RÉSEAU
DES INGÉNIEURS
DU QUÉBEC

Le développement énergétique du Québec dans un contexte de développement durable

RAPPORT FINAL

30 avril 2009

Préparé par :

ÉCO RESSOURCES CONSULTANTS

RÉSEAU
DES INGÉNIEURS
DU QUÉBEC

Supervision du mandat et révision du contenu

Francis Bourque,
Directeur – Relations publiques, recherche et analyse

Pierre-Alain Benoît,
Conseiller – Relations publiques, recherche et analyse

Nous tenons également à remercier les membres du comité de soutien aux intérêts socio-énonomiques des ingénieurs pour leur implication :

Michel Simard, ing., président
Anne Boivin, ing.
Krimo Bouaou, ing.
Antoine Boumerhi, ing.
Daniel Guinan, ing.
Réal Haché, ing.
Giuseppe Indelicato, ing.
Yves Lavoie, ing.
Georges Mezzetta, ing.
Mihai Popescu, ing. jr.
Yannick Rouette, ing.
Les Ury, ing.

ÉCO RESSOURCES
CONSULTANTS

Recherche et rédaction

Kathleen Vaillancourt,
Directrice scientifique - Énergie

Dany Lemieux,
Directeur du développement des affaires – Énergie

Natalie Lambert,
Analyste Sénior - Énergie

Révision du contenu

Jean-Guy Lachance, Collaborateur sénior

Table des matières

INTRODUCTION **1**

1. BILAN DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET ASPECTS ÉCONOMIQUES **4**

1.1. Le portrait de la consommation par usage dans chaque secteur 4
1.1.1. Le secteur industriel *5*
1.1.2. Le secteur des transports *8*
1.1.3. Le secteur résidentiel *9*
1.1.4. Les secteurs commercial et institutionnel *11*
1.1.5. Le secteur agricole *14*
1.2. La comparaison du portrait énergétique du Québec 14
1.2.1. La consommation d'énergie finale dans les provinces canadiennes *14*
1.2.2. Comparaison de la consommation d'énergie et des émissions de GES per capita *15*
1.3. La croissance de la demande 18
1.3.1. Les projections officielles pour le Québec *18*
1.3.2. Comparaison de la croissance au Québec selon différentes sources *20*
1.3.3. Comparaison de la croissance avec les autres provinces canadiennes *22*
1.3.4. Comparaison de la croissance avec d'autres pays *23*
1.4. Le prix des différentes formes d'énergie 24
1.5. La relation entre les prix et la consommation d'énergie 33
1.6. La capacité budgétaire du Québec 35

2. MOYENS ACTUELS ET ÉMERGENTS DE PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE **37**

2.1. Les filières classiques de production d'énergie au Québec 37
2.1.1. Les infrastructures électriques *37*
2.1.2. L'exploitation des hydrocarbures et le raffinage des produits pétroliers *45*
2.1.3. Comparaison des filières classiques de production avec d'autres juridictions *47*
2.2. La production d'électricité provenant des nouvelles sources renouvelables 51
2.2.1. Énergie éolienne *52*
2.2.2. Énergie solaire *55*
2.2.3. Géothermie *56*
2.3. La production de biocarburants 58
2.3.1. La production actuelle et le potentiel de marché pour le biodiesel *58*
2.3.2. La production actuelle et le potentiel de marché pour l'éthanol *59*
2.3.1. Les facteurs limitant la pénétration des biocarburants sur le marché *60*
2.4. La valorisation des bioénergies 61
2.4.1. Le biogaz *61*
2.4.2. La biomasse *62*
2.5. Les opportunités liées à l'autoproduction et la microproduction 63
2.6. La contribution des ingénieurs au développement des moyens énergétiques existants et émergents 65
2.6.1. La réfection des infrastructures existantes *65*
2.6.1. La construction des nouvelles infrastructures *66*
2.6.1. L'exploration pétrolière et gazière *78*

3. CIBLES D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE POUR LE QUÉBEC 69
3.1. Les cibles d'efficacité énergétique du gouvernement du Québec 69
3.2. Les programmes d'efficacité énergétique offerts au Québec 73
3.3. Les mesures proposées pour réduire la consommation des produits pétroliers 75
3.4. La contribution des ingénieurs à l'atteinte des cibles d'efficacité énergétique 76

4. OPTIMISER LE TRANSPORT 79
4.1. Le portrait détaillé de la consommation énergétique dans le secteur des transports 79
4.1.1. La consommation par forme d'énergie et équipement 79
4.1.2. Les déplacements de personnes par région 81
4.1.3. Les déplacements de marchandises par mode 82
4.2. L'évolution de la consommation énergétique à l'horizon 2016 83
4.2.1. Évolution des déplacements de personnes et de marchandises 83
4.2.2. Évolution de l'efficacité des équipements 84
4.2.3. Évolution de la consommation énergétique par type de déplacement 85
4.2.4. Impact du prix du pétrole sur la consommation d'essence 86
4.3. Les mesures d'économies d'énergie pour le secteur du transport routier 87
4.4. Le potentiel technico-économique d'économies d'énergie dans le secteur du transport routier 90
4.5. Les véhicules hybrides et électriques 92
4.5.1. Les problèmes techniques 92
4.5.2. Le manque d'infrastructure connexe 93
4.5.1. L'impact sur le réseau de production d'électricité 94
4.5.2. Autres obstacles 95
4.6. La contribution des ingénieurs pour la réalisation d'économies d'énergie en transport 96
4.6.1. Promouvoir des stratégies intégrées 96
4.6.2. Miser d'abord sur le transport des personnes en milieu urbain 97
4.6.3. S'orienter vers la mise en œuvre des mesures les plus prometteuses 97
4.6.4. Participer aux efforts de sensibilisation de la population 100

5. EXPERTISE QUÉBÉCOISE EN MATIÈRE D'ÉNERGIES ÉMERGENTES AU QUÉBEC 101
5.1. Les politiques gouvernementales pour développement technologique 101
5.1.1. L'Agence de l'efficacité énergétique 101
5.1.1. Le Conseil de la science et de la technologie 104
5.2. L'état de la situation en matière d'expertise technologique au Québec 104
5.2.1. Le secteur des transports : les biocarburants 105
5.2.2. Le secteur des transports : les véhicules hybrides et électriques 106
5.2.3. Le secteur des transports : les autres moyens de transports électriques 109
5.2.4. Les secteurs résidentiel et commercial : les thermopompes géothermiques 110
5.2.5. Les secteurs résidentiel et commercial : les systèmes solaires 111
5.2.6. La production d'électricité : les parcs éoliens 112
5.3. Formation des ingénieurs dans le secteur énergétique au Québec 113
5.3.1. Énergies renouvelables 113
5.3.2. Efficacité énergétique 114
5.3.3. Énergies conventionnelles 114
5.3.4. Transport 115
5.3.5. Formation continue 115
5.4. La contribution des ingénieurs au développement technologique et à la formation dans le secteur énergétique québécois 116

6. UNE POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE POUR UN QUÉBEC PROSPÈRE 118
6.1. Le contexte entourant la mise en œuvre de la politique énergétique 118
6.2. Les particularités du secteur énergétique québécois 118
6.3. Recommandations et orientations 120
6.3.1. Faire de l'efficacité énergétique 120
6.3.2. Optimiser le secteur des transports 122
6.3.3. Moderniser les actifs de production d'énergie 124
6.3.4. Développer de nouvelles capacités de production électrique 126
6.3.5. Appuyer le développement de la microproduction d'électricité 128
6.3.6. Contribuer au développement des biocarburants et autres bioénergies 129
6.3.7. Défis technologiques et de formation dans le secteur énergétique au Québec 130
6.4. Sommaire des recommandations et orientations 1131

BIBLIOGRAPHIE 135

ANNEXE A – ASPECTS ÉCONOMIQUES DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 141

Liste des tableaux

TABLEAU 1 – CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR EN 2006 4

TABLEAU 2 – CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME POUR CHAQUE TYPE D'INDUSTRIES 7

TABLEAU 3 – CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR USAGE POUR CHAQUE TYPE DE COMMERCES 13

TABLEAU 4 - PUISSANCE INSTALLÉE PAR TYPE DE PRODUCTEUR ET PAR TYPE D'ÉNERGIE, 2005 38

TABLEAU 5 - PRINCIPALES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES HYDRO-QUÉBEC EN 2007 40

TABLEAU 6 - AUTRES CENTRALES HYDRO-QUÉBEC EN 2007 40

TABLEAU 7 - LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE INSTALLÉE AU QUÉBEC 41

TABLEAU 8 - PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC (MWH/AN) 43

TABLEAU 9- PUISSANCE ÉLECTRIQUE INSTALLÉE PAR PROVINCE (MW), 2006 49

TABLEAU 10 - POTENTIEL ÉOLIEN ET LIMITES DE CAPACITÉ INTÉGRABLES AU RÉSEAU 52

TABLEAU 11- EXEMPLES DE PROJETS D'AUTOPRODUCTION OU DE MICROPRODUCTION D'ÉNERGIE 64

TABLEAU 12 - CIBLES D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE DE LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE POUR 2015 69

TABLEAU 13 - COMPARAISON DES CIBLES APPROUVÉES PAR LE GOUVERNEMENT
ET DES CIBLES DE LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 70

TABLEAU 14 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2000-2006 71

TABLEAU 15 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2007-2010 DÉCOULANT DES ACTIONS DU PACC 71

TABLEAU 16 - COMPARAISON DES CIBLES APPROUVÉES PAR LE GOUVERNEMENT
ET DES CIBLES DU PLAN D'ENSEMBLE 71

TABLEAU 17 - COMPARAISON DES CIBLES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2000-2010
ET DES CIBLES DE LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE 72

TABLEAU 18 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2007-2010 DU PLAN D'ENSEMBLE PAR TYPE DE CLIENTÈLE 75

TABLEAU 19 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2007-2010 DU PLAN D'ENSEMBLE DANS LES MESURES REQUÉRANT L'INTERVENTION D'UN INGÉNIEUR 78

TABLEAU 20 - LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR ÉQUIPEMENTS EN 2005.....80

TABLEAU 21 - DÉPLACEMENTS DES PERSONNES EN MILIEU URBAIN PAR RÉGION EN 2005 81

TABLEAU 22 - DÉPLACEMENTS DES PERSONNES EN MILIEU URBAIN PAR ÉQUIPEMENT EN 2005.....82

TABLEAU 23 - TRANSPORT DE MARCHANDISES PAR MODE EN 2005 82

TABLEAU 24 - ÉVOLUTION DES DÉPLACEMENTS DE PERSONNES ENTRE 2005 ET 2016 83

TABLEAU 25 - ÉVOLUTION DU TRANSPORT DE MARCHANDISES 84

TABLEAU 26 - ÉVOLUTION RELATIVE DU RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE DES ÉQUIPEMENTS 84

TABLEAU 27 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR TYPE DE DÉPLACEMENT 85

TABLEAU 28 - IMPACT DU PRIX DU PÉTROLE SUR LA CONSOMMATION D'ESSENCE 86

TABLEAU 29 - APERÇU DU POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE EN TRANSPORT ROUTIER POUR 2013 90

TABLEAU 30 - IMPORTANCE DU POTENTIEL PAR RAPPORT À LA CONSOMMATION DE CARBURANTS EN 2013.....92

TABLEAU 31 - PROGRAMMES ET INTERVENTIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES 102

TABLEAU 32 - COÛT DE REVIENT DES FILIÈRES DE MICROPRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ AU CANADA 128

TABLEAU 33 - RECOMMANDATIONS 131

TABLEAU 34 - RETOMBÉES RÉGIONALES DES ACQUISITIONS D'HYDRO-QUÉBEC, 2007 (K$)A,B 147

Liste des figures

FIGURE 1 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL.....5
FIGURE 2 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR TYPE D'INDUSTRIES.....6
FIGURE 3 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR DES TRANSPORTS 8
FIGURE 4 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR MODE DE TRANSPORT 8
FIGURE 5 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL.....9
FIGURE 6 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR USAGE DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL 10
FIGURE 7 - BESOINS THERMIQUES DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL PAR TYPE DE LOGEMENTS (GJ/M^2).....11
FIGURE 8 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR COMMERCIAL 12
FIGURE 9 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR USAGE DANS LE SECTEUR COMMERCIAL 12
FIGURE 10 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR AGRICOLE 14
FIGURE 11 - RÉPARTITION DES DIFFÉRENTES FORMES D'ÉNERGIE FINALE DANS CHAQUE PROVINCE.....15
FIGURE 12 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR HABITANT AU QUÉBEC ET AU CANADA EN 2003.....15
FIGURE 13 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR UNITÉ DE PIB PAR PROVINCE EN 2006 16
FIGURE 14 - ÉMISSIONS DE GES PAR HABITANT ET PAR PROVINCE EN 2003.....17
FIGURE 15 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR HABITANT AU QUÉBEC ET AILLEURS DANS LE MONDE EN 2002 ...17
FIGURE 16 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE AU QUÉBEC, 2001 – 2016 (PJ).....19
FIGURE 17 – ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR AU QUÉBEC, 2001 – 2016 (PJ).....20
FIGURE 18 - COMPARAISON DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR AU QUÉBEC EN 2016 (PJ) 21
FIGURE 19 - COMPARAISON DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME AU QUÉBEC EN 2016 (PJ) 21
FIGURE 20 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE AU CANADA 22
FIGURE 21 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE DANS LE MONDE, 2005 - 2030 (EJ) 23
FIGURE 22 - PRIX HISTORIQUES DU PÉTROLE BRUT, 1976 – 2007.....24
FIGURE 23 - PRIX HISTORIQUES DU PÉTROLE BRUT, JANVIER 2004 - JANVIER 2009.....25
FIGURE 24 - PRÉVISIONS DES PRIX DU PÉTROLE BRUT, 2009 - 2030.....26
FIGURE 25 - LE PRIX MOYEN DU PÉTROLE BRUT LIVRÉ AU QUÉBEC, 1982 – 2007 27
FIGURE 26 - LE PRIX DES PRODUITS PÉTROLIERS À MONTRÉAL, 1982 - 2007.....27
FIGURE 27 - LES COMPOSANTES DU PRIX DE L'ESSENCE ORDINAIRE SANS PLOMB À MONTRÉAL.....28
FIGURE 28 - LE PRIX DE VENTE MOYEN DU GAZ NATUREL AU QUÉBEC SELON LES SECTEURS DE CONSOMMATION.....29

