des nouveaux investissements mondiaux dans les énergies renouvelables atteint 18 % pour la période de 2014 à 2015. Le financement d'actifs est l'élément le plus important de l'investissement financier total. L'énergie solaire et l'énergie éolienne sont de loin les mieux dotées. En 2016, la Chine (78,3 milliards de dollars américains), l'Europe (59,8 milliards de dollars américains) et les États-Unis (46,4 milliards de dollars américains) ont fait les plus grands investissements dans les énergies renouvelables.[162] Sans un mandat clair du gouvernement fédéral, les compagnies canadiennes ne souhaitent peut-être pas assumer le risque supplémentaire que représentent les investissements dans de nouvelles industries, entreprises ou technologies.

Selon l'Organisation de Coopération et de Développement Économique[163] les subventions infranationales dans l'industrie pétrolière et gazière au Canada se sont élevées à un total de 3,1 milliards de dollars en 2014. Les subventions provenaient principalement de l'Alberta (1,9 milliard de dollars), de la Colombie-Britannique (532 millions de dollars), du Québec et de l'Ontario (environ 270 millions de dollars chacun). Presque toutes les subventions provinciales ont été données soit pour l'étape de l'extraction ou de l'exploitation minière (34 %), soit pour une autre utilisation finale des énergies fossiles (65 %), par exemple, des exemptions de taxes pour le transport ferroviaire, la navigation, l'agriculture ou la foresterie.

Au niveau national, les subventions ont atteint un total de 123 millions de dollars. À titre comparatif, les engagements du gouvernement fédéral dans le *Cadre pancanadien* pour appuyer les initiatives ayant trait au climat s'élèvent à 321 millions de dollars par année.[164] Réorienter les subventions aux énergies fossiles vers la transition énergétique sobre en carbone créerait une source stable de financement qui pourrait agir comme levier pour attirer les investisseurs privés.

Un moyen complémentaire aux investissements privés pour financer les installations de production d'énergie sobre en carbone est la propriété publique directe. Les bénéfices à long terme des investissements publics ont permis à Hydro-Québec, Manitoba Hydro et BC Hydro de fournir de l'électricité abordable et, en plus, d'attirer une grappe d'industries privées. Les sociétés d'État peuvent jouer un rôle clé dans l'augmentation des portefeuilles d'énergies sobres en carbone, particulièrement là où le secteur privé est réticent à investir, mais où il y a des avantages significatifs pour la société – tels que des possibilités de développement économique et des améliorations en matière de santé et de qualité de vie.[165]

Le soutien à l'échelle mondiale pour les technologies vertes et les réductions de GES a contribué à l'émergence de nombreuses initiatives sobres en carbone en provenance des investisseurs privés qui peuvent accélérer la transition. L'achat d'obligations vertes[166] et l'échange d'actifs de compagnies d'énergies fossiles contre ceux de compagnies d'énergies renouvelables peuvent permettre aux investisseurs de verdir leurs portefeuilles d'investissement. Depuis 2015, des obligations vertes pour une valeur totale de 100 milliards de dollars américains ont été émises mondialement.[167] En janvier 2016, l'Ontario a procédé à sa deuxième émission d'obligations vertes pour une valeur de 750 millions de dollars[168] et le Québec est en train de suivre son voisin.[169]

Les obligations fiduciaires pourraient amener les administrateurs de fonds de pension publics à s'éloigner des industries fossiles, notamment depuis que les risques associés au réchauffement climatique deviennent plus évidents.[170] Le *Carbon Disclosure Project*, par exemple, mesure et rapporte les émissions de CO_2 des compagnies afin d'informer les investisseurs.[171] Selon certaines données, l'industrie des énergies fossiles aurait perdu 5 billions de dollars américains en date de décembre 2016 à cause du désinvestissement.[172]

Le contrôle des émissions de CO_2 pourrait entraîner une dépréciation des actifs des compagnies pétrolières et gazières, les changements climatiques eux-mêmes auront également un impact sur ces actifs.[173] Selon les auteurs, pour la valeur marchande actuelle des actifs financiers mondiaux, le risque (ou coût) du maintien du statu quo représente 2,5 billions de dollars américains. Cependant, les investisseurs pourraient tabler sur des solutions technologiques qui maintiennent la prédominance des secteurs pétroliers et gaziers et demeurer sceptiques quant à la capacité de la planète à faire la transition vers des sources d'énergie plus propre.

Finalement, étant donné que l'infrastructure énergétique, des transports et des bâtiments est construite pour plusieurs décennies, ayant ainsi un effet de verrouillage sur l'orientation du développement,[174] les investissements effectués au moment de renouveler les infrastructures sont les plus efficaces puisqu'ils impliquent peu de flux financiers et d'investissements supplémentaires.[175] De manière importante, le rythme de la transition énergétique sera déterminé par le remplacement des infrastructures vieillissantes à travers le pays et par le besoin de faire face aux impacts des changements climatiques.

Une vision plus globale du coût de la transition énergétique devrait tenir compte des impacts négatifs des changements climatiques sur l'économie. Sans action climatique ambitieuse, les coûts des changements climatiques pourraient atteindre de 21 à 43 milliards de dollars par année d'ici 2050 (valeur du dollar en 2008).[176] Retarder de 2012 à 2020 la création de mesures politiques nationales en matière de GES pourrait demander des investissements de 86 milliards de dollars supplémentaires entre 2020 et 2050.[177]

LEÇON À RETENIR 8

Plusieurs options existent pour financer la transition énergétique sobre en carbone, ce qui appelle à la collaboration entre les secteurs publics et privés.

3.4 L'ENJEU DE L'EMPLOI

Les transformations dans le secteur de l'énergie modifieront les marchés de l'emploi connexes. À titre d'exemple, la chute récente des prix mondiaux de l'énergie a eu un impact majeur sur l'emploi dans le secteur du pétrole. Les estimations varient entre 47 225 emplois perdus depuis 2014, principalement en Alberta,[178] et 75 000 emplois perdus dans les secteurs pétroliers et gaziers; les impacts directs et indirects s'élèvent à 185 000 emplois.[179]

Le progrès technologique aggrave la perte, car il augmente la productivité et mène à la suppression d'emplois dans les secteurs des ressources naturelles.[180] Par exemple, avec 8 790 travailleurs en 2013 et seulement 6 220 en 2015,[181] l'industrie minière du charbon fait face à un déclin significatif de l'emploi, à cause probablement du progrès technologique, des prix internationaux bas et, plus récemment, des politiques climatiques gouvernementales. La transition énergétique sera donc seulement un élément de la transformation du futur marché du travail, particulièrement dans les secteurs dominés par l'exportation. Néanmoins, il faut reconnaître que les impacts peuvent être négatifs ou positifs selon les industries.

Selon le *Workers' Climate Plan*[182] rédigé par Iron and Earth, un groupe composé de travailleurs spécialisés et du personnel travaillant dans les sables bitumineux, en ajustant les compétences des travailleurs actuels en fonction des emplois dans le secteur des énergies renouvelables, en consolidant la capacité actuelle et en intégrant activement les énergies renouvelables dans les infrastructures d'énergies existantes, le Canada pourrait assurer une transition équitable au profit de toutes les provinces. En Allemagne, par exemple, plus de 350 000 emplois se trouvaient dans le domaine des énergies renouvelables en 2015.[183]

À travers le pays, compte tenu du nombre de bâtiments qui ont besoin de rénovation et du faible investissement requis par emploi, le potentiel de création d'emplois est grand dans le secteur de la construction.[184, 185, 186] La croissance du secteur du bâtiment vert génère des effets composés de création d'emplois pour la conception, la planification, le développement d'infrastructure et l'ingénierie. La construction sobre en carbone a également besoin de travailleurs spécialisés et elle offre la possibilité de créer des emplois bien rémunérés et de parcours professionnels prometteurs.

Les provinces riches en énergies fossiles peuvent également compter sur leurs propres forces pour changer leurs économies à mesure que la demande mondiale pour le pétrole et le gaz faiblira. L'Alberta et la Saskatchewan ont toutes les deux identifié l'agriculture, la foresterie, les sciences de la vie et la fabrication de produits comme des secteurs économiques provinciaux clés.[187] L'économie albertaine compte aussi sur les services financiers, le tourisme et les industries de technologies avancées, y compris les technologies de l'information, les technologies propres et les nanotecnologies.[188, 189] Le secteur minier et la biotechnologie sont d'autres secteurs importants en Saskatchewan. À Terre-Neuve-et-Labrador, les secteurs économiques actuels et futurs importants comprennent la pêche et l'aquaculture,[190] le voyage et le tourisme,[191] et les industries de technologies avancées, y compris le secteur de la technologie océanique.[192]

LEÇON À RETENIR 9

Dans un contexte de volatilité des prix et de la demande, les compagnies de pétrole et de gaz continueront de subir de la pression. Des mesures spécifiques devraient être prises pour assurer des emplois aux travailleurs du secteur pétrolier et gazier.

4. GOUVERNER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SOBRE EN CARBONE

La réalisation de la transition énergétique implique une constellation changeante d'acteurs privés et publics et des mécanismes formels et informels pour stimuler l'innovation à travers le pays.

La structure de gouvernance énergétique a traditionnellement été extrêmement fragmentée entre de multiples ministères et organismes régulateurs responsables de différentes dimensions du paysage énergétique.[193] Cependant, comme l'Agence internationale de l'énergie l'a souligné en 2015,[194] « l'intégration », comme les réseaux d'énergie de quartier ou les interconnexions électriques, est essentielle aux stratégies de décarbonisation rentables. L'amélioration de la coordination politique et de la coopération de tous les paliers de gouvernements est un enjeu primordial pour gérer le processus de transition vers une société sobre en carbone.[195]

4.1 ÉTABLIR L'ÉTAT DES LIEUX DES POLITIQUES SOBRES EN CARBONE

Les objectifs d'atténuation des changements climatiques sont souvent formulés en termes d'un engagement de réduction des émissions par rapport à des données de référence. D'ici 2030, le Canada s'est engagé à réduire les émissions de 30 % dans l'ensemble de son économie par rapport au niveau de 2005. C'est une réduction des émissions de 747 Mt éq.-CO_2 à 523 Mt éq.-CO_2.[196]

Les provinces et les territoires ont également des cibles de réduction (Figure 4.1) qui sont agrégées dans le Tableau A.1. Ces émissions agrégées s'élèvent à 535 Mt éq.-CO_2 en 2030, ce qui correspond grosso modo à la cible nationale.

À ce jour, les deux principales mesures fédérales comprennent tout d'abord une réduction de 40 à 45 % d'ici 2030 du méthane provenant des « émissions fugitives » (émissions relâchées involontairement dans l'atmosphère par des fuites pendant la production de pétrole et de gaz). Bien que certaines informations publiées en avril 2017[b] suggèrent que le gouvernement fédéral prévoit maintenant reporter cette mesure, s'il maintenait l'échéancier prévu dans l'accord signé en mars 2016, cet effort contribuerait à des réductions de 23,2 à 26,1 Mt éq.-CO_2. La seconde mesure est l'élimination progressive de l'électricité produite à partir du charbon qui, telle qu'annoncée, entraînerait une réduction d'environ 5 Mt éq.-CO_2.[200] Ces deux mesures « clés » réduiraient seulement les émissions du secteur de l'énergie de 28,2 à 31,1 Mt éq.-CO_2, laissant un solde de 193 à 196 Mt éq.-CO_2 à combler pour atteindre la cible de 523 Mt éq.-CO_2.

Les chiffres sont donc sans équivoque : les mesures politiques actuelles ne sont pas suffisantes pour atteindre le principal objectif de réduction des GES du Canada à court terme. De même, l'analyse des modélisations énergétiques indique que les politiques actuelles ne sont pas suffisantes pour stimuler la transition vers une société sobre en carbone.[201]

À long terme, la *Stratégie pour le milieu du siècle* envisage une réduction nationale des émissions de GES pour l'ensemble de l'économie de 80 % sous le niveau de 2005 d'ici 2050,[202] ce qui ramenerait les émissions nationales totales à environ 149 Mt éq.-CO_2. La réduction agrégée des émissions provinciales et territoriales estimée à long terme à partir des engagements de réduction des émissions au niveau infranational (Figure 4.1) représenterait 316 Mt éq.-CO_2, soit le double de la cible d'émissions envisagée par le Canada (Figure 4.2).

[b] http://www.ledevoir.com/environnement/actualites-sur-l-environnement/497582/trudeau-recule-sur-le-methane-et-sur-le-climat

Figure 4.1

LES CIBLES PROVINCIALES/TERRITORIALES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GES EN 2030 ET 2050

Sauf indication contraire, les données proviennent du *Cadre pancanadien*.[203] L'objectif à long terme du Canada est celui exploré dans la Stratégie pour le milieu du siècle.

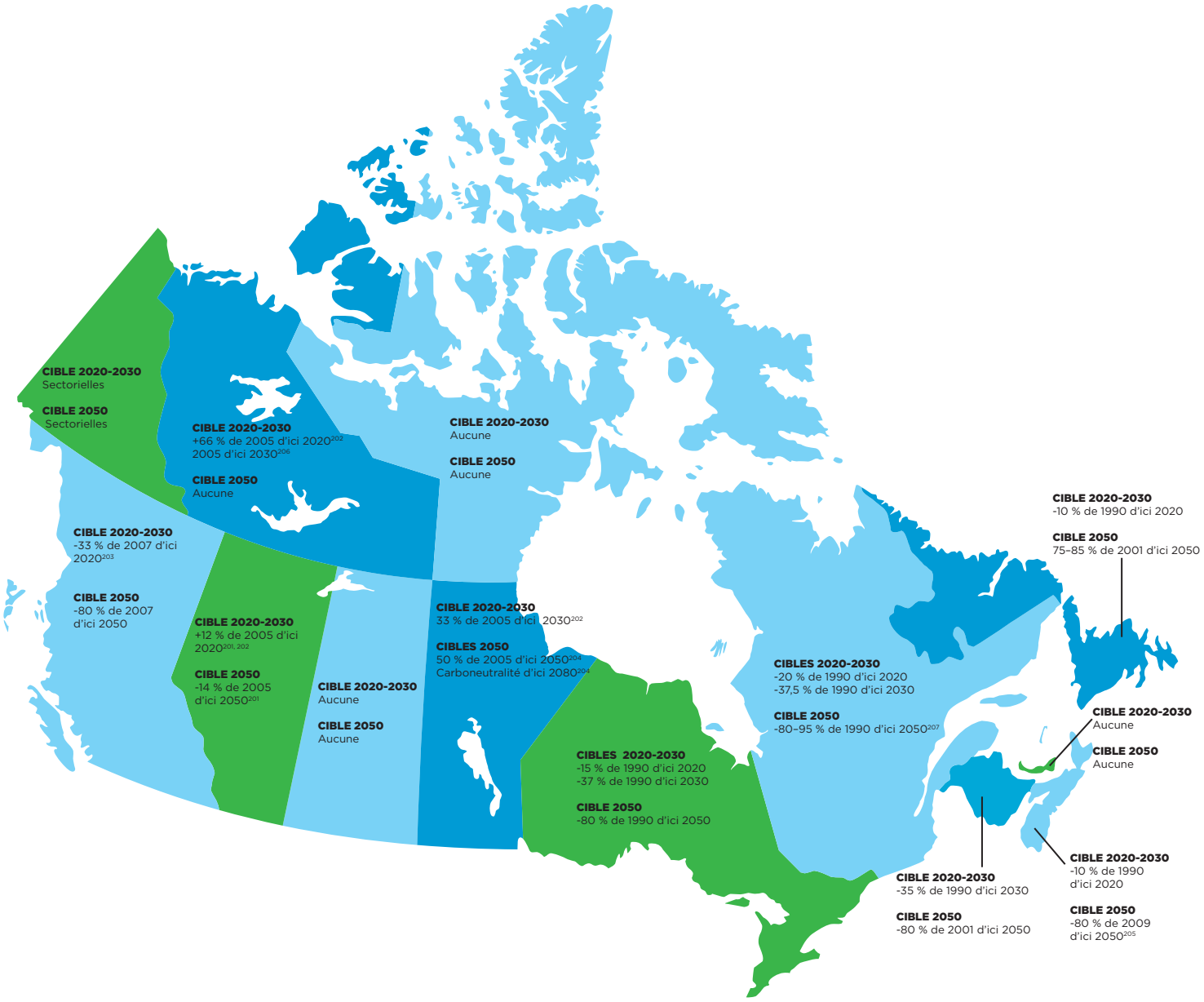
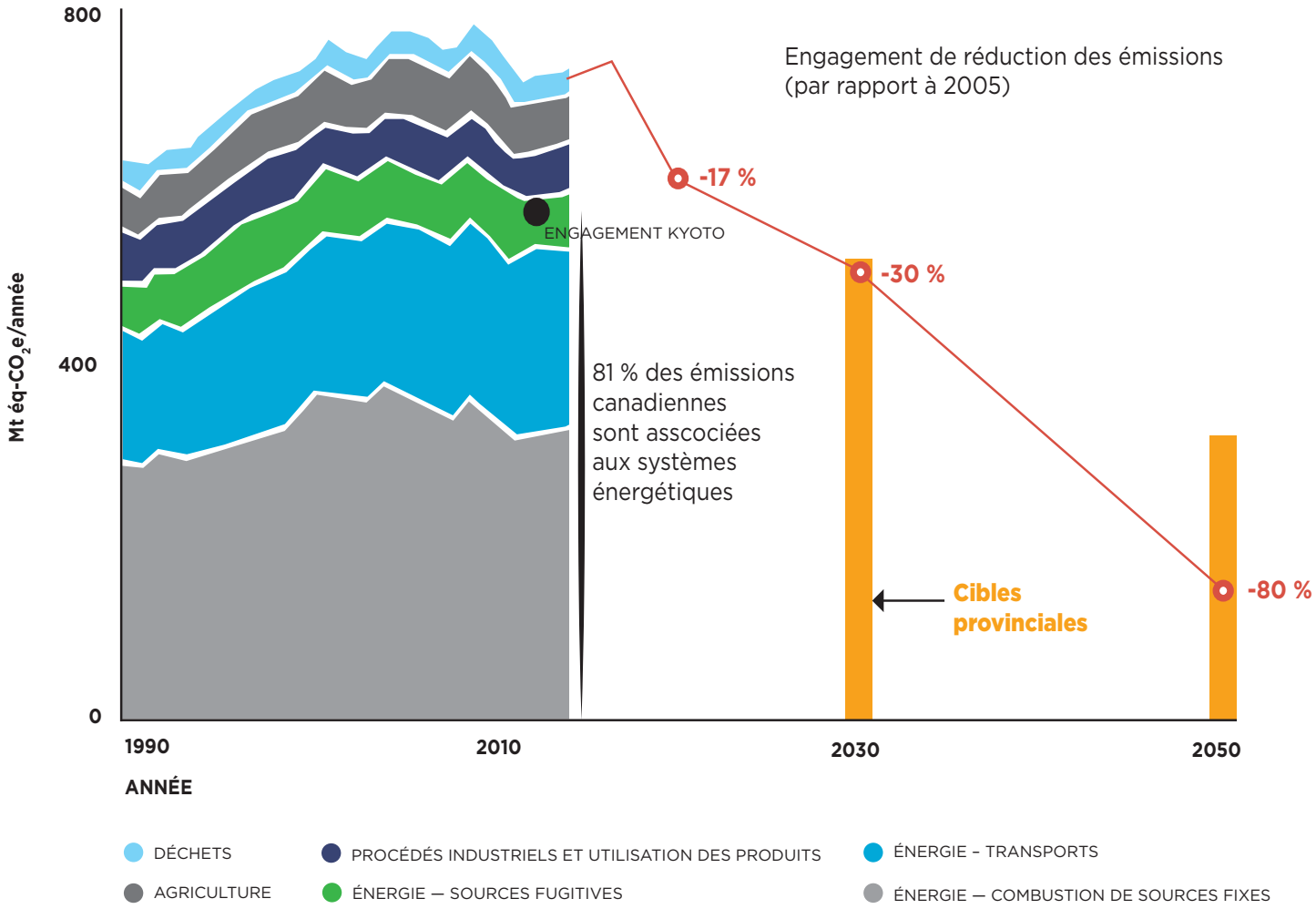


Figure 4.2

LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES) DU CANADA (DONNÉES DE 1990 À 2014)[212] ET LES CIBLES NATIONALES PASSÉES, PRÉSENTES ET TENTATIVES (indiquées en rouge). Les bandes jaunes illustrent le total des émissions estimées en fonction des cibles provinciales et territoriales pour 2030 et 2050. (Voir Annexe I pour l'explication des calculs).



La capacité d'accélérer la transition énergétique pour atteindre les cibles de réduction des émissions dépend du choix de mesures appropriées. Étant donné que le secteur de l'énergie représente environ 80 % des émissions (Figure 4.2), les politiques énergétiques sont cruciales pour effectuer la transition.

Selon la base de données mondiale sur les énergies renouvelables[213] et sur l'efficacité énergétique[214] de l'Agence internationale de l'énergie, il y a actuellement 31 mesures et politiques en vigueur au Canada pour stimuler l'utilisation des énergies renouvelables dont 13 sont des politiques réglementaires et 13 se concentrent sur la bioénergie.

Tout en s'assurant de maintenir une économie forte, le *Cadre pancanadien* positionne la transition énergétique au cœur de la réponse du Canada face aux changements climatiques. Hughes et Urpelainen[215] distinguent les approches politiques qui visent des industries spécifiques de celles qui s'appliquent dans tous les secteurs de l'économie (Tableau 4.1). À l'exception du prix du carbone, les nouvelles mesures proposées dans l'Annexe II du *Cadre pancanadien* sont de nature réglementaire et ont un champ d'application ciblé.

Bien que de nombreuses mesures comme les tarifs de rachat, les interdictions ou les certifications soient principalement de compétence provinciale, le tableau 4.1 montre que le gouvernement fédéral a de nombreuses possibilités pour faciliter la transition énergétique sobre en carbone.

De plus, le pouvoir fédéral de dépenser est central pour stimuler la transition. Parmi de nombreux autres postes budgétaires dévoilés dans le budget 2017, le gouvernement fédéral annonce la création de la Banque de l'infrastructure, avec un engagement de 35 milliards de dollars, et du Fonds

Tableau 4.1

LES MESURES PROPOSÉES PAR LE *CADRE PANCANADIEN*

La classification se base sur les mesures les plus répandues à l'échelle internationale, dont le prix du carbone, les subventions, les réglementations, les achats publics et l'information.[216]

CATÉGORIE DE POLITIQUE	OPTIONS POLITIQUES	EFFET CIBLE	ENTITÉ GOUVERNEMENTALE	ANNEXE I : *Le Cadre pancanadien*	EXEMPLES
PRIX SUR LE CARBONE	Programme d'échange de droits d'émissions de carbone/Taxe sur le carbone	Environnement	Fédéral et provincial	Prix sur le carbone d'ici 2018	
SUBVENTIONS	Certifications d'énergie renouvelable	Industrie	Fédéral et Provincial		
	Subventions des consommateurs	Industrie	Fédéral et provincial	Crédits d'impôt pour véhicules sobre en carbone Normes pour le carburant sobre en carbone Codes du bâtiment et normes pour des hydrocarburants zéro émission	
	Tarifs de rachat	Environnement et industrie	D'abord provincial		
RÈGLEMENTATIONS	Normes de portefeuille	Industrie			
	Contrôle de la pollution	Industrie	Fédéral et provincial	Réduction des émissions de méthane provenant du pétrole et du gaz	
	Interdiction		D'abord provincial	Suppression progressive de la production traditionnelle d'électricité à partir du charbon	
	Normes de performance	Industrie	Fédéral et provincial	Pour l'électricité au gaz naturel Élaboration des normes pour le carburant Règlement existants sur les carburants renouvelables Réduction de la consommation HFC	
INVESTISSEMENTS DU GOUVERNEMENT	Programmes de formation	Environnement	Fédéral et provincial		
	Approvisionnement public	Industrie	Fédéral et provincial		
INFORMATIONS	Divulgation des émissions de carbone de l'entreprise	Environnement	D'abord provincial		
	Certification	Environnement	D'abord provincial		Passivhaus
	Étiquetage	Environnement	Fédéral et provincial		Energy Star

pour une économie à faibles émissions de carbone de 2 milliards de dollars. Il s'agit d'un développement encourageant qui démontre une volonté d'agir et d'investir.[217]

LEÇON À RETENIR 10

L'ensemble des cibles provinciales actuelles ne permettra toujours pas de réduire les émissions du Canada en accord avec le 80 % sous 2005 d'ici 2050.

