



L'ACADÉMIE CANADIENNE DU GÉNIE

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE CANADIEN

VOLUME I
CONSTATATIONS, CONCLUSIONS
ET RECOMMANDATIONS

L'ÉLECTRICITÉ : INTERCONNECTER LE CANADA – UN AVANTAGE STRATÉGIQUE
LIVRE VERT



Académie canadienne du génie

L'électricité : Interconnecter le Canada

Un avantage stratégique

Rapport du groupe de travail sur le réseau électrique canadien Volume I – Constatations, conclusions et recommandations

Clement W. Bowman
Président, Groupe de travail
sur la filière énergétique de
l'ACG

Richard J. Marceau
Président, Comité des nouvelles
orientations et de politique
publique de l'ACG

Robert C. Griesbach
Gestionnaire de projet

Commanditaires :

Alberta Energy Research Institute
Académie canadienne du génie
Clement Bowman
Hydro Manitoba
Hatch
RNCan
Université de l'Alberta
University of Ontario Institute of Technology

Membres du groupe de travail :

Michael A. Ball, MACG, Académie canadienne du génie
Clement Bowman, MACG, C.W. Bowman Consulting Inc.
Shane Dew, Hydro Manitoba
Duke du Plessis, MACG, Alberta Energy Research Institute
Bob Griesbach, Hatch Ltd.
Keith Hipel, MACG, Université de Waterloo
Eddy Isaacs, MACG, Alberta Energy Research Institute
Geza Joos, MACG, Université McGill
John Leggat, MACG, Académie canadienne du génie
Richard J. Marceau, MACG, University of Ontario Institute of Technology
Robert Philp, RNCan (retraité depuis)
Alan Poole, Consultant
Ian Potter, Alberta Research Council
Al Snyder, Hydro Manitoba
Bert Wasmund, MACG, Hatch Ltd..



Pour obtenir une copie imprimée de cette publication, veuillez communiquer avec :

L'Académie canadienne du génie
180, rue Elgin, Pièce 1100
Ottawa (Ontario) K2P 2K3
Tél. : (613) 235-9056
Télec. : (613) 235-6861
Courriel : info@acad-eng-gen.ca

No d'organisme de bienfaisance enregistré :
134994375RR0001

On peut aussi se procurer cette publication sous forme électronique, à l'adresse suivante :
www.acad-eng-gen.ca

Droit de copie

Sauf indication contraire, les renseignements que renferme la présente publication peuvent être reproduits, en tout ou en partie, et par quelque

moyen que ce soit, sans frais ni permission supplémentaire de la part de l'Académie canadienne du génie, pourvu que l'on fasse preuve de due diligence quant à l'exactitude des renseignements reproduits, que l'on mentionne l'Académie canadienne du génie comme source des renseignements et que la reproduction ne soit pas présentée comme étant la version officielle des renseignements reproduits, ni comme un document réalisé en collaboration avec l'Académie canadienne du génie ou avec son appui.

Les opinions et les énoncés exprimés dans cette publication et attribués aux auteurs mentionnés ne reflètent pas nécessairement la politique de l'Académie canadienne du génie.

© L'Académie canadienne du génie 2009

ISBN 978-0-9730830-7-1

Also available in english



L'électricité : Interconnecter le Canada – Un avantage stratégique

PRÉFACE

L'Académie canadienne du génie (ACG) est l'organisme national par l'entremise duquel les ingénieurs les plus chevronnés et les plus expérimentés du Canada offrent des conseils stratégiques sur des enjeux d'importance primordiale pour le pays. L'Académie est un organisme indépendant, autonome et à but non lucratif qui a été fondé en 1987, dans le but de servir le pays en tout ce qui touche les questions d'ingénierie. Les Membres de l'Académie s'engagent à faire en sorte que les connaissances expertes en génie du Canada soient appliquées pour le grand bien de tous les Canadiens et de toutes les Canadiennes.

L'Académie canadienne du génie travaille en étroite collaboration avec les autres principales académies, au Canada et à l'étranger. Elle est membre fondatrice du *Conseil des académies canadiennes* (CCA), en collaboration avec la *Société royale du Canada* et l'*Académie canadienne des sciences de la santé*. Elle est aussi membre de l'organisme international appelé *Council of Academies of Engineering and Technological Sciences* (CAETS), qui comprend 26 autres organismes nationaux semblables de par le monde.

L'Académie travaille aussi en étroite collaboration avec les autres membres du *Forum des leaders du génie canadien* qui regroupe des représentants d'*Ingénieurs Canada*, de l'*Institut canadien des ingénieurs*, de l'*Association des firmes d'ingénieurs-conseils - Canada*, du *Conseil canadien des doyens d'ingénierie* et de la *Fédération canadienne des étudiants et étudiantes en génie*. Ensemble, tous ces organismes oeuvrent en collaboration, afin d'assurer un Canada plus sûr, plus propre, plus sain et plus compétitif.

En 2007, l'Académie publiait le *Rapport final de l'étape 1 du groupe de travail sur les filières énergétiques* où l'on recommandait un important réaménagement de l'infrastructure électrique du Canada, avec amélioration de l'accès aux sources éoliennes et solaires, et de la capacité d'entreposage de l'énergie.

Le rapport a donné lieu à un projet de suivi consistant à faire valoir le bien-fondé d'une expansion des connexions électriques afin de répondre aux besoins en électricité du Canada pendant les 25 prochaines années. Les constatations et conclusions de ce projet sont documentées dans le rapport du groupe de travail sur le réseau électrique du Canada – « *L'électricité : Interconnecter le Canada – un avantage stratégique* ». Le rapport, qui comprend deux parties : *Volume I – Constatations, conclusions et recommandations* et *Volume II – Contexte et évaluation*, forme aussi la base et le point central d'un débat éclairé sur les avantages d'« interconnecter le Canada », afin de faire en sorte que l'on réponde de façon durable et écologique aux besoins d'électricité du pays.

Au nom de l'Académie canadienne du génie, je tiens à remercier les auteurs et les nombreux autres participants qui ont contribué à ce rapport des plus utiles.

Axel Meisen, Ph. D., MACG
Président, Académie canadienne du génie
Décembre 2009



L'électricité : Interconnecter le Canada

Un avantage stratégique

Table des matières

1. La situation et nos recommandations	6
2. Sommaire	7
3. Introduction	11
4. Vue d'ensemble de l'industrie de l'électricité au Canada	13
5. Projets d'interconnexion existants et projetés	15
6. Le réseau électrique – Relation avec les corridors énergétiques du Canada	17
7. Moteurs et catalyseurs	19
8. Technologies de stockage de l'énergie	23
9. Technologies de transmission à haute tension	25
10. Projet des filières énergétiques de l'ACG – Situation et plans	27
11. Conclusions	28



L'électricité : Interconnecter le Canada

Un avantage stratégique

1. LA SITUATION ET NOS RECOMMANDATIONS

Le réseau électrique canadien a été conçu et réalisé historiquement province par province, en accordant une importance restreinte aux interconnexions provinciales. Ce rapport a examiné la question de savoir si le Canada devrait investir dans l'amélioration des interconnexions est-ouest. On nous a dit que, d'après les pratiques commerciales courantes, un tel projet exercerait un effet négatif sur les contribuables et que, en ce qui concerne de nouvelles interconnexions, la tendance économique semblait favoriser des connexions nord-sud, vers les États-Unis.

L'impératif du changement climatique et la possibilité d'engendrer moins de nouvelles émissions de GES sont d'importants indices montrant que la situation a changé. L'Agence internationale de l'énergie estime que le secteur électrique du Canada nécessitera 190 milliards de \$ US en nouveaux investissements, d'ici l'an 2030. Le moment est peut-être venu de songer à des placements stratégiques dans l'infrastructure électrique nationale.

Le secteur énergétique est peut-être la dernière chance qui s'offre au Canada de réaliser un *avantage compétitif durable*, chose que nous n'avons pas réussi à faire dans d'autres secteurs clés de l'économie. Nous avons là une occasion idéale de préparer un plan pour l'énergie électrique qui soit plus que la somme de ses parties.

Recommandations

Il est recommandé que le gouvernement fédéral :

- 1. Comme projet d'infrastructure immédiat**, finance, sous forme de projets à coûts partagés avec les provinces et peut-être aussi avec le secteur privé, de nouvelles interconnexions du réseau électrique entre deux ou plusieurs provinces, compte tenu d'analyses coût-avantage de la valeur stratégique nationale à plus long terme de la réalisation de certains des objectifs suivants : a) réduction des émissions de GES par une amélioration de l'accès aux sources d'énergie renouvelable comme de grandes centrales hydroélectriques et l'énergie éolienne, b) accroissement de la capacité d'entreposer l'énergie, c) réduction des coûts énergétiques de la(des) province(s) qui la reçoit, d) création de nouveaux marchés pour l'électricité immobilisée ou nouvellement créée, et e) les avantages stratégiques et sécuritaires de développer une structure de transmission transcanadienne à haute capacité.
- 2. À long terme**, crée et finance un organisme de gestion intersectoriel afin de préparer une technologie et un cadre commercial pour les placements dans l'industrie électrique qui seront requis au cours des 25 prochaines années, pour capter les occasions de générer de la richesse et pour régler la question des GES. L'organisme devrait se pencher d'abord sur deux scénarios : (a) l'interconnexion et le renforcement du réseau d'électricité canadien, permettant le passage de grands blocs d'électricité tant en direction est-ouest que nord-sud vers les États-Unis (b) le scénario de base ci-haut, mais avec interconnexion amplifiée vers un réseau électrique est-ouest américain anticipé, afin de constituer un réseau électrique intercontinental.



L'électricité : Interconnecter le Canada

Un avantage stratégique

2. SOMMAIRE

Le rapport de l'étape 1 du groupe de travail sur les filières énergétiques de l'Académie canadienne du génie recommandait un réaménagement important de l'infrastructure électrique canadienne avec amélioration de l'accès aux sources éoliennes et solaires, et de la capacité d'entreposage de l'énergie¹. Le rapport a donné lieu au présent projet de suivi consistant à faire valoir le bien-fondé d'une expansion des connexions électriques afin de répondre aux besoins en électricité du Canada pendant les 25 prochaines années. Les constatations et conclusions de ce projet sont énoncées ci-après.