FIGURE 29 - LE PRIX DU GAZ NATUREL AU QUÉBEC ET DANS CERTAINS PAYS INDUSTRIALISÉS- SECTEUR INDUSTRIEL..29
FIGURE 30 - PRIX DE VENTE MOYEN DE L'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC, SELON LES SECTEURS DE CONSOMMATION 30
FIGURE 31 - PRIX MOYENS D'ÉLECTRICITÉ RÉSIDENTIEL PAYÉS DANS CERTAINES GRANDES VILLES CANADIENNES 31
FIGURE 32 - TARIFS D'ÉLECTRICITÉ AUX ÉTATS-UNIS (¢ US/KWH), 2005 31
FIGURE 33 –TARIFS D'ÉLECTRICITÉ PAYÉS DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL DE DIVERSES JURIDICTIONS, 2006 32
FIGURE 34 - LES PRINCIPALES CENTRALES ÉLECTRIQUES EN SERVICE AU QUÉBEC EN 2007 39
FIGURE 35 - GRANDS ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION ET DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC 42
FIGURE 36 - POTENTIEL ÉLECTRIQUE AU QUÉBEC EN 2003 44
FIGURE 37- LES DÉPENSES EN EXPLORATION ET EXPLOITATION DES HYDROCARBURES AU QUÉBEC 45
FIGURE 38- LA SUPERFICIE DU TERRITOIRE COUVERTE PAR UN PERMIS DE RECHERCHE D'HYDROCARBURES 46
FIGURE 39 - LA PROVENANCE DES APPROVISIONNEMENTS EN PÉTROLE BRUT AU QUÉBEC 46
FIGURE 40 - LA PRODUCTION DES PRODUITS PÉTROLIERS ÉNERGÉTIQUES 47
FIGURE 41 - LES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS D'HYDROÉLECTRICITÉ DANS LE MONDE EN 2006 48
FIGURE 42 - SOURCES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ, 2005 50
FIGURE 43 - LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN AMÉRIQUE DU NORD ET LES VENTS DOMINANTS 50
FIGURE 44 - LA CAPACITÉ DE RAFFINAGE AU QUÉBEC ET AU CANADA 51
FIGURE 45 - PERFORMANCE DES THERMOPOMPES GÉOTHERMIQUES 56
FIGURE 46 - LES DÉPENSES TOTALES EN ÉNERGIE AU QUÉBEC 141
FIGURE 47 - LA DÉPENSE DES PARTICULIERS CONSACRÉE À L'ÉNERGIE AU QUÉBEC 142
FIGURE 48 - COMPARAISON DES DÉPENSES ÉNERGÉTIQUES PAR MÉNAGE (EN $ CAN) 142
FIGURE 49 - VALEUR AJOUTÉE DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 143
FIGURE 50 - PART DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE DANS LE PRODUIT INTÉRIEUR BRUT TOTAL (%) 143
FIGURE 51 - VALEUR AJOUTÉE DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE QUÉBÉCOIS EN 2005 144
FIGURE 52 - BALANCE COMMERCIALE DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 144
FIGURE 53 - EXPORTATIONS NETTES D'ÉLECTRICITÉ, 2007 145
FIGURE 54 - LA PART DES INVESTISSEMENTS EN ÉNERGIE DANS LES INVESTISSEMENTS TOTAUX 146
FIGURE 55 – LES INVESTISSEMENTS DANS LE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE PAR INDUSTRIE 146
FIGURE 56 - EMPLOIS DANS LE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 148

Liste des unités

$US dollar américain

$/GJ dollar par gigajoule

$/baril dollar par baril[1]

G$ milliard de dollars

GJ gigajoule

GJ/m² gigajoule par mètre carré

k$ millier de dollars

kWh kilowatt-heure

m² mètre carré

m³ mètre cube

M$ million de dollars

MJ mégajoule

MW mégawatt

MWh mégawatt-heure

PJ pétajoule

tep tonne équivalente de pétrole[2]

TWh térawatt-heure

[1] 1 baril = 42 gallons US ou 159 litres

[2] 1 tep = 41.868 GJ ou 39.68 MBtu ou 7.33 barils ou 11,628 MWh

INTRODUCTION

Parallèlement à l'augmentation de la demande énergétique et à la raréfaction des combustibles fossiles conventionnels, les questions de sécurité énergétique prennent de plus en plus d'importance dans plusieurs pays à travers le monde. Ces questions constituent même l'une des principales préoccupations dans une majorité d'entre eux. En effet, selon le scénario de référence du département américain de l'énergie, la consommation mondiale d'énergie devrait augmenter de 51 % entre 2005 et 2030 (EIA, 2008). Ce sont évidemment les pays en développement, dont la Chine et l'Inde, qui contribuent le plus à cette augmentation, car leur consommation d'énergie finale sera plus que doublée sur la même période. Environ 50 % de cette augmentation est associée à la consommation d'électricité et 20 % à la consommation de carburants dans le secteur des transports.

En même temps, les réserves de combustibles fossiles se font de plus en plus rares. Bien que les estimations varient largement quant aux quantités de pétrole, de gaz naturel et de charbon encore disponibles, il demeure que la situation est de plus en plus préoccupante pour le pétrole et le gaz naturel et que les approvisionnements à long terme sont loin d'être assurés. Les principaux pays producteurs de pétrole brut ne seront pas en mesure d'accroître leur capacité de production à un niveau suffisant pour répondre à la demande mondiale. De plus, les ressources de pétrole brut sont concentrées dans quelques pays, dont la majorité dans des régions politiquement instables. Les guerres actuelles en Géorgie, en Afghanistan et en Irak s'expliquent d'ailleurs en partie par la volonté de certains États de préserver le contrôle de leurs sources d'approvisionnement.

Il en découle ainsi des impacts sur le prix du baril de pétrole, qui augmente de façon significative depuis quelques années. Malgré l'accalmie des derniers mois, redevable à la sévère récession économique que traverse actuellement l'économie mondiale, une telle situation de pénurie relative continuera de créer une pression à la hausse sur le prix des hydrocarbures et sur celui du pétrole brut en particulier.

Le Canada est un pays producteur de pétrole, donc la sécurité énergétique ne constitue pas sa plus grande préoccupation. Toutefois, le Québec est un importateur de pétrole net, et l'indépendance énergétique y représente un enjeu important. Il est soumis, comme une majorité de pays, à l'instabilité sociopolitique des principales zones de production d'hydrocarbures. Dans un tel contexte, il est clair que la réduction de sa dépendance à l'égard des hydrocarbures doit être une préoccupation de premier plan. De plus, la consommation énergétique par habitant du Québec est plus élevée que celle de la majorité des autres pays développés dans des conditions similaires (structure industrielle et climat). À long terme, l'amélioration de l'efficacité énergétique des divers secteurs économiques est essentielle, et la diversification des formes d'énergie disponibles au Québec est tout aussi souhaitable.

Dans cette optique, il faut accélérer l'analyse des choix qui s'offrent à la société québécoise, lesquels sont par ailleurs nombreux. Aux formes d'énergies conventionnelles, comme le pétrole, le gaz naturel et le charbon, s'ajoutent l'électricité que l'on peut produire à partir d'énergie nucléaire et les énergies renouvelables comme l'hydroélectricité, l'éolien, le solaire, la géothermie et la biomasse. À ce chapitre, le Québec dispose de ressources considérables, hydroélectriques et éoliennes en particulier. Également, il peut exploiter les autres formes d'énergie renouvelable en développant les technologies appropriées. Dans le secteur des transports, les diverses formes d'énergie se résument aux biocarburants, à l'hydrogène et aux autres carburants alternatifs. Encore là, le Québec peut développer en ces domaines des créneaux qui le serviront avantageusement à moyen et à long terme.

Le Québec doit donc se positionner et faire des choix. Il doit à la fois moderniser ses actifs énergétiques et développer de nouvelles technologies afin d'optimiser la consommation énergétique dans les domaines du transport et de l'industrie, ainsi que dans les secteurs agricole et résidentiel. La société québécoise doit trouver des pistes de solution afin que le développement et l'entretien de ses infrastructures énergétiques soient en accord avec ses besoins et ses moyens, dans une perspective de développement durable.

Dans un tel cadre, les experts, dont les ingénieurs, ont un rôle important à jouer en vue d'effectuer les bons choix technologiques et de changer les habitudes de dépendance que la société a développée, envers le pétrole notamment. Les ingénieurs se doivent de porter un jugement sur les méthodes de travail utilisées, d'ajuster leurs façons de faire et de proposer des solutions. Ils doivent définir leur rôle dans le choix et le développement des énergies renouvelables. Ils doivent se positionner en tant que leaders dans l'application de procédés en harmonie avec le développement durable et ainsi intervenir comme acteurs crédibles qui favorisent le respect de l'environnement. En résumé, les ingénieurs ont un rôle à jouer dans de nombreux domaines où le Québec est considéré comme un leader et pour lesquels il convient de continuer à développer l'expertise.

L'objectif général du mandat est de fournir des réponses claires et argumentées au RéseauIQ sur les divers enjeux soulevés par le développement durable des secteurs énergétiques au Québec, afin que la Province puisse jouer un rôle dans le développement d'une prise de conscience globale par rapport à ces questions et ainsi inciter la population à adopter des habitudes de consommation moins énergivores. Ce rôle représente un défi pour les ingénieurs, qui devront eux aussi adapter leur façon de faire en fonction des nouvelles opportunités de développement énergétique. Il est donc impératif d'effectuer une analyse approfondie de ces questions, afin de fournir des réponses claires, mais robustes, sur les divers enjeux.

La Section 1 du présent rapport présente le portrait actuel de la consommation énergétique au Québec par type d'usage et par forme d'énergie dans chaque secteur économique; elle présente également la comparaison des besoins énergétiques actuels et futurs du Québec avec ceux des autres provinces canadiennes et d'autres pays similaires, ainsi que les aspects économiques de ces choix énergétiques; enfin, cette section traite aussi de certaines questions portant sur la capacité budgétaire du Québec, en lien avec ses choix énergétiques.

La Section 2 aborde les moyens de production énergétique, existants et émergents, ce qui permet d'évaluer les perspectives des nouvelles formes d'énergie et leurs impacts sur les besoins énergétiques au Québec; des pistes de solutions sont avancées, pour assurer que les choix énergétiques correspondent à nos besoins et nos moyens, dans une perspective de développement durable.

Les questions d'efficacité énergétique, c'est-à-dire les cibles d'économie d'énergie et les programmes proposés par le gouvernement et par les distributeurs d'énergie, sont présentées et discutées à la Section 3.

La Section 4 est consacrée au secteur des transports. On y trace le portrait détaillé de la consommation énergétique en fonction de la forme d'énergie, de l'équipement, du type de déplacement et de la région. Il y est question des mesures d'économie d'énergie les plus prometteuses en vue d'atteindre les objectifs de la Stratégie énergétique du Québec 2005-2016.

La Section 5 porte sur les plus pertinentes des expertises et des technologies disponibles au Québec dans un but de développement durable du secteur énergétique.

Finalement, la section 6 constitue un résumé des aspects les plus importants à prendre en compte pour élaborer une prise de position efficace en ce qui a trait au déploiement des secteurs énergétiques dans une perspective de développement durable.

1. BILAN DE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE ET ASPECTS ÉCONOMIQUES

Cette section dresse le portrait actuel et futur de la consommation énergétique au Québec par type d'usage et par forme d'énergie dans chaque secteur économique. Une discussion sur la capacité budgétaire du Québec conclut la section et fournit des éléments de réflexion pertinents.

1.1. Le portrait de la consommation par usage dans chaque secteur

L'analyse de la consommation par forme d'énergie et par type d'usage est présentée ci-dessous pour chaque secteur économique pour l'année 2006[3]. Au Québec, les industries demeurent les plus grandes consommatrices d'énergie, mais le secteur des transports nécessite également une part importante de la quantité d'énergie finale (Tableau 1).

TABLEAU 1 – CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR EN 2006

Secteurs	Énergie consommée (PJ)	Part de l'énergie totale consommée (%)	Formes d'énergie utilisées (%)
Industries	707,9	40%	Électricité (54%) Gaz naturel (18%) Déchets (14%)
Transport	479,0	27%	Essence (62%) Diesel (27%)
Résidentiel	319,4	18%	Électricité (65%) Gaz naturel (8%)
Commercial	230,7	13%	Électricité (55%) Gaz naturel (29%)
Agriculture	35,5	2%	Électricité (24%) Essence (25%) Diesel (39%)
Total	1774,3	100%	

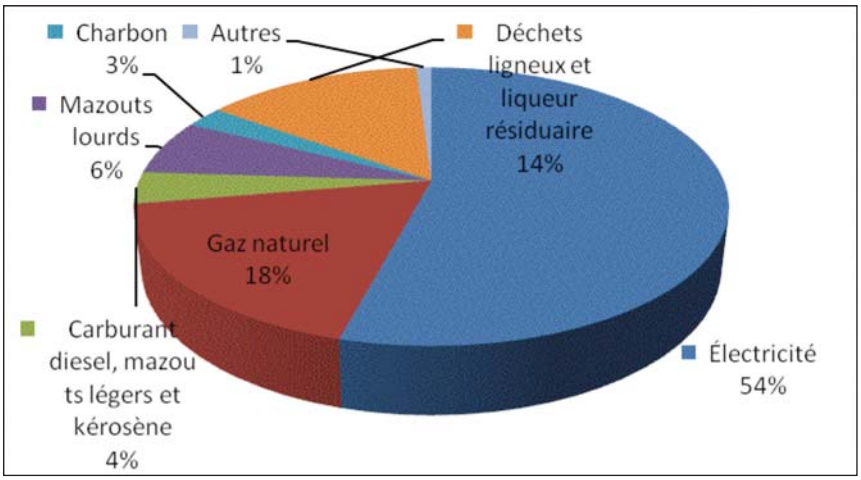
Source : OEE, 2008.