4.2 LES CARACTÉRISTIQUES DE LA GOUVERNANCE DE L'ÉNERGIE SOBRE EN CARBONE

Aucun secteur seul et aucun palier de gouvernement seul ne peut réussir à faire face à l'ampleur du changement nécessaire pour lutter contre les changements climatiques. Tous les secteurs de la société doivent être mobilisés. Dans ce contexte, les nouvelles approches de gouvernance doivent tenir compte des contributions des individus, des entreprises et des groupes dans les processus décisionnels de leurs communautés locales, et ceci doit être fait au niveau approprié de gouvernance le plus près des citoyens.[219, 220]

À titre d'exemple, le gouvernement fédéral de l'Allemagne donne les moyens aux länder et aux municipalités de mettre en œuvre sa stratégie portant sur les énergies renouvelables et le climat, tandis que le leadership citoyen se manifeste au sein des municipalités. Avec le soutien du gouvernement fédéral, 136 gouvernements régionaux, villes et communautés rurales, représentant 21,1 millions de citoyens ou 26 % de la population, ont reçu une certification indiquant un approvisionnement en énergies renouvelables à 100 %.[221] Alors que les citoyens ont assuré la gestion de la protection du climat et de la *Energiewende* (transition énergétique), le gouvernement fédéral encourage et soutient stratégiquement ces initiatives par le biais d'instituts de recherche, de ministères et de cibles fortes ancrées dans la législation fédérale, ce qui permet d'éliminer les barrières et de partager les coûts opérationnels de la gestion municipale.

Les caractéristiques clés de la nouvelle gouvernance énergétique au Canada comprennent :

- **la création d'un cadre permanent** où les provinces, les territoires et le gouvernement fédéral pourront continuer de collaborer pour transformer les systèmes énergétiques;
- **l'intégration de la transition énergétique** dans le travail des agences et des ministères pertinents et la coordination horizontale entre les départements;
- **le réexamen des finances** et des pouvoirs des administrations municipales pour s'assurer qu'elles ont le pouvoir et les moyens financiers de jouer leur rôle dans la transition énergétique sobre en carbone;
- **le fait de considérer la réconciliation** comme un élément fondamental lors du développement des partenariats pour une énergie propre avec les peuples autochtones;
- **l'ajustement des mandats des organismes régulateurs en matière d'énergie** à tous les paliers afin de s'assurer qu'ils sont habilités à poursuivre une transition vers une société sobre en carbone tout en appliquant des précautions sociales, sanitaires et environnementales;
- **la création d'opportunités fréquentes et itératives** pour apprendre et changer de trajectoire à la lumière des technologies émergentes, des dynamiques de marché et des pratiques sociales, en se basant sur un système de reddition robuste.

Les notions de **gouvernance multiniveau et de conception de processus collaboratifs** ne sont pas nouvelles et peuvent servir à faciliter la gouvernance de la transition énergétique.[222, 223] La transition peut être accélérée par un ensemble **congruent** d'outils fédéraux, provinciaux et locaux qui sont prévisibles, flexibles et soutenus par un cadre réglementaire.[224, 225] Congruence ne veut pas dire uniformité, mais signifie plutôt que des politiques menées par différents paliers gouvernementaux cherchent à éviter la duplication et les tensions inutiles en optimisant les synergies entre leurs objectifs et leurs mesures. Dès 2004, un groupe représentant 17 associations industrielles, dont plusieurs des plus grands producteurs et distributeurs d'énergie, a appelé tous les paliers gouvernementaux à présenter des politiques énergétiques claires et cohérentes.[226] À son tour, la Commission de l'écofiscalité a récemment identifié un certain nombre d'actions inefficaces dues à un manque de coordination entre les provinces et entre les territoires. [227]

La diversité des systèmes énergétiques régionaux offre l'occasion de tester puis d'identifier les mesures de transition énergétique les plus efficaces et les plus rentables. L'expérience de différents paliers de gouvernement peut être mise à profit.[228] Aucune communauté ou aucun palier gouvernemental ne possède toutes les réponses. Des résultats socialement désirables sont plus susceptibles d'émerger de l'évaluation des différentes solutions provenant de l'ensemble du pays, étant donné la diversité de la géographie canadienne, des aspirations et des systèmes de gouvernance (Encadré 3). Ce qui fonctionnera bien en Alberta ne le fera pas nécessairement au Québec et vice versa.

L'adoption d'une approche expérimentale pourrait être particulièrement utile dans la mesure où cela permettrait aux gouvernements et aux parties prenantes concernées de convenir d'un cadre commun concernant les objectifs, les mesures pour les atteindre et les processus de surveillance et de délibération, tout en gardant la souplesse nécessaire dans le choix de moyens spécifiques à mettre en place pour réduire les émissions de carbone provenant du secteur de l'énergie.[229]

3

À discuter :

DÉFINIR LES RÔLES ADÉQUATS DANS LA GOUVERNANCE MULTINIVEAU DE L'ÉNERGIE

Un débat en cours porte sur les rôles respectifs des gouvernements fédéral, autochtones, provinciaux et territoriaux et des administrations municipales dans la transition vers une société sobre en carbone, notamment parce que plusieurs provinces ont adopté des cibles pour la transition énergétique qui sont plus ambitieuses que celles du gouvernement fédéral, alors que d'autres s'opposent à se fixer des objectifs.

En 1992, la Cour suprême a conclu que les provinces ont la responsabilité première en matière d'environnement.[230] La réglementation de la pollution et de l'exploitation de la plupart des ressources naturelles à l'intérieur de leurs frontières fait partie de leurs pouvoirs. Les pouvoirs du Parlement fédéral concernent essentiellement des domaines spécifiques comme les pêches, la navigation, les eaux territoriales, l'industrie nucléaire et les projets interprovinciaux comme les pipelines, les trains, les lignes de transmission et le commerce interprovincial et international. Néanmoins, compte tenu de son pouvoir de taxation, le gouvernement fédéral peut jouer un rôle central en matière de gestion des ressources naturelles et énergétiques au moyen de politiques fiscales et d'investissements pour soutenir une meilleure durabilité.

Puisque les provinces seront affectées de façon très différente par la transition énergétique, une perspective nationale pourrait veiller à ce que toutes les provinces soient traitées équitablement à la fois en matière de contribution à la transition énergétique qu'en ce qui concerne l'obtention du financement nécessaire pour transformer leurs économies. En outre, des éléments importants de la transition comme la réglementation de l'efficacité dans de nombreux secteurs, le transport interprovincial de l'énergie et le commerce international sont de compétence fédérale. Étant donné que le niveau fédéral est responsable des engagements internationaux du Canada, seul un programme fédéral serait en mesure de garantir que ces engagements seront respectés.

Les expériences antérieures, telles que le Programme énergétique national instauré en 1980 qui n'a duré que cinq ans, indiquent que les approches imposées par le gouvernement fédéral ont peu de chance de produire les résultats attendus. Il est donc essentiel d'instaurer une collaboration et un dialogue réels entre les provinces et le gouvernement fédéral.

Les autres paliers gouvernementaux sont également importants. Par exemple, une proportion considérable de la consommation d'énergie est directement ou indirectement associée aux municipalités.[231] Dans les mots de la Cour suprême : « que le niveau de gouvernement le mieux placé pour adopter et mettre en œuvre des législations soit celui qui est le plus apte à le faire, non seulement sur le plan de l'efficacité, mais également parce qu'il est le plus proche des citoyens touchés et, par conséquent, le plus sensible à leurs besoins, aux particularités locales et à la diversité de la population ».[232] Ce principe souligne le fait que les initiatives locales, particulièrement au niveau municipal, sont aussi importantes – et parfois dotées d'une plus grande légitimité – que les actions ciblant l'ensemble du pays, même si les municipalités n'ont pas un rôle constitutionnel protégé.

Compte tenu de la structure fédérée complexe du Canada, quelles sont les meilleures façons pour les provinces, les institutions fédérales et les municipalités de collaborer ?

Par ailleurs, pour répondre aux problèmes de durabilité, il faut décloisonner les silos des départements gouvernementaux traditionnels.[233] En plus d'avoir des systèmes de gouvernance **flexibles et collaboratifs**, la gouvernance de l'énergie exige la **transparence** des processus décisionnels et politiques.[234]

L'acceptabilité sociale, un facteur permettant de promouvoir la transition énergétique sobre en carbone, a été conceptualisée comme un triangle connectant les décideurs, les principales parties prenantes, les autorités locales, les consommateurs et les investisseurs.[235] Ce modèle fait la distinction entre les aspects sociopolitiques, l'acceptabilité communautaire et le marché. La tendance de « consulter » le public pour obtenir l'acceptabilité sociale, plutôt que de travailler en collaboration pour coproduire les résultats souhaités, échoue à reconnaître la distribution inégale des pouvoirs à l'intérieur du processus d'élaboration de politiques.[236] L'absence d'une opposition visible est considérée comme équivalente au consentement, alors qu'en fait, elle pourrait signifier une incapacité à accéder aux institutions politiques, des processus inefficaces ou générant de la méfiance, ou encore le désengagement du public.

Comme on le voit dans plusieurs pays, lorsque les approches et les solutions technologiques sobres en carbone s'appuient sur des objectifs visant à améliorer la qualité de vie, le statut et la résilience, tout en assurant des économies, celles-ci suscitent l'adhésion des citoyens sans que les gouvernements aient à multiplier les mesures incitatives.[237, 238, 239] Une politique de l'énergie sobre en carbone bien orientée peut donc contribuer à ce que chaque Canadienne et chaque Canadien se sente impliqué personnellement dans les décisions liées à la transition énergétique.

De nombreuses études montrent que les processus participatifs innovateurs de planification et de visionnement – qu'ils se déroulent en ligne ou en personne, qu'ils soient dirigés par les gouvernements locaux ou des experts en énergie – peuvent développer les connaissances des citoyens et promouvoir les changements d'attitudes.[240]

La mobilisation des citoyens et des parties prenantes sur le dossier de l'énergie peut rapidement mener à des réductions significatives de la consommation d'énergie à l'échelle des quartiers.[241] Les transformations réussies sont associées à plusieurs facteurs, notamment la proximité spatiale et au sentiment d'appartenance, la pression sociale liée à la coopération ou à la compétition entre voisins,[242] et l'existence de partenariats avec d'autres acteurs du milieu tels que les employés municipaux, les organisations non gouvernementales et divers autres intervenants tiers.[243] Par exemple, la Première Nation Gitga'at a déployé un programme de compteurs intelligents après avoir fait une planification énergétique de la communauté avec l'aide du Pembina Institute.[244]

Une transition juste vers un avenir sobre en carbone doit s'appuyer sur une vision de durabilité, à la fois **inclusive, équitable, adaptable et holistique**, qui reconnaît l'importance des questions culturelles, raciales, de genre et d'inégalités économiques.[245] La structure et le quotidien des communautés de demain dépendront de la nature des sources d'énergie sobre en carbone utilisées, du développement économique, des préférences culturelles des citoyens et des infrastructures et de l'aménagement préexistants. Les inégalités procédurales et l'accès inégal aux institutions limitent souvent la participation des personnes à plus faible revenu, des autochtones et des minorités raciales dans l'élaboration de politiques.[246, 247] Les modèles participatifs de gouvernance peuvent faciliter l'émergence de solutions qui offrent à la fois des avantages sociaux et environnementaux.

Il est primordial que les Canadiens dont les moyens de subsistance pourraient être menacés par la transition soient consultés et écoutés.[248] Les industries liées aux ressources sont particulièrement exposées aux cycles, comme le montre l'expérience de l'Alberta avec la montée et la chute des prix du pétrole, ainsi qu'à des enjeux d'épuisement – tels que la disparition de la morue de l'Atlantique – et à la perte de compétitivité, comme celle des produits forestiers dans les années 1990. L'adoption de cadres politiques adéquats pourrait réduire les risques de tels chocs pendant la longue transition vers une société sobre en carbone.

LEÇON À RETENIR 11

L'ampleur de la transition énergétique affecte tous les paliers de gouvernement de même que des parties prenantes de tous horizons. Réussir la transition énergétique demandera une collaboration continue entre l'ensemble des parties prenantes, de la transparence et des mécanismes flexibles qui permettent de constamment rectifier le tir.

4.3 LES CADRES POLITIQUES

La *Stern Review on the Economics of Climate Change* affirme que les changements climatiques sont « l'échec du marché le plus important à ce jour ».[249] La théorie économique suggère que la tarification du carbone constitue la façon la plus efficace de forcer le changement dans l'ensemble de l'économie, grâce à un signal de prix clair pour les entreprises et les ménages qui leur permet de choisir par eux-mêmes quand et comment ils intégreront les options sobres en carbone à leur quotidien.[250]

La tarification du carbone soulève, toutefois, de nombreux problèmes politiques.[251] Plusieurs études montrent que pour s'attaquer à un problème aussi complexe que les changements climatiques, il faut également une réglementation, des politiques d'innovation et des mesures incitatives qui agissent sur les comportements.[252, 253] Dans certaines circonstances, la réglementation est plus acceptable politiquement qu'un prix sur le carbone.[254] Les réductions de GES les plus substantielles ces dernières années ont été obtenues par voie réglementaire – ce fut le cas, en particulier, pour la suppression progressive du charbon en Ontario.

Avec l'adoption du *Cadre pancanadien*, le pays se dirige vers un prix national du carbone qui permet des mécanismes distincts dans les différentes provinces tout en proposant la coordination de nombreuses mesures complémentaires. Pour réussir la transition énergétique, il sera nécessaire d'aller au-delà des objectifs généraux du *Cadre pancanadien* et d'adopter des outils politiques précis et adéquats ainsi que des mesures réglementaires se basant sur les données réelles et les meilleures pratiques.

Les trajectoires de transition impliquent des mécanismes politiques qui devraient être constamment évalués en fonction de (1) leur efficience économique, (2) leur efficacité environnementale, (3) leur acceptabilité politique, (4) leur faisabilité administrative,[255] (5) leur équité et (6) leur alignement avec d'autres objectifs sociaux, économiques et politiques. Au cours des deux dernières décennies, la communauté internationale a acquis une expérience considérable en matière de politiques visant à réduire les émissions de GES et à encourager l'adoption de solutions énergétiques sobres en carbone.[256, 257] Les avantages et les inconvénients d'instruments politiques particuliers, de même que les diverses expériences nationales, ont été étudiés en détail par le monde universitaire.[258]

Les politiques les plus efficaces se structurent normalement autour d'une ou de plusieurs obligations réglementaires. Normalement, les programmes facultatifs ou s'appuyant sur des subventions ne permettent pas d'imposer à l'ensemble de l'économie des changements d'une ampleur ou d'une vitesse suffisante.

Aucun instrument ne peut atteindre seul des objectifs politiques qui transcendent les secteurs économiques, ainsi que les échelles spatiales et les structures administratives. La Californie, par exemple, possède différents instruments politiques qui couvrent tous les aspects des systèmes énergétiques, notamment un programme d'échange de droits d'émissions de carbone, des normes d'efficacité énergétique strictes pour les appareils et les bâtiments, une initiative pour promouvoir la réduction du méthane dans les fermes et l'inclusion de politiques dans le secteur des transports.[259] Alors que la stabilité politique est généralement souhaitable pour encourager l'investissement, une combinaison politique réussie évolue nécessairement avec le temps, demandant flexibilité et volonté afin d'ajuster les politiques rapidement lorsque des problèmes font surface.[260]

Identifier les meilleures façons d'encourager l'adoption rapide des options sobres en carbone tout en évitant de s'enfermer dans des solutions qui s'avéreront sous-optimales représente un immense défi auquel sont confrontés les gouvernements.[261] Le soutien substantiel de l'État envers une technologie particulière peut assurer à cette dernière la dominance du marché, alors que d'autres technologies, finalement plus avantageuses, mais moins matures, sont bloquées. De telles préoccupations ont été exprimées, par exemple, en ce qui concerne le soutien apporté aux biocarburants de première génération plutôt qu'à ceux à base de cellulose.

En partie pour répondre à ce risque, plusieurs analystes suggèrent que les gouvernements devraient *toujours* viser l'élaboration de politiques « technologiquement neutres »[262] qui évitent de « choisir les gagnants » et qui laissent les producteurs et les consommateurs sélectionner les approches qui triompheront finalement. Cependant, une telle approche n'est pas toujours possible, particulièrement dans le cas d'applications technologiques à grande échelle qui s'appuient sur les infrastructures de longue durée ou dont le risque environnemental est considérable, ou lorsqu'une politique peut soutenir l'émergence d'un chef de file de classe mondiale.[263] De la même façon, les hésitations quant à la technologie qui finira par l'emporter peuvent favoriser l'immobilisme, puisqu'on risque de ne rien faire en attendant de voir qui gagnera. Il n'y a pas de solution simple ou universelle à ce dilemme.

L'acceptation citoyenne d'infrastructures liées à l'énergie sobre en carbone est loin d'être garantie; il y a parfois des divisions à l'intérieur des communautés qui portent sur des problèmes tangibles tels que leurs impacts esthétiques sur le milieu de vie.[264] Les études suggèrent que les projets d'énergie renouvelable « s'en tirent mieux lorsque le public est impliqué dans le processus et qu'il se sent partie prenante de la décision ».[265] Cette implication exige une approche équilibrée et équitable pour la mise en place, la conception, la gestion d'ensemble et le partage des revenus avec les personnes affectées.

Au-delà des résistances attendues aux technologies énergétiques mal connues, la difficulté des citoyens à accepter des pratiques sociales durables et des changements de mode de vie reliés à l'énergie pourrait créer des barrières à la transition énergétique. Par exemple, les tours d'habitation et les quartiers plus denses, les nouvelles lignes de transport et l'augmentation des coûts énergétiques pourraient être inacceptables pour les résidents.[266] En revanche, la multiplication rapide des panneaux solaires dans les communautés californiennes est souvent expliquée par une grande acceptabilité sociale pour cette technologie.[267] De tels exemples suggèrent que la pression et les interactions sociales peuvent être utilisées dans un contexte de gouvernance et de processus d'engagement bien pensés afin de hausser le taux d'adoption de modes de vie sobres en carbone. La transition énergétique sera facilitée par des solutions qui combinent la réduction de la demande d'énergie et des améliorations en matière de confort et de mode de vie des citoyens.[268]

Il ne suffit pas d'élaborer des politiques de transition énergétique. Il faut également les mettre en œuvre et les réviser périodiquement afin qu'elles demeurent pertinentes, ce qui demande des innovations institutionnelles et organisationnelles appropriées.[269] La conception des institutions est donc déterminante si l'on désire assurer le succès des efforts liés à la transition énergétique.[270]

5. ACCÉLÉRER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SOBRE EN CARBONE

Pour illustrer la façon dont la transition vers un système énergétique sobre en carbone pourrait être faite, nous considérons quatre champs d'action. Ils identifient des domaines politiquement importants dans lesquels les gouvernements, les citoyens, les communautés et les entreprises peuvent travailler ensemble afin d'utiliser la transition vers une société sobre en carbone pour construire un meilleur avenir pour les Canadiens.

Alors que les systèmes énergétiques sont souvent analysés du point de vue de l'approvisionnement, leur ampleur et leur nature sont largement déterminées par la demande de services.[271] Les champs d'action examinent de quelle façon les changements en matière d'approvisionnement et de demande énergétiques peuvent offrir aux citoyens et aux compagnies une gamme d'options sobres en carbone attirantes.

Le premier champ d'action se concentre sur les transports, qui demeurent à ce jour presque entièrement dépendants des combustibles fossiles. Le second insiste sur les villes, où la plupart des Canadiens vivent et où la transition énergétique peut devenir plus tangible pour les citoyens. Le troisième est relié aux communautés autochtones. Plusieurs de ces dernières demeurent défavorisées et elles sont souvent dépendantes des combustibles fossiles de façon disproportionnée. Le dernier champ d'action met l'accent sur l'industrie lourde, notamment le secteur du pétrole et du gaz, qui pose des défis considérables en ce qui concerne la nature de ses besoins énergétiques.

5.1 PREMIER CHAMP D'ACTION : REPENSER LE DÉPLACEMENT DES PERSONNES ET DES BIENS

Toute projection réaliste d'une future société durable implique le déploiement de moyens de transport sobres en carbone pour les personnes et les biens sur de courtes et de longues distances. Le système de transport est le secteur de consommation qui offre le plus de gains en termes de décarbonisation.[272] Les options pour éliminer graduellement les combustibles fossiles comprennent l'amélioration de l'efficacité des véhicules, les combustibles sobres en carbone, l'augmentation du nombre de passagers, le développement d'autres technologies de véhicule, le changement de modes de transport et la réduction des besoins en transport.

Le transport de marchandises est une composante importante du défi de la transition sobre en carbone. Les camions de livraison locaux peuvent être facilement électrifiés.[273] Leurs itinéraires tendent à se répéter chaque jour, et les distances parcourues sont limitées; leur autonomie peut donc être optimisée afin de permettre leur recharge pendant la nuit à une borne fixe. Un parfait exemple : Purolator testera une version électrique de sa fourgonnette bien connue de messagerie avec portes coulissantes latérales qui a été développée et assemblée par TM4, Cummins et McGill.

Les véhicules lourds de classe 7 ou 8 sont plus difficiles à électrifier compte tenu de leurs besoins énergétiques élevés. Ces véhicules tirent souvent des marchandises lourdes sur de longues distances sur des terrains accidentés. Néanmoins, des fabricants d'autobus ont réussi à relever un défi similaire et les constructeurs de véhicules comme Tesla et Daimler ont annoncé leur intention de développer des camions semi-remorques avec batterie électrique présentant une capacité de charge rapide de longue durée, de même que des capacités de conduite autonome. D'autres compagnies comme Nikola Motors et WrightSpeed ont adopté des architectures électriques hybrides efficaces à émissions réduites pour leurs modèles de groupe motopropulseur de tracteurs.

Au-delà des technologies de groupe motopropulseur, la réorganisation des systèmes de livraison pour améliorer les taux de remplissage des camions – tout en s'assurant qu'ils ne rencontreront pas d'embouteillage lors du transport des biens – pourrait améliorer l'efficacité énergétique du service. Ces approches incluent des voies réservées pour les camions, des horaires de livraison plus flexibles, la consolidation des livraisons et le développement d'une logistique urbaine efficace utilisant des véhicules de taille optimale.

La transformation du transport des marchandises exige de revoir le rôle du transport ferroviaire, fluvial et maritime pour le déplacement de celles-ci à travers le pays. Une analyse de cycle de vie montre que les trains sont entre 77 % et 86 % plus économes en énergie que les camions lourds et mi-lourds, respectivement.[274] En Amérique du Nord, le déploiement des trains de marchandises a connu une expansion importante et le réseau approche de sa capacité maximale.[275] Une étude de 2016 sur la décarbonisation du transport de marchandises en Europe a identifié les éléments clés qui déterminent le choix du mode de transport, notamment : la durée du trajet, le coût porte-à-porte, la disponibilité du service, la sûreté et la sécurité, et le respect de l'environnement.[276] Les auteurs ont conclu que les voies ferrées pourraient présenter un avantage par rapport à d'autres modes de transport particulièrement en ce qui concerne ces deux dernières caractéristiques.

Comme les voies ferrées interprovinciales sont de compétence fédérale, elles représentent un axe de décarbonisation sur lequel le gouvernement fédéral pourrait agir en s'appuyant sur l'expertise qui existe en matière d'ingénierie ferroviaire dans les compagnies canadiennes. Malgré le potentiel de gains en efficacité énergétique du rail, le gouvernement fédéral a largement échoué à mener la transformation du système ferroviaire, refusant son soutien aux villes prêtes à développer leurs réseaux de train de banlieue et régional, le transport interurbain efficace et fiable de passagers et le transport régional de marchandises.