La situation/les défis	Les possibilités
<p>La question</p> <p>Le Canada a-t-il besoin d'une interconnexion est-ouest de son réseau électrique? Deux arguments ont été avancés contre un tel projet : a) d'après les pratiques commerciales courantes, un tel projet exercerait un effet négatif sur les contribuables et b) en ce qui concerne de nouvelles interconnexions, la tendance économique semble favoriser des connexions nord-sud, vers les États-Unis.</p>	<p>Mais, est-ce la meilleure vue à long terme?</p> <p>L'impératif du changement climatique et la possibilité d'engendrer moins de nouvelles émissions de GES sont d'importants indices montrant que le moment est propice pour songer à des placements stratégiques dans l'infrastructure électrique nationale, surtout dans la transmission est-ouest et nord-sud.</p>
<p>La question du changement climatique</p> <p>Le Canada a la réputation d'être un producteur d'« huile usagée » et de tirer de l'arrière dans la réduction de gaz à effet de serre. Cette réputation pourrait restreindre notre commerce d'exportation de produits énergétique.</p>	<p>La vérité</p> <p>Les émissions de GES du Canada, par exajoule d'électricité produite, sont de 34 mégatonnes. Le chiffre correspondant pour les États-Unis est 162. Nous devrions donc faire valoir cet avantage, si nous voulons accroître nos exportations.</p>
<p>Une infrastructure électrique vieillissante</p> <p>Le réseau électrique canadien a été conçu et bâti il y a plusieurs années. Soixante-treize pour cent de l'électricité du Canada est produite par des moyens qui engendrent de faibles émissions de GES, soit l'hydroélectricité et le nucléaire. Les deux tiers du reste (technologies à fortes émissions de GES) ont plus de 30 ans, soit une occasion idéale de les remplacer par une technologie à faible émission de GES (ex. hydroénergie, nucléaire, énergie renouvelable et combustible fossile, par captage de CO₂.)</p>	<p>Les interconnexions comme facilitateurs</p> <p>Les avantages de l'interconnexion sont :</p> <ul style="list-style-type: none">• Accès accru à la capacité de production• Hausse de la capacité d'exportation• Programmation de la charge de pointe• Libération de l'électricité immobilisée• Activation de corridors énergétiques clés

¹ Académie canadienne du génie – Rapport final de l'étape 1 du groupe de travail sur les filières énergétiques, Mai 2007



<p>La demande augmente</p> <p>Le monde évolue de plus en plus vers une économie axée sur l'électricité et la demande d'électricité augmente de la part du consommateur et des secteurs commerciaux et industriels. Son utilisation dans le secteur du transport est faible à l'heure actuelle, mais elle pourrait augmenter rapidement.</p>	<p>Le Canada peut répondre à toute hausse prévue de la demande</p> <p>Le Canada peut augmenter considérablement l'alimentation en électricité grâce à :</p> <ul style="list-style-type: none">• L'hydroélectricité traditionnelle• La production d'énergie nucléaire• La gazéification du charbon (captage de CO₂) <p>Sans compter l'apport des sources d'énergie renouvelable (ex. éolienne, solaire, biomasse) et de l'entreposage d'énergie (ex. hydroénergie pompée)</p>
<p>La situation internationale</p> <p>Le Canada exporte vers les É.-U. 4 % de l'électricité qu'il produit. Les É.-U. ne prévoient nullement accroître leurs importations d'électricité du Canada, mais il a récemment été question d'une collaboration de réseau, entre le premier ministre et le président. Les É.-U. sont à mettre au point un concept visant à créer un nouveau réseau important afin de favoriser l'énergie renouvelable.</p>	<p>Un objectif d'exportation</p> <p>L'électricité n'est pas une commodité, c'est une monnaie énergétique à valeur ajoutée. Le Canada peut maintenir et accroître son marché d'exportation en renforçant son propre réseau et en concluant une entente avec les É.-U. et le Mexique pour raccorder l'électricité propre du Canada aux marchés continentaux et intercontinentaux.</p>
<p>Les limites de la structure actuelle</p> <p>Les occasions de distribuer l'électricité provenant de régions où l'offre est excédentaire (l'énergie immobilisée) vers d'autres où la demande s'accroît, et de répondre à une charge de pointe qui varie en fonction du temps, sont limitées. Le Canada compte présentement plus de raccordements électriques avec les É.-U. qu'avec les provinces (34 vers les É.-U. contre 31 vers les provinces). Les raccordements interprovinciaux comportent de faibles capacités de transfert, tandis que nombre de raccordements vers les É.-U. sont capables de transférer des quantités équivalentes à la production entière de grandes usines hydroélectriques ou nucléaires.</p>	<p>Mettre à profit les plans actuels</p> <p>Nombre d'expansions du réseau pour répondre à la demande régionale anticipée sont déjà prévues. L'expansion, l'achèvement et l'ajout de nouvelles interconnexions assureraient à l'industrie et aux consommateurs du pays une alimentation en électricité fiable à long terme et la possibilité de transférer de grandes quantités d'électricité vers les réseaux des É.-U. Il existe de nouvelles options technologiques pour :</p> <ul style="list-style-type: none">• Renforcer et accroître la capacité de transmission (ex., les systèmes FACTS comme les statocompensateurs)• Transmettre l'électricité à longue distance,• Entreposer l'énergie à court et à long terme,• Créer des réseaux intelligents pour la gestion de la charge et du réseau• Améliorer l'accès au réseau par des sources d'énergie renouvelables comme l'énergie éolienne et solaire.• Concevoir de nouveaux outils et modèles analytiques pour aider à structurer le réseau.



<p>Le défi énergétique du Canada</p> <p>Les études antérieures ont fait ressortir le besoin de considérer de plus en plus la richesse énergétique du Canada comme un réseau intégré comportant de solides conduits interconnectés d'électricité, de matières premières, de produits et de sous-produits, incluant les combustibles fossiles, les combustibles dérivés et les produits chimiques, l'hydrogène et le dioxyde de carbone. Il existe alors des occasions d'améliorer l'intégration du réseau et de réduire l'empreinte carbone (ex. l'énergie nucléaire ou la gazéification du charbon avec captage du CO₂).</p>	<p>Achever le réseau énergétique</p> <p>En combinant avec nos vastes pipelines de gaz et de pétrole des interconnexions électriques amplifiées, nous compléterons nos corridors énergétiques et assurerons leur compétitivité sur le plan international. Ces corridors pourraient aussi héberger des pipelines pour le transport de l'hydrogène et du dioxyde de carbone qui alimentent les industries électriques et pétrochimiques.</p>
<p>La complexité des compétences au Canada</p> <p>L'électricité est un domaine de compétence qui relève des gouvernements provinciaux et d'un nombre grandissant de participants au sein du réseau de production et de transmission, avec une participation accrue du secteur privé. Cette situation augmente la complexité et la difficulté de concevoir un plan et une stratégie nationale coordonnée.</p>	<p>Besoin et rôle d'un plan coordonné</p> <p>À travers le pays, on retrouve des objectifs communs comme ceux d'accroître l'utilisation de technologies à faible émission de GES, d'assurer une alimentation énergétique sûre et fiable, de maintenir la cohérence entre les normes de transmission nord-américaines et d'étendre les sources d'électricité renouvelable.</p> <p>La multiplicité des intervenants augmente l'importance de créer une stratégie nationale qui soit plus que la simple somme des projets régionaux; ceux-ci, en fait, n'augmenteront que marginalement les connexions nord-sud existantes vers les É.-U.</p>
<p>Investissements prévus</p> <p>L'Agence internationale de l'énergie estime que le Canada dépensera 190 milliards de \$ US jusqu'en 2030, sous forme d'investissements dans le secteur de l'électricité. Une partie de cette somme est destinée à d'éventuelles interconnexions.</p>	<p>Facteurs à considérer au sujet des investissements</p> <p>Il n'est pas raisonnable de s'attendre de voir les contribuables des provinces financer pleinement les objectifs environnementaux à long terme du Canada. Les coûts marginaux de l'amélioration de la capacité d'interconnexion planifiée afin d'aider à réduire l'empreinte des GES du Canada pourraient être financés sous forme de placement stratégique à long terme dans l'infrastructure canadienne. Ces coûts marginaux sont encore à déterminer.</p>



Recommandations

Il est recommandé que le gouvernement fédéral :

- 1. Comme projet d'infrastructure immédiat**, finance, sous forme de projets à coûts partagés avec les provinces et peut-être aussi avec le secteur privé, de nouvelles interconnexions du réseau électrique entre deux ou plusieurs provinces, compte tenu d'analyses coût-avantage de la valeur stratégique nationale à plus long terme de la réalisation de certains des objectifs suivants : a) réduction des émissions de GES par une amélioration de l'accès aux sources d'énergie renouvelable comme de grandes centrales hydroélectriques et l'énergie éolienne, b) accroissement de la capacité d'entreposer l'énergie, c) réduction des coûts énergétiques de la(des) province(s) qui la reçoit, d) création de nouveaux marchés pour l'électricité immobilisée ou nouvellement créée, et e) les avantages stratégiques et sécuritaires de développer une structure de transmission transcanadienne à haute capacité.
- 2. À long terme**, crée et finance un organisme de gestion intersectoriel afin de préparer une technologie et un cadre commercial pour les placements dans l'industrie électrique qui seront requis au cours des 25 prochaines années, pour capter les occasions de générer de la richesse et pour régler la question des GES. L'organisme devrait se pencher d'abord sur deux scénarios : (a) l'interconnexion et le renforcement du réseau d'électricité canadien, permettant le passage de grands blocs d'électricité tant en direction est-ouest que nord-sud vers les États-Unis (b) le scénario de base ci-haut, mais avec interconnexion amplifiée vers un réseau électrique est-ouest américain anticipé, afin de constituer un réseau électrique intercontinental.