[3]Étant donné la mise à jour récente des statistiques publiées par l'Office de l'efficacité énergétique du Canada (OEE, 2008), cette dernière source a été privilégiée au détriment des dernières statistiques officielles du Québec publiées il y a plusieurs années dans L'énergie au Québec, édition 2004 (MRNF, 2004).

1.1.1. Le secteur industriel

Le secteur industriel demeure le principal consommateur d'énergie finale au Québec, avec 707,9 PJ en 2006. La consommation énergétique du secteur industriel est caractérisée par une importante proportion d'électricité (54 %), ainsi que par une proportion significative de gaz naturel (18 %) et de déchets ligneux et liqueur résiduaire (14 %) (Figure 1).

FIGURE 1 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

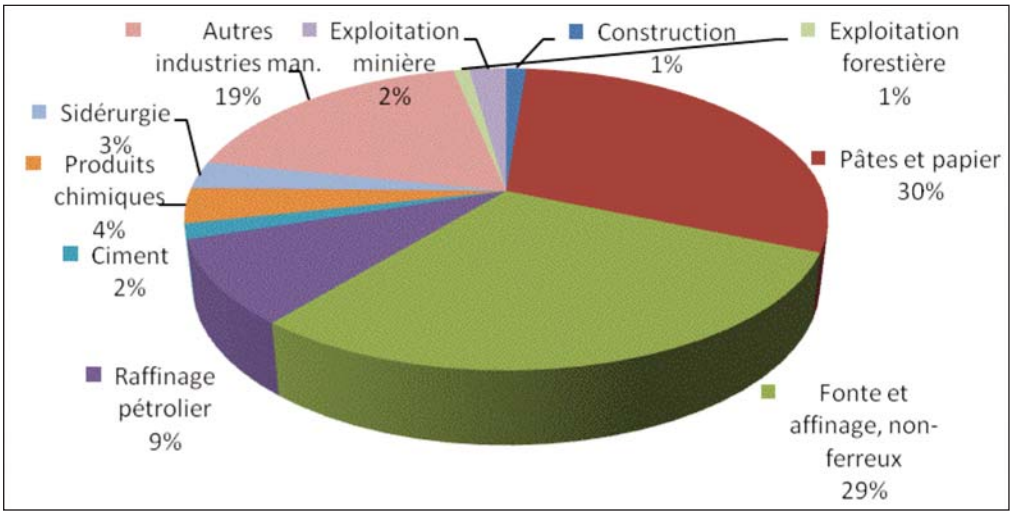


Autres = coke et gaz de four à coke, vapeur et combustibles résiduaires de l'industrie du ciment.

Source : OEE, 2008.

Les industries des pâtes et papiers et les industries de la fonte et de l'affinage (dont les alumineries) accaparent 59 % de la consommation d'énergie du secteur industriel, alors que les autres industries manufacturières en consomment 19 % (Figure 2).

FIGURE 2 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR TYPE D'INDUSTRIES



Source : OEE, 2008.

L'intensité énergétique du secteur industriel québécois est de 11 MJ/$ PIB (Tableau 2). Considérant que 54 % de cette énergie provient de l'électricité (donc 1,65 kWh/$PIB) et un facteur de capacité moyen de 43 %, cela signifie qu'il faut ajouter environ 0,44 watt d'électricité pour chaque dollar généré par le secteur industriel.

Les industries des pâtes et papiers et les industries de la fonte et de l'affinage sont de fortes consommatrices d'électricité, avec 74 % de toute l'électricité utilisée dans le secteur industriel. Elles consomment également 67 % de tout le mazout. Les autres industries manufacturières consomment quant à elles 57 % du gaz naturel utilisé dans le secteur industriel. Le carburant diesel, le mazout léger et le kérosène sont davantage utilisés pour l'exploration forestière et minière, ainsi que dans le secteur de la construction. Enfin, les déchets ligneux et la liqueur résiduaire sont produits et réutilisés dans l'industrie des pâtes et papiers.

Bien que fortes consommatrices d'énergie, les industries de la fonte, de l'affinage et des pâtes et papiers ne contribuent qu'à 6 % chacune du PIB de secteur industriel. Ce sont les autres industries manufacturières qui génèrent 60 % du PIB industriel du Québec. Il est pertinent de noter que l'industrie du raffinage, un secteur qui consomme 9 % de l'énergie utilisée dans le secteur industriel, est celle dont l'intensité énergétique par unité de PIB est de loin la plus élevée (la contribution au PIB est de 0,4 %).

TABLEAU 2 – CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME POUR CHAQUE TYPE D'INDUSTRIES

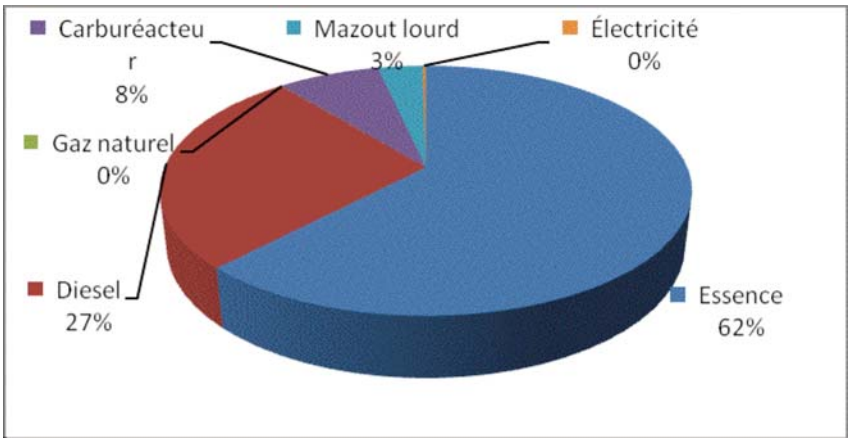
	Électricité	Gaz naturel	Carburant diesel, mazouts légers et kérosène	Mazouts lourds	Charbon	Déchets ligneux et liqueur résiduaire	Autres	Total	PIB	Intensité énergétique
	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	M 97$	MJ/97$ - PIB
Construction	0,0	4,0	4,2	0,2	0,0	0,0	0,0	**8,6**	12 981	0,7
Pâtes et papier	80,1	13,0	X	21,8	X	92,5	4,7	**213,8**	3 835	55,8
Fonte et affinage, non-ferreux	181,9	11,0	X	6,3	X	0,0	0,0	**208,7**	4 034	51,7
Raffinage pétrolier	5,1	9,0	0,2	7,4	0,0	0,0	0,0	**63,9**	278	229,7
Ciment	1,8	0,0	X	0,3	X	0,0	0,4	**11,6**	204	56,9
Produits chimiques	19,3	4,1	X	1,7	X	0,0	0,4	**26,6**	910	29,3
Sidérurgie	9,9	10,2	X	0,0	X	0,0	0,0	**20,7**	1 044	19,8
Autres industries manufacturières	47,5	67,3	X	1,1	X	0,0	0,0	**131,4**	38 245	3,4
Exploitation forestière	0,0	0,0	6,3	0,5	0,0	0,0	0,0	**6,8**	1 506	4,5
Exploitation minière	9,0	0,2	3,7	2,9	0,0	0,0	0,0	**15,8**	1 203	13,1
Total								**707,9**	**64 240**	**11,0**

Source : OEE, 2008.

1.1.2. Le secteur des transports

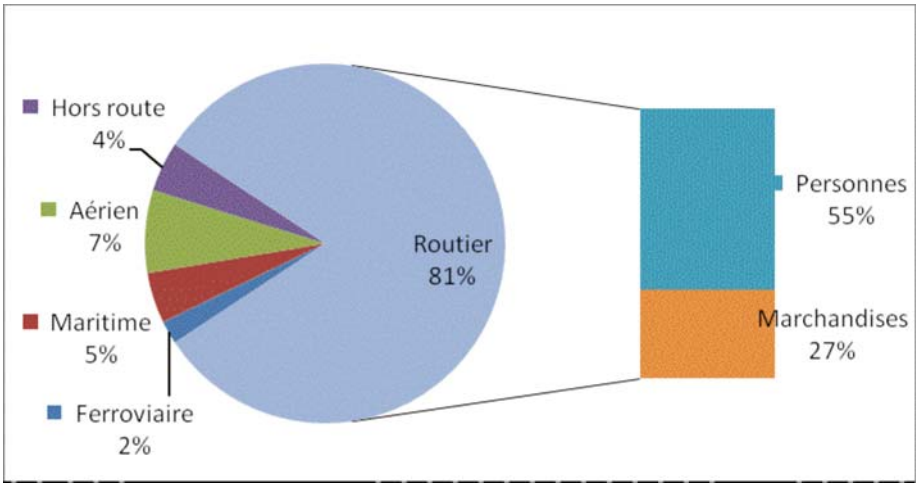
Le secteur des transports est essentiellement caractérisé par la consommation de produits pétroliers, soit l'essence (62 %) et le diesel (27 %) (Figure 3). Le détail de la consommation énergétique par mode illustre bien le fait que le transport routier, principalement celui employé au déplacement de personnes, consomme la très grande part des carburants utilisés dans ce secteur au Québec (Figure 4). Pour une analyse plus approfondie, voir la Section 3.

FIGURE 3 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR DES TRANSPORTS



Source : OEE, 2008.

FIGURE 4 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR MODE DE TRANSPORT

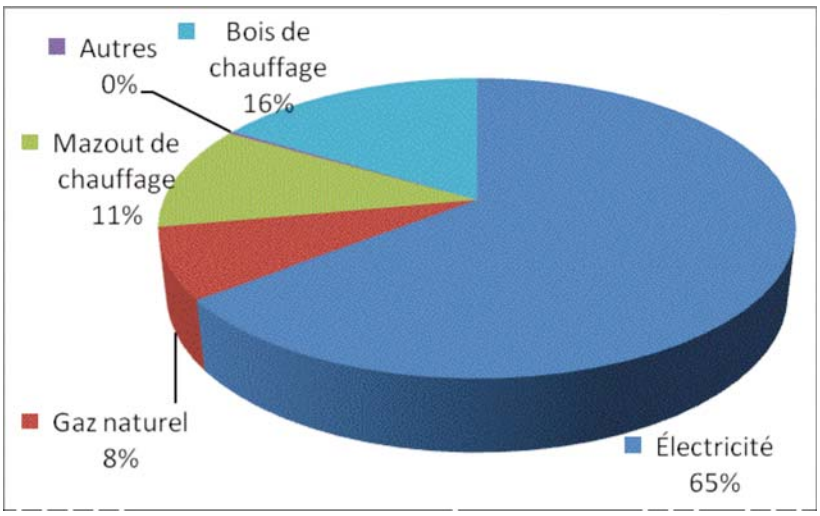


Source : OEE, 2008.

1.1.3. Le secteur résidentiel

La consommation énergétique du secteur résidentiel comporte une très forte proportion d'électricité (65 %) (Figure 5). Celle-ci est principalement utilisée à des fins de chauffage des locaux, de l'eau et de fonctionnement d'appareils ménagers. L'électricité constitue également la seule source d'énergie utilisée à des fins de climatisation et d'éclairage, bien que les quantités nécessaires soient beaucoup moins importantes. Le bois de chauffage (16 %), le mazout (11 %) et le gaz naturel (8 %) sont principalement utilisés pour le chauffage des locaux, alors que de très petites quantités sont utilisées pour le chauffage de l'eau ou pour les appareils ménagers dans le cas du gaz naturel.

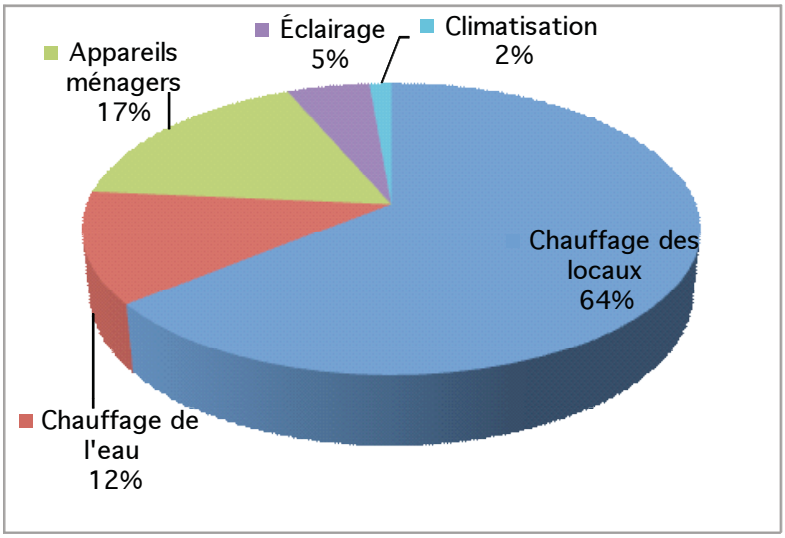
FIGURE 5 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL



Source : OEE, 2008.

Le chauffage des locaux (64 %) utilise la plus grande part de l'énergie consommée dans le secteur résidentiel (Figure 6).