Les voies ferrées canadiennes sont, pour la plupart, incompatibles avec le mouvement de trains de passagers à plus haute vitesse pour les déplacements locaux, régionaux ou interurbains. Changer cette situation exigera des actions proactives de la part du gouvernement fédéral qui favorisent les investissements publics et privés pour augmenter la vitesse et la capacité de mouvement des trains, et électrifier les corridors ferroviaires. Le gouvernement fédéral devrait soutenir la création d'un corridor de train électrique à grande vitesse entre Montréal, Ottawa et Toronto, sur lequel un tiers des voies ferrées est déjà détenu par VIA Rail, l'AMT et GO Transit (MetroLinx) ainsi qu'entre Calgary et Edmonton, un autre corridor prometteur.

Dans les régions où les voies ferrées ne sont pas une option viable pour les voyages de longue distance, les déplacements collectifs pourraient être assurés par un service amélioré d'autocars, réduisant ainsi les émissions tout en augmentant l'efficacité. L'adoption récente d'autobus urbains hybrides a été rapidement suivie par une amélioration des technologies qui annoncent déjà l'électrification complète du groupe motopropulseur. Des autobus urbains et des autocars interurbains électriques de taille normale entrent déjà sur le marché avec des capacités de recharge rapides et de grandes batteries optionnelles qui offrent une autonomie pouvant aller jusqu'à 500 km après une simple recharge.[277] Compte tenu de l'achat récent de plusieurs autobus électriques par de grandes villes comme Edmonton et Seattle et de la croissance rapide du marché de l'autobus électrique en Chine, les investissements ont augmenté rapidement afin d'accélérer son déploiement. Le marché mondial de l'autobus électrique devrait afficher une croissance annuelle de 20 à 25 %, pour atteindre 85 milliards de dollars américains d'ici 2025.[278] Le moteur électrique pourrait alors dominer ce marché en Amérique du Nord et en Chine, dépassant même le moteur à combustion.

L'électrification appliquée aux véhicules routiers pourrait quadrupler l'efficacité de ce secteur. Le nombre de véhicules électriques à travers le monde connaît une croissance d'environ 50 % annuellement.[280] Ceux-ci ont le potentiel de remplacer au moins en partie les combustibles fossiles.[281] Les récentes avancées technologiques des batteries au lithiumion sont déjà sur le marché.[282]

La révolution dans les transports pourrait être déclenchée en combinant les technologies qui ont fait leurs preuves, comme les trains électriques, et les options émergentes, comme les autobus électriques et les voitures électriques autonomes, avec les mesures d'efficacité énergétique et l'électricité sobre en carbone.[283] L'avènement des voitures autonomes[284, 285] est une innovation importante dans l'industrie.[286] Ces technologies peuvent favoriser la mobilité multimodale puisque conducteurs et passagers ne seront plus confinés à leur propre voiture. Ils pourront commander une voiture pour le premier, ou dernier, kilomètre de leurs déplacements, permettant ainsi une meilleure intégration avec les trains et les autocars interurbains.[287]

Jaccard et al. (2016) ont utilisé un modèle économique et énergétique hybride pour comparer les résultats des scénarios de maintien du statu quo, de la tarification des émissions et de réglementations flexibles.[288] Leurs scénarios de réglementations flexibles portant sur le secteur des transports incluent, notamment, le fait d'imposer aux constructeurs de véhicules de vendre un nombre minimum de véhicules zéro émission, de forcer les distributeurs de carburant de vendre des carburants toujours plus sobres

en carbone, de resserrer les normes actuelles régissant les émissions des camions tout en favorisant l'utilisation de carburant plus sobre en carbone pour cette industrie et d'interdire l'utilisation du diesel et autres carburants fossiles pour les autobus publics, les autocars interurbains et les trains de passagers et de marchandises d'ici 2030-2035. Le modèle élimine également les centrales thermiques au charbon sans captage et stockage du carbone tout en imposant des normes de performance pour l'ensemble de l'industrie. L'ampleur estimée de la réduction des émissions déterminée par la mise en œuvre de cette réglementation est similaire à celle obtenue par le biais d'un prix du carbone d'environ 200 dollars par t éq.-CO_2 appliqué à l'ensemble de l'économie canadienne d'ici 2030 et elle pourrait mener à une réduction des émissions de 45 à 55 % sous 2005 d'ici 2050.

PERSPECTIVES POLITIQUES : LE TRANSPORT

La transformation du transport, et particulièrement la transition vers les véhicules zéro émission, offre un potentiel important de développement et de croissance économique.[289] Selon un rapport de McKinsey,[290] les véhicules électriques et les véhicules hybrides rechargeables sont des secteurs dans lesquels le Canada peut être compétitif mondialement et qui pourraient être avantageux pour l'industrie de l'automobile de l'Ontario et pour l'industrie du transport public du Québec.

Le développement technologique peut être stimulé par l'adoption immédiate de réglementations flexibles, de véhicules à émissions quasi nulles et de normes pour les carburants sobres en carbone,[291] associée à une réglementation bien construite et à une planification intelligente et éclairée des transports publics et actifs,[292] de même qu'à un leadership clair provenant du gouvernement fédéral en ce qui concerne le transport ferroviaire et fluvial.

Plusieurs suggèrent que la transformation d'un parc de véhicules à propriété individuelle vers un parc de véhicules partagés, appuyée par le développement de la voiture autonome, diminuera les émissions liées au transport. Un niveau élevé d'automatisation pourrait tout aussi bien mener à une augmentation des déplacements et de la consommation énergétique correspondante. Ceci démontre la nécessité de développer dès aujourd'hui un cadre politique et des mesures qui assureront que le déploiement des véhicules autonomes se fera au service de la décarbonisation.[293]

5.2 DEUXIÈME CHAMP D'ACTION : LES VILLES COMME LABORATOIRES DE LA DURABILITÉ

Avec environ 25 millions de personnes vivant dans les zones urbaines canadiennes[294] et une population qui devrait continuer de croître, les villes acceptent leur rôle de meneur et font figure de précurseurs en introduisant de nouveaux outils et programmes visant à soutenir la transition vers une société sobre en carbone.[295] La grande proximité entre les administrations municipales et leurs électeurs[296] offre des occasions privilégiées pour l'administration d'interagir avec les entreprises, les groupes communautaires et les citoyens afin de les mobiliser, par le biais des choix de mode de vie et du changement de comportement, à la conservation de l'énergie.[297]

La planification et la gestion de la croissance urbaine ont un rôle central dans la transition énergétique sobre en carbone puisqu'elles affectent la consommation d'énergie à la fois en ce qui concerne l'environnement bâti et la mobilité.[298] La transition requiert un changement planifié vers des formes plus compactes et autosuffisantes tant pour les nouvelles communautés que celles déjà existantes.[299] Ce changement est déjà en cours: entre 2011 et 2016, la densité de population a augmenté dans toutes les zones métropolitaines canadiennes sauf deux.[300]

La « boîte à outils » des villes inclut la densification intelligente, la conception de quartiers à usages mixtes, la gestion des transports publics, la création d'environnements locaux accessibles à pied, la réduction des espaces alloués aux voitures, la revitalisation des centres urbains et des terrains urbains à l'abandon, la modernisation de quartiers en entier et la protection et l'expansion du couvert forestier urbain et des infrastructures vertes.[301] Les villes durables réclament plus de murs mitoyens, des normes du bâtiment plus élevées et, souvent, des systèmes énergétiques de quartier qui produisent et distribuent efficacement de la chaleur, réutilisent la chaleur résiduelle et fournissent de l'énergie pour le refroidissement.[302]

Une nouvelle planification écoénergétique de la ville pourrait renforcer les synergies à l'échelle des ménages et de la ville, contribuant à accélérer la transition énergétique tout en améliorant la qualité de vie des résidents. Un cadre pour guider la prise de décision lors de la transition énergétique (Figure 5.1) pourrait inclure :

1. La réduction de la demande de services énergétiques par le biais de la planification écoénergétique, d'investissements dans l'infrastructure, de densités urbaines adéquates, de l'intégration d'espaces verts, d'une diversité d'options de transports publics et actifs, de normes strictes de construction et de rénovation (isolation et étanchéité) et de stratégies bioclimatiques telles que l'éclairage naturel, le chauffage et le refroidissement passifs;

2. La promotion de la conservation de l'énergie par le biais du changement de comportement des résidents et des navetteurs par des campagnes d'éducation, des mouvements sociaux et l'évolution des normes sociales;

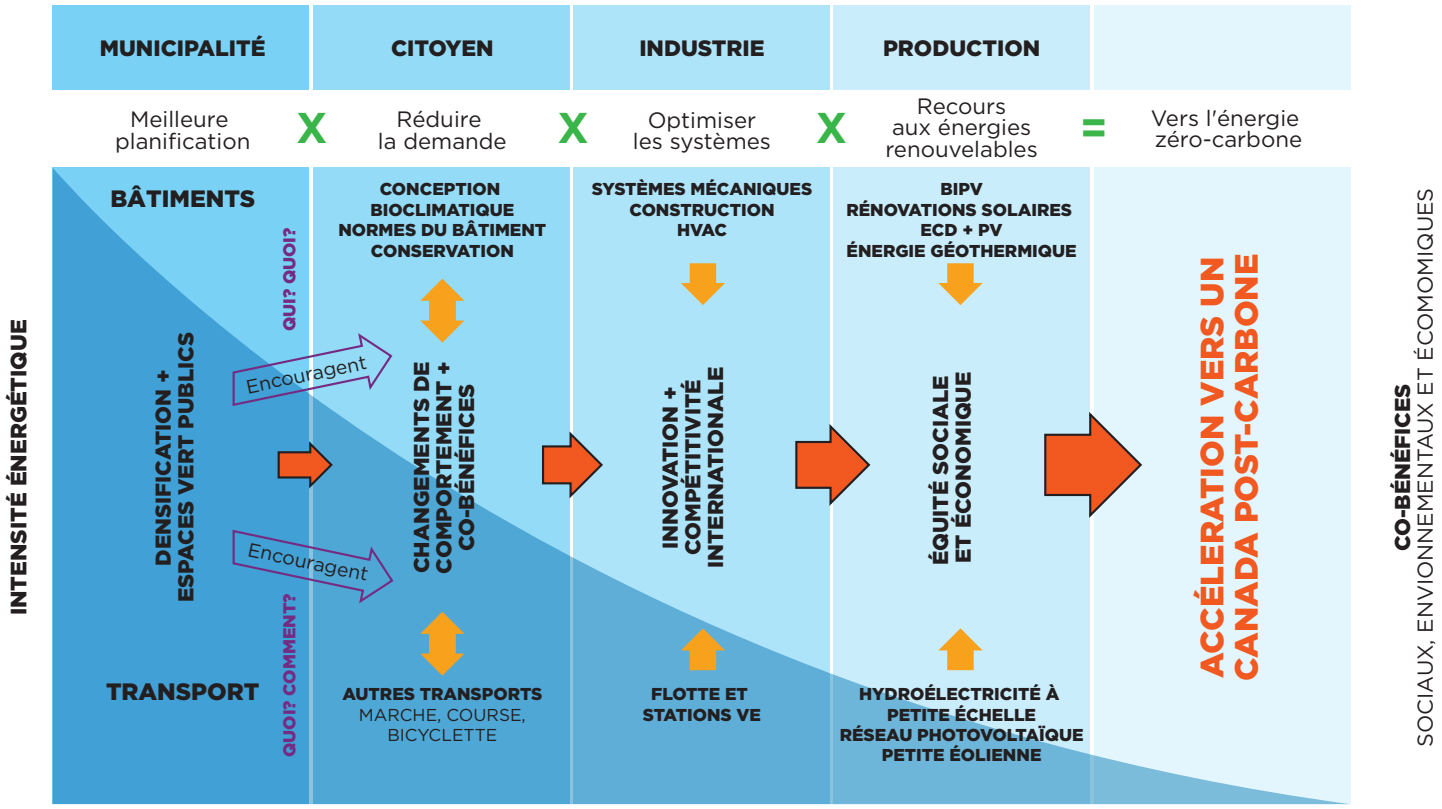
3. L'augmentation de l'efficacité énergétique des équipements et des réseaux de services publics de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de systèmes de contrôle et d'autres appareils devant répondre à une demande réduite, mais toujours existante, d'énergie; et

4. L'amélioration de l'accès à un approvisionnement énergétique sobre en carbone pour les bâtiments et les transports.

Figure 5.1

L'EFFET MULTIPLICATEUR POUR LES VILLES À ÉNERGIE ZÉRO-CARBONE OU NETTE POSITIVE

Développement du concept : A. Potvin, Université Laval.

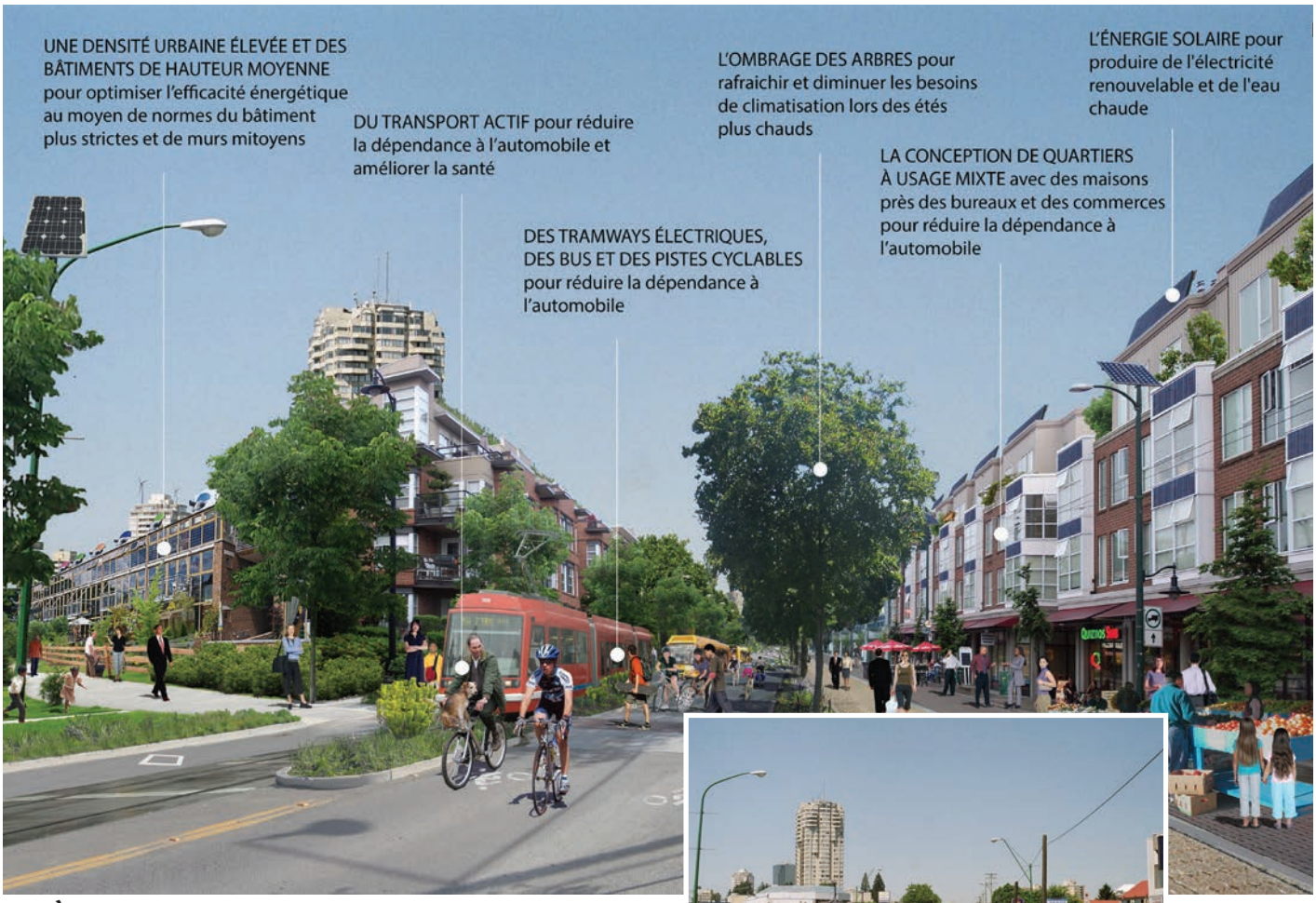


La planification synergistique peut fournir des avantages considérables. En plus des bénéfices esthétiques, sanitaires et de qualité de l'air, le couvert forestier urbain et les infrastructures vertes contribuent à compenser l'effet des îlots de chaleur urbains[303] et des autres impacts liés à la consommation énergétique.[304] TD Economics a estimé la valeur annuelle du service rendu par les arbres de Toronto à environ 80 millions de dollars.[305] La construction de bâtiments sur des terrains de stationnement et de maisons au-dessus des centres commerciaux, un meilleur transport en commun, des réseaux verts pour encourager le transport actif et l'utilisation mixte des terrains sont d'autres exemples de changements dans les quartiers qui permettent à la fois d'économiser de l'énergie et d'améliorer la qualité de vie des résidents (Figure 5.2).

L'engagement de l'organisation mondiale Architecture 2030 de transformer l'environnement bâti en modifiant les codes du bâtiment de façon à ce que les immeubles existants deviennent 50 % plus efficaces[306] et que les nouveaux édifices soient neutres en carbone d'ici 2030 et adoptent des normes semblables à PassivHaus (<15 kWh/m2) d'ici 2050,[307] témoigne du niveau d'ambition qui pourrait être demandé au secteur de la construction. C'est le niveau d'ambition que l'on retrouve dans la nouvelle bibliothèque à consommation nette zéro de la ville de Varennes au Québec.[308]

Figure 5.2

ILLUSTRATION DU RÉAMÉNAGEMENT POSSIBLE D'UN QUARTIER À CONSOMMATION ÉLEVÉE DE CARBONE À BURNABY, COLOMBIE-BRITANNIQUE VISANT À RÉDUIRE LA DEMANDE ÉNERGÉTIQUE TOUT EN AUGMENTANT LES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS UN CONTEXTE D'AUGMENTATION DE LA POPULATION. Photographie de Stephen Sheppard et représentation visuelle de David Flanders et Peyvand Forouzandeh (Collaborative for Advanced Landscape Planning).



APRÈS

AVANT

Des villes comme Vancouver ont déjà instauré de nouveaux codes du bâtiment plus stricts.[309] Plusieurs édifices résidentiels, commerciaux et institutionnels, comme la Manitoba Hydro Place à Winnipeg, mettent en valeur l'innovation des architectes canadiens, des ingénieurs et du secteur des technologies propres. Au niveau résidentiel, la AYO Smart Home de l'Université de la Colombie-Britannique à Vancouver combine l'inspiration architecturale autochtone avec les avancements techniques modernes en matière d'efficacité énergétique pour offrir des solutions de logement abordables et innovatrices pour les communautés des Premières Nations. La technique de construction accessible à tous donne aux Premières Nations les moyens de répondre à la forte demande pour la construction de nouveaux logements dans leurs propres communautés.[310]

Le choix du matériau de construction affecte également les émissions de GES. Le bois est une ressource renouvelable produite en abondance avec une empreinte carbone considérablement plus faible que le béton ou l'acier puisque les bâtiments en bois permettent d'entreposer du carbone à long terme. La construction de grands édifices en bois représente une tendance de plus en plus populaire à travers la planète, et la nouvelle résidence de 18 étages en bois de l'Université de la Colombie-Britannique, un des plus grands édifices en bois du monde, est une remarquable démonstration de l'innovation canadienne dans les produits et la conception en bois.[311] En reconnaissant les avantages environnementaux et esthétiques des grands édifices en bois, les normes du bâtiment pourraient contribuer significativement à la réduction à long terme des émissions de GES.

Bien qu'il soit plus simple d'atteindre de standards élevés lors de la conception de nouveaux sites et édifices, de nombreux édifices précèdent les normes actuelles du code du bâtiment; 75 % des maisons ont été construites avant 2000.[312] En supposant un cycle de rénovation de 30 ans, le parc immobilier actuel doit ou devra bientôt être rénové[313] au moyen de techniques améliorées en matière d'isolation, de vitrage des fenêtres et de scellement des fuites d'air. La façon de mener des projets massifs de modernisation des tours permet d'accumuler de l'expérience de grande valeur.[314] Cette expérience stimule la modernisation à l'échelle du quartier par le biais de changements comportementaux collectifs et de mesures incitatives qui s'appuient sur l'imagerie thermique.[315] Par exemple, MyHEAT, basée en Alberta, est une application de systèmes d'imagerie thermale qui a le potentiel de guider des programmes d'économie d'énergie en Alberta et à travers le monde.[316] MyHEAT visualisera, quantifiera et rendra exploitable sur le Web des cartes des pertes thermiques de plus d'un million de maisons individuelles dans plus de 20 petites et grandes villes au Canada d'ici 2018. Déjà, ces cartes de pertes de chaleur touchent trois Albertains sur cinq et un Canadien sur sept alors que d'autres cartes sont en préparation.[317]

À part quelques exceptions régionales, la plupart des maisons et des édifices commerciaux utilisent le gaz naturel pour le chauffage.[318] L'électrification et l'utilisation de services de climatisation et de chauffage de basse intensité pourraient fournir de l'énergie sobre en carbone. Plusieurs approches existent déjà pour remplacer le gaz naturel : la biomasse dans des systèmes efficaces de chauffage de quartier; l'eau chaude à l'énergie solaire; la chaleur résiduelle provenant de l'industrie et des eaux usées; et différents types d'échangeur de chaleur tels que la géothermie, les thermopompes à air et les échanges océaniques. Une étude récente montre que, pour les Britanno-Colombiens, une combinaison d'énergie électrique renouvelable et de rénovation en profondeur des maisons, avec des sources locales d'énergie communautaire sobre en carbone, permettrait d'atteindre des réductions de 54 à 82 % de la consommation énergétique des bâtiments.[319]

Une conception appropriée des villes et des quartiers est également essentielle pour la réduction de l'empreinte énergétique des transports. Les lignes directrices du *Transit Oriented Communities guidelines* de Translink pour le district régional du Grand Vancouver propose le concept « des 6 D » pour guider le développement de la mobilité urbaine : destination, distance, design, densité, diversité et gestion de la demande. Avant d'imaginer des stratégies pour diminuer l'utilisation de la voiture, le besoin de posséder une voiture privée doit être réduit. Dans la plupart des foyers, les voitures sont stationnées plus de 95 % du temps lors des journées typiques de déplacement.[320]

Dans ce contexte, les villes reconnaissent le potentiel économique des services de partage de voitures.[321] La disponibilité de ces services contribue à réduire le taux de possession d'automobile[322] et permet aux individus et aux ménages d'avoir accès à une voiture lorsque nécessaire sans le fardeau que représente la possession d'un véhicule privé. Par exemple, Communauto, la plus vieille compagnie de partage de voitures en Amérique du Nord, a choisi de s'intégrer dans l'« écosystème du transport » et d'encourager le passage vers des habitudes de transport visant à compléter plutôt qu'à remplacer les autres formes de transport actif et de transport public.[323]

PERSPECTIVES POLITIQUES : LES VILLES

Le *Cadre pancanadien* aborde l'environnement bâti à partir du point de vue du bâtiment. Nous proposons qu'une approche des systèmes qui met les villes et l'urbanisme au centre de la prise de décision ait le potentiel de stimuler dans les villes la transition énergétique sobre en carbone tout en améliorant la qualité de vie dans les espaces urbains.

Une possible sélection de politiques inclut des instruments de régulation tels que le zonage et la planification urbaine par les municipalités, de nouvelles normes du bâtiment, des normes d'émissions pour les véhicules, des subventions pour les rénovations énergétiques des maisons, ainsi que des trains électriques, des investissements dans le transport public et le développement d'outils d'information pour guider les décisions.

Le potentiel des villes d'accélérer le développement de solutions sobres en carbone peut être amélioré en révisant le mode de financement des municipalités. Avec des revenus provenant principalement de l'impôt sur la propriété foncière, les municipalités sont coincées dans une voie de développement qui favorise l'étalement urbain et qui limite les ressources disponibles pour poursuivre une transition ambitieuse.[324]

5.3 TROISIÈME CHAMP D'ACTION : SOUTENIR L'INNOVATION ÉNERGÉTIQUE DANS LES COMMUNAUTÉS AUTOCHTONES

Les peuples autochtones ont porté historiquement, et portent toujours, le lourd fardeau du développement des ressources sur leur territoire, que ce soit l'extraction de pétrole et de gaz, la construction d'un barrage ou l'exploitation de minéraux. Au fil des années, la Cour suprême a reconnu l'importance des droits des peuples autochtones. La loi constitutionnelle du Canada, renforcée par la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones, reconnaît que les droits entérinés dans les traités et autres accords ne peuvent pas être ignorés. Les peuples autochtones sont des partenaires de la fédération canadienne – par le biais de traités et d'autres accords – avec des droits reconnus dans la Constitution. Les droits reconnus par la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones comprennent ceux concernant la conservation, la protection, la propriété, l'utilisation et le développement du territoire, l'autodétermination et l'autonomie gouvernementale.