En guise de post-scriptum

Le secteur énergétique est peut-être la dernière chance qui s'offre au Canada de réaliser un *avantage compétitif durable*, chose que nous n'avons pas réussi à faire dans d'autres secteurs clés de l'économie. On peut voir les avantages que présentent de tels investissements pour répondre aux besoins futurs lorsqu'on considère la prévoyance dont on a fait preuve en ajoutant un tablier inférieur au viaduc Bloor-Danforth, à Toronto, pour la ligne de métro qui avait été construite plusieurs décennies auparavant. Le secteur canadien de l'énergie électrique a un urgent besoin de la volonté nationale et du leadership qui ont permis de construire nos chemins de fer, le réseau d'aéroports, les pipelines et la Voie maritime du St-Laurent.



3. INTRODUCTION

Le rapport final de l'étape 1 du groupe de travail sur les filières énergétiques de l'Académie canadienne du génie recommandait que le Canada mette en oeuvre trois projets nationaux de technologie².

- La gazéification des combustibles fossiles et de la biomasse
- La réduction des émissions de GES (captage du dioxyde de carbone suivi de son transport, de son entreposage à long terme et de son utilisation)
- L'amélioration de l'infrastructure électrique avec amélioration de l'accès aux sources éoliennes et solaires, et de la capacité d'entreposage de l'énergie

Le présent rapport se concentre sur les améliorations à apporter à l'infrastructure électrique en vue d'accroître l'interconnexion du réseau électrique canadien. Un tel réseau offrirait aux provinces l'occasion d'exploiter leur réseau d'électricité plus efficacement, tout en réduisant considérablement les émissions de gaz à effet de serre.

La situation actuelle des réseaux de transmission d'électricité peut se décrire comme suit :

- Le Canada s'achemine vers une position nationale sur la question du changement climatique et des GES.
- La Chambre de commerce du Canada a fait remarquer³ « qu'une bonne partie du potentiel énergétique du Canada est immobilisée parce qu'il n'existe aucun réseau de transmission capable d'exploiter cette énergie et de l'acheminer au marché. »
- Les responsables du réseau hydroélectrique de Terre-Neuve et Labrador ont déclaré que⁴ «...sans mesures soutenues en faveur d'un solide réseau est-ouest qui appuierait la demande grandissante d'énergie propre du pays, les Canadiens se trouveraient à gaspiller un avantage compétitif clé.
- Les États-Unis examinent la possibilité d'ajouter à leurs réseaux un certain nombre de raccordements interrégionaux, poussés en partie par l'expansion planifiée de l'énergie renouvelable. Ainsi, ils renforceraient l'interconnexion nord-sud dans les états de l'Ouest, afin de fournir de l'électricité au Nevada et à la Californie et des connexions provenant de la région de grandes plaines avec des centres de distribution vers l'est et l'ouest.

Le Groupe consultatif national sur les sciences et technologies relatives à l'énergie durable a fait ressortir l'importance de voir le secteur énergétique canadien comme « un système interconnecté qui est caractérisé par une interdépendance étroite entre les producteurs et les utilisateurs d'énergie »⁵. Voilà qui démontre l'urgence d'examiner l'interconnexion de l'électricité avec les autres « monnaies » énergétiques que l'on retrouve dans les principaux corridors énergétiques du Canada. Une nouvelle infrastructure pourrait se révéler nécessaire pour saisir la pleine valeur des ressources énergétiques étendues du Canada. La crise économique qui sévit présentement pourrait bien constituer le moment approprié pour effectuer, dans l'infrastructure énergétique, des investissements capables de produire des avantages économiques, sociaux et environnementaux à long terme.

² Académie canadienne du génie – Rapport final de l'étape 1 du groupe de travail sur les filières énergétiques, Mai 2007

³ Chambre de commerce du Canada, Mise en oeuvre d'un plan de réseau électrique national est-ouest, 2007

⁴ Globe and Mail, Report on Business, 25 août 2008

⁵ Construire des alliances puissantes – Priorités et orientations en science et en technologie énergétiques au Canada, Rapport du groupe consultatif national sur les sciences et technologies relatives à l'énergie durable, 2007



Deux scénarios décrivent les options pour améliorer le réseau de transmission électrique canadien :

Scénario no 1 : Une plus grande interconnexion et un renforcement des réseaux provinciaux canadiens, permettant le passage de plus grands blocs d'électricité tant en direction est-ouest que nord-sud vers les États-Unis.

Scénario no 2: Le scénario no 1, mais avec interconnexion amplifiée vers un réseau électrique est-ouest américain anticipé afin de constituer un réseau électrique intercontinental.

La technologie accessible a changé considérablement depuis la mise en place du réseau électrique canadien actuel. Deux améliorations particulières ont exercé une influence marquée; il s'agit de l'utilisation de la transmission par extra et ultra haute tension du courant alternatif et du courant continu, et la possibilité de stocker l'énergie; les deux sont examinées dans le présent rapport. La « feuille de route »⁶ du ministère de l'Énergie des États-Unis décrit un autre objectif technologique important, soit le besoin de créer des outils et des techniques analytiques pour transposer les technologies de nouvelle génération sur le réseau existant. Des stratégies de contrôle plus raffinées sont aussi nécessaires, comme l'exploitation asymétrique des corridors de transmission et plusieurs autres. L'extrait qui suit développe un peu plus ce besoin.

« Que le réseau national de base se développe en suivant un cheminement à prédominance évolutionnaire ou révolutionnaire, il existe un certain nombre de défis techniques à relever dans la conception de l'architecture du réseau, au moyen de la recherche, du développement et de projets de démonstration. Le défi le plus urgent concerne le manque d'outils analytiques, ainsi que l'infrastructure de recherche organisationnelle, afin de modéliser convenablement le réseau électrique entier du pays. De tels outils seront nécessaires pour élaborer les définitions du concept et les exigences du réseau. Nous aurons aussi besoin d'outils améliorés pour simuler et analyser les autres filières technologiques pour le réseau d'électricité nationale de base, incluant sa conception, les coûts et les avantages. »

En plus des changements technologiques spécifiques, il y a eu une réduction de l'inscription des étudiants aux cours de génie électrique à travers le Canada. Ce fait, ajouté à la retraite prochaine d'enseignants et de praticiens dans ce domaine, vient accroître les préoccupations quant à la capacité du Canada d'entreprendre de nouveaux projets d'électricité ambitieux.

L'un des éléments clés que le groupe de travail a examinés concerne la valeur de bâtir une infrastructure non seulement pour répondre aux besoins immédiats à court terme, mais en guise de préparation face aux besoins futurs qui sont appelés à changer. On trouve un exemple à Toronto, alors qu'aux environs de 1910, l'architecte Edmond Burke et l'ingénieur Thomas Taylor ont conçu le viaduc Bloor-Danforth qui enjambe la vallée de la rivière Don. Ils avaient prévu que, avant la fin du siècle qui venait de débiter, la ville de Toronto construirait un réseau de métro qui devrait un jour traverser la vallée de la rivière Don. Ils ont donc conçu et construit le pont en prévoyant un tablier inférieur que pourraient utiliser les trains de métro. Le tablier pour un « futur » métro n'a ajouté qu'une modeste augmentation aux coûts de construction. Toutefois, lorsque les premiers trains de la ligne Bloor-Danforth ont traversé la vallée de la rivière Don, en 1954, on s'est souvenu de la grande prévoyance de nos pères.

Étant donné les abondantes capacités hydroélectriques du Canada, ajoutées à une économie qui s'annonce des plus dépendantes de l'électricité (incluant le transport automobile), le Canada pourrait développer une économie neutre en carbone, produisant ainsi un avantage compétitif durable, économie dans laquelle un réseau électrique intégré et étendu constituerait un atout considérable. Les raisons ci-dessus indiquent que le moment est important d'examiner l'industrie canadienne de l'électricité par rapport à l'avenir énergétique du Canada. C'est ce que nous avons entrepris d'accomplir dans ce projet, en résumant l'étude effectuée dans les chapitres qui suivent. La description complète de l'étude effectuée paraît sous forme d'Annexe au présent rapport.

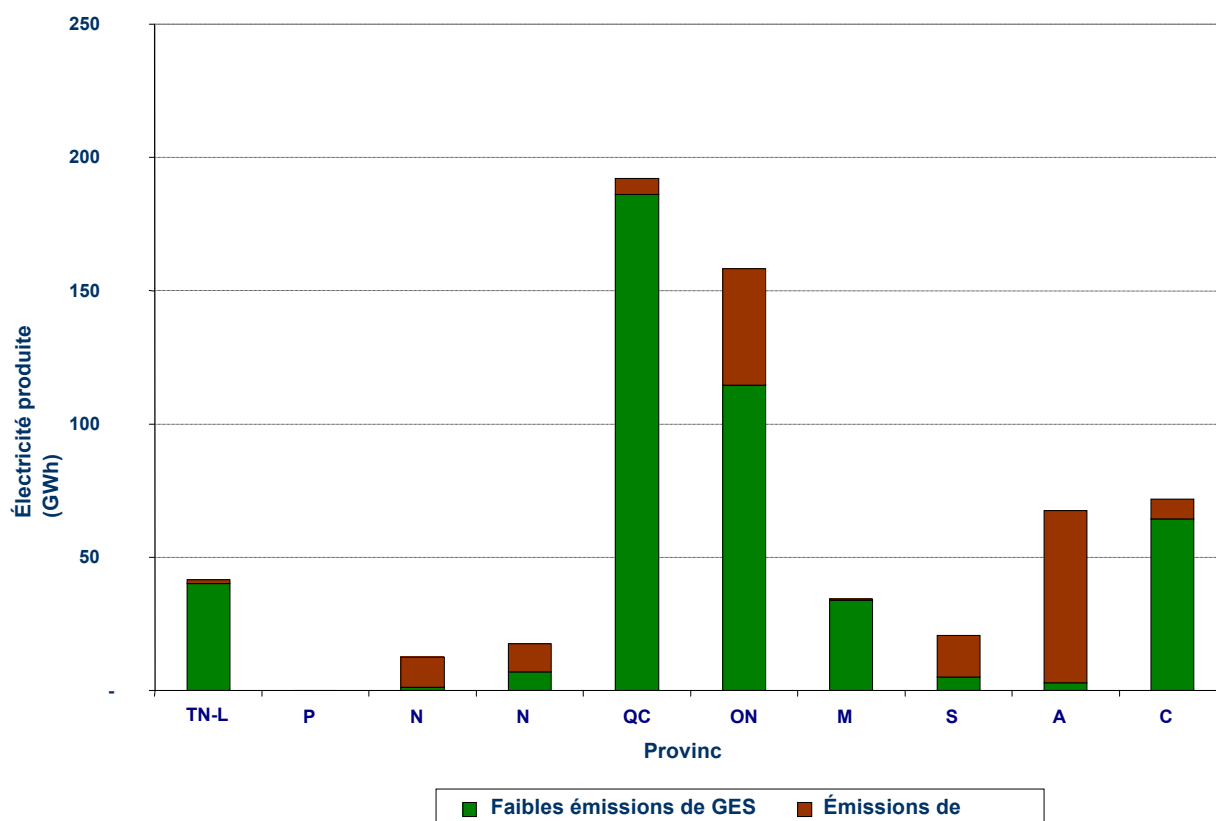
⁶ National Electric Delivery Technology Roadmap – Transforming the Grid to Revolutionize Electric Power in North America – Janvier 2004