FIGURE 6 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR USAGE DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL



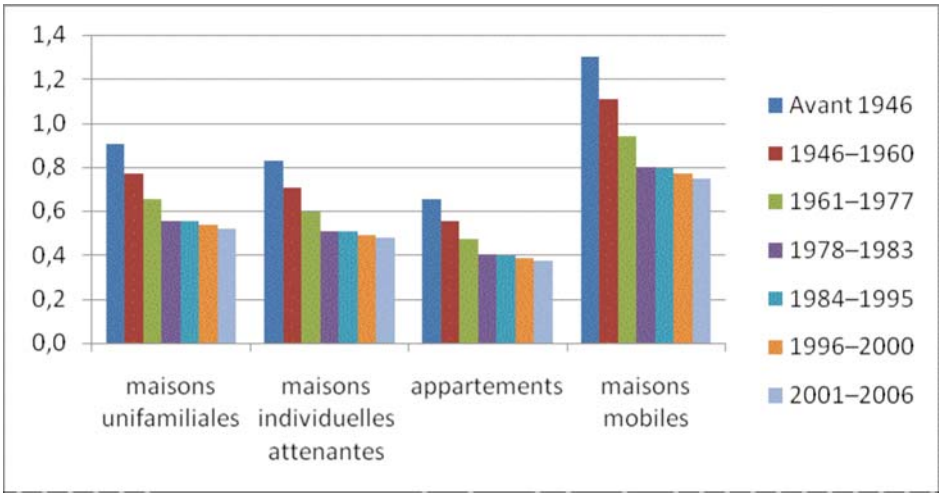
Source : OEE, 2008.

Au cours des dernières décennies, les besoins thermiques par unité de surface de plancher ont diminué pour les logements plus récents, et ce, pour tous les types de logements (Figure 7). Ils sont passés de 0,9 GJ/m² avant 1946 pour les maisons unifamiliales à 0,5 GJ/m² à partir de 1996. Pour les maisons individuelles attenantes et les appartements, les besoins ont évolué respectivement de 0,8 GJ/m² et 0,7 GJ/m² avant 1946 à 0,4 GJ/m² en moyenne depuis 1978. Les maisons mobiles constituent le type de logement où les besoins thermiques par surface de plancher demeurent les plus élevés (0,7 GJ/m²), mais en termes absolus ces besoins représentent une faible part de l'énergie consommée dans le secteur résidentiel. La consommation énergétique est plus élevée, tant en termes absolus qu'en termes relatifs, par unité de surface de plancher pour les maisons individuelles.

Selon les données fournies pour les maisons individuelles, les besoins énergétiques d'une maison résidentielle type (soit de 220 m²) sont d'environ 88 GJ/an ou 25 000 kWh/an en électricité. À un tarif moyen de 8¢/kWh, le propriétaire de la maison payera donc 1950$ pour l'électricité consommée. Pour une maison de taille équivalente dont l'efficacité énergétique n'est pas aussi élevée (par exemple 0,5 plutôt que 0,4 GJ/m²), ce sont 6 000 kWh de plus qui sont nécessaires, représentant un coût supplémentaire de 490$ chaque année.

À long terme, l'inefficacité énergétique prive le Québec de retombées économiques importantes, car cette électricité pourrait générer des revenus intéressants sur les marchés d'exportation. Pour 1 000 maisons qui consomment 6 000 kWh de plus chaque année, cela représente des pertes pour la société québécoise de près de 1M$, car le prix obtenu pour la vente d'électricité est généralement plus élevé que celui payé par les consommateurs résidentiels. Cet exemple montre bien le potentiel économique associé à l'efficacité énergétique; et le secteur résidentiel ne représente qu'une partie du potentiel total et des bénéfices que les mesures d'amélioration peuvent générer.

FIGURE 7 - BESOINS THERMIQUES DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL PAR TYPE DE LOGEMENTS (GJ/M²)



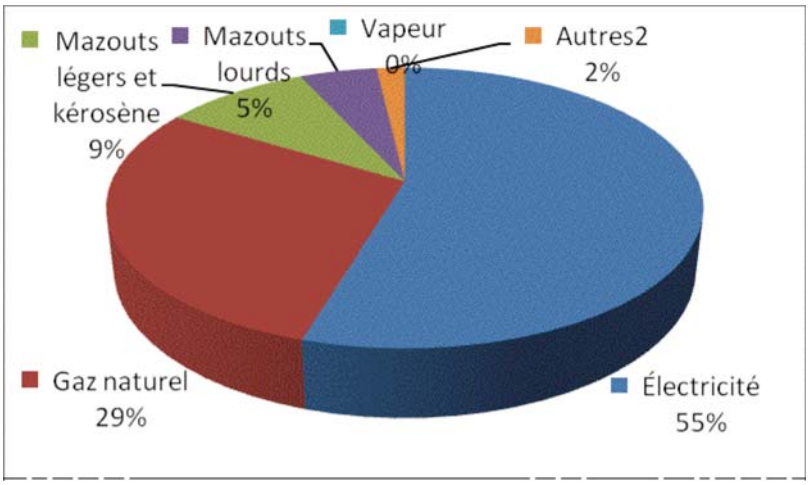
Source : OEE, 2008.

1.1.4. Les secteurs commercial et institutionnel

La consommation énergétique du secteur commercial comporte également une importante proportion d'électricité (55 %) et de gaz naturel (29 %) (Figure 8). Contrairement au secteur résidentiel, l'électricité n'est pas majoritairement utilisée à des fins de chauffage des locaux et de l'eau, mais plutôt pour faire fonctionner les équipements et les moteurs auxiliaires, et pour les besoins d'éclairage et de climatisation. C'est principalement le gaz naturel, et dans une moindre mesure le mazout, qui répondent surtout aux besoins de chauffage.

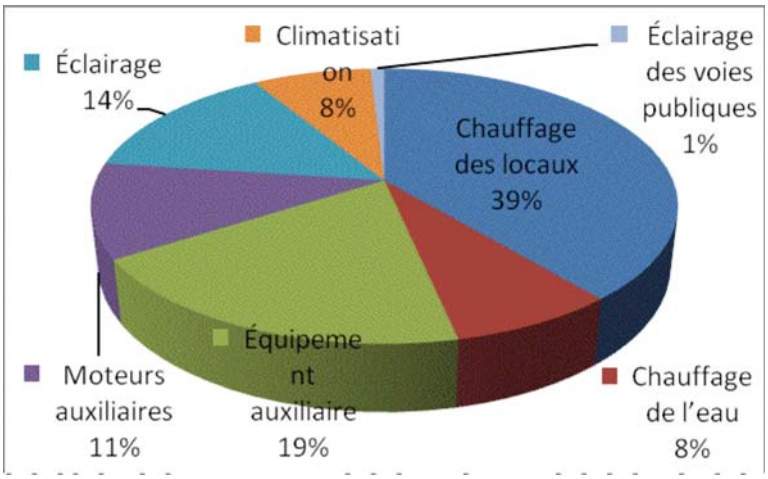
Le chauffage des locaux (39 %), les moteurs (11 %) et les autres équipements auxiliaires (18 %) utilisent la plus grande part de l'énergie consommée dans ce secteur (Figure 9).

FIGURE 8 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR COMMERCIAL



Source : OEE, 2008.

FIGURE 9 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR USAGE DANS LE SECTEUR COMMERCIAL



Source : OEE, 2008.

Les activités de bureau sont celles qui consomment la plus importante portion d'énergie (34 %), suivies des activités de commerce au détail (15 %) et des services d'enseignement (15 %) (Tableau 3). Ce sont également ces types d'activités qui occupent la plus grande surface de plancher. L'intensité énergétique des soins de santé et d'assistance sociale, ainsi que celle des activités d'hébergement et de restauration, sont plus élevées que pour les autres types d'activités. Ainsi, ces deux secteurs d'activité consomment respectivement 10 % et 8 % de l'énergie du secteur commercial.

TABLEAU 3 – CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR USAGE POUR CHAQUE TYPE DE COMMERCES

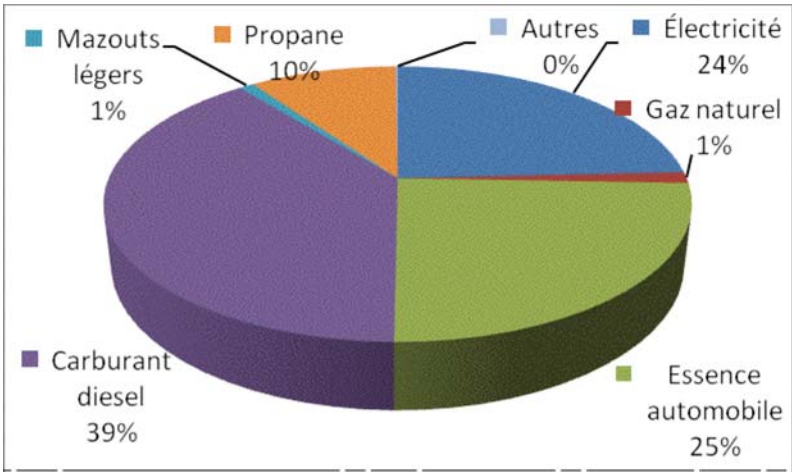
	Chauffage des locaux	Chauffage de l'eau	Équipement auxiliaire	Moteurs auxiliaires	Éclairage	Climati-sation	Total	Surface de plancher	Intensité énergétique
	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	PJ	millions m^2	GJ/m^2
Commerce de gros	4,8	1,0	2,4	1,4	1,7	1,1	**12,4**	7,33	1,69
Commerce de détail	13,5	2,8	6,9	3,9	5,0	2,8	**34,9**	19,64	1,78
Transport et entreposage	4,2	0,3	0,6	1,2	1,6	0,6	**8,6**	5,82	1,47
Industrie de l'information et industrie culturelle	2,7	0,6	1,4	0,8	1,0	0,6	**7,0**	2,65	2,65
Bureaux	30,3	6,1	15,6	8,5	10,9	6,0	**77,4**	52,39	1,48
Services d'enseignement	12,8	2,7	6,6	3,7	4,8	2,8	**33,4**	17,61	1,90
Soins de santé et assistance sociale	9,1	1,9	4,7	2,7	3,4	1,9	**23,7**	8,40	2,82
Arts, spectacles et loisirs	3,2	0,7	1,6	0,9	1,2	0,6	**8,2**	3,72	2,20
Hébergement et services de restauration	7,2	1,5	3,7	2,1	2,7	1,2	**18,3**	6,57	2,79
Autres services	1,6	0,3	0,8	0,5	0,6	0,3	**4,2**	2,54	1,65
Total	**89,5**	**17,8**	**44,4**	**25,6**	**32,7**	**17,9**	**230,2**	**126,7**	**1,80**

Source : OEE, 2008.

1.1.5. Le secteur agricole

L'information concernant la consommation énergétique par usage n'est pas disponible pour le secteur agricole. Quant aux formes d'énergie les plus consommées dans ce secteur, le carburant diesel vient en tête avec 39 %, l'essence vient en deuxième place avec 25 %, et l'électricité suit avec 24 % (Figure 10). En 2006, ce secteur générait un PIB de 2758 M$ (en dollars de 1997).

FIGURE 10 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME DANS LE SECTEUR AGRICOLE



* Autres= Kérosène, Mazouts lourds, Vapeur
Source : OEE, 2008.

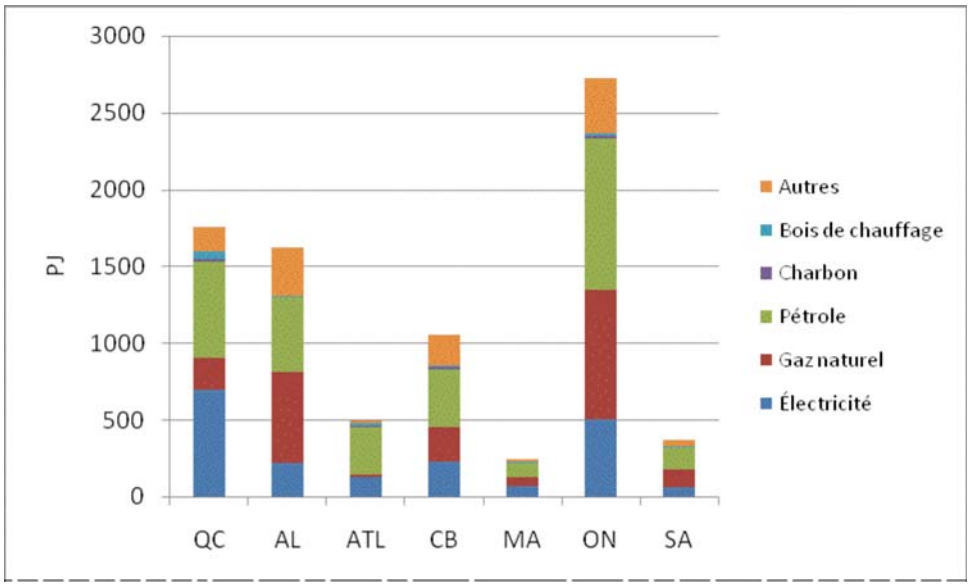
1.2. La comparaison du portrait énergétique du Québec

1.2.1. La consommation d'énergie finale dans les provinces canadiennes

Le Québec est la deuxième province consommatrice d'énergie (21 % de toute l'énergie finale), après l'Ontario (33 %) et juste devant l'Alberta (20 %). La structure énergétique du Québec est passablement différente de celle des autres provinces canadiennes, avec une part beaucoup plus importante d'électricité (Figure 11). Même en termes absolus, la quantité d'électricité consommée au Québec est plus importante que dans les autres provinces.