Une politique de transition énergétique offre la possibilité de s'engager de manière constructive sur la base de l'équité avec les peuples autochtones en cherchant des partenariats qui permettent l'autonomie tout en développant la sécurité énergétique et en créant des possibilités économiques et des communautés durables. Par exemple, comme les projets de développement et d'énergie renouvelable se propagent dans et autour de leur territoire, les Six Nations de l'Ontario ont créé la Six Nations of the Grand River Development Corporation afin de garantir le paiement des redevances, l'équité des possibilités d'investissement et l'emploi, et afin de veiller à ce que les membres de la communauté aient un rôle dans les négociations et dans l'approbation de tels projets.[325]

Sur des centaines de projets d'énergie renouvelable, des recherches en cours ont identifié 79 projets conçus et dirigés ou co-dirigés par des communautés autochtones principalement dans les secteurs des énergies hydroélectrique, solaire et éolienne.[326] Dans de nombreux cas, les projets énergétiques durables contribuent à la résilience locale et à l'emploi tout en réduisant l'empreinte de la communauté. Dans l'esprit de la réconciliation et en reconnaissance de la relation de nation à nation, la consultation, la liberté, le consentement préalable informé, l'équité et les partenariats appropriés doivent devenir une nouvelle pierre angulaire de l'avenir énergétique.[327] Dans le cas présent, l'équité signifie de respecter les droits d'autodétermination et d'autonomie gouvernementale des peuples autochtones[328] pendant la transition vers une société sobre en carbone.

Plus de la moitié des communautés du Nord et des communautés éloignées ont besoin de transporter du diesel sur de longues distances pour chauffer les maisons et générer de l'électricité.[329] La suie provenant des émanations de diesel peut faire augmenter la fonte lorsqu'elle se dépose sur la neige et la glace.[330] Durant les hivers arctiques, les conditions atmosphériques piègent les particules de diesel près du sol,[331] affectant la santé des résidents. La transition vers des énergies renouvelables résoudrait la dépendance au diesel des communautés éloignées tout améliorant de nombreux aspects du quotidien (par ex. la santé et l'emploi).

Alors que le potentiel d'énergie solaire est limité à la période estivale dans le Nord, l'énergie éolienne est disponible dans les régions côtières et le Nord du Québec et du Nunavut et sur de grandes parties des territoires du Yukon et de la Colombie-Britannique. Le bois peut servir de biocarburant au sud de la limite des arbres de l'Arctique et l'hydroélectricité a du potentiel dans l'Arctique de l'Ouest.[332]

Afin de diminuer sa dépendance au diesel, la Première Nation Taku River Tlingit en Colombie-Britannique a combiné un projet de microcentrale hydroélectrique pour aider à remplacer l'électricité produite par le diesel,[333] le chauffage géothermique des locaux et des programmes de modernisation des maisons.[334] La nation Taku River Tlingit travaille également à agrandir son petit projet hydroélectrique pour vendre de l'électricité au Yukon et aider à la réduction des émissions de GES du territoire. Au Québec, le Mi'gmaq Wind Power Partneship agit comme une institution relais afin de s'assurer que les gens de la région tirent profit, par le biais de la formation et de l'emploi, des avantages économiques provenant des projets éoliens sur les terres des Gespe'gewa'gi.[335, 336] De tels projets sont de bons exemples de systèmes de production d'énergie plus décentralisés qui peuvent aider à se défaire des approches héritées descendantes peu satisfaisantes qui ont contribué aux conditions qui ne répondent pas aux normes caractérisant certaines communautés autochtones.[337]

Dans le cas des projets axés sur les communautés autochtones, la gestion des problèmes de capacité, de gouvernance et de création d'emplois et de revenus est considérée comme critique pour une mise en œuvre réussie.[338] Les concepts d'équilibre, de respect et de réciprocité sont certains des principes qui maintiennent l'identité culturelle dans un contexte d'adaptation aux enjeux sociaux, environnementaux et économiques contemporains de même que dans le contexte de la réconciliation.

PERSPECTIVES POLITIQUES : LES COMMUNAUTÉS AUTOCHTONES

Les communautés autochtones sont déjà activement engagées dans des projets d'innovation qui peuvent inspirer d'autres communautés et le Canada dans son ensemble. Cependant, un soutien accru sous la forme d'une participation équitable tout au long de la transition énergétique sobre en carbone est requis, y compris la création d'emploi, le transfert technologique et la pleine participation dans les partenariats public-privé.

Les projets d'énergie renouvelable ont permis la création de partenariats autochtones en fournissant aux communautés de nouvelles sources de financement et une transition à l'écart du diesel.[339] Cette transition énergétique sobre en carbone doit être menée par les peuples autochtones eux-mêmes et elle doit impliquer la création de systèmes énergétiques, possédés et contrôlés par les communautés, reconnaissant leur diversité et respectant leurs lois traditionnelles[340] conformément à l'esprit de réconciliation.[341]

Les aînés et aînées jouent un rôle important dans les communautés autochtones. En tant que gardiens traditionnels des connaissances, guérisseurs et enseignants, le leadership indigène a toujours compté sur la vision et la sagesse des aînés et aînées pour fournir des orientations pour la gouvernance communautaire et ses défis. La création et le soutien d'un conseil autonome, non politique et non partisan d'aînés et aînées permettraient un engagement véritablement. Le Conseil des aînés et aînées aurait un rôle éducatif et pédagogique, un rôle consultatif, un rôle dans la résolution de conflits lorsqu'appelé à aider les communautés face à la confrontation ainsi qu'un important rôle de mentorat auprès des jeunes. Les modalités d'établissement du Conseil des aînés et aînées reposeraient sur les peuples autochtones eux-mêmes et seraient inclusives.

5.4 QUATRIÈME CHAMP D'ACTION : ENGAGER LE DIALOGUE AVEC L'INDUSTRIE, Y COMPRIS AVEC L'INDUSTRIE PÉTROLIÈRE ET GAZIÈRE

5.4.1 RÉPONDRE À LA DEMANDE ÉNERGÉTIQUE DE L'INDUSTRIE LOURDE

En exploitant les immenses ressources naturelles du Canada, les secteurs de l'industrie lourde contribuent significativement à la fois à l'économie et aux émissions de GES. Pour ses opérations, cette industrie a besoin (1) d'électricité pour déplacer des liquides, des gaz ou des solides, (2) de combustibles ou de l'électricité pour altérer la structure des produits chimiques ou des matériaux (par ex., l'aluminium, le fer ou les engrais), et (3) de combustibles pour produire de la chaleur intense (par ex., les sables bitumineux, le ciment, l'acier fondu, etc.).

Répondre à la demande de chaleur de l'industrie lourde est un défi du point de vue de la transition énergétique. Dans les provinces dépendantes de l'électricité provenant des centrales au charbon, jumeler la production d'électricité et l'industrie lourde par le biais de la cogénération au gaz naturel permet de réduire les émissions de GES.[342] Cependant, il faut en faire plus pour atteindre les objectifs à long terme en cette matière. Ainsi l'utilisation d'électricité provenant de sources sobres en carbone est possible, mais son coût peut être élevé.

Capter et emmagasiner géologiquement le CO_2 produit par la combustion des combustibles fossiles est une technologie prometteuse qui s'avère également être coûteuse. Au cours des dernières années, des technologies de piles à combustible à carbonate fondu[343] ou à oxyde solide[344] ont été développées. Celles-ci peuvent utiliser le gaz naturel pour fournir (1) de la chaleur à l'échelle industrielle, (2) des quantités importantes d'électricité et (3) un flot de CO_2 presque pur qui pourrait être séquestré géologiquement ou utilisé d'une autre façon afin d'être conservé à l'extérieur de l'atmosphère.

Changer de sources de combustible pour la production de chaleur est une autre possibilité. La combustion de biomasse est largement répandue dans l'industrie des pâtes et papiers en grande partie parce que le combustible résiduel est facilement disponible. Les centrales nucléaires à cycle combiné[345] sont une autre option, mais les problèmes de coût et d'acceptabilité sociale de cette industrie doivent d'abord être résolus (voir 2.5.2).

Une autre façon de réduire les émissions provenant de l'industrie lourde est de diminuer la demande pour leurs produits.[346] S'éloigner de l'obsolescence programmée des produits et de notre société du « jeter après usage » pourrait réduire la demande industrielle, comme le ferait l'incorporation de plus de produits en bois dans nos bâtiments pour remplacer une partie de l'acier et du ciment qui consomment beaucoup d'énergie et qui dominent actuellement le secteur de la construction.

Finalement, les stratégies de décarbonisation du secteur de l'industrie lourde varieront en fonction de l'industrie elle-même, des technologies qui émergent, de la localisation des compagnies et des politiques et des réglementations de ces provinces et territoires.

5.4.2 TRANSFORMER L'INDUSTRIE PÉTROLIÈRE DU CANADA

Chaque année, les Canadiens démontrent un appétit vorace pour les produits pétroliers raffinés en consommant environ 19 barils de pétrole par personne[347] dont plus des deux tiers sont utilisés sous forme de carburants pour le transport. Bien que la combustion « en aval » des produits pétroliers raffinés génère environ 450 (± 50) kg éq.-CO_2 par baril, la récupération et le traitement du pétrole pour créer des produits pétroliers raffinés contribuent également aux émissions totales du Canada. Selon l'origine et les caractéristiques chimiques du pétrole récupéré, ces émissions dues à la production et à la transformation représentent entre 70 et environ 250 kg éq.-CO_2 par baril.[348]

La production de pétrole au Canada est dominée par les pétroles plus lourds (par ex. les sables bitumineux), qui ont tendance à avoir des profils d'émissions élevées pour la production et la transformation. En outre, le Canada produit environ deux fois plus de pétrole qu'il n'en consomme – sans compter que l'est du Canada importe également du pétrole et des produits pétroliers raffinés en provenance d'autres pays – créant ainsi un important marché d'exportation, mais causant aussi des émissions de GES supplémentaires.

Avec l'expansion accélérée de la production de sables bitumineux au cours des 10 à 15 dernières années, le secteur du pétrole et du gaz au Canada a été la source d'émissions de GES présentant la croissance la plus rapide, augmentant de 79 % entre 1990 et 2014, autrement dit passant de 107 à 192 Mt éq.-CO_2.[349] Cette croissance pourrait continuer puisque le Plan d'action climatique de l'Alberta plafonne les émissions annuelles des sables bitumineux à 100 Mt éq.-CO_2, c'est-à-dire 34,4 Mt éq.-CO_2 au-dessus du niveau de 2014.[350]

Le secteur canadien du pétrole et du gaz a été une destination privilégiée pour les investissements. Des centaines de milliards de dollars ont été dépensés pour construire les infrastructures actuelles permettant d'extraire, de raffiner et de distribuer les approvisionnements d'énergie fossile. En 2015, l'extraction du pétrole et du gaz a contribué à 6,1 % du produit intérieur brut du Canada.[351]

L'Alberta, la Saskatchewan et Terre-Neuve-et-Labrador produisent 97 % de tout le pétrole canadien. L'Alberta et la Saskatchewan reçoivent la majorité des revenus directs (Figure 5.3). Les autres provinces en bénéficient à différents niveaux à partir des sous-traitances, des emplois indirects et des paiements de péréquation.

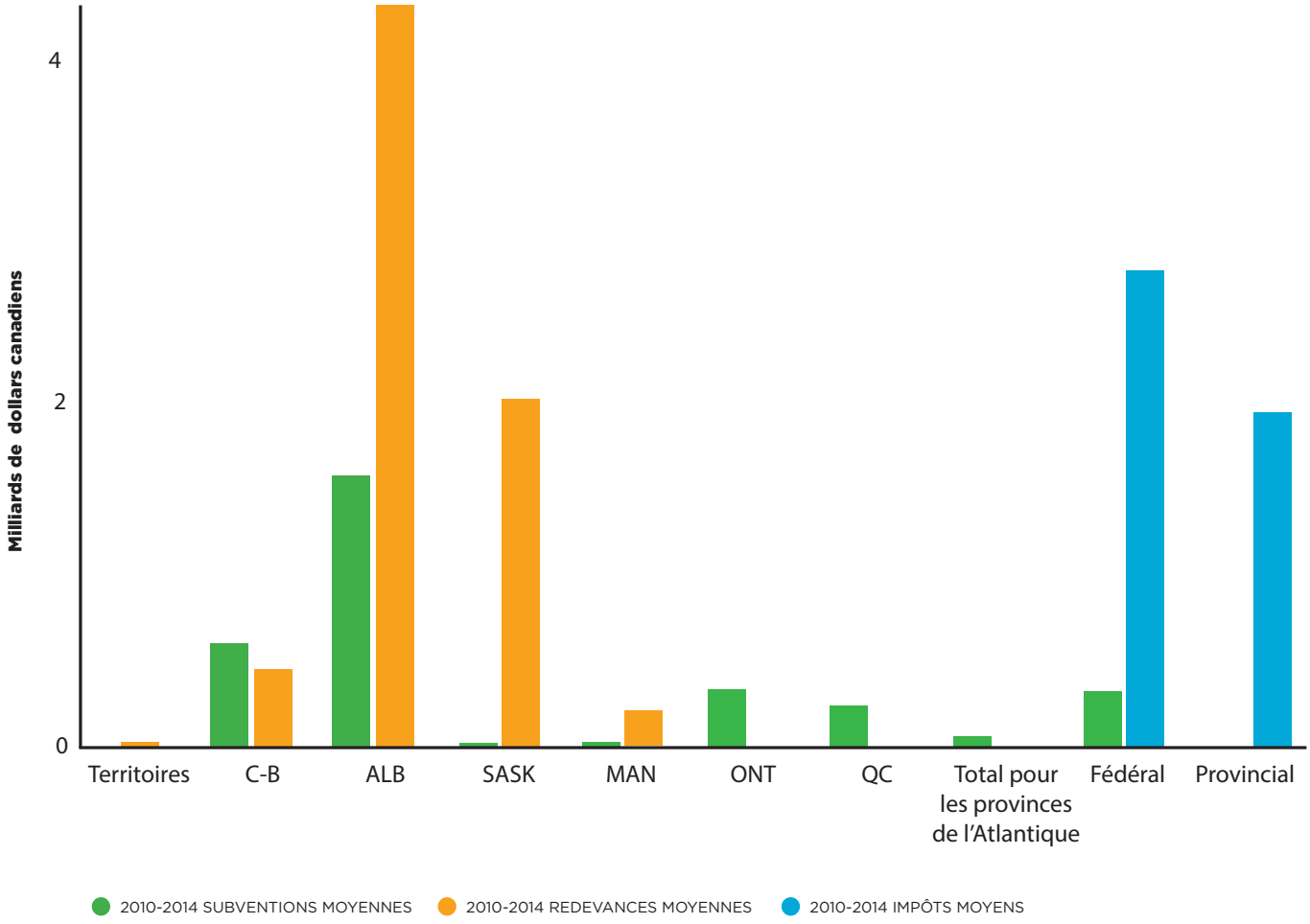
Le secteur de l'énergie, principalement le pétrole et le gaz, est également une source de revenus majeure pour les gouvernements. Entre 2010 et 2014, il a fourni 22,2 milliards de dollars par année en moyenne en taxes et redevances réparties entre tous les paliers de gouvernement (Figure 5.3).[352]

La baisse récente du prix du pétrole a réduit les investissements dans les nouvelles exploitations de sables bitumineux, bien que beaucoup d'entre elles, encore en construction, aient continué d'être développées. Les prévisions de l'industrie et du gouvernement[356] suggèrent des perspectives de croissance de plus en plus faible pour l'industrie des sables bitumineux, mais, à ce jour, il n'y a pas de prévision officielle qui suggère que ce secteur déclinera d'ici les 20 prochaines années au Canada.

Figure 5.3

LES REVENUS EN PROVENANCE DE L'INDUSTRIE PÉTROLIÈRE ET GAZIÈRE ET LES SUBVENTIONS REÇUES PAR CETTE DERNIÈRE (CATÉGORIES SCIAN 27, 38, 324 ET 412) EN MOYENNE ENTRE 2010 ET 2014

Les subventions pour les combustibles fossiles provenant du gouvernement fédéral, des provinces et des territoires[353] (vert), les redevances de l'industrie[354] (jaune orangé) et l'impôt fédéral et les impôts provinciaux sur le revenu[355] (bleu). Les subventions des territoires sont pour le Yukon seulement. Les redevances moyennes totales des provinces de l'Atlantique incluent les plateformes pétrolières au large de Terre-Neuve-et-Labrador et de la Nouvelle-Écosse. Pour les territoires, le Québec et les provinces de l'Atlantique, les redevances moyennes entre 2009 et 2013 sont présentées puisqu'il n'y avait pas de valeurs pour 2014.



4 À discuter :

L'INDUSTRIE PÉTROLIÈRE ET GAZIÈRE : TENSIONS ET DÉBATS

Le Canada représente environ 0,5 % de la population mondiale, mais il produit 1,6 % des émissions mondiales de CO_2. Le pays est également un important exportateur d'énergies fossiles et les émissions associées à l'utilisation de ces combustibles sont comptabilisées dans les inventaires des pays importateurs.

Les modèles climatiques suggèrent que pour demeurer « nettement en dessous de 2°C », comme déclaré dans l'Accord de Paris sur le climat, le total des futures émissions de CO_2 ne devrait pas excéder 1 000 milliards de tonnes. Cette notion de « budget de carbone » peut être utilisée pour calculer la proportion des réserves existantes de combustibles fossiles pouvant être brûlée si le réchauffement doit être limité à la température spécifiée. En acceptant le concept de « carbone à ne pas brûler »,[358] un article scientifique a estimé qu'approximativement les trois quarts des sources canadiennes connues de pétrole et le quart des sources de gaz ne devraient pas être brûlés d'ici 2050 afin de demeurer sous le réchauffement de 2°C.[359]

À la lumière des changements climatiques, l'expansion continue de l'exploitation du pétrole et du gaz est devenue une source de tension, soulevant ainsi des débats à propos de l'avenir.

Certains Canadiens se sont mobilisés contre les combustibles fossiles par le biais de mouvements sociaux tels que les campagnes de désinvestissement dans les combustibles fossiles et l'opposition à la fois aux projets d'infrastructure, comme les pipelines[360] et les installations de gaz naturel liquéfié, et aux activités locales d'extraction. Par exemple, la fracturation hydraulique fait maintenant face à des moratoires ou à des interdictions au Nouveau-Brunswick, au Québec, à Terre-Neuve-et-Labrador et en Nouvelle-Écosse.

D'autres Canadiens prévoient que la demande croissante de pétrole sera – à mesure que la Chine, l'Inde et d'autres pays en développement adopteront la voiture et d'autres technologies énergivores[361] – un moteur économique majeur pour l'emploi et la compétitivité mondiale du Canada. Pour eux, tant que le reste du monde voudra du pétrole, les compagnies canadiennes devraient répondre à la demande.[362]

Beaucoup d'incertitudes demeurent quant à l'avenir du pétrole (pour une revue sur ce sujet, voir 363). Il est de plus en plus probable que la production de pétrole et de gaz sera limitée par la demande plutôt que par la disponibilité des approvisionnements. L'adoption rapide des véhicules électriques et la chute des prix des énergies renouvelables, notamment de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne, pourraient provoquer une diminution significative de la consommation d'énergies fossiles. Dans de nombreuses parties du monde, l'électricité produite à partir de ces sources est déjà moins chère que celle provenant du pétrole, du charbon et du gaz. La demande décroissante pour les combustibles fossiles au cours de la prochaine décennie[364] pourrait donc réduire significativement les investissements à l'intérieur du pays dans le secteur du pétrole et du gaz, ce qui diminuerait l'intérêt pour cette industrie et la rendrait beaucoup plus risquée.[365]

Gérer ces contradictions sera un défi à long terme pour la transition énergétique sobre en carbone.

De quelle façon le Canada peut-il atteindre ses objectifs à long terme pour les changements climatiques et contribuer, de manière significative, aux efforts mondiaux d'atténuation tout en continuant d'être un important exportateur de combustibles fossiles ?

Si le Canada doit respecter ses engagements en matière de changements climatiques, il faudra une réduction importante soit de la production pétrolière au Canada soit de l'intensité des GES associés à la récupération et au traitement de chaque baril de pétrole ou de bitume. Or, le drainage par gravité au moyen de vapeur est la technologie de récupération des sables bitumineux qui a connu la croissance la plus rapide ces dernières années bien qu'elle ait une des plus grandes empreintes de GES.[366]

Un défi fondamental à la réduction des émissions liées aux opérations de drainage par gravité au moyen de vapeur vient du fait que le sable représente 80 % de la masse du gisement de sables bitumineux. La vapeur à haute pression est donc utilisée pour chauffer le sable et réduire la viscosité du bitume pour qu'il puisse couler vers un puits d'extraction en laissant le sable derrière. De nombreuses technologies ont été proposées – et certaines sont testées actuellement – pour fabriquer de la vapeur sans relâcher de CO_2 dans l'atmosphère (par ex., des centrales nucléaires à cycle combiné ou le captage et le stockage du carbone) ou pour diminuer la température de liquéfaction du bitume (par ex., en utilisant des solvants tout en chauffant au moyen d'électricité provenant de sources sobres en carbone).

Le captage et le stockage du carbone sont probablement l'approche la plus économiquement viable aujourd'hui. Le Canada est un chef de file dans les technologies de captage de CO_2 (y compris le captage direct de CO_2 dans l'air) et de systèmes catalytiques pour la conversion du CO_2 en combustible (combustibles neutres en carbone), de même que dans le développement d'industries utilisatrices d'hydrogène. Ces technologies ont été testées sur des périodes relativement longues. Certains problèmes, comme les fuites de carbone, demeurent toutefois une préoccupation; l'injection de CO_2 sous pression peut mener à des ruptures en cisaillement dans le roc, causant ainsi le soulèvement du sol et potentiellement des fuites.[367] Des technologies capables de détecter ce type de fuites provenant de formations géologiques sont actuellement déployées, ce qui devrait améliorer la surveillance des puits actuels et la conception des futurs sites de stockage.[368] Tandis que le coût de cette technologie constitue toujours une barrière, particulièrement lorsqu'elle est appliquée à des centrales thermiques existantes peu efficaces,[369] une étude récente qui examine l'application de ces technologies en Ontario suggère que le captage et le stockage du carbone peuvent être déployé dans des centrales modernes, comme les turbines à gaz naturel à cycle combiné, a un coût compétitif par rapport aux autres formes de production d'énergie sobre en carbone.[370]

Une étude récente[371] suggère que la biomasse pourrait être utilisée de différentes façons pour réduire l'empreinte des émissions provenant des opérations d'exploitation des sables bitumineux, notamment sous forme de biocarburants pour les machineries lourdes et de diluants d'origine biologique pour transporter le bitume extrait des sables. Des efforts considérables en recherche et développement restent toutefois nécessaires afin de rendre ces produits concurrentiels en matière de coût.