4. VUE D'ENSEMBLE DE L'INDUSTRIE DE L'ÉLECTRICITÉ AU CANADA

La plupart des provinces ont presque atteint l'autosuffisance en matière d'électricité. Le Canada exporte vers les États-Unis 4 % de l'électricité qu'il produit. En 2007, 73 % de l'électricité produite au Canada provenait de sources à faibles émissions de GES, surtout l'hydroélectricité et le nucléaire. Quant au reste de la capacité de production à fortes émissions de GES, 65 % de ces sources ont plus de 30 ans, ce qui constitue une occasion idéale de les remplacer par une technologie à faible émission de GES (comme l'hydroélectricité, l'énergie éolienne, la biomasse solaire et les combustibles fossiles avec captage du carbone). La figure 4.1 qui suit montre la proportion de sources à faible et à fortes émissions de GES pour chaque province.

Figure 4.1 – Production électrique (GWh) au Canada – 2007⁷

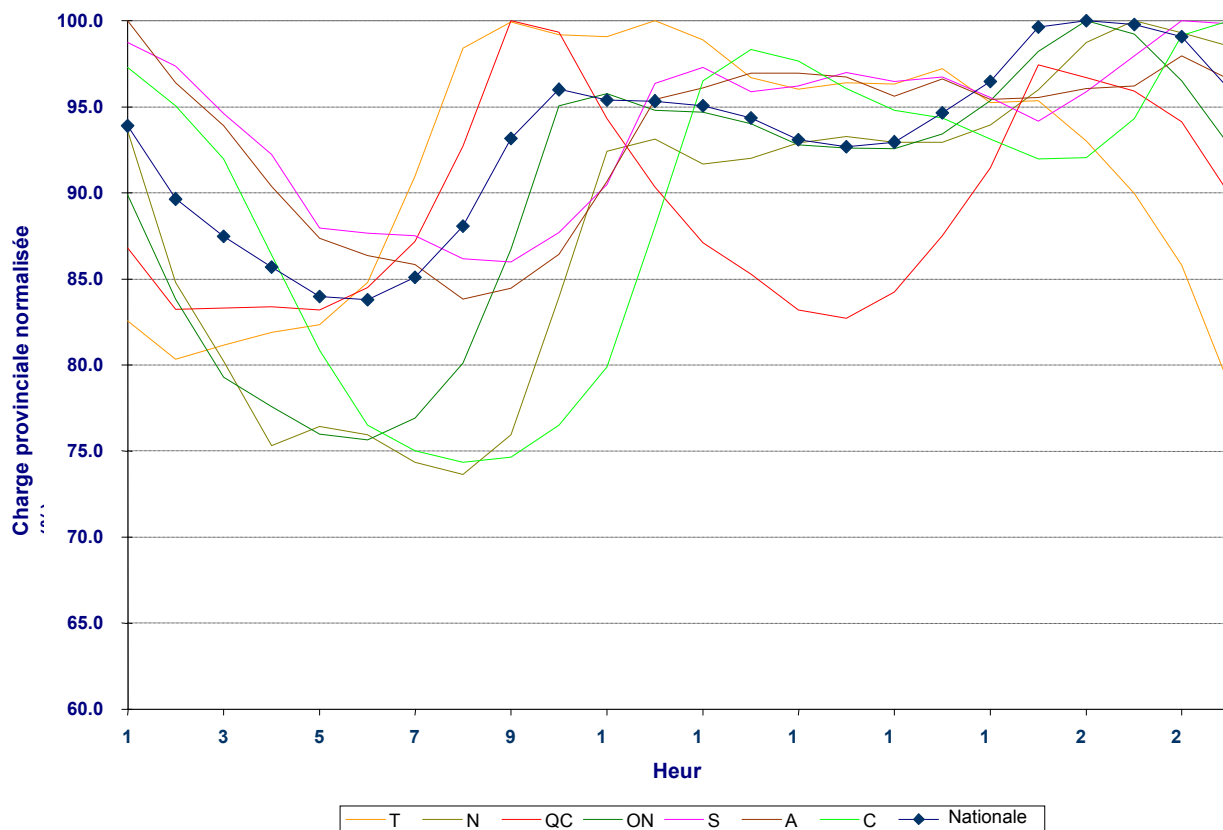


Toutes les provinces, sauf l'Ontario, ont leur demande de pointe en hiver. Ce qui laisse entendre que l'existence d'un réseau interconnecté permettrait à l'Ontario de réduire sa capacité de charge de pointe en été par un transfert d'électricité provenant de provinces à l'est ou à l'ouest de l'Ontario. À cause du grand nombre de fuseaux horaires au pays, le besoin national de charge en temps réel indique une capacité excédentaire aux heures 3 à 7, qui pourrait être transposée d'une ou de deux zones horaires pour compenser les charges provinciales ou être captées par une technologie de stockage améliorée. Le Québec affiche une capacité excédentaire importante entre les heures 13 à 18 qui pourrait être transposée à l'est ou à l'ouest, ou au sud vers le réseau des É.-U., lui qui connaît généralement une intensité maximale en été. Ces décalages en besoins de charge sont illustrés à la Figure 4.2, où toutes les charges sont fondées sur l'heure de l'Atlantique

⁷ Production, transport et distribution d'électricité – 2007, Statistique Canada



Figure 4.2 Variation horaire de la charge (%) sur une période de 24 heures⁸



Bien que la responsabilité à l'égard de l'électricité soit de compétence provinciale, on retrouve un nombre grandissant de participants au réseau de production et de transmission, dont un nombre croissant provenant du secteur privé. Cet état de choses augmente la complexité et la difficulté de créer un plan et une stratégie nationale coordonnée. La multiplicité des intervenants augmente l'importance d'avoir une telle stratégie et de voir à ce que celle-ci soit plus que la simple somme des projets régionaux.

Il importe aussi de signaler qu'à travers le pays, on retrouve des objectifs communs comme ceux d'accroître l'utilisation de technologies à faible émission de GES, d'assurer une alimentation énergétique sûre et fiable, de maintenir la cohérence entre les normes de transmission nord-américaines et d'étendre les sources d'électricité renouvelable. Il existe toutes sortes d'occasions de collaboration à l'égard de certains objectifs spécifiques, par exemple l'élaboration de technologie à faible émission de GES pour les combustibles fossiles en Nouvelle-Écosse, au Nouveau-Brunswick, en Saskatchewan et en Alberta; le développement d'une technologie efficace de stockage à Terre-Neuve et Labrador, au Québec, en Ontario, au Manitoba et en Colombie-Britannique; la facilitation d'interconnexions entre le Manitoba et l'Ontario qui encouragerait le flux d'électricité sans GES dans les deux directions, entre les réseaux de l'est ou de l'ouest; la participation aux programmes internationaux de réacteurs nucléaires avancés par le Québec et l'Ontario; le partage de charge à travers le pays au moyen de transmission à longue distance par lignes à haute tension améliorées, et l'exportation vers un marché continental.