Dans les provinces situées à l'ouest du Québec, le gaz naturel occupe une place importante dans les bilans de consommation et constitue même la première forme d'énergie utilisée en Alberta et en Saskatchewan. Quant à la consommation de pétrole, sa part relative dans le bilan de consommation du Québec est semblable à celle observée en moyenne dans les autres provinces. Toutefois, dans les provinces atlantiques, le pétrole constitue la forme d'énergie la plus utilisée.

FIGURE 11 - RÉPARTITION DES DIFFÉRENTES FORMES D'ÉNERGIE FINALE DANS CHAQUE PROVINCE

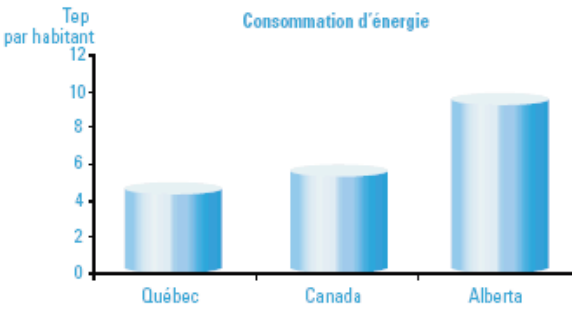


Source : OEE, 2008.

1.2.2. Comparaison de la consommation d'énergie et des émissions de GES per capita

Au Québec, la consommation énergétique par habitant est légèrement inférieure à la moyenne canadienne. En 2003, elle était de 5 tep par habitant comparativement à 6 tep par habitant pour l'ensemble du Canada. (Figure 12). Sachant que la consommation énergétique de l'Alberta, laquelle atteint 10 tep par habitant, contribue à augmenter la moyenne canadienne, la performance du Québec n'est pas exceptionnelle par rapport à celle des autres provinces à l'exception de l'Alberta.

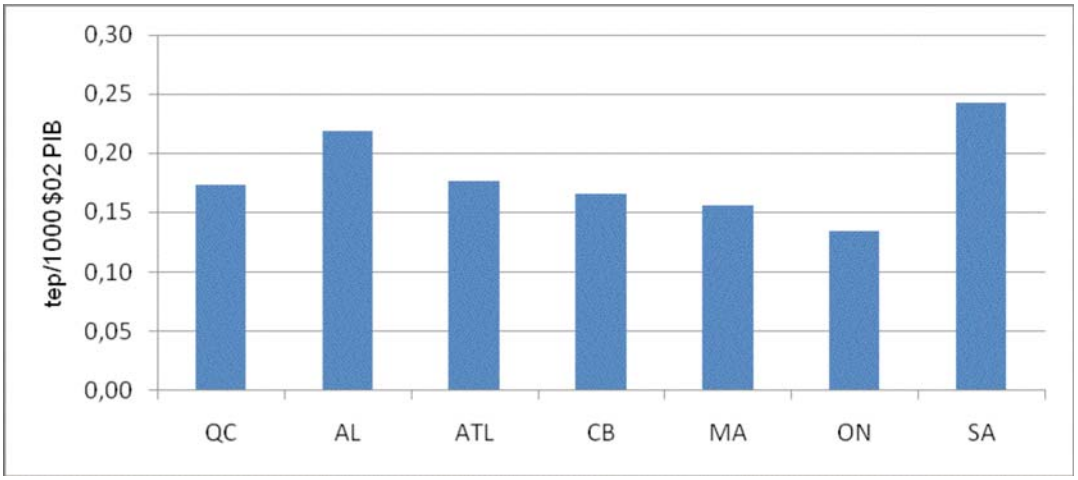
FIGURE 12 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR HABITANT AU QUÉBEC ET AU CANADA EN 2003



Source : MRNF, 2006.

Par contre, le Québec constitue une province où la consommation énergétique par unité de PIB est légèrement supérieure à la moyenne canadienne, soit de 0,175 tep par 1000$ de PIB (dollars de 2002) comparativement à 0,165 tep par 1000$ de PIB pour l'ensemble du Canada en 2006 (Figure 13). Le Québec fait mieux que l'Alberta, étant donné l'industrie à haute intensité énergétique des sables bitumineux albertains, mais performe moins bien que l'Ontario, qui génère un PIB deux fois plus élevé que celui du Québec, avec une consommation d'énergie seulement une fois et demie plus élevée.

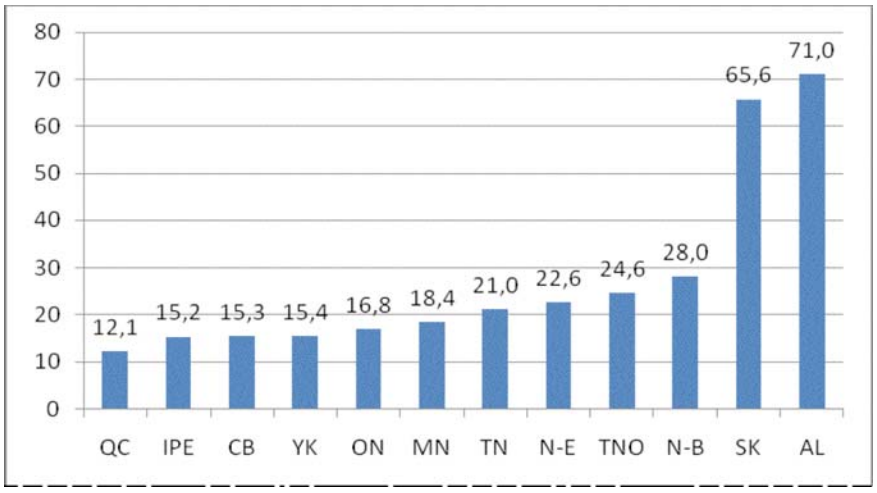
FIGURE 13 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR UNITÉ DE PIB PAR PROVINCE EN 2006



Source : OEE, 2008; Statistique Canada, 2008b.

Par contre, le Québec constitue la province la plus performante en termes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) par habitant, performance qui s'explique notamment par le fort recours à l'hydroélectricité (Figure 14). En 2003, les émissions de GES étaient de 12 tonnes par habitant, comparativement à 23 tonnes par habitant en moyenne au Canada et 71 tonnes par habitant pour l'Alberta.

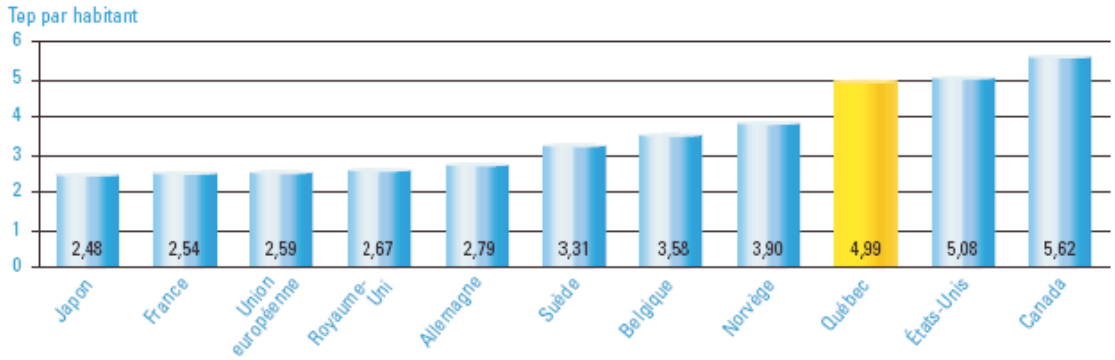
FIGURE 14 - ÉMISSIONS DE GES PAR HABITANT ET PAR PROVINCE EN 2003



Source : MDDEP, 2003.

En matière de consommation énergétique par habitant, la performance du Québec est donc comparable à la moyenne canadienne. Cependant, la comparaison de la performance du Québec avec celle d'autres pays développés montre qu'il est possible de faire mieux dans des conditions similaires (Figure 15). En effet, la consommation énergétique par habitant du Québec en 2002 dépassait largement celle du Japon et des pays de l'Union européenne. Bien que ce résultat s'explique en partie par la structure industrielle et par le climat particulier au Québec, l'exemple des pays scandinaves illustre le fait qu'il est possible de faire davantage d'efforts en matière d'efficacité énergétique.

FIGURE 15 - CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR HABITANT AU QUÉBEC ET AILLEURS DANS LE MONDE EN 2002



Source : MRNF, 2006.

La Fondation David Suzuki (2005) a examiné la performance de plusieurs pays du monde vis-à-vis de certains indicateurs de durabilité et montre que le Canada est particulièrement inefficace quant à l'utilisation de son énergie. La consommation d'énergie *per capita* est presque le double de la moyenne des pays de l'OCDE (28e rang sur 30) et, quant à l'intensité énergétique, le Canada arrive à l'avant dernier rang (29e rang sur 30) devant l'Islande. Le Canada consomme 50 % plus d'énergie par unité du PIB que la moyenne de l'OCDE et plus du double des pays les plus efficaces.

À titre d'illustration, notons que la réduction de 0,5 tep *per capita* d'ici 5 ans et de 1 tep *per capita* d'ici 10 ans permettrait de faire des économies d'énergie de 88 TWh (basé sur une population de 7,6 millions d'habitants en 2006) et ainsi réduire la dépendance énergétique du Québec d'une proportion correspondant approximativement à deux centrales comme celle de Robert-Bourassa (La Grande-2).

1.3. La croissance de la demande

Qu'en est-il de la croissance de la demande énergétique du Québec? Se compare-t-elle avec celle d'autres provinces canadiennes et d'autres pays comparables? Les projections présentées dans cette section constituent des scénarios de référence, c'est-à-dire qu'elles ne prennent pas en compte les interventions futures des gouvernements, comme la mise en œuvre de futures politiques énergétiques ou climatiques.

1.3.1. Les projections officielles pour le Québec

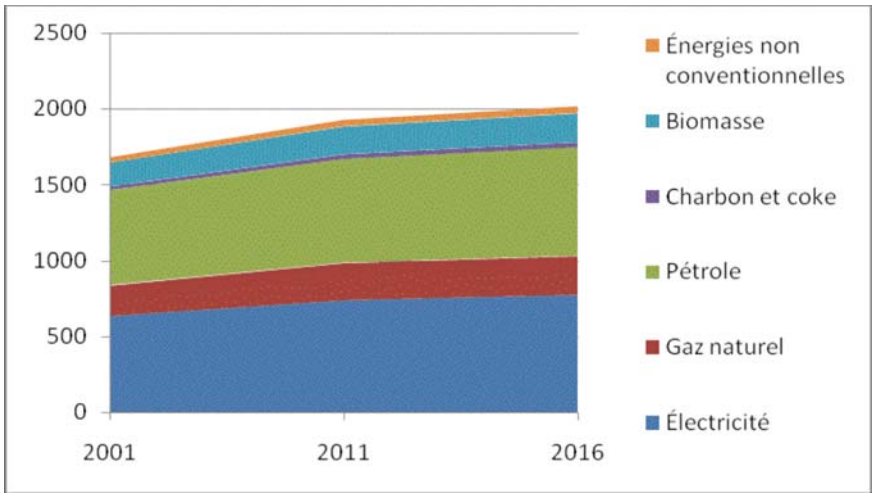
La dernière publication officielle du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) sur les projections énergétiques pour le Québec date de 2005 : *Évolution de la demande d'énergie au Québec : Scénario de référence horizon 2016* (MRNF, 2005a)[4]. Le scénario de référence avait cependant été constitué à partir d'un prix de 28 $ US pour le baril de pétrole. Le prix du pétrole brut ayant une forte influence sur la demande énergétique, les résultats présentés ci-dessous doivent être interprétés avec précaution. Les hypothèses socio-économiques sous-jacentes représentent une croissance économique modérée et une croissance démographique faible.

Selon ce scénario, la consommation énergétique d'énergie finale au Québec, c'est-à-dire excluant l'énergie utilisée pour la production d'énergie, augmente de 1,2 % en moyenne chaque année sur la période 2001-2016 (Figure 16). La proportion des différentes formes d'énergie ne change pas de façon significative d'ici 2016, uniquement la proportion d'électricité augmente légèrement au détriment de celle des produits pétroliers. Celle du gaz naturel augmente également, mais cette augmentation compense seulement la légère baisse survenue avant 2001.

En termes de consommation d'énergie *per capita*, la consommation moyenne augmente également, passant de 227 GJ en 2001 à 255 GJ en 2016. Des gains sont par contre attendus en termes d'intensité énergétique, soit la quantité d'énergie nécessaire pour produire une unité de revenu, une tendance observée dans la plupart des pays développés. En 2001, la consommation de 7,7 GJ est nécessaire pour produire 1000 $, alors qu'en 2016, cette quantité d'énergie diminue à 6,4 GJ.

[4] Des scénarios plus récents, où le prix du pétrole brut se situe à 45 $ US et à 65 $ US le baril ($ US de 2005) à l'horizon 2011, ont d'ailleurs été construits par le MRNF. Cependant, ces scénarios n'ont toujours pas été publiés au moment de rédiger ce rapport, et par conséquent, ne peuvent être présentés ici.