Aucune de ces technologies n'est viable aujourd'hui pour l'extraction du pétrole des sables bitumineux. Leur chance de succès dépendra de l'évolution du prix du pétrole qui, lui-même, est fonction de la demande en énergies fossiles, du prix du carbone et de l'évolution des technologies de récupération de pétrole ciblant des ressources concurrentes. Le passage à l'utilisation de véhicules électriques, par exemple, pourrait réduire suffisamment la demande pour garder le prix du pétrole inférieur à celui nécessaire pour développer ou même maintenir les exploitations de sables bitumineux. Cette transformation du secteur des transports pourrait donc contribuer à réduire les émissions de GES tant au niveau de la consommation que de la transformation et de la production.[372]

D'autre part, les gisements de sables bitumineux du Canada pourraient être mis à contribution pour la production d'autres sources d'énergie utiles pour le transport.[373] Le développement de systèmes énergétiques alternatifs capables de produire directement de l'électricité[374] ou de l'hydrogène à partir de ces gisements[375] pourrait accélérer la décarbonisation et promouvoir les développements en matière d'énergie renouvelable dans le domaine des piles à combustible/piles d'oxydoréduction et des technologies de réseau, tout en contribuant au développement de l'industrie canadienne de la production d'hydrogène.[376]

5.4.3 RÉDUIRE LES ÉMISSIONS FUGITIVES

Comme nous l'avons mentionné dans la section 4, dans le cadre d'un accord signé avec les États-Unis en mars 2016, les émissions fugitives sont dans la mire du gouvernement fédéral.[377] Plusieurs technologies visant à réduire ces émissions ont été développées depuis le début des années 2000,[378] notamment la réinjection ou la liquéfaction du gaz dans le but de l'utiliser pour la production d'énergie.[379] Dans le cas des sables bitumineux, la collecte et la compression des gaz pour le transport dans des gazoducs représentent une façon économiquement viable de réduire les émissions.[380]

L'expertise canadienne de suivi et d'assainissement des sites contaminés par des combustibles fossiles pourrait également favoriser la création d'une industrie de service à la grandeur de la planète, alors que les fermetures de sites d'exploitations de l'industrie du pétrole, du gaz et du charbon se multiplient. De nouvelles technologies et approches sont également nécessaires pour assurer la décontamination et l'assainissement des sites.

Le Canada est un chef de file des technologies de production d'hydrogène, utilisé pour transformer les pétroles lourds en pétrole de meilleure qualité. Cette molécule continuera de jouer un rôle important dans le secteur de l'énergie et pourrait même connaître une croissance significative de sa demande si le développement des combustibles neutres en carbone s'accélère.

PERSPECTIVES POLITIQUES : L'INDUSTRIE

Si le Canada veut respecter ses engagements internationaux, l'industrie lourde, y compris le secteur du pétrole et du gaz, doit radicalement réduire ses émissions liées à l'énergie. Seule une combinaison judicieuse de tarification du carbone, de réglementations et d'investissements dans les technologies permettra d'amener les changements nécessaires dans la façon dont le Canada exploite ses immenses ressources naturelles.

Puisque le développement du secteur du pétrole et du gaz est contrôlé par l'investissement privé, les gouvernements doivent transférer le coût environnemental de la production des énergies fossiles des contribuables vers ces investisseurs. Dans cette optique, le budget 2017, par exemple, indique qu'il commencera à reconsidérer le traitement fiscal du pétrole et du gaz.

Le Canada devra s'ajuster à l'adoption mondiale d'énergies plus sobres en carbone en mettant en place des mesures visant à faciliter la transition de l'économie des provinces plus affectées, en soutenant d'autres secteurs plus prometteurs, en facilitant le recyclage des travailleurs et en offrant des prestations d'assurance-emploi prolongées.

6. LE PÉRIPLE

La transformation énergétique du Canada peut être vue comme un périple, qui n'est pas défini seulement par la destination finale, mais également par le voyage lui-même puisque les circonstances changeantes demandent de la planification et des ajustements continus tout au long du chemin. Développer dès le départ une série de structures de gouvernance veillera à ce que les actions et les directions prises soient révisées, réorientées et repensées à mesure que les efforts seront déployés.

Pour ce périple, nous proposons une approche par étape (Figure 6.1). Les préparatifs urgents comprennent la cocréation d'une vision pour un avenir énergétique sobre en carbone pour le Canada et la mise en place de structures institutionnelles pour s'y rendre. La décennie à venir sera ensuite dédiée à une première phase de mise en œuvre. Nous proposons d'intégrer la transition énergétique sobre en carbone dans une « stratégie de développement sobre en carbone » qui appuiera la mise en œuvre de politiques ciblant à la fois l'approvisionnement et la demande d'énergie, le suivi et la vérification des réductions des émissions et le soutien à l'expérimentation. En établissant sur une base régulière ce qui fonctionne et ce qui ne fonctionne pas, le Canada sera en mesure d'avancer plus efficacement sur la voie de la décarbonisation profonde. L'évaluation continue des progrès et la réévaluation des options politiques et des cibles de réduction des émissions devraient faire partie intégrante de cette approche par étape. En conformité avec les obligations internationales du Canada, le déroulement de ce périple sera évalué à intervalles réguliers.

6.1. PRÉPARATION

6.1.1. COCRÉATION D'UNE VISION

Le développement et l'implémentation d'une vision d'un avenir énergétique sobre en carbone qui rassemble l'ensemble du pays est un des grands défis de notre temps.

Pour y parvenir, il faudra maintenir et étendre le dialogue avec les peuples autochtones, les provinces, les territoires, les municipalités et l'ensemble des citoyens. Si cette responsabilité peut sembler intimidante, il faut se rappeler que des efforts similaires à l'échelle du pays ont porté fruit dans le passé – ce fut le cas avec la transformation profonde de notre système de santé qui a reconnu le rôle central des provinces tout en s'appuyant sur une vision et des principes communs.

Un aspect important de cette vision sera de s'entendre sur les échéanciers.[381] Nous proposons que la discussion nationale autour de cette vision s'appuie sur la suggestion que les pays ayant une grande responsabilité et une grande capacité doivent agir plus rapidement que les pays qui ont des émissions plus faibles par personne.[382] Nous favorisons également les voies vers une énergie sobre en carbone qui contribuent le plus à la promotion de la durabilité, dans un esprit de réconciliation avec les peuples autochtones, de justice sociale et de protection de l'environnement.

Le gouvernement fédéral a un rôle à jouer pour aider à la cocréation d'une vision dynamique qui permettra à tous les Canadiens de la raffiner ou de l'ajuster à mesure que la transition énergétique sobre en carbone se déploiera.[383]

6.1.2 ADAPTER LES ARRANGEMENTS INSTITUTIONNELS

La mise en place d'une vision commune de la transition énergétique sobre en carbone exige une organisation et des structures institutionnelles appropriées permettant que les actions et les directions prises conduisent à une transition énergétique réussie.

Nous proposons que les mesures suivantes soient immédiatement mises en place :

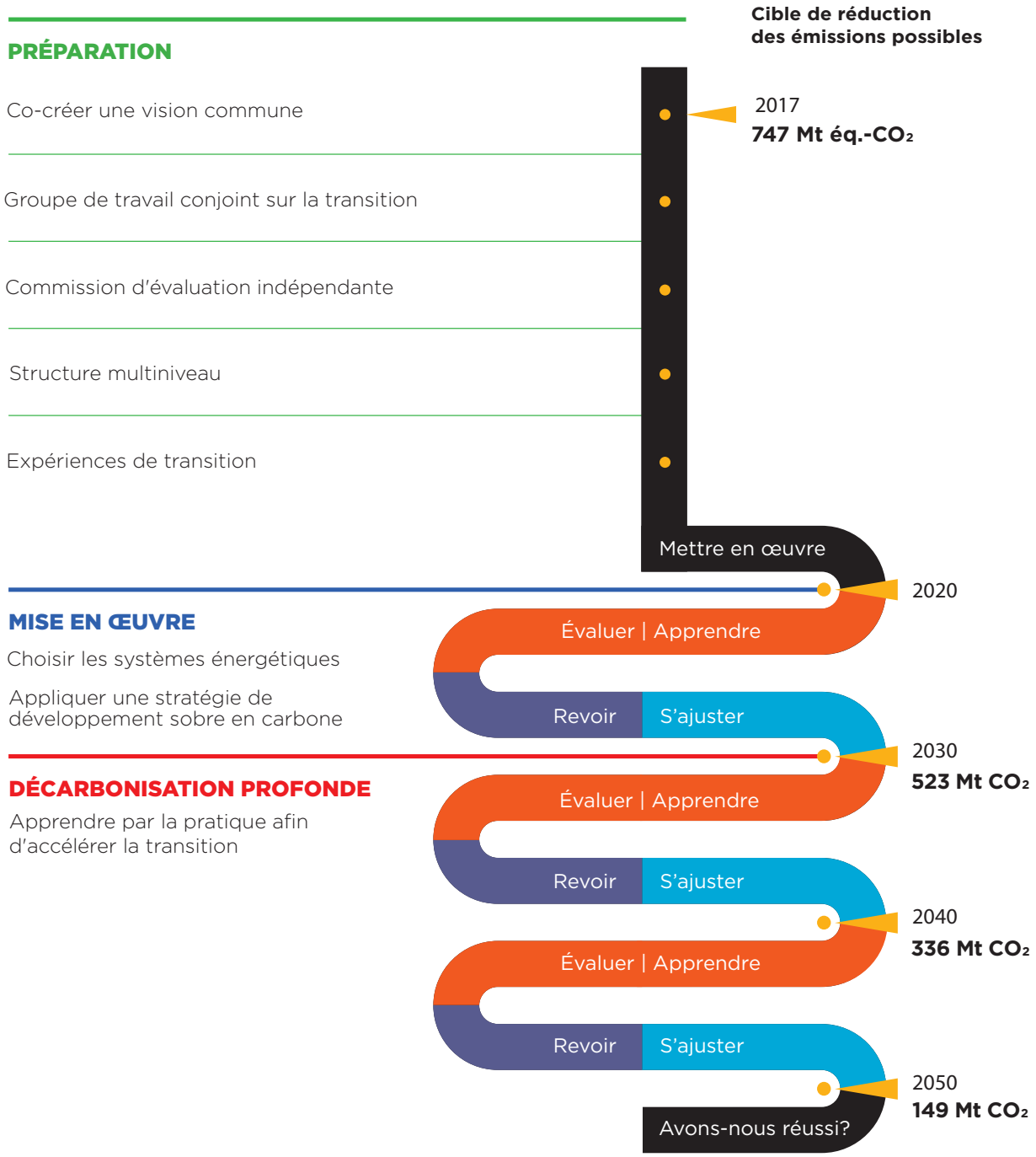
- **étoffer une vision nationale à long terme sous la direction du premier ministre**, et dans la foulée des propositions du *Cadre pancanadien*, avec le soutien de toutes les institutions gouvernementales en s'appuyant sur un dialogue avec l'ensemble des parties prenantes. Il est important que cette vision intègre autant les besoins des provinces et des territoires déjà engagés dans la transition énergétique sobre en carbone que ceux pour lesquels la transition représente un défi majeur;

- **assigner à un Groupe de travail conjoint, qui relève directement du premier ministre et d'une commission de haut niveau du Cabinet, la responsabilité de conseiller le gouvernement fédéral sur la transition énergétique.** Cette commission pourrait réunir de hauts fonctionnaires de l'énergie, de l'environnement, de l'économie, des technologies, des transports et plus encore pour mettre en œuvre au niveau fédéral une planification stratégique qui respecte les visions nationales et provinciales. Avec les grands investissements annoncés par le gouvernement fédéral pour soutenir la transition vers une société sobre en carbone, une des responsabilités fondamentales de ce Groupe de travail serait de développer un cadre de surveillance, de vérification et de déclaration obligatoire pour les projets afin de veiller à ce que les investissements servent à stimuler la transition énergétique sobre en carbone. Un second élément clé du mandat du Groupe de travail devrait être d'effectuer une analyse des lacunes des politiques existantes, de développer des politiques supplémentaires lorsque nécessaire et d'en évaluer les performances;

Figure 6.1

UNE APPROCHE PAR ÉTAPE POUR DÉCARBONISER LES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

Les cibles de réduction des émissions se retrouvent du côté droit.



- **créer une commission indépendante dont le mandat serait d'évaluer les progrès en ce qui concerne les étapes importantes et les objectifs à long terme, d'estimer l'efficacité des différentes actions et programmes existants et proposés, et de fournir des scénarios** basés sur ces derniers. Cette commission serait sous la responsabilité des premiers ministres. Si une simple commission indépendante est considérée comme intrusive, les provinces, les territoires et les organisations autochtones pourraient mettre en place leurs propres commissions pour travailler de concert avec leur homologue fédéral. La solution retenue devra assurer la création d'un ou plusieurs organismes indépendants capables de fournir une évaluation globale du progrès et des scénarios permettant de réussir la transition énergétique et de veiller à ce que les objectifs de vérification et de déclaration énoncés dans le *Cadre pancanadien* soient respectés. Le travail de la commission devrait être supporté par une structure de collecte de données renforcée qui fournira des données pertinentes, opportunes et de haute qualité. Ces données seront l'élément central de la prise de décision fondée sur des données probantes;

- **établir un dialogue continu avec les provinces, possiblement avec la création d'une structure formelle** pour faire le lien et/ou intégrer les différents plans, buts et objectifs à la vision nationale. En créant des structures pour faciliter les échanges entre les provinces, les territoires, les peuples autochtones et les municipalités, le gouvernement fédéral pourrait élargir la communication et aider à diminuer les tensions qui persistent entre les régions en ce qui concerne l'énergie. Il serait possible de s'inspirer d'une organisation telle que le Conseil canadien des ministres de l'environnement qui est constitué des ministres de l'Environnement des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux. À la veille du 150e anniversaire du Canada, il est important de rappeler qu'aucune barrière constitutionnelle n'empêche la réussite de telles collaborations multiniveaux;

- **allouer des ressources à l'expérimentation** en fournissant du financement pour les essais locaux afin de faire avancer la transition vers une société sobre en carbone. Ces projets pourraient tester des innovations appliquées – technologies, pratiques sociales, etc. Il s'agit de soutenir des idées nouvelles, stimulantes et risquées qui peuvent : améliorer les entreprises et les communautés, favoriser la durabilité ou un gain social sobre en carbone, offrir un potentiel de retour considérable lors du passage à l'échelle provinciale ou nationale et offrir un changement fondamental plutôt que seulement progressif. Ces idées devraient être proposées par les acteurs d'au moins deux secteurs sociétaux – entreprises, organismes publics et organisations non gouvernementales. Le fonds serait administré par un organisme ou une agence indépendante; il pourrait être financé avec l'argent déjà alloué à l'innovation;

- **allouer des ressources pour créer un réseau d'instituts de recherche sur la sobriété en carbone** afin de faire avancer la recherche sur les technologies et les dimensions économiques, environnementales et sociales de la transition à long terme. Les instituts seraient installés dans différentes régions du pays et ils se spécialiseraient dans des domaines distincts de recherche appliquée. Ce réseau d'instituts couvrirait la dimension de l'adaptation, déjà annoncée dans le budget 2017, mais il offrirait de plus un soutien cohérent et complet pour la transition.

6.2 PREMIERS PAS DE LA MISE EN ŒUVRE

6.2.1 TROUVER SON CHEMIN PARMIS LES VOIES QUI MÈNENT À UNE SOCIÉTÉ SOBRE EN CARBONE

Le *Cadre pancanadien* et le budget fédéral 2017 font référence à l'« énergie propre » sans définir cette expression. Du point de vue de la décarbonisation, les options « propres » comprennent l'hydroélectricité, les ressources renouvelables déjà éprouvées telles que les énergies solaire et éolienne, les ressources émergentes comme les énergies houlomotrice et marémotrice, la géothermie et la biomasse, les combustibles sobres en carbone, la réutilisation des déchets, de même que l'énergie nucléaire et le captage et stockage du carbone. Dans ce rapport, nous faisons référence à ces sources d'énergie comme étant sobre en carbone, ce qui évite de se limiter aux ressources renouvelables et d'exclure le nucléaire et le captage et le stockage du carbone.

Diverses options technologiques et sociales peuvent être combinées pour définir des voies différentes permettant de réduire notre intensité carbonique. De telles voies impliquent des compromis et un éventail de risques, coûts et avantages sociaux et environnementaux. Chacune des technologies de production à grande échelle – telles que les grandes centrales hydroélectriques, l'énergie nucléaire, le captage et le stockage du carbone, les grandes fermes photovoltaïques et les centrales solaires thermiques – présente des avantages, des coûts et des risques qui lui sont propres. C'est le cas également pour les stratégies de gestion de la demande et les ressources renouvelables variables, telles que l'énergie éolienne et l'énergie solaire, qui soulèvent également leurs propres défis.

Il y a un débat continu parmi les experts et, plus généralement, le public canadien quant à l'éventail d'options qui produira le meilleur ensemble d'avantages pour la société. Il n'y a pas de réponse simple ici. Toutes les solutions impliquent des coûts et des choix difficiles. Ces choix ne reposent pas simplement sur des aspects techniques, ils portent également sur des valeurs, des priorités et des attitudes à l'égard du risque. Nous avons besoin d'un débat public éclairé et permanent sur les avenues possibles afin de développer un savoir collectif sur lequel construire un consensus.

Malgré tout, le choix des avenues à prioriser peut évoluer dans le temps et en fonction des provinces et des territoires. Nous ne pouvons acquérir de l'expérience et décortiquer les implications de ces divers choix qu'en avançant dès aujourd'hui sur la voie de la transition vers un système énergétique sobre en carbone.

6.2.2 LA TRANSITION COMME STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT SOBRE EN CARBONE

Les orientations qui seront choisies pour soutenir la transition énergétique sobre en carbone doivent présenter des retombées politiques, économiques et sociales qui dépassent leurs effets directs sur les émissions.[384] Les tarifs de rachat d'électricité, par exemple, sont typiquement utilisés à la fois pour favoriser la production d'énergie renouvelable et le développement industriel.

Reconnaissant que la transition énergétique sobre en carbone doit être accélérée, nous suggérons que le gouvernement fédéral suive les exemples de bonnes pratiques à l'échelle internationale et qu'il intègre ses différentes politiques dans une stratégie de développement sobre en carbone plus vaste.[385] Cela permettrait d'intégrer un nombre croissant d'actions et de politiques dans le domaine afin de favoriser la cohérence et de tirer profit des différentes initiatives. Une stratégie de développement sobre en carbone devrait inclure des politiques expérimentales et créatives qui répondent aux préoccupations d'un large éventail d'acteurs.[386]

La transition énergétique sobre en carbone peut servir à raffermir l'activité économique, à moderniser et à exploiter les avantages comparatifs canadiens qui sont importants dans un monde restreint en carbone, à améliorer la qualité de vie des citoyens en général et à valoriser la justice et l'équité. De nombreuses mesures spécifiques adoptées pour encourager le déploiement généralisé de technologies et de pratiques sociales sobres en carbone et pour accélérer l'innovation sobre en carbone pourraient également contribuer à la croissance de l'emploi, des investissements et des possibilités d'exportation.

Une stratégie de développement sobre en carbone :

- renforcerait continuellement les cadres politiques (y compris les prix du carbone, les mesures réglementaires et autres) pour stimuler une action climatique ambitieuse;
- se concentrerait sur les marchés internationaux pour les technologies et les services canadiens sobres en carbone (les services financiers, l'assurance, la gestion d'actifs, la maintenance, etc.). L'annonce par le budget 2017 de 15 millions de dollars sur 4 ans à partir de 2017-2018 pour une stratégie des technologies propres visant à tirer parti des marchés en croissance pourrait stimuler cette composante de la stratégie de développement sobre en carbone;
- supporterait les synergies émergentes entre les activités à fortes et à faibles émissions de carbone qui tirent parti des savoir-faire techniques et institutionnels en réallouant les processus de fabrication (par exemple pour le forage, le travail en mer, la production d'hydrogène et d'autres processus liés au pétrole et au gaz) vers des usages qui permettent d'augmenter le volume de production d'énergie sobre en carbone;
- explorerait de nouvelles combinaisons de ressources pour lesquelles le Canada dispose d'avantages naturels : les agrocombustibles et les produits chimiques agricoles, la bioéconomie, les matériaux de construction et les technologies d'origine forestière, etc;[387]
- stimulerait l'innovation technologique, mais également l'innovation dans les pratiques et la gestion, puisque si la transition peut débuter avec les technologies existantes, elle ne pourra être complétée sans innovations;
- développerait des stratégies régionales de décarbonisation employant les ressources, les actifs industriels et financiers et les compétences de chaque région afin de stimuler le développement sobre en carbone adapté à chaque environnement. La gestion de la transition devrait donc demeurer entre les mains des provinces et des municipalités avec, bien sûr, le soutien fédéral;
- créerait des programmes d'information et de formation pour aider à répondre aux besoins de main-d'œuvre de l'industrie des ressources renouvelables et aux besoins d'emploi des travailleurs de l'industrie pétrolière et gazière. L'annonce par le budget 2017 de 1,8 milliard de dollars sur six ans à partir de 2017-2018 pour élargir les Ententes sur le développement du marché du travail afin d'améliorer les compétences des travailleurs est tout à fait appropriée. Nous proposons que les efforts d'information et de formation ciblent également l'industrie elle-même afin de permettre aux entreprises d'envisager de futures options liées au réoutillage.

6.3 VERS LA DÉCARBONISATION PROFONDE : L'IMPORTANCE D'ÉVALUER ET D'ADAPTER LES MEILLEURES PRATIQUES

La clé du succès de la transition énergétique sobre en carbone est simple : la somme des réductions des émissions doit atteindre les objectifs de décarbonisation tout en assurant un développement réellement durable. Cela exige (1) d'identifier où et comment les émissions pourraient être réduites rapidement, (2) de formuler des approches politiques basées sur cette information, (3) de développer un système de suivi qui permet d'évaluer l'efficacité des politiques et des mesures prises et (4) de s'adapter aux conditions constamment changeantes de notre monde : climat, développement technologique, prix de l'énergie et bien plus encore.

Nous estimons que le fait d'adopter un ensemble cohérent des meilleures pratiques en fonction des connaissances sera déterminant pour que l'ensemble des efforts mène au succès. Ces pratiques incluent :

- **la tarification du carbone.** Mesure phare du *Cadre pancanadien* et des plans pour les changements climatiques de la plupart des provinces, un prix du carbone augmentera la compétitivité des options énergétiques sobres en carbone, il fournira également des revenus pour financer la transition et il enverra un signal fort à l'industrie et aux consommateurs quant aux coûts des changements climatiques. Ce prix devra être augmenté régulièrement pour demeurer une incitation continue au changement. L'indexation de ce prix sur l'inflation serait un premier pas important;

- **l'éducation et le dialogue.** La transition énergétique ne se produira qu'avec le support et la participation active des citoyens. Ceux-ci exigent des efforts permanents et de qualité pour l'éducation, la formation et le partage d'information afin d'aider les Canadiens à comprendre les liens entre les combustibles fossiles, les émissions de GES et les changements climatiques; les problèmes liés à l'énergie (prix, technologie et étiquetage); les actions possibles (dans le transport, les rénovations et la consommation) et bien plus encore. L'instauration de dialogues permanents est nécessaire afin de communiquer les préoccupations et les suggestions des citoyens aux décideurs et vice versa;[388]

- **l'efficacité énergétique et la conservation de l'énergie, l'électrification sobre en carbone et les combustibles à faibles émissions** sont les composantes clés des systèmes énergétiques sobres en carbone. Une stratégie nationale de développement sobre en carbone devrait se concentrer sur les possibilités d'augmenter significativement l'efficacité énergétique et l'électrification en soutenant la conservation de l'énergie, l'augmentation de l'utilisation d'énergie renouvelable dans les processus industriels et la production de chaleur, les interconnexions entre les provinces, la production décentralisée, les tarifs de rachat, etc;

- **l'expérimentation et la prise de risque.** Étant donné que les voies vers une transition énergétique réussie ne sont pas encore toutes connues, il est important de soutenir l'expérimentation en matière de pratiques sociales et de technologies tout en respectant la diversité canadienne. Comme le risque d'échec augmente avec le degré d'innovation, il est essentiel que les politiques soient conçues pour soutenir les essais à haut risque et qu'elles considèrent comme naturel un certain degré d'échec, à condition que les connaissances acquises par les succès et les échecs soient mises à profit. Nous notons ici l'investissement dans le budget 2017 de 8,1 millions de dollars pour l'expérimentation sur cinq ans à partir de 2017-2018.

6.4 CONCERNANT RESSOURCES NATURELLES CANADA : ALLOUER DES RESSOURCES SUFFISANTES

Avec le budget 2017 allouant 13,5 millions de dollars sur cinq ans à partir de 2017-2018 à Ressources naturelles Canada pour « fournir une expertise aux autres ministères relativement aux meilleures approches à la mise en œuvre de technologies d'efficacité énergétique et d'énergie propre, pour rénover les immeubles fédéraux et pour réduire ou éliminer les émissions des parcs de véhicules », la transformation énergétique sobre en carbone devra commencer à l'interne.