⁸ Communiqués privés provenant de divers services publics et de sources Internet

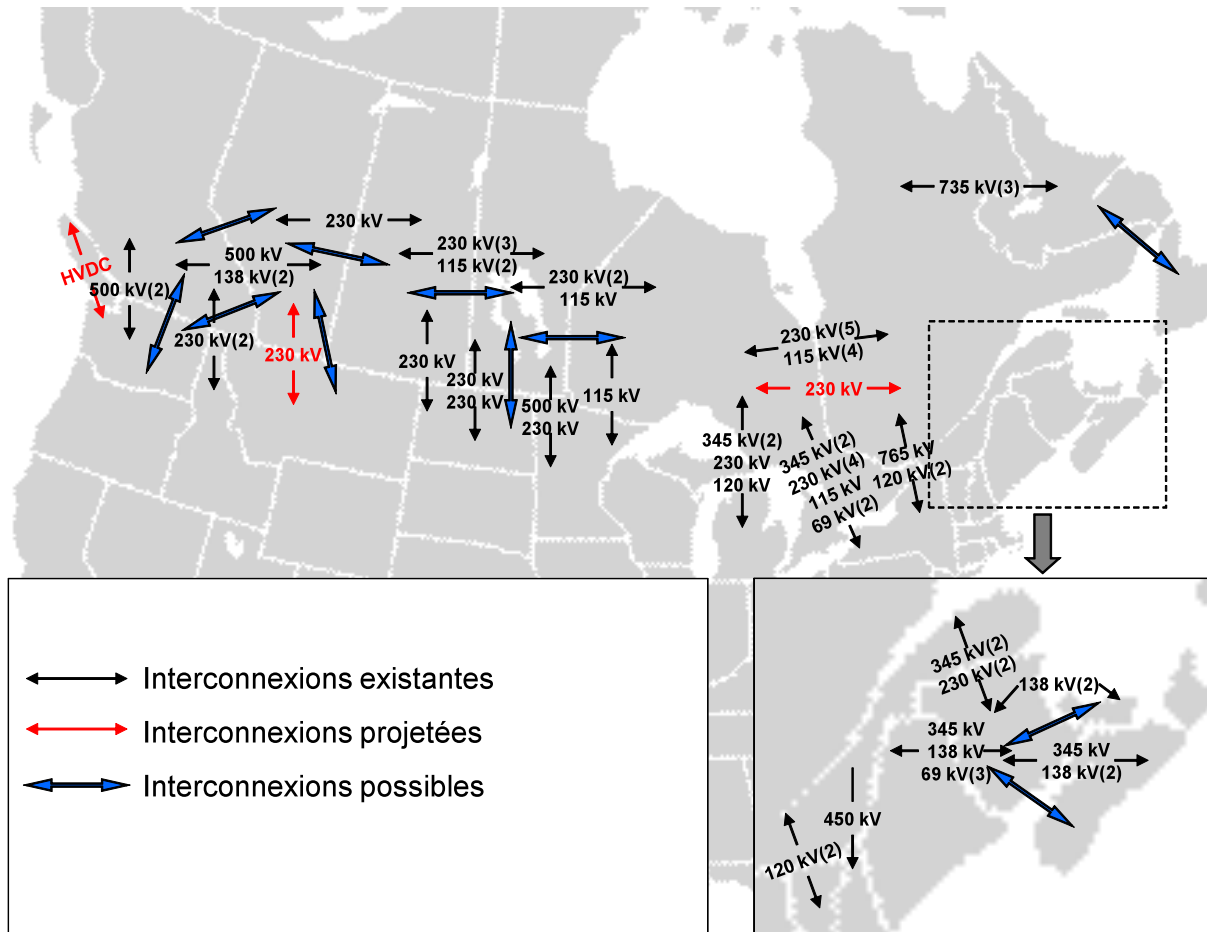


5. PROJETS D'INTERCONNEXION EXISTANTS ET PROJÉTÉS

À l'heure actuelle, le Canada compte plus de raccordements électriques avec les É.-U. qu'avec les provinces (34 vers les É.-U. contre 31 vers les provinces). En outre, les raccordements interprovinciaux ont tendance à comporter de faibles capacités de transfert, tandis que nombre de raccordements vers les É.-U. sont capables de transférer des quantités équivalentes à la production entière de grandes usines hydroélectriques ou nucléaires.

Divers services d'urbanisme étudient la possibilité d'établir nombre de nouvelles interconnexions importantes, dont une ligne servant à transférer au Nouveau-Brunswick l'électricité produite par un éventuel projet hydroélectrique sur le cours inférieur des chutes Churchill, une ligne traversant le pont de la Confédération pour alimenter l'expansion possible de la production éolienne à l'Île-du-Prince-Édouard vers le Nouveau-Brunswick, une connexion visant à amener l'électricité du Manitoba vers l'Ontario, des connexions possibles pour transférer l'électricité du Labrador directement vers l'Ontario, des augmentations de capacité possible dans les connexions entre le Manitoba et la Saskatchewan, une deuxième interconnexion entre l'Alberta et la C.-B., et une nouvelle ligne depuis Fort McMurray, Alberta, traversant la C.-B. pour aboutir aux É.-U. Les interconnexions existantes, projetées et possibles paraissent à la Figure 5.1.

Figure 5.1 Interconnexions existantes, projetées et possibles entre zones de compétence





De nouveaux projets d'interconnexion continueront d'être justifiés compte tenu des facteurs économiques de chacun. Il semblerait raisonnable d'examiner la possibilité d'entreprendre une évaluation stratégique d'un renforcement de la capacité de réseau est-ouest dans le cadre duquel les interconnexions ci-haut formeraient des liens clés importants. Les possibilités de voir des sources d'énergie renouvelable régionales réparties se relier au réseau augmenteraient les chances subséquentes d'amener ces sources d'énergie renouvelables vers des marchés plus étendus, grâce à un ensemble convenablement interconnecté de réseaux provinciaux.

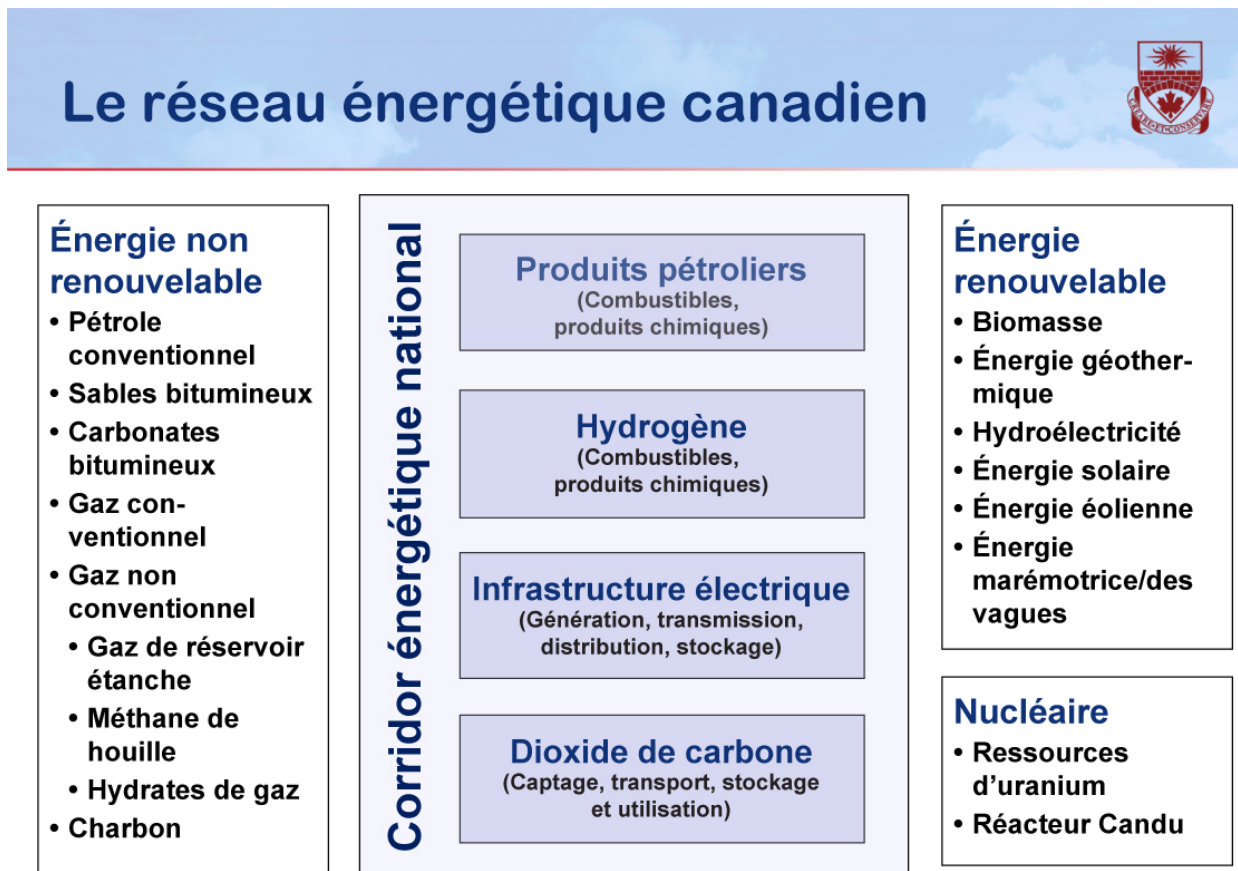
Il n'est pas difficile de s'imaginer comment les interconnexions projetées et possibles indiquées à la Figure 5.1 pourraient évoluer pour former un futur réseau est-ouest national. Il faut toutefois être prudents afin de veiller à ce que les nouvelles interconnexions aient suffisamment de « dégagement » pour être capable de répondre à tous les besoins futurs attendus (comme dans le cas du viaduc Bloor-Danforth).



6. RÉSEAU ÉLECTRIQUE – RELATION AVEC LES CORRIDORS ÉNERGÉTIQUES DU CANADA

Les études antérieures ont fait ressortir le besoin de considérer la richesse énergétique du Canada comme un réseau intégré comportant de solides conduits interconnectés de matières premières, de produits et de sous-produits, incluant les combustibles fossiles, les combustibles dérivés et les produits chimiques, l'hydrogène et le dioxyde de carbone. La Figure 6.1 énonce les composantes du réseau énergétique du Canada, diverses sources d'énergie, renouvelables et non renouvelables, ainsi que les produits dérivés et les sous-produits.

Figure 6.1 Composantes du réseau énergétique du Canada



1

Les émissions de GES du Canada, par exajoule d'électricité produite, sont de 34 mégatonnes, alors qu'elles sont de 162, aux États-Unis. La capacité de production d'électricité au Canada est l'une de celles qui produisent les plus faibles émissions de GES au monde, 73 % de cette capacité provenant d'une technologie sans émissions de GES.

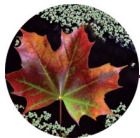
Les émissions de GES provenant des sables bitumineux sont beaucoup plus élevées que celles des autres méthodes conventionnelles d'extraction du pétrole. Il est toutefois possible de réduire considérablement les émissions de GES des sables bitumineux en ayant un système amélioré d'intégration; en utilisant, par exemple, des intrants à faible émission de GES, comme le fait voir le Tableau 6.1.



Tableau 6.1 Possibilités d'intrants à faible GES pour le traitement des sables bitumineux

Intrants énergétiques pour la production provenant des sables bitumineux	Procédés actuels (fortes émissions de GES)	Avec intégration d'énergie (faibles émissions de GES)
Chaleur	Combustion de coke, résidus, charbon	Nucléaire
Hydrogène	Reformage du gaz naturel	Électricité renouvelable ou nucléaire ou gazéification du charbon avec captage de CO ₂ et stockage, ou production thermochimique d'hydrogène.
Électricité	Combustion de charbon	Électricité provenant de sources renouvelables, nucléaires ou de gazéification avec captage de CO ₂ et stockage.