FIGURE 16 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE AU QUÉBEC, 2001 – 2016 (PJ)

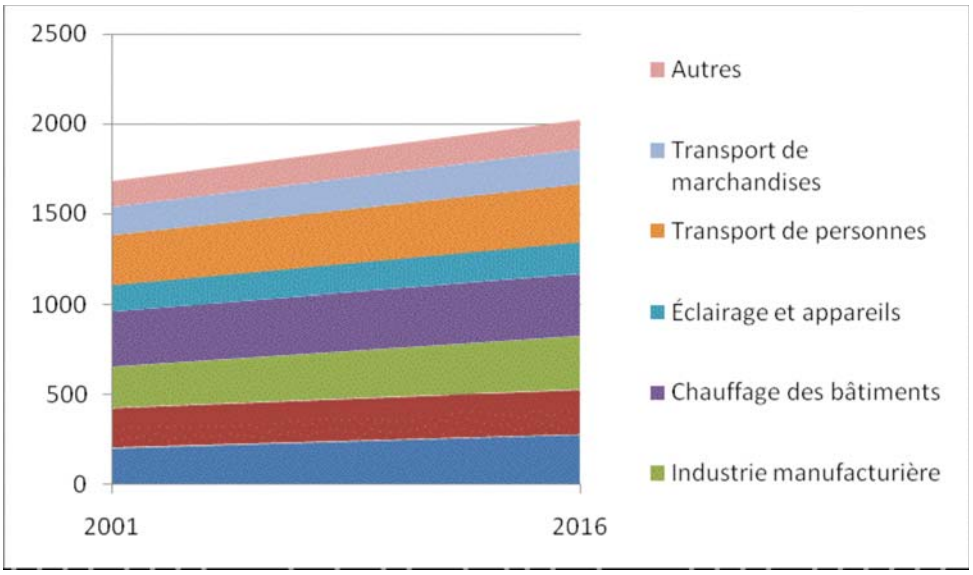


Source : MRNF, 2005a.

Afin de mesurer l'impact que pourrait avoir la croissance économique sur l'évolution de la consommation d'énergie finale, le MRNF (2005a) a également analysé un scénario dans lequel la croissance serait supérieure d'un demi-point de pourcentage chaque année entre 2005 et 2016, et ce, dans tous les secteurs économiques sauf dans les industries grandes consommatrices d'énergie (pâtes et papiers, aluminium, etc.). Évidemment, ce scénario présente une consommation totale d'énergie plus élevée par rapport au scénario de référence de 52 PJ en 2016, soit 2,5 %. La consommation de gaz naturel et celle de pétrole augmentent respectivement de 3,2 et 3,6 % en 2016, alors que la consommation d'électricité augmente de 2,1 %.

Concernant l'évolution de la consommation d'énergie finale par secteur au cours de la même période, la consommation énergétique de l'industrie manufacturière augmente plus rapidement que l'ensemble de l'économie (Figure 17). À l'horizon 2016, ce secteur accapare un peu plus de la moitié de la nouvelle quantité d'énergie nécessaire, principalement pour la transformation des métaux comme l'aluminium. L'évolution de l'industrie des pâtes et papiers est moins importante en raison de la faible croissance des exportations sur cette période. Le transport des marchandises représente un autre secteur où l'augmentation de la consommation énergétique est supérieure à celle de l'ensemble de l'économie, notamment à cause de la croissance attendue dans le secteur manufacturier. Le mode de transport routier est celui où l'augmentation est la plus forte. La consommation d'énergie croît également de façon importante pour les besoins de chauffage, d'éclairage et d'utilisation d'appareils dans le secteur tertiaire. Les mêmes besoins augmentent de façon moins marquée dans le secteur résidentiel.

FIGURE 17 – ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR AU QUÉBEC, 2001 – 2016 (PJ)



Source : MRNF, 2005a.

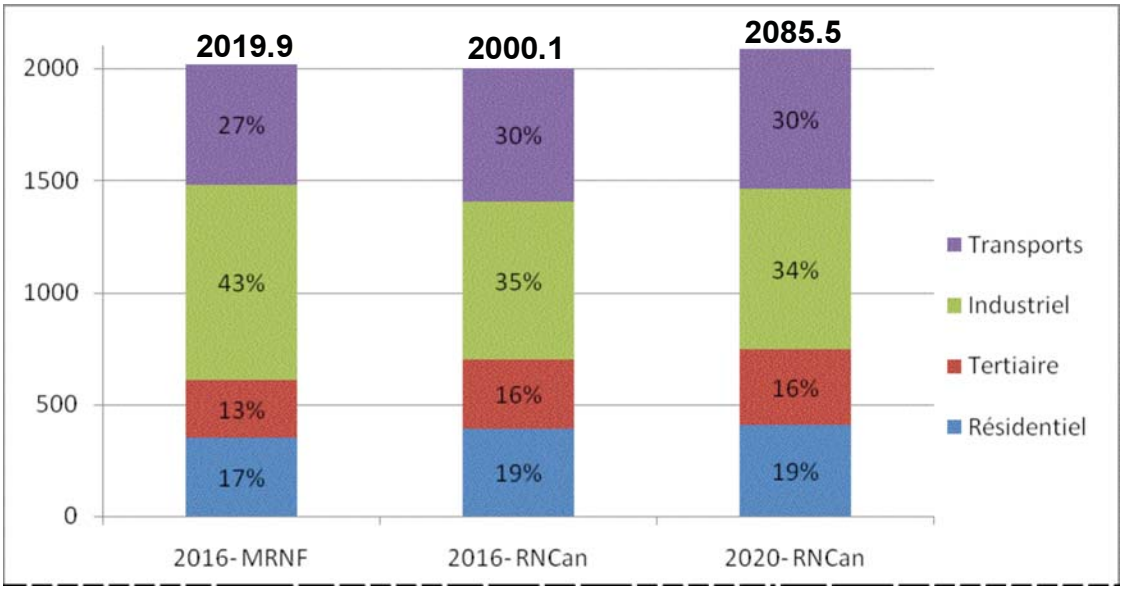
1.3.2. Comparaison de la croissance au Québec selon différentes sources

Il est pertinent de comparer les projections officielles du Québec (MRNF, 2005a) avec celles effectuées au niveau fédéral par Ressources naturelles Canada dans son scénario de référence de 2006 (RNCan, 2006). Cette comparaison est présentée seulement pour illustrer, et les résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des différences possibles dans le regroupement des données pour les différents secteurs de l'économie.

La consommation totale d'énergie estimée par les deux sources pour 2016 est relativement similaire, avec une différence de 20 PJ. Cependant, la croissance prévue dans les divers secteurs diffère : alors que le MRNF prévoit une plus forte croissance dans le secteur industriel, RNCan prévoit que la croissance sera plus forte dans les secteurs résidentiel et tertiaire (Figure 18). Le secteur des transports évolue de façon semblable selon les deux sources. De plus, les projections de RNCan étant disponibles à l'horizon 2020, il est intéressant de noter que la croissance demeure forte dans le secteur tertiaire, mais également dans celui des transports.

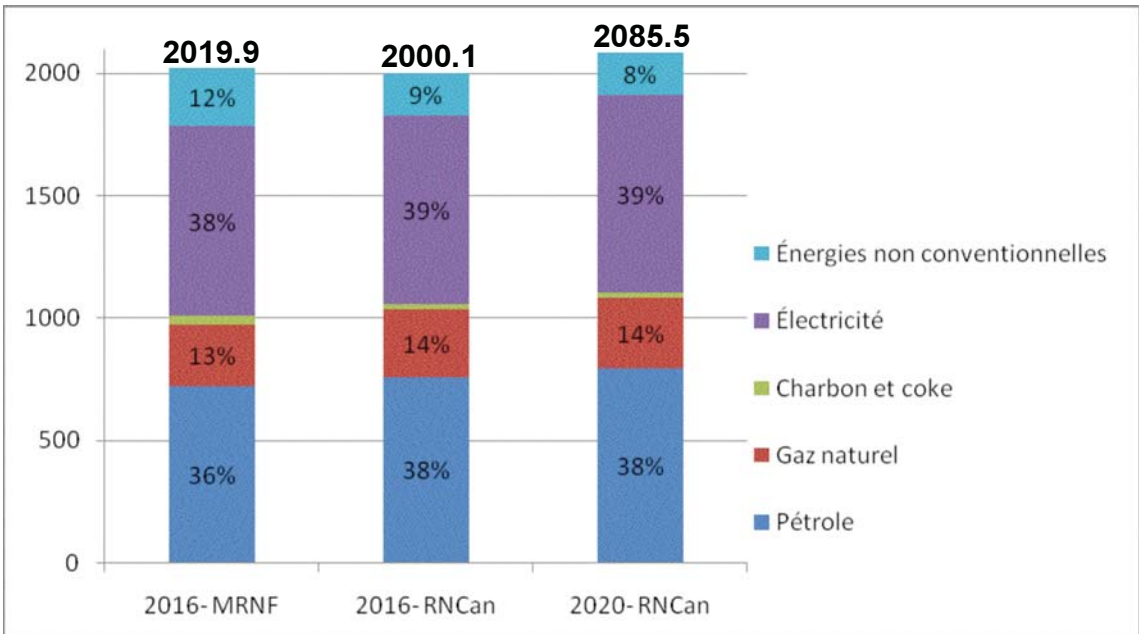
Une autre différence concerne le taux de pénétration des énergies non conventionnelles sur le marché au détriment des énergies conventionnelles, telles que le pétrole et le gaz naturel (Figure 19). Il est plus optimiste dans le scénario du MRNF que dans celui de RNCan. De façon générale, pour les périodes 2016 et 2020, la consommation augmente entre 3 % et 5 % pour toutes les formes d'énergie.

FIGURE 18 - COMPARAISON DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR SECTEUR AU QUÉBEC EN 2016 (PJ)



Source : MRNF, 2005a; RNCan, 2006.

FIGURE 19 - COMPARAISON DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR FORME AU QUÉBEC EN 2016 (PJ)



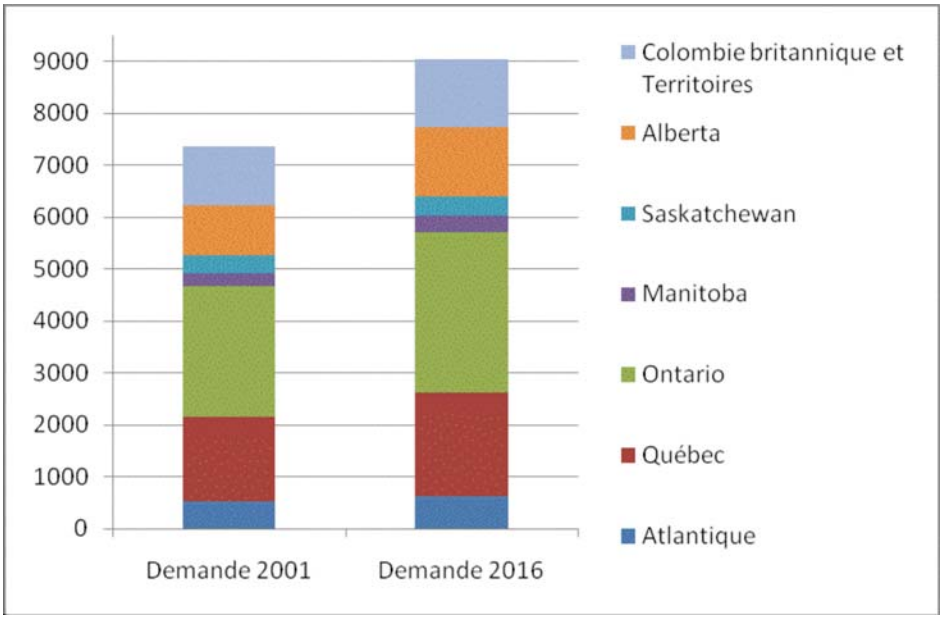
Source : MRNF, 2005a; RNCan, 2006.

1.3.3. Comparaison de la croissance avec les autres provinces canadiennes

Selon le scénario de référence de Ressources naturelles Canada (RNCan, 2006), le Québec constitue la deuxième province canadienne en importance pour la consommation énergétique, avec 22 % de l'énergie finale au Canada, derrière l'Ontario qui en consomme 34 %. À l'horizon 2016, la part relative des provinces dans le bilan de consommation énergétique change peu, à l'exception d'une légère hausse de la proportion de l'Alberta en lien avec l'industrie des sables bitumineux. Cette augmentation de la consommation en Alberta représente 20 % de toute la demande additionnelle pour la période 2001-2016 (Figure 20). L'augmentation de la consommation au Québec et en Ontario, soit respectivement de 23 % et 34 % de la demande totale additionnelle, est proportionnelle à la part relative de chacune dans le bilan de consommation en 2001 et 2016.

La proportion des différentes formes d'énergie consommée dans chaque province ne change pas de façon significative entre 2001 et 2016.

FIGURE 20 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE AU CANADA



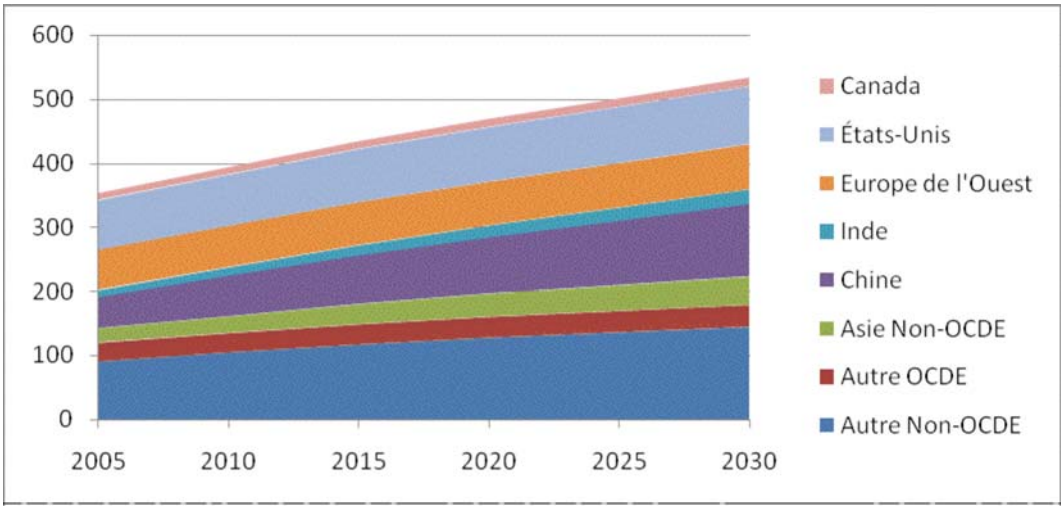
Source : RNCan, 2006.