Les changements transformateurs, comme ceux auxquels le *Cadre pancanadien* fait allusion ou ceux suggérés par les annonces budgétaires, demandent de nouvelles façons de penser, de nouvelles priorités et une approche transverse qui transcendent les orientations traditionnelles du ministère. Ainsi, le déploiement de l'énergie renouvelable est un enjeu majeur pour la future compétitivité mondiale du Canada. Pourtant, dans sa planification pour 2016-2017, Ressources naturelles Canada n'a affecté que sept employés à temps plein à ce sous-programme alors que 165 travaillent à la géocartographie de l'énergie et des minéraux.

Le besoin de ressources dédiées à la transition énergétique au sein de Ressources naturelles Canada est également mis en évidence par la pénurie d'information sur le potentiel des ressources renouvelables variables et alternatives. Cela contraste avec, par exemple, le niveau d'information disponible en temps réel au Danemark concernant la production d'énergie provenant de ressources renouvelables, y compris les raccordements au réseau.[389] La parution récente de la seconde édition de la carte des ressources et des projets d'énergie propre[390] est une étape encourageante dans la bonne direction.

CONCLUSION : L'ÉNERGIE POUR UN AVENIR SOBRE EN CARBONE

Le Canada s'embarque dans un périple remarquable vers un avenir énergétique sobre en carbone. Ce voyage offre de nombreuses possibilités pour construire des communautés durables tout en demandant des approches ingénieuses et créatives pour les développer. Nous devons nous appuyer sur une de nos plus grandes forces pour aller de l'avant : notre diversité. Notre diversité sociale et culturelle, bien sûr, qui suscite les innovations créatives. Notre diversité économique et géographique, également, qui offre, d'un océan à l'autre une multitude d'écosystèmes et de ressources naturelles. Cette grande force permet de tester et de déployer des instruments politiques et des technologies variés qui sauront transformer les systèmes énergétiques de ce pays. La vision d'un avenir durable variera d'un endroit, d'une province, d'une région à l'autre, mais les développements en recherche et en innovation que l'on observe déjà à travers le pays montrent que les Canadiennes et Canadiens peuvent relever le défi de la décarbonisation tout en créant des emplois, en développant leur économie et en bâtissant des communautés plus résilientes et équitables.

En choisissant d'agir sur les changements climatiques, les Canadiennes et Canadiens contribueront aux efforts mondiaux pour la construction d'un futur qui protège les générations à venir. L'adoption du projet de transition énergétique sobre en carbone offre la possibilité de donner un sentiment de « mission » à l'ensemble des Canadiennes et Canadiens, un élément essentiel du type d'innovations nécessaires pour gagner la lutte contre les changements climatiques.

REMERCIEMENTS

Les auteures et auteurs adressent leurs plus sincères remerciements à Céline Bak, Patrick Bateman, Clare Demerse, Robin Goldstein, Lliam Hildebrand, Robert Hornung, Tonja Leach, Tonio Sadik, Oskar Sigvaldason, Don Smith, Sundeep Virdi, de même qu'au comité de direction d'*Agir sur les changements climatiques : Innovations autochtones* pour avoir partagé leurs espoirs, leurs préoccupations et leurs recommandations en tant que parties prenantes dans le domaine de l'énergie.

Migwe'c aux nations Gitga'at, Taku River Tlingit et T'Sou-ke, à Mi'gmaq Wind Power Partnership et à Six Nations of the Grand River Development Corporation de nous avoir permis de présenter vos initiatives comme des exemples de projets autochtones réussis. Un grand merci également à M. Eli Enns de nous avoir dirigés vers l'initiative AYO Smart Home.

Les discussions avec Dave Courchene, un aîné, et l'équipe du Turtle Lodge ont enrichi le document, y compris par la suggestion de créer un 'Conseil des aînés et aînées' qu'ils souhaiteraient accueillir au Turtle Lodge. Un réseau national non soutenu d'aînés et aînées nationaux y existe déjà et serait renforcé par une reconnaissance et un soutien officiel.

Une reconnaissance chaleureuse à nos talentueux réviseurs externes dont les remarques attentionnées ont servi à améliorer et à enrichir ce rapport. Il s'agit de : Andreas Athienitis, Department of Building, Civil, and Environmental Engineering, Concordia University; John Axsen, Department of Resource & Environmental Management, Simon Fraser University; Chris Bataille, Institut du développement durable et des relations internationales, Paris, France; Dany Harvey, Department of Geography & Planning, University of Toronto; Mark Jaccard, Department of Resource & Environmental Management, Simon Fraser University; Matti Siemiatycki, Department of Geography & Planning, University of Toronto; Laure Waridel, Département de génie chimique, Polytechnique Montréal; Mark Winfield, Faculty of Environmental Studies, York University and Jennifer Winter, Department of Economics, University of Calgary.

Et finalement, nous remercions Ressources naturelles Canada d'avoir invité Dialogues pour un Canada vert à produire ce rapport. Nous sommes heureux d'avoir eu la possibilité de réfléchir collectivement aux voies à suivre et de partager nos idées. Le temps consacré par tous les universitaires est une contribution bénévole à ce travail. Ressources naturelles Canada a fourni les fonds nécessaires pour payer un assistant de recherche pendant la préparation du rapport et il a couvert les coûts de révision, de traduction et de conception graphique.

Sans l'équipe qui nous a aidés lors de la postrédaction, ce document n'aurait pas pu être publié. Un grand merci à Sara Bastien-Henri, Christiane Charest, Clara Marino, Heather McShane, Taysha Palmer, Cara Pike, Nicole Vallée et Amy Wood.

Les informations concernant l'industrie canadienne des technologies propres proviennent du 2016 Canadian Clean Technology Report rédigé par Analytica Advisors Inc. qui en détient également les droits d'auteurs. Pour obtenir une copie de leur rapport complet ou pour obtenir la permission de distribuer toute information incluse dans cette publication, s'il vous plaît contacter Analytica Advisors à l'adresse suivante : info@analytica-advisors.com.

ANNEXE I : CALCUL DES ÉMISSIONS DE GES PROVINCIALES / TERRITORIALES AGRÉGÉES EN 2030 ET 2050

Nous avons utilisé des valeurs de GES tirées du *Rapport d'inventaire national 1990–2014*[1] et, pour 2001, de l'*Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990–2001*.[2] Lorsqu'il n'y a pas de cibles pour 2030 ou 2050, les émissions futures ont été extrapolées en supposant une réduction linéaire des émissions identique à la période comprise entre 2005 (alignement sur la base de référence du Canada) et 2014 pour le Nunavut et le Yukon; entre 2005 et la cible informelle de moins 20 % par rapport à 2006 d'ici 2020 pour la Saskatchewan; entre 2005 et 2030 pour les Territoires du Nord-Ouest et entre les objectifs de 2020 et 2050 pour l'Alberta et la Colombie-Britannique. Les objectifs régionaux des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada, auxquels ont contribué Terre-Neuve, la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard, ont été utilisés pour calculer les émissions dans ces provinces en l'absence de cibles.

Tableau A.1

ÉMISSIONS DE GES PROVINCIALES / TERRITORIALES AGRÉGÉES EN 2030 ET 2050

PALIER DE GOUVERNEMENT	ÉMISSIONS 2030 (MT CO_2-EQ)	ÉMISSIONS 2050 (MT CO_2-EQ)
Alberta	240,1	200,4
Colombie-Britannique	32,9	12,8
Manitoba	14,1	10,5
Nouveau-Brunswick	10,4	4,5
Terre-Neuve-et-Labrador	5,3–6,2	1,4–2,4
Nouvelle-Écosse	11,0–13,0	4,2
Territoires du Nord-Ouest	1,7	0
Nunavut	0,3	0,3
Ontario	114,7	36,4
Île-du-Prince-Édouard	1,1–1,3	0,3–0,5
Québec	55,6	4,5–17,8
Saskatchewan	45,5	25,9
Yukon	0	0
Total province/territoire	532,6–535,0	301,2–315,8
Canada	522,9	149,4

[1] Environnement et Changement climatique Canada. (2016). *Rapport d'inventaire national 1990-2014 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada.*
[2] Environnement et Changement climatique Canada. (2003). *Inventaire canadien des gaz à effet de serre 1990–2001.* Division des gaz à effet de serre.

ANNEXE 2 : LE PROCESSUS

En novembre 2016, Ressources naturelles Canada a commandé aux Dialogues pour un Canada vert (DCV) la production d'un rapport universitaire sur la transition du Canada vers une économie sobre en carbone afin de contribuer à Génération Énergie, un dialogue national sur l'avenir énergétique. Entre novembre et décembre 2016, le comité scientifique des DCV a contacté, en plus des membres du réseau existant, une vingtaine d'universitaires travaillant dans des domaines d'expertises pertinents pour qu'ils se joignent aux DCV.

En décembre 2016, dix-huit universitaires ont participé (dont cinq à distance) à une réunion de cadrage de deux jours à Ottawa qui incluait :

- une réunion avec les représentants de Ressources naturelles Canada pour clarifier le mandat et le processus;
- une réunion avec les représentants de Ressources naturelles, Affaires autochtones et du Nord, Affaires-mondiales, Environnement et Changement climatique, Infrastructure, Innovation, Statistique, Sciences et Développement économique, et Transports Canada pour veiller à ce que le travail des DCV soit cohérent avec l'ensemble des activités fédérales liées aux changements climatiques.
- une séance de réflexion collective à huis clos entre les universitaires des DCV pour établir le cadre du rapport, déterminer l'orientation, identifier les sujets essentiels du conseil et les auteures et auteurs, discuter des objectifs des options politiques pour le Canada et des barrières à l'action, valider le processus proposé et discuter des stratégies de communication des DCV; et
- une réunion avec Ressources naturelles Canada pour partager les résultats de cette séance de réflexion collective, notamment : les voies à suivre pour répondre aux quatre tâches demandées par Ressources naturelles Canada, les sujets inclus et le choix des universitaires qui seront responsables de la version initiale.

La structure proposée du rapport a été distribuée à tous les universitaires des DCV pour commentaires et révisions mineures. À partir de décembre 2016, les universitaires ont partagé des documents essentiels et les brouillons sur Basecamp (une plateforme en ligne pour les projets d'équipe). Par souci de transparence, Ressources naturelles Canada a également obtenu un accès.

La rédaction a débuté en janvier 2017 et s'articulait autour de sept thèmes. Une équipe de rédaction composée de 4 à 10 universitaires et coordonnée par 2 auteurs ou auteures principaux qui étaient présents lors des réunions de décembre 2016 à Ottawa a été assignée à chaque thème. Les sections ont été compilées par CP à la mi-janvier pour produire la première version. À partir de ce moment-là, un comité du contenu s'est rencontré fréquemment sur Skype pour éditer continuellement la structure du document. Un comité des communications a édité les différentes versions en ce qui concerne la clarté, la longueur et la langue. À chaque étape, les commentaires ont nourri la discussion entre les universitaires.

- Mi-janvier : La version 1 a été distribuée à tous les universitaires des DCV (ceux ne faisant pas partie des équipes de rédaction) pour commentaires, de même qu'à Ressources naturelles Canada; elle a été révisée par les comités du contenu et des communications.
- Mi-février : La version 2 a été distribuée à tous les universitaires des DCV et aux réviseurs internes des DCV; elle a été révisée par les comités du contenu et des communications.
- Début mars : La version 3 a été distribuée à tous les universitaires des DCV, aux réviseurs externes et à Ressources naturelles Canada; elle a été révisée par le comité du contenu.
- Mi-mars : La version 4 a été distribuée à tous les universitaires des DCV; elle a été révisée par les comités du contenu et des communications.
- Fin mars : le rapport final a été soumis à Ressources naturelles Canada.
- Avril : révision, conception graphique et modifications mineures finales.

Une série de rencontres ont eu lieu pour recevoir la participation d'experts externes aux DCV pendant le processus de rédaction des ébauches. Le 3 mars 2017, CP a présenté le document de travail à une quarantaine de participants du Climate/Energy Policy Workshop de la Munk School of Global Affairs de l'Université de Toronto. Le 14 mars 2017, cinq universitaires ont rencontré dans les bureaux de Ressources naturelles Canada un sous-ministre adjoint et d'autres fonctionnaires pour discuter des progrès jusqu'à ce jour. Les universitaires ont ensuite tenu une réunion à Ottawa avec huit parties prenantes de l'énergie provenant de l'extérieur du monde universitaire (voir Remerciements). CP a discuté par téléphone et par courriel avec trois parties prenantes qui n'ont pas pu assister à la rencontre. Leurs commentaires ont servi de contribution pour la quatrième version.

RÉFÉRENCES

[1] GIEC. (2013). *Résumé à l'intention des décideurs.* In T.F. Stocker et al., Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. *Contribution du groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* Genève, Suisse: GIEC. RCP8.5 suppose des émissions continues pour tout le siècle, alors que RCP2.6 suppose que les émissions de GES atteindront un sommet entre 2010 et 2020 et diminueront ensuite jusqu'à zéro autour de 2070. Les cartes à gauche montrent la médiane (50e centile) des 77 (RCP8.5) et 22 (RCP2.6) simulations qui ont été effectuées, alors que les 10e et 90e centiles des distributions sont présentés du côté droit des figures.

[2] CCNUCC. (2015). *Accord de Paris: Article 2*.

[3] Gouvernement du Canada. (2016). *Le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques : Plan canadien de lutte contre les changements climatiques et de croissance économique.*

[4] GIEC. (2014). Résumé à l'intention des décideurs. In O. Edenhofer, Changements climatiques 2014: L'atténuation du changement climatique. *Contribution du groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* Cambridge et New York: Cambridge University Press. p. 10.

[5] GIEC. (2014). Résumé à l'intention des décideurs. In O. Edenhofer, Changements climatiques 2014: L'atténuation du changement climatique. *Contribution du groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* Cambridge et New York: Cambridge University Press. p. 20.

[6] https://www.theguardian.com/environment/2015/dec/08/coalition-paris-push-for-binding-ambitious-climate-change-deal

[7] https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300

[8] http://mission-innovation.net/about/

[9] Le Conseil de la fédération. (2015). *Stratégie canadienne de l'énergie.*

[10] Gouvernement du Canada. (2016). *Le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques : Plan canadien de lutte contre les changements climatiques et de croissance économique.*

[11] Unruh, G. (2000). *Understanding carbon lock-in. Energy Policy*, **28**(12), 817–830.

[12] Environnement et Changement climatique Canada. (2016). *Rapport d'inventaire national 1990-2014: Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada.*

[13] Le Conseil des académies canadiennes. (2015). *Solutions technologiques et politiques pour un système énergétique à faibles émissions au Canada. Le comité d'experts sur la consommation énergétique et les changements climatiques*. Ottawa.

[14] International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook 2015*. Paris: IEA.

[15] Barbose, G., and Darghouth, N. (2016). *Tracking the Sun IX: The installed prices of residential and non-residential photovoltaic systems in the United States*. Lawrence Berkeley National Laboratory.

[16] Rockström, J. et al. (2017). A roadmap for rapid decarbonization. Science, **355**(6331), 1269–1271.

[17] International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook 2015*. Paris: IEA.

[18] Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. London: H.M. Treasury.

[19] Macdonald, D. (2009). *The failure of Canadian climate change policy: veto power, absent leadership and institutional weakness.* Chapter 11 in D.L. VanNijnatten and R. Boardman, *Canadian Environmental Policy and Politics*, 3rd edition.

[20] Harrison, K. (2012). A tale of two taxes: The fate of environmental tax reform in Canada. *Review of Policy Research*, **29**(3), 383–407.

[21] Patwardhan, A. et al. (2012). *Transitions in Energy Systems.* Chapter 16 in T.B. Johansson et al., *Global Energy Assessment—Toward a Sustainable Future.* Cambridge, New York: Cambridge University Press, and Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.

[22] Binder, M., Janicke, M., and Petschow, U., eds. (2013). *Green Industrial Restructuring: International Case Studies and Theoretical Implications*. Berlin: Springer-Verlag.

[23] Geels, F. (2005). T*echnological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis.* Cheltenham: Edward Elgar.

[24] Smith, A., Stirling, A., and Berkhout, F. (2005). The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy*, **34**(10), 1491–1510.

[25] Meadowcroft, J. (2011). Engaging with the politics of sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, **1**(1), 70–75.

[26] Foxon, T. (2013). Transition pathways to a low carbon electricity future. *Energy Policy*, **52**, 10–24.

[27] Macdonald, D. (2014). *Allocating greenhouse gas emission reductions among sectors and jurisdictions in federated systems: the European Union, Germany and Canada*. Chapter 9 in I. Weibust and J. Meadowcroft, J., eds. *Multilevel environmental governance: managing water and climate change in Europe and North America*. Cheltenham: Edward Elgar.

[28] Bataille, C. et al. (2007). How malleable are the greenhouse gas emission intensities of the G7 nations? *The Energy Journal*, **28**(1), 145–169.

[29] L'énergie « primaire » comprend l'énergie récupérée pour répondre à la demande humaine de combustibles et d'électricité. Cela comprend notamment (a) les combustibles fossiles récupérés, (b) la biomasse utilisée pour la production de combustible ou d'électricité, (c) la chaleur qui peut être produite à partir de l'uranium récupéré lorsqu'il est consommé dans un réacteur Candu, (d) l'hydroélectricité produite en assumant une efficacité de conversion de 95 %, et (e) l'énergie éolienne et solaire produite en assumant une efficacité de 100 %.

[30] http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/canada-uranium.aspx

[31] International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook 2015*. Paris: IEA.

[32] Ressources naturelles Canada. (2016). *Cahier d'information sur l'énergie 2016–2017.*

[33] Images de CESAR (www.cesarnet.ca) utilisant les données provenant de Canadian Energy Systems Simulator (CanESS, whatIf? Technologies Inc, Ottawa).

[34] Smil, V. (2017). *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. Santa Barbara: Praeger.

[35] À noter : l'efficacité de conversion énergie-électricité diffèrent selon la source de carburant. Dans la figure 2.2, nous supposons une efficacité de 29% pour la conversion de la chaleur générée par l'uranium en électricité et une efficacité de 95% pour la conversion de l'énergie hydroélectrique en électricité. Dans l'ensemble, l'énergie hydroélectrique a contribué à 1047 PJ d'électricité alors que le nucléaire fournissait 347 PJ en 2015.

[36] Comprend l'exploitation minière, la fabrication, l'agriculture, la foresterie, etc.

[37] Les valeurs présentées ici ont été produites par la Canadian Energy Systems Analysus Research (CESAR) Initiative (http://www.cesarnet.ca) à l'Université de Calgary en utilisant le modèle Canadian Energy Systems Simulator (CanESS) (http://www.whatiftechnologies.com/caness) (Ver. 7) de whatIf? Technologies Inc (Ottawa, ON). Le modèle CanESS est un modèle de simulation des flux et des stocks à la fine pointe de la technologie de Canadian energy systems qui regroupe et présente les données du gouvernement de 1990 à aujourd'hui.

[38] éq.-CO_2 fait référence à « équivalent dioxyde de carbone » qui exprime l'impact des gaz à effet de serre sur le réchauffement en termes de quantité équivalente de CO_2.

[39] **A:** www.cesarnet.ca utilisant les données provenant de CanESS (whatIf? Technologies Inc). **B:** Environnement et Changement climatique Canada. (2016). Rapport d'inventaire national 1990-2014: Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. Il est à noter que les données pour la Colombie-Britannique incluent également les territoires.

[40] http://www.deepdecarbonisation.org/

[41] Le Conseil des académies canadiennes. (2015). *Solutions technologiques et politiques pour un système énergétique à faibles émissions au Canada. Le comité d'experts sur la consommation énergétique et les changements climatiques.* Ottawa.

[42] Trottier Energy Futures Project Partners. (2016). Canada's Challenge & Opportunity: *Transformations for Major Reductions in Greenhouse Gas Emissions*. Full Technical Report and Modelling Results. Ottawa, Vancouver.

[43] Jaccard, M., Hein, M., and Vass, T. (2016). *Is Win-Win Possible? Can Canada's Government Achieve Its Paris Commitment… and Get Re-Elected?* ERMG, School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University.

[44] Environnement et Changement climatique Canada. (2016). *Stratégie canadienne de développement à faible émission de gaz à effet de serre à long terme pour le milieu du siècle.* Gatineau : Gouvernement du Canada

[45] Bataille, C. (2016). *Review of Canadian Deep GHG Emission Reduction Studies: Some Near-Term Lessons for Stakeholders and Policy Makers: White Paper Draft V.2*. Source: http://bit.ly/2mSS2f6

[46] La Banque mondiale. (2016). http://donnees.banquemondiale.org/EG.USE.PCAP.KG.OE?year_high_desc=true

[47] Office de l'efficacité énergétique. (2016). *Évolution de l'efficacité énergétique au Canada de 1990 à 2013.* Ottawa : Ressources naturelles Canada.

[48] Bruckner, T. et al. (2014). Energy Systems. Chapter 7 in O. Edenhofer et al., *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, New York: Cambridge University Press. p. 558.

[49] International Energy Agency. (2016). *Energy, Climate Change and Environment: 2016 Insights*. Paris: IEA. p. 63.

[50] International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook 2015*. Paris: IEA.

[51] McKinsey & Company. (2009). *Pathways to a Low-Carbon Economy: Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve*. Exhibit 1.

[52] Bashmakov, I. (2009). Resource of energy efficiency in Russia: scale, costs, and benefits. *Energy Efficiency*, **2**(4), 369.

[53] Lovins, A.B. et al. (2013). *Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era*. J. Carey, ed. Rocky Mountain Institute.

[54] http://bit.ly/2mOetDc

[55] Gulden, R.H. and Entz, M.H. (20050). A comparison of two Manitoba farm with contrasting tillage systems. *Research paper, University of Manitoba*. http://www.umanitoba.ca/outreach/naturalagriculture/articles/energy.html

[56] Delgado-Gomes, V., Oliveira-Lima, J.A., and Martins, J.F. (2017). Energy consumption awareness in manufacturing and production systems. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, **30**(1), 84–95.

[57] CRSH. (2017). *L'avancement des connaissances sur la mise en valeur concertée et durable des ressources naturelles et des sources d'énergie au Canada : Perspectives et possibilités de recherche et de mobilisation des connaissances.*

[58] Association négaWatt. (2014). *Rapport technique du scénario négaWatt 2011–2050.*

[59] Meadowcroft, J. (2016). Let's Get This Transition Moving! *Canadian Public Policy*, **42**(s1), S10–S17.

[60] Deutscher Wetterdienst. (2017). http://www.dwd.de/EN/ourservices/cos/bavaria.html?nn=495490

[61] Gouvernement du Canada. (2017). Données des stations pour le calcul des normales climatiques au Canada de 1981 à 2010. http://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/results_1981_2010_f.html?searchType=stnProv&lstProvince=SK&txtCentralLatMin=0&txtCentralLatSec=0&txtCentralLongMin=0&txtCentralLongSec=0&stnID=3007&dispBack=0

[62] GE Energy Consulting. (2016). *Pan-Canadian Wind Integration Study: Final Report.*

[63] Dunsky Consulting. (2016). *Prince Edward Island Provincial Energy Strategy (Second Draft).*

[64] McKenney, D.W. et al. (2008). Spatial insolation models for photovoltaic energy in Canada. *Solar Energy*, **82**(11), 1049–1061.

[65] Ces données proviennent de l'Atlas canadien d'énergie éolienne sous forme de grille vectorielle transformée ensuite en unité de W/m (http://www.windatlas.ca/ index-fr.php).

[66] Zhou, X. et al. (2015). Chance-constrained two-stage fractional optimization for planning regional energy systems in British Columbia, Canada. *Applied Energy*, **154**, 663–677.

[67] Centre for Environmental Design of Renewable Energy. (2010). *Centre for Environmental Design of Renewable Energy*.

[68] Lin, Q.G. et al. (2010). Optimization of energy systems under changing policies of greenhouse-gas emission control: A study for the Province of Saskatchewan, Canada. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, **32**(17), 1587–1602.

[69] Canton, M., and Lucotte, M. (2015). *L'hydroélectricité, la production énergétique par excellence au Canada bien que pas tout à fait verte.* Pages 90–97 in D. Sharma and C. Potvin, *Agir sur les changements climatiques : vers un dialogue élargi à la société civile canadienne.* Montréal: Dialogues pour un Canada vert.