La capacité d'accroître les ressources naturelles à l'intérieur du Canada est plus facile à réaliser dans les corridors énergétiques du Canada – pour les produits pétrochimiques, le centre industriel de l'Alberta et le complexe pétrochimique et de raffinage de Sarnia/Lambton en sont des exemples. Une étude des résultats que le Canada a obtenus dans d'autres secteurs de l'économie révèle que le pays n'est pas parvenu à occuper une position de leadership durable parce qu'il n'a pas réussi à développer la capacité de transformer les matières premières en produits à valeur ajoutée.



7. MOTEURS ET CATALYSEURS

Enjeux rattachés à l'offre

L'énergie hydroélectrique constitue un important atout canadien qui fournit présentement environ 57 % de la production énergétique du Canada (73 000 MW de capacité génératrice); en outre, il existe une possibilité technique d'obtenir plus que le double de cette production, comme le démontre le Tableau 7.1. L'énergie électrique est localisée et nécessite habituellement de longues lignes de transmission vers les centres de consommation. La variabilité saisonnière et le stockage sont des facteurs essentiels dans la conception des usines d'hydroélectricité. Toutefois, le Canada a la possibilité d'accroître considérablement sa capacité de produire de l'électricité s'il arrive à harnacher une énergie hydroélectrique propre, **distribuable**, et pouvant être exportée, ce qui lui conférerait ainsi un immense avantage concurrentiel durable.

Tableau 7.1 – Production d'énergie hydroélectrique : Actuelle et potentiel non exploité (MW)

Provinces / Territoires	Actuelle ⁹	Potentiel non exploité ¹⁰
Alberta	909	11 775
Colombie-Britannique	12 609	33 137
Manitoba	5,029	8 785
Nouveau-Brunswick	923	614
Terre-Neuve et Labrador	6 796	8 540
Territoires du Nord-Ouest	25	11 524
Nouvelle-Écosse	404	8 499
Nunavut	0	4 307
Ontario	8 350	10 270
Île-du-Prince-Édouard	0	3
Québec	37 459	44,100
Saskatchewan	855	3 955
Yukon	78	17 664
Canada	73 437	163 173

L'énergie éolienne produit environ 0,5 % de l'énergie électrique du Canada. La possibilité de réaliser une énergie de qualité supérieure (p.ex. vitesse éolienne moyenne plus élevée et à moindre coût) est localisée. Les sites offrant un potentiel de qualité élevée sont largement distribués. La plupart se trouvent près des Grands Lacs et des régions côtières, ainsi que dans le nord de l'Ontario et du Québec, mais on en trouve certains dans les grandes plaines et en Colombie-Britannique (Figure 7.1). Les variations à court terme sont grandes et font qu'il est plus difficile d'équilibrer l'offre. L'interconnexion des parcs éoliens dispersés peut atténuer cette variabilité, bien que, sur une base saisonnière, les vents ont tendance à compléter la production hydroélectrique. Un réseau national ou continental interconnecté permettrait à chaque parc éolien de fonctionner à rendement optimum et réduirait le besoin de réserves d'appoint. Le Canada possède d'abondantes occasions de créer des synergies entre la production éolienne et hydroélectrique, surtout dans le

⁹ Production, transport et distribution d'électricité – 2007, Statistique Canada

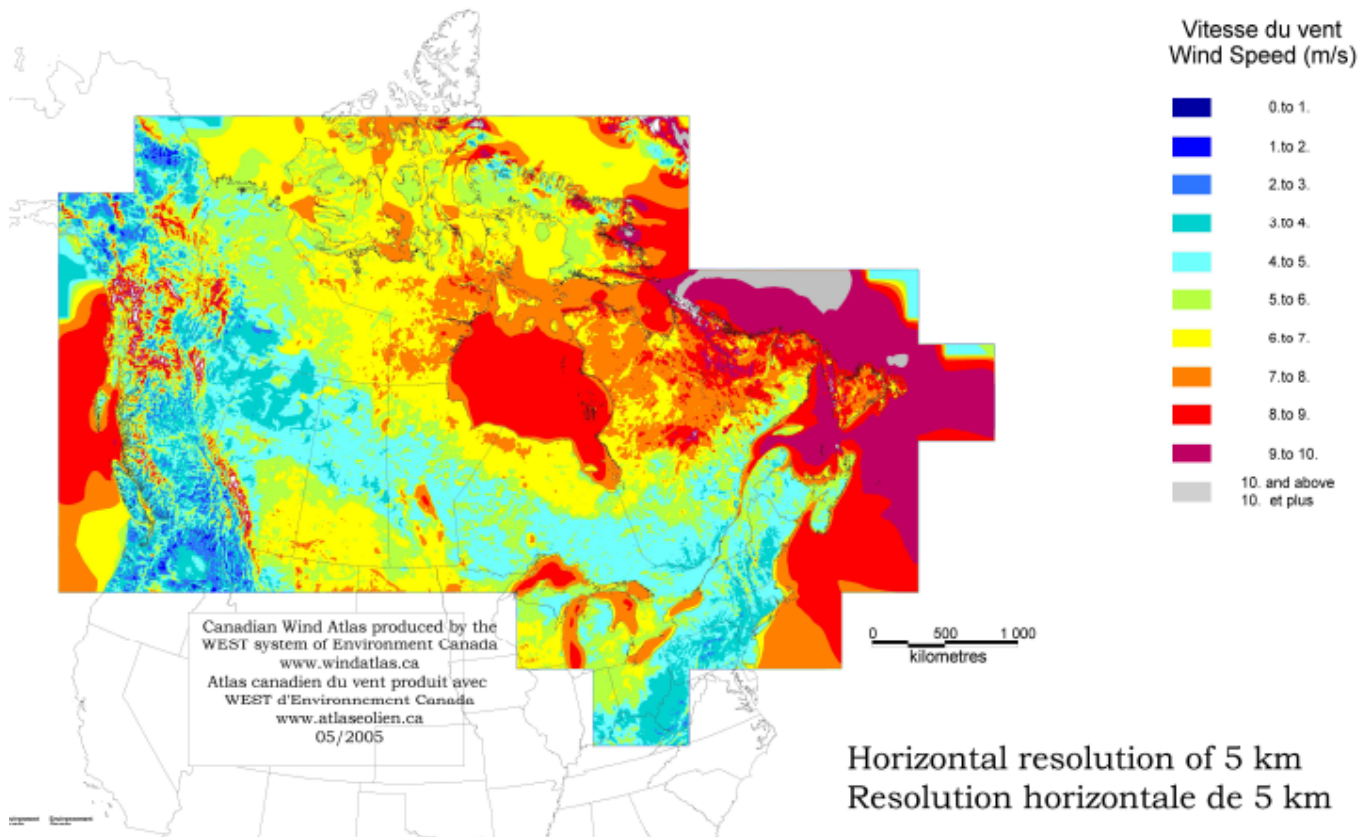
¹⁰ Étude du potentiel hydroélectrique au Canada – Association canadienne de l'hydroélectricité - 2007



nord de l'Ontario et du Québec, en partageant des corridors de transmission pour les deux genres de sources énergétiques renouvelables.

Figure 7.1 Potentiel d'énergie éolienne du Canada

- Vitesse éolienne moyenne (m/s) à 50 m au-dessus du sol



L'énergie nucléaire semble maintenant davantage appelée à prendre de l'ampleur à cause de l'absence d'émissions de GES, mais cette croissance produira, dans bien des cas, des groupes ou parcs nucléaires et aura des répercussions sur l'emplacement du réseau. L'exception consisterait à avoir des applications spécifiques et réservées, comme l'utilisation de l'énergie nucléaire pour alimenter en intrants énergétiques les sables bitumineux de l'Alberta.

La combustion du charbon produit maintenant un cinquième de l'alimentation électrique du Canada, par rapport à 50 % et 80 % dans certaines autres économies fortes consommatrices d'énergie; toutefois, l'Ontario diminue progressivement sa combustion de charbon. Il est possible de réduire considérablement l'empreinte de GES du charbon par la gazéification du charbon au moyen de vapeur et d'oxygène, et en captant et séquestrant le flux concentré de dioxyde de carbone, en échange d'une efficacité énergétique réduite. La gazéification efficace du charbon pourrait être une technologie de départ pouvant s'appliquer à une large variété de combustibles fossiles à forte teneur de carbone et aux matières premières de biomasse.

Les droits de passage des lignes électriques sont fortement restreints, tant aux États-Unis qu'au Canada. Les diverses interconnexions améliorées ou nouvelles qui ont été proposées donneront lieu à différents problèmes



quant à l'emplacement des lignes d'électricité. Il serait probablement fort recommandé d'examiner la possibilité d'utiliser les droits de passage existants concernant les pipelines, pour la localisation des lignes de transmission d'électricité, faisant ainsi un usage multiple des droits de passage existants.

Enjeux rattachés à la demande

Le concept du réseau intelligent comporte deux applications – 1) l'interaction avec le consommateur afin d'aplanir la charge, et 2) la gestion de la production d'électricité et des lignes de transmission pour améliorer la fiabilité. Cela ne semble pas influencer tellement sur le besoin d'une plus grande connectivité entre les réseaux provinciaux, mais pourrait avoir des répercussions sur la conception, l'exploitation et le contrôle des réseaux existants.

Le plus grand concurrent pour l'utilisation de l'électricité en matière de transport est le véhicule hybride rechargeable (les batteries sont chargées à partir du réseau, le soir, et un chargeur de batterie à essence est incorporé pour prolonger le rayon d'action). Les analyses laissent entendre que la hausse éventuelle de la demande d'électricité ne sera pas tellement grande, même en tenant compte d'une implantation rapide du véhicule hybride rechargeable, si elle est liée à la technologie des réseaux intelligents.

La pollution de l'air est un autre problème pour la santé et l'environnement dans l'ensemble des métropoles grandissantes, partout au monde, y compris dans les villes du Canada. Les problèmes viennent surtout de l'utilisation du charbon et des automobiles. La production d'électricité au moyen d'usines hydroélectriques, du nucléaire et de sources renouvelables, de concert avec l'adoption de véhicules électriques est essentielle pour protéger la santé des citoyens canadiens qui habitent de grands centres urbains.