1.3.4. Comparaison de la croissance avec d'autres pays

Selon le scénario de référence du département américain de l'énergie (EIA, 2008), la consommation mondiale d'énergie devrait augmenter de 51 % entre 2005 (352 EJ) et 2030 (533,4 EJ) (Figure 21). Ce sont évidemment les pays en développement qui contribuent le plus à cette hausse, car sur la même période leur consommation d'énergie finale devrait plus que doubler. Les taux de croissance prévus sont particulièrement élevés en Chine (129 %) en Inde (114 %) et dans le reste de l'Asie Non-OCDE (102 %).

La croissance prévue au Canada (34 %) est supérieure à celle prévue dans les autres pays développés, tels que l'Europe de l'Ouest (11 %) et les États-Unis (17 %). Cependant, la consommation énergétique du Canada demeure marginale à l'échelle mondiale et représente 3 % de toute l'énergie consommée sur la planète entre 2005 et 2030.

FIGURE 21 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE DANS LE MONDE, 2005 - 2030 (EJ)



* Autre OCDE inclut le Japon, l'Australie-Nouvelle-Zélande et la Corée du Sud. Autre Non-OCDE inclut le Mexique et le reste de l'Amérique latine, l'Afrique, l'Europe de l'Est, la Communauté des états indépendants et le Moyen-Orient.

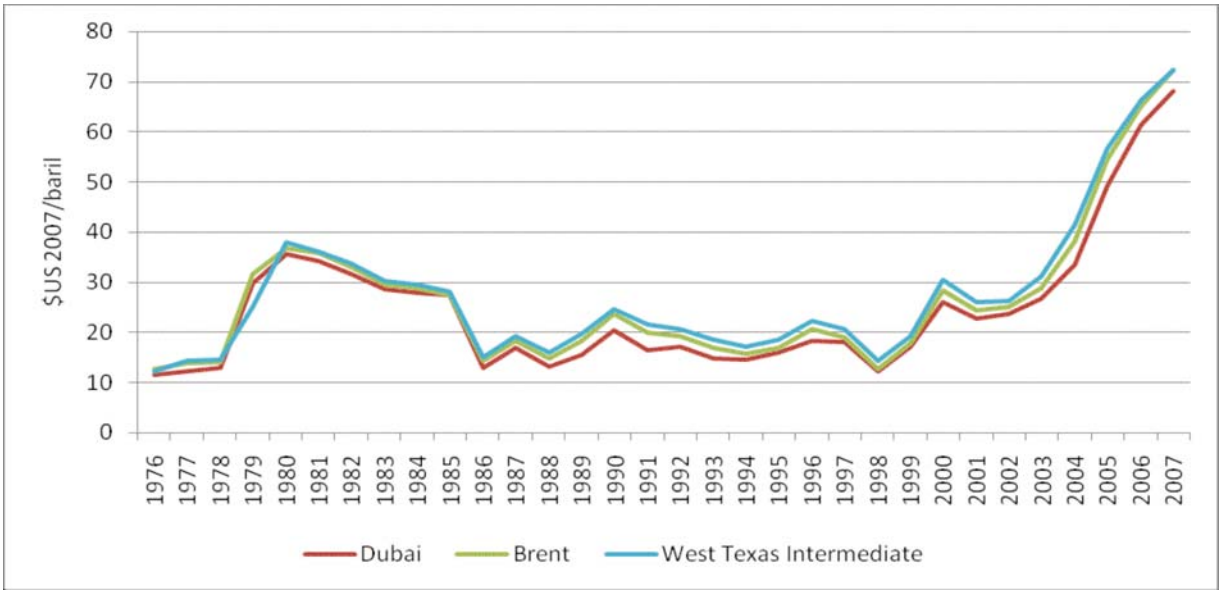
Source : EIA, 2008.

1.4. Le prix des différentes formes d'énergie

Le prix du baril de pétrole est généralement publié en dollars américains ($ US), puisque les États-Unis représentent le plus gros marché à l'échelle mondiale. Il existe de nombreux types de pétrole brut à l'échelle mondiale (plusieurs centaines), différents de par leur densité, leur fluidité, leur teneur en soufre, leur proportion des différentes classes d'hydrocarbures, etc. Les bruts les plus utilisés servent de référence pour déterminer le prix du pétrole d'une région donnée, soit le Dubaï (brut de référence du Moyen-Orient), le Brent (brut de référence de la mer du Nord) et le West Texas Intermediate (WTI, brut de référence des États-Unis). Le prix du pétrole brut canadien est déterminé en fonction du prix de référence pour le pétrole brut provenant du WTI.

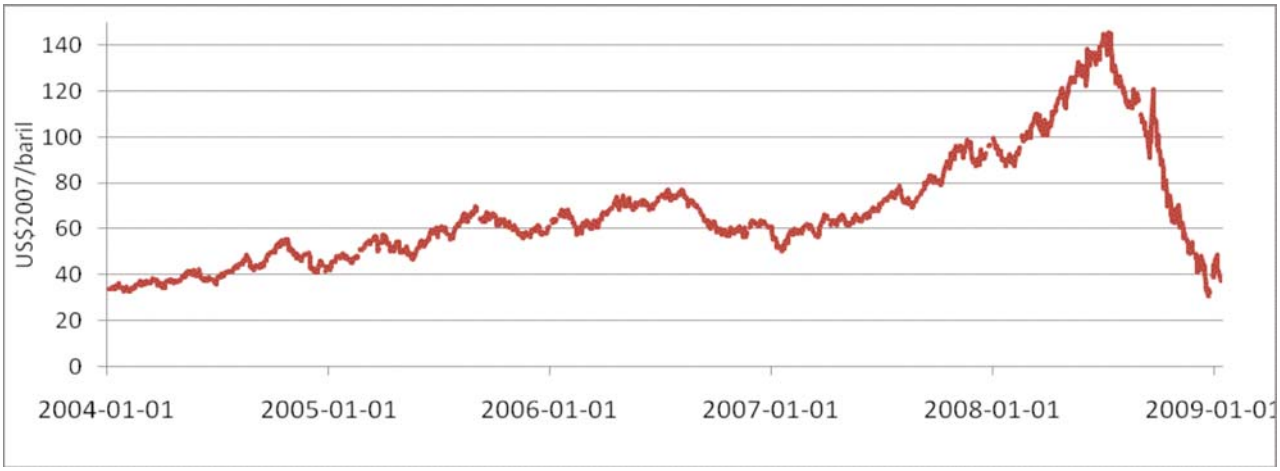
Le prix du pétrole brut a toujours été sujet à des fluctuations importantes (Figure 22). Depuis 2006, il a augmenté progressivement jusqu'à atteindre le prix record de 145 $US le baril en juillet 2008. À la lumière des prévisions d'une récession globale et d'un ralentissement de la croissance économique, le prix du pétrole WTI s'est trouvé à chuter rapidement jusqu'à 40 $ US environ en janvier 2009 (Figure 23).

FIGURE 22 - PRIX HISTORIQUES DU PÉTROLE BRUT, 1976 – 2007



Source : BP, 2008.

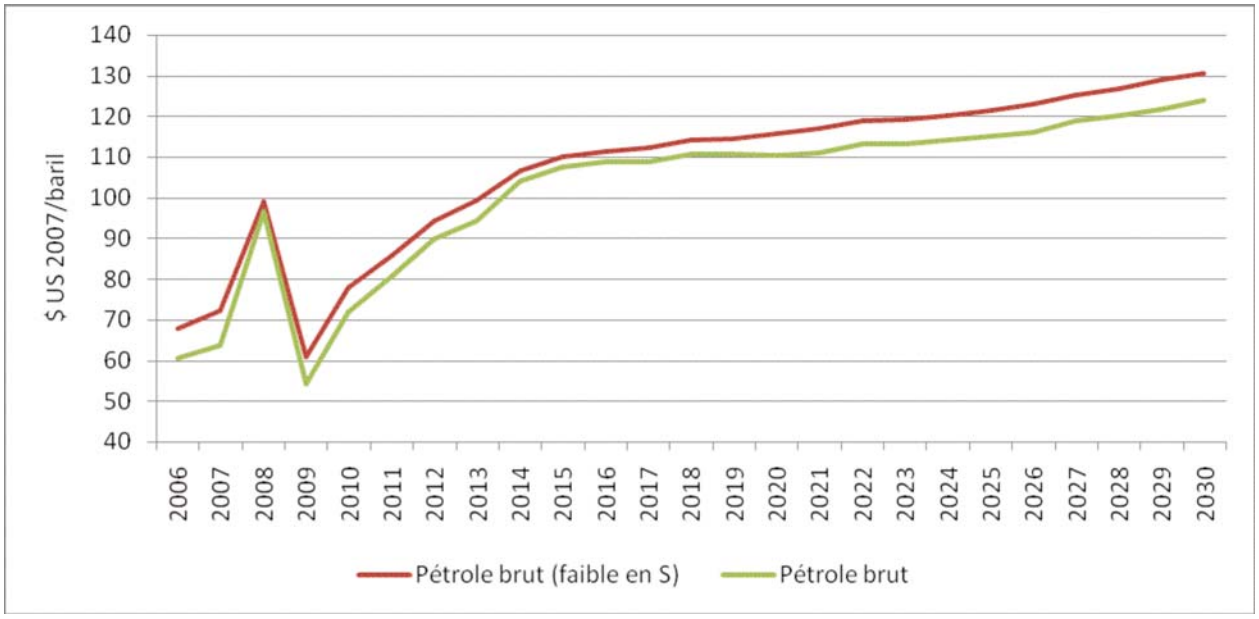
FIGURE 23 - PRIX HISTORIQUES DU PÉTROLE BRUT, JANVIER 2004 - JANVIER 2009



Source : EIA, 2009

Toutefois, il est prévu que la période de bas prix du pétrole sera courte et que la tendance à long terme, soit celle d'une augmentation soutenue, reprendra son cours. En décembre 2008, le département américain de l'énergie (EIA, 2009) a publié de nouvelles prévisions concernant le prix du pétrole à l'horizon 2030; elles estiment que le prix moyen du baril de pétrole se situera à 130 $ US (en dollars 2007) pour 2030 (Figure 24).

FIGURE 24 - PRÉVISIONS DES PRIX DU PÉTROLE BRUT, 2009 - 2030

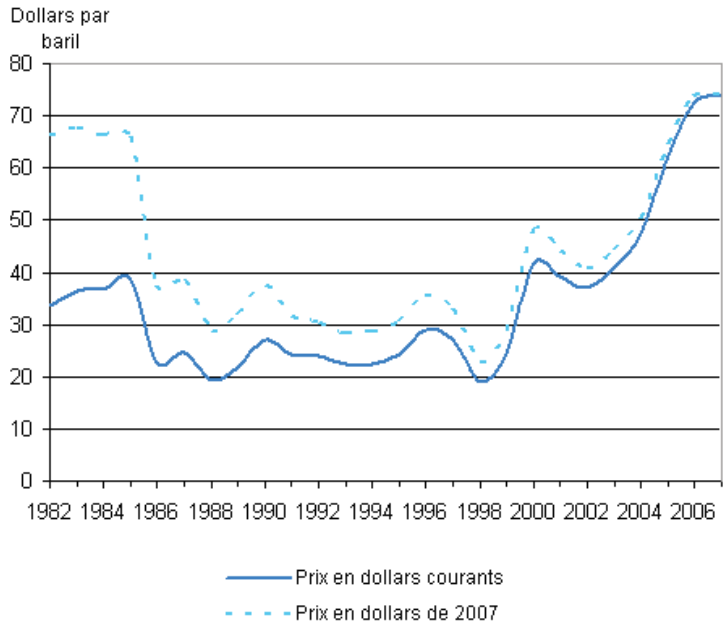


Source : EIA, 2009

L'Agence internationale de l'énergie a publié le *World Energy Outlook 2009* en novembre 2008 et prévoit quant à elle que le prix du baril de pétrole atteindra 200 $ US en 2030. L'Agence a révisé ses prévisions de l'année dernière, lesquelles estimaient le prix du baril de pétrole à 108 $/baril pour 2030. Cette importante révision à la hausse est principalement liée à la forte demande attendue de la part des pays en voie de développement, notamment la Chine et l'Inde.

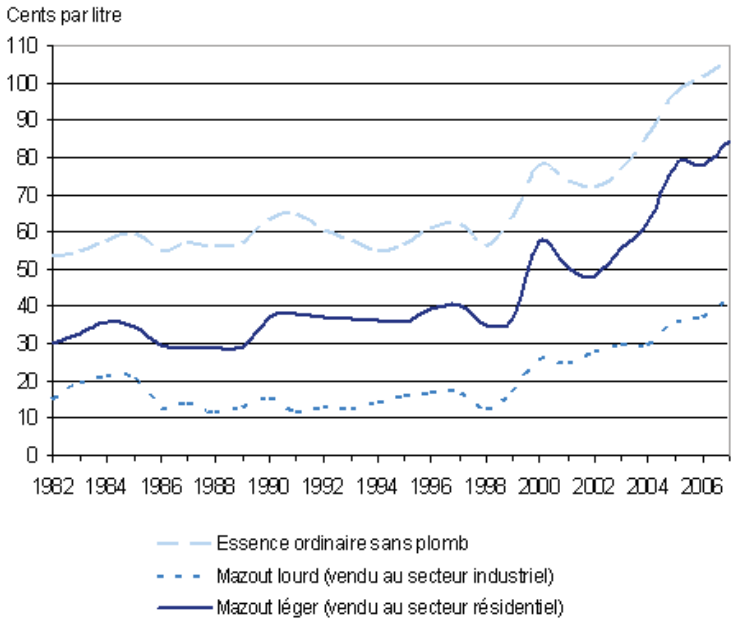
Il est inévitable qu'une augmentation des prix internationaux du pétrole ait le même impact sur les prix du pétrole brut (Figure 25), ainsi que sur les produits pétroliers consommés au Québec (Figure 26).