[70] http://news.harvard.edu/gazette/story/2015/09/poison-in-arctic-and-human-cost-of-clean-energy/

[71] Miller, D., Evans, S., and Sharifi, F. (2015). *Transitioning to a Renewable Energy Economy That Respects Nature and Supports Community Well-being*. Pages 124–129 in D. Sharma and C. Potvin, Acting on Climate Change: Extending the Dialogue Among Canadians. Montreal: Sustainable Canada Dialogues.

[72] http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon_footprint/

[73] http://www.sararegistry.gc.ca/species/schedules_e.cfm?id=1

[74] Urban, M.C. (2015). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, **348**(6234), 571–573.

[75] Kupferberg, S.J. et al. (2012). Effects of flow regimes altered by dams on survival, population declines, and range-wide losses of California river-breeding frogs. *Conservation Biology*, **26**(3), 513–524.

[76] Abbasi, T., and Abbasi, S.A. (2011). Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**(4), 2134–2143.

[77] Palla, A. et al. (2016). An Integrated GIS Approach to Assess the Mini Hydropower Potential. *Water Resources Management*, **30**(9), 2979–2996.

[78] Voir, par ex. les normes développées par le Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP). http://bbop.forest-trends.org

[79] Pour contrebalancer un dommage environnemental, une « compensation » assure un gain compensateur ailleurs. Pour être significatif, ce gain doit s'additionner à ce qui se serait produit de toute façon.

[80] Maron, M. (2015). Conservation: Stop misuse of biodiversity offsets. *Nature*, **523**(7561), 401–403.

[81] Canton, M., and Lucotte, M. (2015). *L'hydroélectricité, la production énergétique par excellence au Canada bien que pas tout à fait verte.* Pages 90–97 in D. Sharma and C. Potvin, *Agir sur les changements climatiques : vers un dialogue élargi à la société civile canadienne.* Montréal: Dialogues pour un Canada vert.

[82] May, R. et al. (2015). Mitigating wind-turbine induced avian mortality: Sensory, aerodynamic and cognitive constraints and options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **42**, 170–181.

[83] http://analysis.energystorageupdate.com/market-outlook/pjm-leads-us-fast-frequency-regulation-market

[84] http://www.greenenergyfutures.ca/episode/148-summerside-community-wind.energy

[85] explorer.ca

[86] Elliott, D., ed. (2003). *Energy, Society and Environment*. Abingdon: Routledge.

[87] Sheppard, S., Pond, E., and Campbell, C. (2008). *Low-carbon, attractive, resilient communities: New imperatives for sustainable retrofitting of existing neighbourhoods*. Climate Change and Urban Design – Third Annual Congress of the Council for European Urbanism. Oslo.

[88] Hinrichs-Rahlwes, R. (2015). *Energiewende made in Germany*. German Renewable Energy Federation Presentation. Berlin.

[89] Morris, C., and Pehnt, M. (2012–2017). *Energy Transition: The German Energiewende*. R. Bertram, S. Groll, and K. Glastra, eds. Heinrich Böll Foundation.

[90] https://www.unendlich-viel-energie.de/media-library/charts-and-data/energy-cooperatives-in-germany-a-success-story

[91] Laxer, G. (2015). *After the Sands: Energy and Ecological Security for Canadians*. S. White and M.-E. Wilcox, eds. Toronto: Lorimer.

[92] http://www.nccsolar.com/about/

[93] https://www.crcresearch.org/research-tools/archive/nuclear-waste-management

[94] Dale, A., and Newman, L. (2006). An online synchronous e-Dialogue Series on nuclear waste management in Canada. *Applied Environmental Education and Communications*, **5**, 243–251.

[95] Ho, M.K.M., Yeoh, G.H., and Braoudakis, G. (2013). *Molten salt reactors*. Chapter in A. Méndez-Vilas, ed., *Materials and processes for energy: communicating current research and technological developments*. Formatex Research Centre.

[96] Barrington-Leigh, C., and Ouliaris, M. (2016). The renewable energy landscape in Canada: A spatial analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. In Press.

[97] Bataille, C. (2016). *Review of Canadian Deep GHG Emission Reduction Studies: Some Near-Term Lessons for Stakeholders and Policy Makers: White Paper Draft V.2*.
Source: http://bit.ly/2mSS2f6

[98] Algieri, B. (2014). The influence of biofuels, economic and financial factors on daily returns of commodity futures prices. *Energy Policy*, **69**, 227–247.

[99] Finkbeiner, M. (2014). Indirect land use change—help beyond the hype? *Biomass & Bioenergy*, **62**, 218–221.

[100] Browne, T.C. (2011). An Economic Analysis of Energy, Fuels and Chemicals from Forest Biomass. *Cellulose Chemistry and Technology*, **45**(7–8), 455–460.

[101] Gold, S., and Seuring, S. (2011). Supply chain and logistics issues of bio-energy production. *Journal of Cleaner Production*, **19**(1), 32–42.

[102] Stuart, P. (2006). The forest biorefinery: Survival strategy for Canada's pulp and paper sector? *Pulp & Paper Canada*, **107**(6), 13–16.

[103] Mabee, W.E. (2013). Progress in the Canadian biorefining sector. *Biofuels*, **4**(4), 437–452.

[104] Mansuy, N. et al. (2017). Estimating the spatial distribution and locating hotspots of forest biomass from harvest residues and fire-damaged stands in Canada's managed forests. *Biomass and Bioenergy*, **97**, 90–99.

[105] Laan, T., Litman, T.A., and Steenblik, R. (2009). Biofuels—at what cost? *Government support for ethanol and biodiesel in Canada.* Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.

[106] O'Connor, D. (2011). *Biodiesel GHG emissions, past, present, and future*. Report T39-T1a to IEA Bioenergy Task 39.

[107] (S&T)2 Consultants Inc. (2009). *An examination of the potential for improving carbon/energy balance of bioethanol*. Report T39-TR1 to IEA Bioenergy Task 39.

[108] US Energy Information Administration. (2016). https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.cfm

[109] Brandt, A.R. et al. (2014). Methane leaks from North American natural gas systems. *Science*, **343**(6172), 733–735.

[110] Howarth, R.W. (2015). Methane emissions and climatic warming risk from hydraulic fracturing and shale gas development: implications for policy. *Energy and Emissions Control Technologies*, **3**, 45–54.

[111] Lavoie, TN. et al. (2017). Assessing the Methane Emissions from Natural Gas-Fired Power Plants and Oil Refineries. *Environmental Science & Technology*, **51**(6), 3373–3381.

[112] Shafiei, E. et al. (2016). Analysis of supply-push strategies governing the transition to biofuel vehicles in a market-oriented renewable energy system. *Energy*, **94**, 409–421.

[113] Hacatoglu, K., McLellan, P.J., and Layzell, D.B. (2010). Production of bio-synthetic natural gas in Canada. *Environmental Science & Technology*, **44**(6), 2183–2188.

[114] Matzen, M., and Demirel, Y. (2016). Methanol and dimethyl ether from renewable hydrogen and carbon dioxide: Alternative fuels production and life-cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, **139**, 1068–1077.

[115] http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/carbon-capture-squamish-1.3263855

[116] Huang, H., Pang, K., and Tang, Y. (2014). Effects of Exchange Rates on Employment in Canada. *Canadian Public Policy*, **40**(4), 339–352.

[117] Statistique Canada. (2016). CANSIM Tableau 379-0029. http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26;jsessionid=3E48C241C2CF0D1C-6F443751A3F8A418?id=3790029&lang=fra&retrLang=fra

[118] International Energy Agency. (2016). *Energy Policies of IEA Countries: Canada 2015 Review*. Paris: IEA. p. 125–130.

[119] Wignaraja, G., ed. (2003). *Competitive analysis and strategy.* Pages 15–60 in Competitiveness Strategy in Developing Countries. New York: Routledge.

[120] Beale, E. et al. (2015). *Provincial Carbon Pricing and Competitiveness Pressures: Guidelines for Business and Policymakers*. Canada's Ecofiscal Commission.

[121] Bruvoll, A., and Larsen, B.M. (2004). Greenhouse gas emissions in Norway: do carbon taxes work? *Energy Policy*, **32**(4), 493–505.

[122] Rivers, N., and Schaufele, B. (2015). The Effect of Carbon Taxes on Agricultural Trade. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, **63**(2), 235–257.

[123] Bernard, A.L., Fischer, C., and Fox, A.K. (2007). Is there a rationale for output-based rebating of environmental levies? *Resource and Energy Economics*, **29**(2), 83–101.

[124] SolAbility. (2016). *The Global Sustainable Competitiveness Index*. Zurich, Seoul.

[125] http://www.theglobeandmail.com/news/national/canada-in-middle-of-the-pack-in-global-poll-on-environmental-concern/article24025494/

[126] Aragón-Correa, J.A. et al. (2008). Environmental strategy and performance in small firms: A resource-based perspective. Journal of Environmental Management, **86**(1), 88–103.

[127] Lefebvre, E., Lefebvre, L. A., and Talbot, S. (2001). Life cycle design approach in SMEs. T*he International Journal of Life Cycle Assessment*, **6**(5), 273–280.

[128] Bekk, M. et al. (2016). Greening the competitive advantage: antecedents and consequences of green brand equity. *Quality & Quantity*, **50**(4), 1727–1746.

[129] Patton, D., and Worthington, I. (2003). SMEs and environmental regulations: a study of the UK screen-printing sector. *Environment and Planning C: Government and Policy*, **21**(4), 549–566.

[130] Slawinski, N., and Bansal, P. (2012). A matter of time: Temporal perspectives in organizational responses to climate change. *Organization Studies*, **33**(11), 1537–1563.

[131] http://www.cosia.ca/

[132] Henriques, I., and Sadorsky, P. (1999). The relationship between environmental commitment and managerial perceptions of stakeholder importance. *Academy of Management Journal*, **42**(1), 87–99.

[133] Dixon-Fowler, H.R. et al. (2013). Beyond "does it pay to be green?" A meta-analysis of moderators of the CEP–CFP relationship. *Journal of Business Ethics*, **112**(2), 353–366.

[134] *Le Conseil des académies canadiennes. (2013). Un paradoxe dissipé : Pourquoi le Canada est fort en recherche et faible en innovation*. Ottawa : Le Conseil des académies canadiennes.

[135] Fagerberg, J. (2005). *Innovation: A Guide to the literature.* Chapter 1 in J. Fagerberg, D.C. Mowery, and R.R. Nelson, The Oxford Handbook of Innovation. Oxford: Oxford University Press.

[136] Nemet, G.F. (2009). Demand-Pull, Technology-Push, and Government-Led Incentives for Non-Incremental Technical Change. *Research Policy*, **38**(5), 700–709.

[137] Foxon, T., and Pearson, P. (2008). Overcoming barriers to innovation and diffusion of cleaner technologies: some features of a sustainable innovation policy regime. *Journal of Cleaner Production*, **16**(1), S148–S161.

[138] Frankfurt School-UNEP Centre. (2016). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2016*.

[139] Ressources naturelles Canada. (2012–2017). *Cahiers d'information sur l'énergie 2012–2013, 2013–2014, 2014–2015 et 2016–2017*.

[140] http://www.conferenceboard.ca/commentaries/oe/15-09-29/canada_s_competitiveness_performance_cautious_optimism_but_room_for_improvement.aspx

[141] Jenkins, T. et al. (2010). *Innovation Canada: Le pouvoir d'agir.* Examen du soutien fédéral de la recherche-développement – Rapport final du groupe d'experts.

[142] Bak, C. (2017). *Generating growth from innovation for the low-carbon economy: Exploring Safeguards in Finance and Regulation*. CIGI Papers No. 117. Waterloo: Centre for International Governance Innovation.

[143] Haley, B. et al. (2016). *Accelerating Clean Innovation in Canada's Energy and Natural Resource Sectors–The Role of Public Policy and Institutions*. A Report to the Social Sciences and Humanities Research Council for Knowledge Synthesis Grant May 13th, 2016.

[144] Bak, C. (2016). *Growth, Innovation and COP21.* Centre for International Governance Innovation, Waterloo.

[145] Mazzucato, M. (2016). From market fixing to market-creating: a new framework for innovation policy. *Industry and Innovation*, **23**(2), 140–156.

[146] http://www.budget.gc.ca/2017/home-accueil-en.html

[147] Ressources naturelles Canada. (2012). *Comparative Innovation and Energy Statistics*. Rapport interne.

[148] Etzion, D. et al. (2017). Unleashing sustainability transformations through robust action. *Journal of Cleaner Production*, **140**, 167–178.

[149] Eztion, D. et al. (2016). Worldly Strategy for the Global Climate. *Working paper*.

[150] Durufle, G., and Carbonneau, L. (2016). *Forging a Cleaner and More Innovative Economy in Canada: The challenges of the financing chain to foster innovation and growth in the cleantech sector*. Cycle Capital Management, Sustainable Development Technology Canada, Ecotech Québec.

[151] http://www.canadiansolar.com/

[152] Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie. (2012). Définir notre avenir : vers une économie faible en carbone. Canada.

[153] McKinsey & Co. (2012). *Possibilités offertes par la technologie canadienne de l'énergie sur les marchés mondiaux.* Une analyse commandée par RNCan.

[154] Analytica Advisors. (2016). 2015 Canadian Clean Technology Industry Report. Ottawa, p. 55. *Information about the Canadian Clean Technology industry is derived from the 2016 Canadian Clean Technology Report authored by and copyright in which is owned by Analytica Advisors Inc. For a copy of the complete report or for permission to license any such information included in this publication, please contact Analytica Advisors at info@analytica-advisors.com.*

[155] Analytica Advisors. (2016). *2015 Canadian Clean Technology Industry Report*. Ottawa, p. 83.

[156] Analytica Advisors. (2016). *2015 Canadian Clean Technology Industry Report*. Ottawa, p. 101.

[157] Kempener, R., and Neumann, F. (2014). *Wave Energy Technology Brief*. International Renewable Energy Agency.

[158] Head, I.M., Gray, N.D., and Larter, S. (2014). Life in the slow lane; biogeochemistry of biodegraded petroleum containing reservoirs and implications for energy recovery and carbon management. *Frontiers in Microbiology*, **5**, 566.

[159] Tester, J.W. et al. (2006). *The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.

[160] Le Conseil des académies canadiennes. (2014). *Promouvoir la durabilité dans un monde interconnecté : Le comité d'experts sur le potentiel des applications nouvelles et novatrices des technologies de l'information et des communications (TIC) pour écologiser le Canada.*

[161] La vallée de la mort est une expression commune faisant référence à la difficulté de financer les nouvelles entreprises en innovation. Weyant, J.P. (2011). Accelerating the development and diffusion of new energy technologies: Beyond the "valley of death". *Energy Economics*, **33**(4), 674–682.

[162] Frankfurt School-UNEP Centre, and Bloomberg New Energy Finance. (2017). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2017.*

[163] OECD. (2016). http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=FFS_CAN

[164] Gouvernement du Canada. (2016). *Le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques : Plan canadien de lutte contre les changements climatiques et de croissance économique.* Annexe 1.

[165] Cumming, D., Henriques, I., and Sadorsky, P. (2016). 'Cleantech' venture capital around the world. *International Review of Financial Analysis*, **44**, 86–97.

[166] Les obligations vertes sont similaires aux autres obligations du gouvernement (par ex. les obligations d'épargne du Canada), mais l'accent est mis sur l'utilisation de l'argent récolté par la vente des obligations pour financer les projets sobres en carbone et axés sur l'environnement.

[167] La Banque mondiale. (2015). *Obligations vertes ou comment attirer de nouveaux financements privés en faveur du climat.* Note de la Banque mondiale.

[168] http://business.financialpost.com/news/fp-street/ontario-prices-second-round-of-green-bonds-750-million-at-1-95-for-seven-years

[169] http://www.finances.gouv.qc.ca/en/RI_GB_Green_Bonds.asp

[170] Schneider, N. (2015). Revisiting Divestment. *Hastings Law Journal*, **66**, 589–615.

[171] https://www.cdp.net/en

[172] Arabella Advisors. (2016). *The global fossil fuel divestment and clean energy investment movement.*

[173] Griffin, P.A. et al. (2015). Science and the stock market: Investors' recognition of unburnable carbon. *Energy Economics*, **52**(A), 1–12.

[174] Lecocq, F., and Shalizi, Z. (2014). The economics of targeted mitigation in infrastructure. *Climate Policy*, **14**(2), 187–208.

[175] UNFCCC. (2007). *Investment and Financial Flows to Address Climate Change.*

[176] Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie. (2011). *Le prix à payer : répercussion économiques du changement climatique pour le Canada.* Rapport 04.

[177] Melton, N. et al. (2012). *Investment and lock-in analysis for Canada: Low-carbon scenarios for 2050 – Final Report.* Navius Research Report prepared for National Round Table on the Environment and the Economy.

[178] Natural Resources Canada. (2016). *Energy Fact Book 2016–2017.*

[179] Petroleum Labour Market Information. (2015). *HR Trends and Insights: Falling Oil Prices and Decreased Industry Spending – Employment Impacts.* These number are based on the calculation that the industry provided 535,000 direct and indirect jobs in Canada in 2015, a number that is based on Statistics Canada's input-output model, which some believe has a generous estimate of the multiplier effect on employment.

[180] International Energy Agency. (2016). *Energy Policies of IEA Countries: Canada 2015 Review*. Paris: IEA.

[181] Statistiques Canada. (2017). CANSIM Tableau 383-0031. http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?id=3830031&lang=fra&retrLang=fra

[182] Hildebrand, L. (2016). *Workers' Climate Plan Report: A Blueprint for Sustainable Jobs and Energy*. Iron and Earth, and Energy Futures Lab.

[183] Morris, C., and Pehnt, M. (2012–2017). *Energy Transition: The German Energiewende*. R. Bertram, S. Groll, and K. Glastra, eds. Heinrich Böll Foundation.

[184] Lucon, O. et. al. (2014). *Bâtiments*. In O. Edenhofer, Changements climatiques 2014: Atténuation du changement climatique. *Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.* Cambridge and New York: Cambridge University Press.

[185] Garrett-Peltier, H. (2017). Green versus brown: Comparing the employment impacts of energyefficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model. *Economic Modelling*, **61**, 439–447.

[186] Johansson, T.B. et al., eds. (2012). *Global Energy Assessment: Towards a Sustainable Future*. International Institute for Applied Systems Analysis. Cambridge: Cambridge University Press.

[187] https://www.saskatchewan.ca/business/invest-and-economic-development/key-economic-sectors

[188] Alberta Government. (2016). *Highlights of the Alberta Economy*.

[189] http://business.financialpost.com/executive/looking-beyond-oil-these-three-industries-will-drive-growth-in-alberta

[190] Verge, R. (2010). The Fishery of the Future: A Troubled History. *Newfoundland Quarterly*, **103**(3), 33–37.

[191] Government of Newfoundland and Labrador. (2016). *The Economy 2016.*

[192] http://www.btcrd.gov.nl.ca/sectordev/ocean.html

[193] Russel, D., and Jordan, A. (2009). Joining up or pulling apart? The use of appraisal to coordinate policy making for sustainable development. *Environment and Planning A*, **41**(5), 1201–1216.

[194] International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook 2015*. Paris: IEA.

[195] Greenwood, D. (2012). The challenge of policy coordination for sustainable sociotechnical transitions: the case of the zero-carbon homes agenda in England. *Environment and Planning C: Government and Policy*, **30**(1), 162–179.

[196] Environnement et Changement climatique Canada. (2016). *Rapport d'inventaire national 1990-2014: Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada.*

[197] http://bit.ly/2otkmFy

[198] Bataille, C. (2016). *Review of Canadian Deep GHG Emission Reduction Studies: Some Near-Term Lessons for Stakeholders and Policy Makers: White Paper Draft V.2*. Source: http://bit.ly/2mSS2f6

[199] Environment and Climate Change Canada. (2016). *Canada's Mid-Century Long-Term Low-Greenhouse Gas Development Strategy*. Gatineau: Government of Canada.

[200] Government of Canada. (2016). *Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change: Canada's Plan to Address Climate Change and Grow the Economy.*

[201] Government of Alberta. (2008). *Alberta's 2008 Climate Change Strategy.*

[202] Government of Canada. (2015). Federal, provincial, and territorial relations. https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/briefing/federal-provincial-territorial-relations.html#ep

[203] Government of British Columbia. (2008). *Climate Action for the 21st Century.*

[204] Government of Manitoba. (2015). *Manitoba's Climate Change and Green Economy Action Plan.*

[205] Government of Nova Scotia. (2015). *Our Electricity Future: Nova Scotia's Electricity Plan 2015–2040.*

[206] Government of Northwest Territories. (2015). *Northwest Territories Greenhouse Gas Emission Summary Report 2015*.

[207] http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/engagement-quebec-en.asp

[208] Environment and Climate Change Canada. (2016). *Canada's Mid-Century Long-Term Low-Greenhouse Gas Development Strategy.* Gatineau: Government of Canada.

[209] Values from 1990 to 2014: Environment and Climate Change Canada. (2016). *National Inventory Report 1990–2014: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada.*

[210] https://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/

[211] https://www.iea.org/policiesandmeasures/energyefficiency/

[212] Hughes, L., and Urpelainen, J. (2015). Interests, institutions, and climate policy: Explaining the choice of policy instruments for the energy sector. *Environmental Science and Policy*, **54**, 52–63.

[213] Jaccard, M., Hein, M., and Vass, T. (2016). *Is Win-Win Possible? Can Canada's Government Achieve Its Paris Commitment… and Get Re-Elected?* ERMG, School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University.

[214] Hughes, L., and Urpelainen, J. (2015). Interests, institutions, and climate policy: Explaining the choice of policy instruments for the energy sector. *Environmental Science & Policy*, **54**, 52–63.

[215] http://www.budget.gc.ca/2017/home-accueil-en.html

[216] Levin, K. et al. (2014). Overcoming the tragedy of super wicked problems: constraining our future selves to ameliorate global climate change. *Policy Sciences*, **45**(2), 123–152.

[217] Vischer, R.K. (2001). Subsidiarity as a principle of governance: beyond devolution. *Indiana Law Review*, **35**, 103–142.

[218] Martinez de Anguita, P., Angeles Martın, M., and Clare, A. (2014). Environmental subsidiarity as a guiding principle for forestry governance: Application to payment for ecosystem services and REDD+ architecture. *Journal of Agriculture and Environmental Ethics*, **27**, 617–631.

[219] Moser, P. (2013). *100% renewable energy regions in Germany.* deENet/IdE Institute decentralised Energy Technologies Workshop presentation.

[220] Susskind, L., and Cruikshank, J. (1987). *Breaking the impasse: Consensual approaches to resolving public disputes.* New York: Basic Books.

[221] Ansell, C., and Gash, A. (2008). Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, **18**(4), 543–571.

[222] Dale, A. (2015). Prioritizing Policy. Protecting nature by ensuring that the law is for the land. *Alternatives Journal*, **41**(1), 77–80.

[223] Dale, A., Burch, S., and Robinson, J. Forthcoming. *Multi-level governance of sustainability transitions in Canada: Policy alignment, innovation and evaluation*. In S. Hughes, E. Chu and S. Mason, *Climate Change in Cities: Innovations in Multi-Level Governance*. Springer.

[224] Energy Dialogue Group. (2004). *Letter to President of the Treasury Board.*

[225] Ragan, C. et al. (2015). *The Way Forward: A Practical Approach to Reducing Canada's Greenhouse Gas Emissions.* Canada's EcoFiscal Commission.

[226] May, P.J. (1992). Policy learning and failure. *Journal of Public Policy*, **12**(4), 331–354.

[227] Sabel, C.H., and Zeitlin, J. (2008). Learning from difference: the new architecture of experimentalist governance in the EU. *European Law Journal*, **14**(3), 271–327.

[228] Friends of the Oldman River Society v. Canada (Minister of Transport), [1992] 1 R.C.S. 3.

[229] Gore, C.D. (2010). The limits and opportunities of networks: Municipalities and Canadian climate change policy. *Review of Policy Research*, 27(1), 27–46.

[230] 114957 Canada Ltée (Spraytech, Société d'arrosage) v. Hudson (Town), [2001] 2 S.C.R. 241.

[231] Dale, A. 2001. *At the Edge: Sustainable development in the 21st Century.* Vancouver: UBC Press

[232] Dale, A. (2008). *Governance for sustainable development: As if it mattered?* Pages 54-71 in Innovation, Science and Environment 2009-2010. Special Edition—Charting Sustainable Development in Canada 1987-2007. Montreal: McGill-Queen's University Press.