Les États-Unis s'attendent à un accroissement du commerce de l'électricité à l'intérieur du pays, par suite de nouvelles connexions interrégionales. Ce pays ne prévoit pas encore de hausse importante des importations d'électricité, que ce soit du Canada ou du Mexique, comme le fait voir le Tableau 7.2. Si, toutefois, le Canada possédait des interconnexions de réseaux améliorées avec le réseau américain, il aurait alors de bonnes raisons d'accroître considérablement la vente d'énergie électrique à faible émission de GES aux États-Unis.



Tableau 7.2 Commerce international d'électricité des É.-U., récent et projeté (TWh)¹¹

	2006	2007	2010	2020	2030
Importations du Canada et du Mexique					
Énergie garantie ^a	14	16	17	7	0
Économique ^b	29	36	29	31	46
Total	42	51	46	39	46
Exportations vers le Canada et le Mexique					
Énergie garantie ^a	3	4	1	1	0
Économique ^b	21	16	21	20	19
Total	25	20	21	21	19
Échange net entre le Canada et le Mexique					
Énergie garantie ^a	10	12	16	7	0
Économique ^b	7	19	9	11	27
Total	18	31	24	18	28
Production US totale nette ajoutée au réseau	3906	4004	4042	4396	4859

^a La vente d'énergie garantie est axée sur la capacité, en ce sens que l'alimentation en électricité s'effectue dans le cadre des conditions normales d'exploitation des réseaux électriques en question.

¹¹ U.S. Annual Energy Outlook – 2009; scénario de référence



8. TECHNOLOGIES DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

Le stockage de l'énergie a pour objectifs de niveler les périodes de demande de pointe, d'appuyer la production moderne d'une centrale de base (nucléaire et au charbon), et de stocker l'énergie produite par des sources renouvelables lorsque cette énergie ne peut être consommée immédiatement par les utilisateurs du réseau. L'importance du stockage de l'énergie augmente face aux défis posés par le besoin de réduire l'empreinte de GES occasionnée par la production, la transmission et l'utilisation de l'électricité. Dans ce chapitre, on trouve un bref aperçu et une analyse des options courantes de stockage de l'énergie électrique.

Stockage hydroélectrique traditionnel (« stockage de surface ») – Cette pratique consiste à réduire le débit d'une rivière au moyen d'une installation hydroélectrique, en entreposant ainsi l'eau derrière le barrage, pour utilisation ultérieure. Cette méthode réussit depuis longtemps à entreposer de vastes quantités d'électricité dans un réservoir et a une signification particulière dans le cas d'un réseau interconnecté. L'hydroélectricité forme déjà l'ossature du réseau d'électricité canadien, en répondant à 58 % des besoins en électricité du pays, que ce soit en temps normal, en période de pointe ou pour exportation. Le stockage de surface est considéré comme la méthode de stockage la plus importante, à cause des besoins futurs de plus grandes quantités d'électricité de base, des quantités massives d'électricité non exploitée situées dans le Grand Nord canadien, à proximité de grandes ressources éoliennes, et de la possibilité de répartir les coûts de construction de lignes de CCHT entre les exploitants de l'hydroélectricité et des éoliennes, tout en créant des corridors de transmission qui permettent l'installation d'autres éoliennes. Malheureusement, l'information sur la capacité de stockage de l'énergie au Canada n'est pas accessible au public.

Stockage hydroélectrique par pompage – Cette méthode consiste à élever et entreposer l'eau dans de grands réservoirs pour production ultérieure, selon un cycle quotidien, hebdomadaire ou saisonnier. C'est un peu semblable au stockage « de surface » du fait que l'on utilise le potentiel de gravité de l'eau, mais le besoin de procéder au pompage comporte une certaine inefficacité par rapport à la méthode traditionnelle. Le stockage par pompage offre l'avantage de pouvoir être utilisé dans un grand réseau central tout comme dans de plus petits réseaux régionaux, et il s'agit d'une méthode suffisamment éprouvée pour être mise en œuvre immédiatement.

Stockage par air comprimé – Cette méthode consiste à comprimer l'air et à stocker l'énergie dans des cavernes souterraines pour production ultérieure d'électricité dans des turbines. L'emploi de cette méthode dépend largement de la présence de formations géologiques appropriées pour stocker l'air comprimé. Un grand réseau central permettrait à un plus grand nombre de lignes de transmission d'atteindre les formations appropriées, ce que les réseaux régionaux plus petits ne peuvent pas faire. La technologie est relativement éprouvée et un tel projet est déjà envisagé à la frontière de la Saskatchewan et de l'Alberta.

Stockage au moyen de sel fondu – Cette méthode consiste à stocker la chaleur solaire dans des sels comme les nitrates de sodium et de potassium, et à réchauffer l'eau plus tard pour produire de la vapeur et générer de l'électricité. C'est une méthode qui est surtout utilisée de concert avec l'énergie hélio-électrique concentrée, et elle n'est pas tellement réalisable dans le contexte canadien.

Stockage de l'hydrogène – La production d'hydrogène, son entreposage et la production ultérieure d'électricité comportent une efficacité globale trop faible (< 25 %) pour être considérés dans de larges applications stationnaires. L'hydrogène peut être produit par électrolyse au cours de périodes creuses et stocké pour utilisation par des procédés industriels sous forme de charge de départ. Toutefois, si l'on parvient à démontrer qu'il est possible de produire de l'hydrogène par des moyens thermo-chimiques à partir de la chaleur inutilisée générée par les usines nucléaires, nous pourrions voir l'économie de l'hydrogène se transformer en une monnaie énergétique servant à produire de l'électricité et d'autres applications possibles.



Stockage d'énergie au moyen de piles – Nous avons examiné sept systèmes de piles, dont quatre principales utilisations dans un réseau : 1) l'utilisation en différé ou pour niveler l'intermittence de plus petites sources d'électricité renouvelable réparties, 2) l'écrêtement à court terme de la demande de pointe de la charge de base (au moyen de batteries à flux continu), 3) l'amélioration de la qualité de l'électricité aux endroits où se trouvent des noeuds critiques 4) l'alimentation d'électricité ininterrompue à court terme et comme source d'appoint en cas de panne d'électricité pour le démarrage d'une génératrice, à des niveaux de charge ou durées de décharge modestes.

Stockage d'énergie magnétique supraconductrice (SMES) – Dans ce cas, l'énergie est stockée dans le champ magnétique d'un courant circulant dans une matière supraconductrice et déchargée en courtes rafales d'environ 10 secondes. Le stockage SMES peut être utilisé dans les réseaux régionaux pour maîtriser les poussées ou les baisses de tension instantanées causées par l'intermittence des sources renouvelables et, dans les grandes centrales, pour garantir la qualité de l'électricité aux noeuds du réseau, sur les longues lignes de transmission.

Condensateurs électrochimiques – Cette méthode consiste à séparer la charge sur des surfaces séparées par un électrolyte. On peut utiliser les condensateurs là où se trouvent des noeuds de transmission, pour compenser les chutes de tension et comme source d'appoint en cas de panne d'électricité pour le démarrage d'une génératrice. La capacité de maintenir la qualité énergétique confère aux condensateurs un rôle important dans l'intégration des diverses sources de production d'électricité.

Stockage de véhicule électrique à réseau (V2G) – Cette forme de stockage mise sur la capacité de véhicules de tourisme de s'alimenter en électricité à même le réseau en périodes creuses et de retourner une partie de cette électricité en périodes de pointe. Une évaluation prudente de l'impact à court terme indique que les propriétaires canadiens d'automobiles électriques pourraient, en soirée, retourner au réseau environ 1 % de notre demande quotidienne. Bien qu'il s'agisse d'une contribution minimale à la demande de base, elle pourrait réduire le problème de la charge de pointe en fournissant une capacité de stockage répartie, près des lieux où la demande est forte. On a soulevé la question de la durée de vie des batteries. Les principes sur lesquels repose la technologie sont sains et les principales difficultés se trouvent dans le domaine de la réglementation, des arrangements commerciaux et des incitatifs.

En résumé – Les technologies de stockage joueront un rôle important, tant à l'échelle régionale que nationale, en nivelant la charge de pointe. En outre, elles offrent la possibilité de permettre d'exploiter plus à fond certaines ressources renouvelables intermittentes. L'énergie hydroélectrique pourrait aider le réseau national en augmentant à la fois la production électrique de base et celle en période de pointe. Le stockage en surface est, de toutes les technologies de stockage possibles, celui qui domine, compte tenu de tous les aspects évalués. Le stockage d'énergie par pompage et par air comprimé pourrait aussi s'appliquer à un réseau national, bien que ce soit avec plus de difficulté. Les batteries, condensateurs et le stockage d'énergie magnétique supraconductrice constitueraient d'excellents outils pour la conception d'un réseau national, mais n'augmenteraient pas nécessairement la capacité de stockage ni le niveau de puissance. La production d'hydrogène à partir de l'électricité constituerait normalement une voie à sens unique vers une matière première chimique, à cause de la faible efficacité de transformation, bien que l'avènement de la production d'hydrogène par des moyens thermochimiques puisse offrir l'occasion de repenser cette conclusion. Le stockage au moyen de sels fondus, bien qu'il convienne aux applications de stockage d'énergie hélio-électrique, aura peu de pertinence pour le Canada. Enfin, la technologie V2G est très prometteuse, mais repose fortement sur son adoption par le consommateur et sur des pratiques de réglementation efficaces.



9. TECHNOLOGIES DE TRANSMISSION À HAUTE TENSION

Dans ce chapitre, nous donnons un aperçu des technologies et du matériel à notre disposition pour le transport en vrac de l'électricité sur de longues distances. On y trouve un résumé des options de transmission et d'interconnexion, en particulier en ce qui concerne la transmission de courant continu et de courant alternatif à haute tension, de même que les avantages et les limites des deux technologies et les solutions accessibles. Les planificateurs de transmission disposent présentement d'une grande variété d'options pour raffermir les réseaux existants, accroître la capacité de transmission et offrir des interconnexions à haute puissance à de vastes réseaux voisins, sans sacrifier ni la sécurité du réseau d'électricité en cours de fonctionnement normal, ni la fiabilité à long terme de tout réseau interconnecté.