[233] Wüstenhagen, R., Wolsink, M., and Bürer, M.J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, **35**(5), 2683–2691.

[234] Avelino, F., and Wittmayer, J.M. (2016). Shifting power relations in sustainability transitions: a multi-actor perspective. *Journal of Environmental Policy & Planning*, **18**(5), 628–649.

[235] Apostol, D. et al., eds. (2016). *The Renewable Energy Landscape: Preserving Scenic Values in our Sustainable Future.* London, New York: Routledge.

[236] Elliott, D., ed. (2003). *Energy, Society and Environment.* Abingdon: Routledge.

[237] Bollinger, B., and Gillingham, K. (2012). Peer effects in the diffusion of solar photovoltaic panels. *Marketing Science*, **31**(6), 900–912.

[238] Salter, J. (2015). *Energy in Place: A Case Study and Mental Models Analysis of Engagement in Community Scale Energy Planning.* PhD thesis. University of British Columbia.

[239] Senbel, M., Ngo, V.D., and Blair, E. (2014). Social mobilization of climate change: University students conserving energy through multiple pathways for peer engagement. *Journal of Environmental Psychology*, **38**, 84–93.

[240] Vine, E.L., and Jones, C.M. (2016). Competition, carbon, and conservation: Assessing the energy savings potential of energy efficiency competitions. *Energy Research & Social Science*, **19**, 158–176.

[241] Sheppard, S.R.J. et al. (2015). *Special Report—A Synthesis of PICS-Funded Social Mobilization Research.* Prepared for Pacific Institute for Climate Solutions (PICS). Climate Change: Impacts & Responses Conference, Victoria, BC.

[242] Scurr, C., and Beaudry, J. (2011). *Final Report: Gap Analysis First Nations Climate Change Adaptation South of 60 Degrees Latitude.* Assembly of First Nations.

[243] Mäki-Opas, T.E. et al. (2016). The contribution of travel-related urban zones, cycling and pedestrian networks and green space to commuting physical activity among adults—a cross-sectional population-based study using geographical information systems. *BMC Public Health*, **16**(1), 760.

[244] Nagel, J., Dietz, T., and Broadbent, J. (2010). *Workshop on Sociological Perspectives on Global Climate Change.*National Science Foundation, and American Sociological Association.

[245] Teelucksingh, C. et al. (2016). Environmental justice in the environmental non-governmental organization landscape of Toronto (Canada). *The Canadian Geographer*, 60(3), 381–393.

[246] Bouchard-Bouliane, E. (2015). *The Role of Workers in the Transition to a Low-carbon Economy.* Pages 65–68 in D. Sharma and C. Potvin, eds. *Acting on Climate Change: Extending the Dialogue Among Canadians*. Montreal: Sustainable Canada Dialogues.

[247] Stern, N. (2006). *The Economics of Climate Change: The Stern Review.* London: H.M. Treasury.

[248] Metcalf, G., and Weisbach, D. (2009). The Design of a Carbon Tax. *Harvard Environmental Law Review*, **33**, 499–556.

[249] Jaccard, M., Hein, M., and Vass, T. (2016). *Is Win-Win Possible? Can Canada's Government Achieve Its Paris Commitment… and Get Re-Elected?* ERMG, School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University.

[250] Jaccard, M., Hein, M., and Vass, T. (2016). *Is Win-Win Possible? Can Canada's Government Achieve Its Paris Commitment… and Get Re-Elected?* ERMG, School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University.

[251] Mazzucato, M. (2016). From market fixing to market-creating: a new framework for innovation policy. *Industry and Innovation*, **23**(2), 140–156.

[252] Rhodes, E., Axsen, J., and Jaccard, M. (2017). Exploring Citizen Support for Different Types of Climate Policy. *Ecological Economics*, **137**, 56–69.

[253] Jaccard, M., Hein, M., and Vass, T. (2016). *Is Win-Win Possible? Can Canada's Government Achieve Its Paris Commitment… and Get Re-Elected?* ERMG, School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University.

[254] Jordan, A., and Huitema, D. (2014). Policy innovation in a changing climate: sources, patterns and effects. *Global Environmental Change*, **29**, 387–394.

[255] Fisher, C., and Newell, R.G. (2008). Environmental and technology policies for climate mitigation. *Journal of Environmental Economics and Management*, **55**(2), 142–162.

[256] Kitzing, L., and Mitchell, C. (2014). *Achieving energy transitions: which RES policies are best applied when?* Energy Transitions International Conference. Joensuu: UEF Law School.

[257] Sperling, D., and Eggert, A. (2014). California's climate and energy policy for transportation. *Energy Strategy Reviews*, **5**, 88–94.

[258] Jordan, A., and Huitema, D. (2014). Policy innovation in a changing climate: sources, patterns and effects. *Global Environmental Change*, **29**, 387–394.

[259] Sandén, B.A. (2004). Technology path assessment for sustainable technology development. *Innovation: Management, Policy and Practice*, **6**(2), 316–330.

[260] For a discussion of technology-neutral versus technology-specific policy designs, see Sandén, B.A., and Azar, C. (2005). Near-term technology policies for long-term climate targets: economy wide versus technology specific approaches. *Energy Policy*, 33(12), 1557–1576.

[261] Azar, C., and Sandén, B.A. (2011). The elusive quest for technology-neutral policies. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 135–139.

[262] Apostol, D. et al., eds. (2016). *The Renewable Energy Landscape: Preserving Scenic Values in our Sustainable Future.* London, New York: Routledge.

[263] Smardon, R., and Pasqualetti, M.J. (2017). *Social acceptance of renewable energy landscapes*. Chapter 5 in D. Apostol et al., eds. *The Renewable Energy Landscape: Preserving Scenic Values in our Sustainable Future.* London, New York: Routledge.

[264] Lehmann, S. (2016). Sustainable urbanism: towards a framework for quality and optimal density? *Future Cities and Environment*, **2**(1), 8.

[265] Bollinger, B., and Gillingham, K. (2012). Peer Effects in the Diffusion of Solar Photovoltaic Panels. *Marketing Science*, **31**(6), 900–912.

[266] Torrie, R. (2015). *Some reflections on climate change response policy*. Pages 56–63 in D. Sharma and C. Potvin, *Acting on Climate Change: Extending the Dialogue Among Canadians.* Montreal: Sustainable Canada Dialogues.

[267] Haley, B. (2017). Designing the public sector to promote sustainability transitions: Institutional principles and a case study of ARPA-E. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, in press.

[268] Jegen, M., and Philion, X.D. (2017). Power and smart meters: A political perspective on the social acceptance of energy projects. *Canadian Public Administration*, **60**(1), 68–88.

[269] Grubler, A. (2012). Energy transitions research: Insights and cautionary tales. *Energy Policy*, **50**, 8–16.

[270] Miller, R.G., and Sorrell, S.R. (2014). The future of oil supply. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372, 20130179.

[271] Morozov, A. et al. (2014). *Design and optimization of a drive-train with two-speed transmission for electric delivery step van.* IEEE International Electric Vehicle Conference.

[272] Nahlik, M.J. et al. (2015). Goods Movement life cycle assessment for greenhouse gas reduction goals. *Journal of Industrial Ecology*, 20(2), 317–328.

[273] Lai, Y.-C., Hsu, C.-E., and Wu, M.-H. (2016). Routing Trains with Consideration of Congestion-Induced Link and Node Delay. *Journal of Transportation Engineering*, **142**(3).

[274] Islam, D.M.Z., Ricci, S., and Nelldal, B.-L. (2016). How to make modal shift from road to rail possible in the European transport market, as aspired to in the EU Transport White Paper 2011. *European Transport Research Review*, **8**(18).

[275] https://cleantechnica.com/2016/09/14/proterra-unveils-new-electric-buses-350-mile-range-catalyst-e2-series/

[276] Mordor Intelligence. (2016). *Global Automotive Electric Bus Market—Growth, Trends and Forecast*s (2016 - 2021). Mordor Intelligence LLP.

[277] MacKay, D.J.C. (2009). *Sustainable Energy—Without the Hot Air.* Cambridge: UIT.

[278] http://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/

[279] Sussams, L., and Leaton, J. (2008). *Expect the Unexpected: The Disruptive Power of Low-carbon Technology.* The Carbon Tracker Initiative.

[280] https://cleantechnica.com/2017/01/21/new-tesla-model-s-100d-option-features-335-mile-range/

[281] Schoitsch, E. (2016). *Autonomous Vehicles and Automated Driving Status, Perspectives and Societal Impact.* IDIMT 2016 Proceedings.

[282] https://www.technologyreview.com/s/601582/teslas-first-autonomous-vehicle-may-arrive-before-the-model-3/

[283] http://www.latimes.com/business/technology/la-fi-hy-tesla-google-20160701-snap-story.html

[284] Schoitsch, E. (2016). *Autonomous Vehicles and Automated Driving Status, Perspectives and Societal Impact.* IDIMT 2016 Proceedings.

[285] Ohnemous, M., and Perl, A. (2016). Shared Autonomous Vehicles: Catalyst of New Mobility for the Last Mile? *Built Environment*, **42**(4), 589–602.

[286] Jaccard, M., Hein, M., and Vass, T. (2016). *Is Win-Win Possible? Can Canada's Government Achieve Its Paris Commitment… and Get Re-Elected?* ERMG, School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University.

[287] http://policyoptions.irpp.org/magazines/january-2017/making-electric-vehicles-happen-in-canada

[288] McKinsey & Co. (2012). *Opportunities for Canadian energy technologies in global markets.* An analysis commissioned by NRCan.

[289] Wolinetz, M., and Axsen, J. (2017). How policy can build the plug-in electric vehicle market: Insights from the REspondent-based Preference and Constraints (REPAC) model. *Technological Forecasting & Social Change*, **117**, 238–250.

[290] Sperling, D., and Eggert, A. (2014). California's climate and energy policy for transportation. *Energy Strategy Reviews*, **5**, 88–94.

[291] Wadud, Z., MacKenzie, D., and Leiby, P. (2016). Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **86**, 1–18.

[292] Statistics Canada. (2017). https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/hlt-fst/pd-pl/Table.cfm?Lang=Eng&T=205&S=3&RPP=100

[293] Bulkeley, H., and Betsill, M.M. (2005). Rethinking sustainable cities: multilevel governance and the 'urban' politics of climate change. *Environmental Politics*, **14**(1), 42–63.

[294] Etzion, D., Mantere, S., and Mintzberg, H. *Worldly Strategy for the Global Climate. Draft.*

[295] Sheppard, S.R.J. et al. (2015). *Special Report—A Synthesis of PICS-Funded Social Mobilization Research.* Prepared for Pacific Institute for Climate Solutions (PICS). Climate Change: Impacts & Responses Conference, Victoria, BC.

[296] O'Brien, W. et al. (2010). The relationship between net energy use and the urban density of solar buildings. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, **37**(6), 1002–1021.

[297] Sheppard, S., Pond, E., and Campbell, C. (2008). *Low-carbon, attractive, resilient communities: New imperatives for sustainable retrofitting of existing neighbourhoods.* Climate Change and Urban Design – Third Annual Congress of the Council for European Urbanism. Oslo.

[298] Statistics Canada. (2017). https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/hlt-fst/pd-pl/Table.cfm?Lang=Eng&T=205&S=3&RPP=100

[299] The New Climate Economy. (2014). *Better Growth, Better Climate: The Synthesis Report.* The Global Commission on the Economy and Climate.

[300] Gilmour, B., and Warren, J. (2008). *The New District Energy: Building Blocks for Sustainable Community Development: On-Line Handbook.* Canadian Urban Institute.

[301] Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and *Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation.* Lawrence Berkeley National Laboratory.

[302] Nowak, D.J. et al. (2017). Residential building energy conservation and avoided power plant emissions by urban and community trees in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, **21**, 158–165.

[303] Alexander, C., and DePratto, B. (2014). *The Value of Urban Forests in Cities Across Canada. Special Report*. TD Economics.

[304] Architecture 2030. (2014). *Roadmap to Zero Emissions.* Submission to the Ad Hoc Working Group on the Durban Platform for Enhanced Action.

[305] Gouldson, A. et al. (2015). *Accelerating Low-Carbon Development in the World's Cities: Working Paper.* The New Climate Economy.

[306] http://www.canadianconsultingengineer.com/features/varennes-net-zero-library-award-excellence/

[307] http://vancouver.ca/green-vancouver/green-buildings.aspx

[308] http://www.ayosmarthome.com/ubc-pilot-home/

[309] http://archinect.com/news/article/149968916/world-s-tallest-wood-building-constructed-in-vancouver

[310] Natural Resources Canada. (2015). http://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/showTable.cfm?type=HB&sector=res&juris=00&rn=11&page=0

[311] Sandberg, N.H. et al. (2016). Dynamic Building Stock Modelling: Application to 11 European countries to support the energy efficiency and retrofit ambitions of the EU. *Energy and Buildings*, **132**, 26–38.

[312] http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=6c4c5e105564f410VgnVCM10000071d60f89RCRD

[313] Westerhoff, L. et al. (2017). *Motivating communities to retrofit their homes: The potential of thermal imaging in BC*. Victoria: Pacific Institute for Climate Solutions.

[314] Hay, G.J. et al. (2011). Geospatial Technologies to Improve Urban Energy Efficiency. *Remote Sensing*, **3**(7), 1380–1405.

[315] https://ucalgary.ca/utoday/issue/2017-03-21/award-winning-geography-research-project-gives-rise-myheat-inc

[316] Office of Energy Efficiency. (2016). *Energy Efficiency Trends in Canada: 1990 to 2013*. Ottawa: Natural Resources Canada.

[317] Pond, E. et al. (2011). *The Retrofit Challenge: Re-thinking Existing Residential Neighbourhoods for Deep Greenhouse Gas Reductions.* Collaborative for Advanced Landscape Planning, University of British Columbia.

[318] Morency, C., Verreault, H., and Demers, M. (2015). Identification of the minimum size of the shared-car fleet required to satisfy car-driving trips in Montreal. *Transportation*, **42**(3), 435–447.

[319] Martin, E.W, and Shaheen, S.A. (2011). Greenhouse Gas Emission Impacts of Carsharing in North America. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(4), 1074–1086.

[320] Klincevicius, M., Morency, C. and Trépanier, M. (2014). Assessing Impact of Carsharing on Household Car Ownership in Montreal, Quebec, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, **2416**, 48–55.

[321] Paquin, R.L. et al. (2014). Communauto: A Big Idea for a Big Market. *Case Research Journal,* **34**(3).

[322] Potvin, C. et al. (2015). *Acting on Climate Change: Solutions from Canadian Scholars*. Montreal: Sustainable Canada Dialogues.

[323] http://sndevcorp.ca

[324] http://www.sustainablecanadadialogues.ca/en/scd/indigenousinnovations

[325] Truth and Reconciliation Commission of Canada. (2012). *Truth and Reconciliation Commission of Canada: Calls to Action.* Winnipeg.

[326] Henderson, C. (2013). *Aboriginal Power: Clean Energy and the Future of Canada's First Peoples*. N. Ross, ed. Rainforest Editions.

[327] Natural Resources Canada. (2016). https://www2.nrcan-rncan.gc.ca/eneene/sources/rcd-bce/index.cfm?fuseaction=admin.home1

[328] Smith, K.R. et al. (2012). Energy and Health. Chapter 4 in T.B. Johansson, *Global Energy Assessment—Toward a Sustainable Future.* Cambridge, New York: Cambridge University Press, and Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.

[329] Maissan, J. et al. (2016). *Successful Clean Energy Projects: Measures, Prerequisites and Stakeholder Concerns: Final Report.* Ottawa: Indigenous and Northern Affairs Canada.

[330] Maissan, J. et al. (2016). *Successful Clean Energy Projects: Measures, Prerequisites and Stakeholder Concerns: Final Report.* Ottawa: Indigenous and Northern Affairs Canada.

[331] http://atlinhydro.ca

[332] www.trtfn.com

[333] http://www.migmawei.ca/mwp/

[334] www.muwindfarm.com

[335] United Nations General Assembly. (2014). *The situation of indigenous peoples in Canada*. A/HRC/27/52/Add.2

[336] Balint, P.J. (2006). Improving Community-Based Conservation near Protected Areas: The Importance of Development Variables. *Environmental Management*, **38**(1), 137–148.

[337] Environment and Climate Change Canada. (2016). *Canada's Mid-Century Long-Term Low-Greenhouse Gas Development Strategy*. Gatineau: Government of Canada.

[338] Napoleon, V. (2007). *Thinking About Indigenous Legal Orders.* Research Paper for the National Centre for First Nations Governance.

[339] Truth and Reconciliation Commission of Canada. (2015). *Honouring the Truth, Reconciling for the Future.* Summary of the Final Report of the Truth and Reconciliation Commission of Canada.

[340] Layzell, D. et al. (2016). SAGD Cogeneration: Reducing the carbon footprint of oilsands production and the Alberta grid. *CESAR Scenarios*, **1**(4), 1–49.

[341] Hill, R. et al. (2015). Application of molten carbonate fuel cell for CO_2 capture in thermal in situ oil sands facilities. International *Journal of Greenhouse Gas Control*, **41**, 276–284.

[342] Adams, T. A., and Barton, P. I. (2010). High-efficiency power production from natural gas with carbon capture. *Journal of Power Sources*, **195**(7), 1971–1983.

[343] Khamis, I., Koshy, T., and Kavvadias, K.C. (2013). Opportunity for cogeneration in nuclear power plants. *The 2013 World congress on advances in nano, biomechanics, robotics and energy research*, 455–462.

[344] Cadez, S., and Czerny, A. (2016). Climate change mitigation strategies in carbon-intensive firms. *Journal of Cleaner Production*, **112**(5), 4132–4143.

[345] Calculated from the data behind Figure 2.2, assuming 6.1 GJ/barrel of oil

[346] Gordon, D. et al. (2015). *Know Your Oil: Creating a Global Oil Climate Index*. Carnegie Endowment for International Peace.

[347] Environment and Climate Change Canada. (2016). *Canadian Environmental Sustainability Indicators: Greenhouse Gas Emissions*. Gatineau: Canada.

[348] Government of Canada. (2016). *Pan-Canadian Framework on Clean Growth and Climate Change: Canada's Plan to Address Climate Change and Grow the Economy.*

[349] Statistics Canada. (2017). CANSIM Table 379-0031. http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26

[350] Natural Resources Canada. (2016). *Energy Fact Book 2016–2017.*

[351] OECD. (2016). http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=FFS_CAN

[352] Canadian Association of Petroleum Producers. (2016). *Statistical Handbook for Canada's Upstream Petroleum Industry.* Table 4.2b.

[353] Statistics Canada. (2017). Table 180-0003. http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&id=1800003#customizeTab

[354] National Energy Board. (2016). *Canada's Energy Future 2016 Update: Energy supply and demand projections to 2040.*

[355] Gignac, R., and Matthews, H.D. (2015). Allocating a 2°C cumulative carbon budget to countries. *Environmental Research Letters*, **10**(7), 075004.

[356] Allen, M.R. et al. (2009). Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature*, **458**(7242), 1163–1166.

[357] McGlade, C., and Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C. *Nature*, **517**(7533), 187–190.

[358] Hoberg, G. (2016). *Pipelines and the Politics of Structure: A Case Study of the Trans Mountain Pipeline*. Annual Meeting of the Canadian Political Science Association. Calgary.

[359] International Energy Agency. (2015). *World Energy Outlook 2015*. Paris: IEA.

[360] http://www.theglobeandmail.com/report-on-business/rob-commentary/environmentalists-should-end-the-charade-over-the-oil-sands/article34162796/

[361] Miller, R.G. and Sorrell, S.R. (20140) The future of oil supply. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 375. http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/future-oil-supply

[362] Sussams, L., and Leaton, J. (2008). *Expect the Unexpected: The Disruptive Power of Low-carbon Technology*. The Carbon Tracker Initiative.

[363] Meloche, F. (2015). Investing to Facilitate Transition to a Low-carbon Society. Pages 27–31 in D. Sharma and C. Potvin, *Acting on Climate Change: Extending the Dialogue Among Canadians*. Montreal: Sustainable Canada Dialogues.

[364] Gates, I.D., and Larter, S. (2014). Energy efficiency and emissions intensity of SAGD. *Fuel*, **115**, 706–713.

[365] Rutqvist, J., Vasco, D.W., and Myer, L. (2010). Coupled reservoir-geomechanical analysis of CO_2 injection and ground deformations at In Salah, Algeria. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **4**(2), 225–230.

[366] Verkerke, J.L., Williams, D.J., and Thoma, E. (2014). Remote sensing of CO_2 leakage from geologic sequestration projects. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **31**, 67–77.

[367] e.g., Hasaneen, R., Elsayed, N.A., and Barrufet, M.A. (2014). Analysis of the technical, microeconomic, and political impact of a carbon tax on carbon dioxide sequestration resulting from liquefied natural gas production. *Clean Technologies Environ Policy*, **16**(8), 1597–1613.

[368] Ahmed, S. et al. (2015). New technology integration approach for energy planning with carbon emission considerations. *Energy Conversion and Management*, **95**, 170–180.

[369] Stephen, J. (personal communication).

[370] Van der Ploeg, F. (2016). Fossil fuel producers under threat. *Oxford Review of Economic Policy*, **32**(2), 206–222.

[371] Council of Canadian Academies. (2015). *Technology and Policy options for a low-emission energy system in Canada: The Expert Panel on Energy Use and Climate Change*. Ottawa.

[372] Head, I.M., Gray, N.D., and Larter, S. (2014). Life in the slow lane; biogeochemistry of biodegraded petroleum containing reservoirs and implications for energy recovery and carbon management. *Frontiers in Microbiology*, 5, 566.

[373] Kapadia, P.R. et al. (2013). Practical process design for in situ gasification of bitumen. *Applied Energy,* **107**, 281–296.

[374] Levin, D.B., and Chahine, R. (2010). Challenges for renewable hydrogen production from biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*, **35**(10), 4962–4969.

[375] http://news.gc.ca/web/article-en.do?nid=1039219

[376] The World Bank. (2004). *Flared Gas Utilization Strategy: Opportunities for Small-scale Uses of Gas*. Global gas flaring reduction - Public-private partnerships. No. 5. Washington: World Bank.

[377] Soltanieh, M. et al. (2016). A review of global gas flaring and venting and impact on the environment: Case study of Iran. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **49**, 488–509.

[378] Johnson, M. R., and Coderre, A. R. (2012). Opportunities for CO_2 equivalent emissions reductions via flare and vent mitigation: a case study for Alberta, Canada. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **8**, 121–131.

[379] Rockström, J. et al. (2017). A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, **355**(6331), 1269–1271.

[380] du Pont, Y. R. et al. (2017). Equitable mitigation to achieve the Paris Agreement goals. *Nature Climate Change*, **7**(1), 38–43.

[381] Vasseur, L. et al. (2017). Complex problems and unchallenged solutions: bringing ecosystem governance to the forefront of the UN Sustainable Development Goals. *Ambio*. Accepted.

[382] Hughes, L., and Urpelainen, J. (2015). Interests, institutions, and climate policy: Explaining the choice of policy instruments for the energy sector. *Environmental Science and Policy*, **54**, 52–63.

[383] Meckling, J. et al. (2015). Winning coalitions for climate policy. *Science*, **349**(6253), 1170–1171.

[384] Burch, S. et al. (2014). Triggering transformative change: A development path approach to climate change response in communities. *Climate Policy*, **14**(4), 467–487.

[385] http://bit.ly/2nBf8DW

[386] Sheppard, S.R.J. et al. (2015). *Special Report—A Synthesis of PICS-Funded Social Mobilization Research*. Prepared for Pacific Institute for Climate Solutions (PICS). Climate Change: Impacts & Responses Conference, Victoria, BC.

[387] http://www.energinet.dk/EN/El/Sider/Elsystemet-lige-nu.aspx

[388] http://atlas.gc.ca/cerp-rpep/en/

[389] Mazzucato, M. (2016). From market fixing to market-creating: a new framework for innovation policy. *Industry and Innovation*, **23**(2), 140–156.

Dialogues
pour un
Canada vert
UNESCO
United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization
uniTwin
UNESCO Chair for Dialogues
on Sustainability
McGill
Montrons-nous à la hauteur
du défi et commençons à agir
dès aujourd'hui.