Technologies conventionnelles de transmission du courant continu à haute tension (HVDC) – Les systèmes comportant des lignes conventionnelles à commutation par le réseau reposent sur la technologie des thyristors dont la tension caractéristique peut aller jusqu'à 500 kV avec une capacité de transfert allant jusqu'à 3000 MW. Parmi les problèmes techniques, il y a les configurations de convertisseurs (monopolaire, bipolaire, multiterminal), les limites d'utilisation des valves, les exigences de puissance réactive, la conception et la fiabilité des électrodes de terre. Pour ce qui est du courant alternatif, les facteurs à considérer sont la force du réseau de CA, les sursensions temporaires, les ratés de commutation et le rétablissement après défaillance. Des réseaux à ultra haute tension, qui possèdent des capacités de transmission en vrac plus élevées et un calibre allant jusqu'à 800 kV, 6000 MW, sont présentement en voie de développement et d'installation. Ces systèmes étendront les capacités des réseaux existants.

Technologies de transmission du courant continu à haute tension (HVDC) utilisant des convertisseurs de source de tension (VSC) – Ces systèmes sont fondés sur des appareils de commutation de force alors que des tensions typiques supérieures à 300 kV et des niveaux de transfert de puissance bipolaire de 1100 MW sont maintenant possibles. Ils utilisent surtout des réseaux de câbles, mais la transmission aérienne est en cours de développement. Les avantages comprennent un plein contrôle réel et réactif de l'électricité et la capacité d'alimenter tout genre de charge. Au nombre des problèmes techniques, il y a les configurations de convertisseurs (deux niveaux et multiniveaux), les limites d'utilisation des dispositifs, les transformateurs, les câbles, les filtres de CA et la fiabilité. Parmi les problèmes de rendement, il y a le contrôle de la puissance réelle et réactive, les défaillances de courant alternatif, les défaillances de courant continu, les surcharges et les aspects environnementaux.

Transmission du courant alternatif à haute tension (HVAC) – Bien que la majorité de l'énergie électrique soit transmise au moyen de lignes de courant alternatif, un certain nombre d'améliorations ont été effectuées. On utilise présentement des tensions allant jusqu'à 765 kV pour la transmission en vrac de l'électricité allant jusqu'à 3000 MW. Des technologies sont en cours de développement pour des tensions allant jusqu'à 1200 kV. Les questions de fonctionnement, dont celle du contrôle de la stabilité et de la tension, sont en cours de règlement. De nouveaux appareils, appelés FACTS, peuvent être utilisés pour améliorer le rendement du système de transmission et augmenter la capacité de transmission. Il s'agit d'appareils à base de thyristors, dont le compensateur statique d'énergie réactive et le condensateur série contrôlé par thyristor, le système à base de commutation forcée, ainsi que le compensateur statique synchrone, le compensateur série statique synchrone et le contrôleur flux puissance unifié.

Comparaison des technologies HVDC et HVAC – Le chapitre sur la haute tension, dans l'annexe au présent rapport, compare la technologie des convertisseurs commutés par le réseau et des convertisseurs de source de tension en résumant les caractéristiques techniques rattachées au contrôle, à la qualité de la puissance, aux transformateurs et au câblage, entre autres. On compare aussi les technologies de courant continu et de courant alternatif à haute tension, par rapport au contrôle, au réglage du réseau, aux conditions liées aux courts circuits, à la puissance réactive, à l'harmonique, à la fiabilité, à la dimension des tours et aux droits de passage, aux pertes, aux champs électriques et magnétiques et à d'autres caractéristiques.



Applications de la transmission par HVDC – Les caractéristiques et avantages comprennent la capacité de transmettre l'électricité en vrac sur de longues distances, l'utilisation améliorée de l'infrastructure existante, l'interconnexion de réseaux asynchrones, l'intégration de sources d'énergie éloignées, l'entrée dans des régions congestionnées et l'alimentation de charges isolées. Le chapitre entier de l'annexe au présent rapport se termine par l'applicabilité et les avantages possibles de ces caractéristiques dans l'élaboration d'un réseau électrique canadien.

Résumé – À l'heure actuelle, la technologie conventionnelle des lignes de transmission HVDC munies de convertisseurs commutés par le réseau (Line Commutated Converter ou LCC) est une technologie mature qui a fait ses preuves pour le transfert d'électricité en vrac sur de longues distances, généralement plus de 1000 km, pour interconnecter des réseaux AC asynchrones et pour de longs réseaux de transmission par câble. La transmission HVDC avec LCC comporte certains inconvénients comme le besoin de compenser la puissance réactive; son rendement repose sur la force du réseau AC, et il n'est pas facile de puiser à même la ligne de transmission. La technologie plus récente de transmission HVDC avec convertisseurs de source de tension (Voltage Source converter ou VSC) vient régler ces problèmes et d'autres encore, et offre un moyen de contrôle indépendant de la puissance réelle et réactive du convertisseur. La technologie des VSC a progressé rapidement et continue de s'améliorer; il est maintenant possible d'avoir des applications utilisant des lignes aériennes. Alors que les capacités de transfert de l'électricité des convertisseurs VSC continuent d'augmenter, nous prévoyons que l'application de la technologie des VSC continuera elle aussi d'augmenter, et mènera au développement de réseaux de transmission HVDC-VSC à multiterminaux.



10. LE PROJET DES FILIÈRES ÉNERGÉTIQUES DE L'ACG – SITUATION ET PLANS

L'Académie canadienne du génie a évalué le potentiel énergétique du Canada en établissant divers groupes de travail qui ont donné lieu aux rapports et activités mentionnés ci-après.

1. « L'énergie et le changement climatique », publié en mars 2002.

Ce rapport documentait les défis que doit surmonter la planète pour répondre aux futurs besoins énergétiques des pays développés et en développement. L'une des principales conclusions du rapport était qu'« une stratégie énergétique et durable à long terme doit être élaborée et requiert un plus grand choix de sources d'énergie et de technologies énergétiques que celles présentement disponibles. »

2. « Les filières énergétiques – Étape 1, publié en mai 2007.

Dans ce rapport, on trouvait quatre recommandations :

Recommandation 1 : Le Canada devrait mettre en oeuvre trois projets nationaux de technologie

- Gazéification des combustibles fossiles et de la biomasse
- Réduction des émissions de GES (captage du dioxyde de carbone, suivi de son transport, de son entreposage à long terme et de son utilisation)
- Amélioration de l'infrastructure électrique, avec amélioration de l'accès aux sources éoliennes et solaires, et de la capacité d'entreposage de l'énergie

Recommandation 2 : Établir un réseau pour la tenue de projets de démonstration de la bioconversion

Recommandation 3 : Procéder au développement technologique de 11 occasions et défis énergétiques

Recommandation 4 : Maintenir un mandat de surveillance à l'égard de la fusion par confinement magnétique et lancer un projet universitaire de fusion au laser, afin de contribuer à l'effort international

3. Suivi de la recommandation 1

Un atelier a eu lieu sur les trois projets nationaux de technologie, à Calgary, les 11 et 12 octobre 2007, au cours duquel on a énoncé les prochaines étapes de chacun de ces trois projets. On peut obtenir de l'ACG un rapport sur cet atelier.

4. Suivi de la recommandation 2

Un atelier a eu lieu sur la bioénergie, les 22 et 23 mai 2008, à Sarnia, afin de définir les projets possibles de démonstration de la bioénergie. On peut obtenir de l'ACG un rapport sur cet atelier.

5. Suivi de la recommandation sur l'infrastructure électrique

On a créé un groupe de travail pour étudier les possibilités d'améliorer l'infrastructure électrique et ce groupe de travail a préparé le présent rapport intitulé « L'électricité : Interconnecter le Canada – un avantage stratégique ».

6. Progrès réalisés par le Canada dans la réalisation des objectifs énergétiques

L'Académie canadienne du génie a entrepris une étude périodique du progrès réalisé par le Canada pour réaliser les objectifs énergétiques mentionnés dans le rapport de l'étape 1 des filières énergétiques de l'ACG.



11. CONCLUSIONS

Le réseau électrique canadien a été conçu et réalisé historiquement province par province, en accordant une importance restreinte aux interconnexions provinciales. Ce rapport a examiné la question de savoir si le Canada devrait investir dans l'amélioration des interconnexions électriques est-ouest. On nous a dit que, d'après les pratiques commerciales courantes, un tel projet exercerait un effet négatif sur les contribuables et que, en ce qui concerne de nouvelles interconnexions, la tendance économique semblait favoriser des connexions nord-sud, vers les États-Unis.

L'impératif du changement climatique et la possibilité d'engendrer moins de nouvelles émissions de GES sont d'importants indices montrant que la situation a changé. L'Agence internationale de l'énergie estime que le secteur électrique du Canada nécessitera 190 milliards de \$ US en nouveaux investissements, d'ici l'an 2030. Le moment est peut-être venu de songer à des placements stratégiques dans l'infrastructure électrique nationale.

Le secteur énergétique est peut-être la dernière chance qui s'offre au Canada de réaliser un *avantage compétitif durable*, chose que nous n'avons pas réussi à faire dans d'autres secteurs clés de l'économie. Nous avons là une occasion idéale de préparer un plan pour l'énergie électrique qui soit plus que la somme de ses parties.

L'Académie canadienne du génie effectue donc les deux recommandations énoncées dans le présent rapport, croyant qu'elles aideront à tracer la voie de l'avenir en générant des projets d'infrastructure immédiats à coûts partagés et en produisant un plan stratégique à plus long terme pour l'énergie électrique.

L'ACADÉMIE CANADIENNE DU GÉNIE



L'Académie canadienne du génie
180, rue Elgin, pièce 1100
Ottawa, Ontario, K2P 2K3
Tél. : (613) 235-9056
Télééc. : (613) 235-6861
Courriel : info@acad-eng-gen.ca



Le présent document est imprimé sur papier contenant des matières recyclées après consommation.