FIGURE 25 - LE PRIX MOYEN DU PÉTROLE BRUT LIVRÉ AU QUÉBEC, 1982 – 2007



Source : MRNF, 2009.

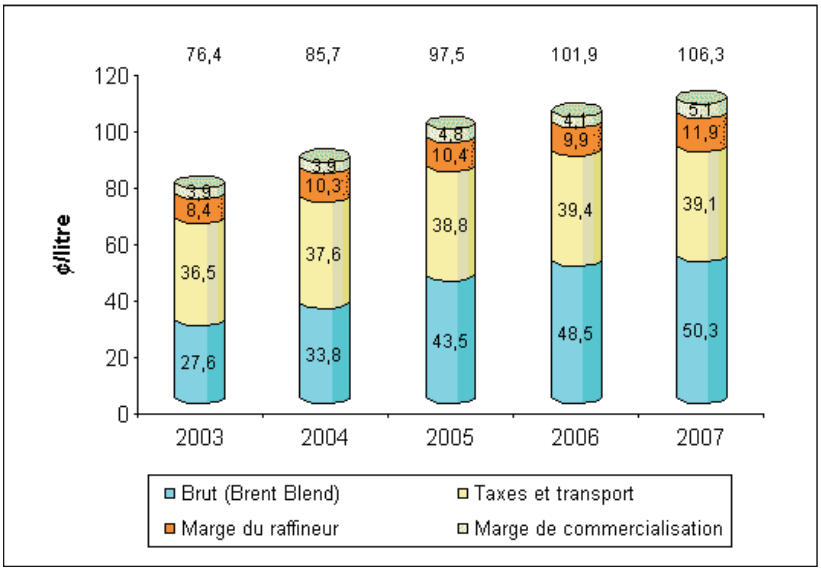
FIGURE 26 - LE PRIX DES PRODUITS PÉTROLIERS À MONTRÉAL, 1982 - 2007



Source : MRNF, 2009.

En observant les composantes du prix de l'essence (Figure 27), on constate que le prix du pétrole brut, en forte hausse ces dernières années, représente une part de plus en plus importante du prix à la pompe par rapport aux taxes et aux frais de transport.

FIGURE 27 - LES COMPOSANTES DU PRIX DE L'ESSENCE ORDINAIRE SANS PLOMB À MONTRÉAL



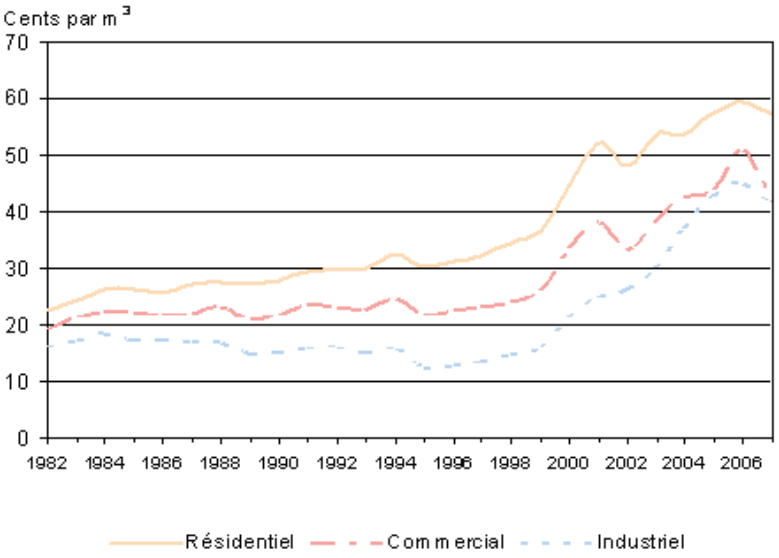
Note : les marges de la raffinerie et de la commercialisation constituent des estimations, ces informations étant confidentielles.

Source : MRNF, 2009.

Après une période assez stable des prix du gaz naturel, ceux-ci ont augmenté progressivement à partir de 1995 (Figure 28). Après avoir atteint un sommet en 2006, les prix ont diminué légèrement, malgré la hausse continue du prix du pétrole brut.

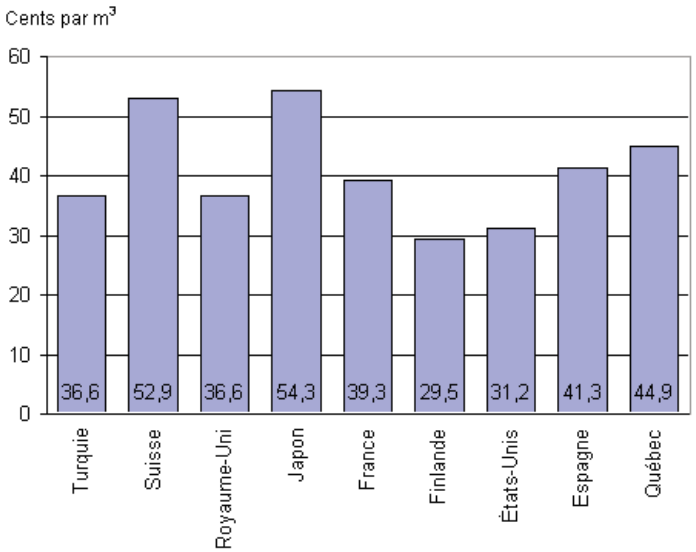
Le prix payé au Québec pour le gaz naturel est assez élevé comparativement à celui payé dans les autres provinces canadiennes et autres pays développés (Figure 29). En 2007, le prix du gaz naturel en Alberta (principale province productrice) était inférieur de 40 % au prix payé au Québec.

FIGURE 28 - LE PRIX DE VENTE MOYEN DU GAZ NATUREL AU QUÉBEC SELON LES SECTEURS DE CONSOMMATION



Source : MRNF, 2009.

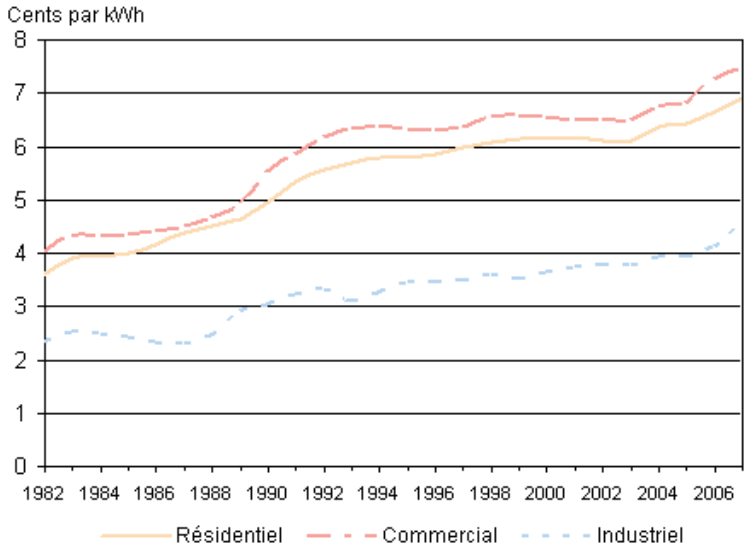
FIGURE 29 - LE PRIX DU GAZ NATUREL AU QUÉBEC ET DANS CERTAINS PAYS INDUSTRIALISÉS - SECTEUR INDUSTRIEL



Source : MRNF, 2009.

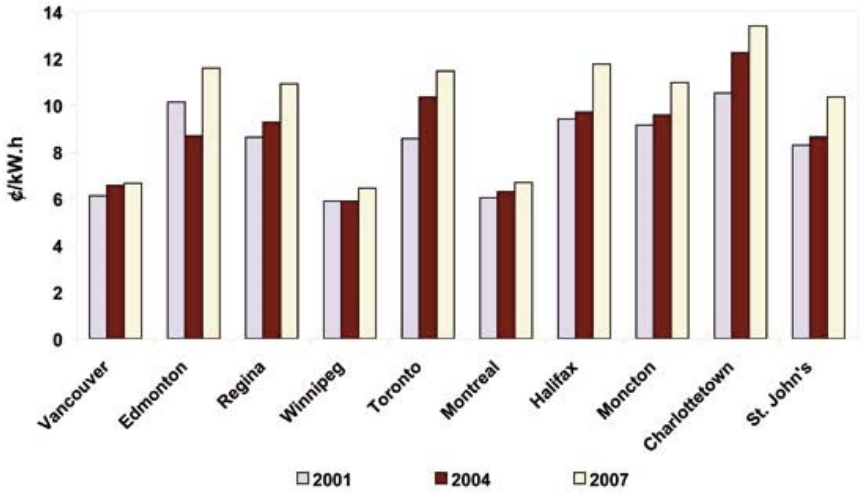
Par contre, bien que les prix de l'électricité aient augmenté au Québec dans les dernières années (Figure 30), ils demeurent parmi les plus faibles au Canada (Figure 31) en Amérique du Nord (Figure 32) et dans l'ensemble des pays développés (Figure 33).

FIGURE 30 - PRIX DE VENTE MOYEN DE L'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC, SELON LES SECTEURS DE CONSOMMATION



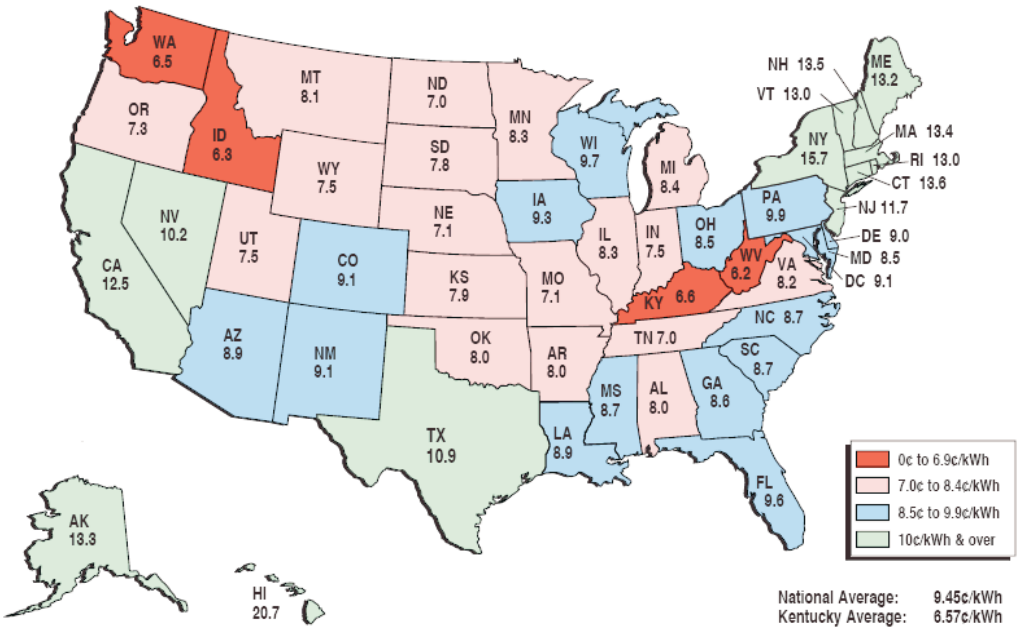
Source : MRNF, 2009.

FIGURE 31 - PRIX MOYENS D'ÉLECTRICITÉ AU RÉSIDENTIEL PAYÉS DANS CERTAINES GRANDES VILLES CANADIENNES



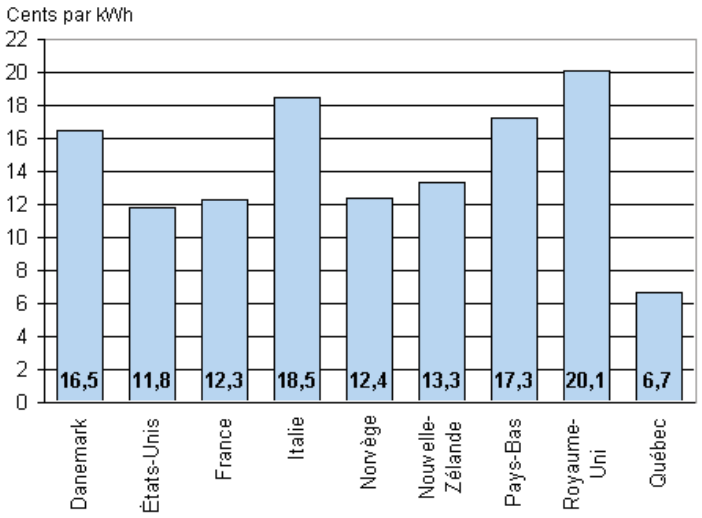
Source : ONE, 2009.

FIGURE 32 - TARIFS D'ÉLECTRICITÉ AUX ÉTATS-UNIS (¢ US/KWH), 2005



Source : EIA, 2005.

FIGURE 33 - TARIFS D'ÉLECTRICITÉ PAYÉS DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL DE DIVERSES JURIDICTIONS, 2006



Source : MRNF, 2009.

En résumé, retenons que le prix du gaz naturel importé de l'Ouest canadien est parmi les plus élevés des pays industrialisés. Quant aux prix de l'essence et des autres produits pétroliers, ils s'alignent sur les prix internationaux du baril de pétrole. Bien que le coût du pétrole brut ait chuté depuis juillet 2008, les prévisions du Département américain de l'énergie et de l'Agence internationale de l'énergie envisagent une augmentation des prix à long terme : 130 $ US et 200 $ US en 2030, respectivement.

Par contre, étant donné l'avantage associé à notre patrimoine hydroélectrique, les prix payés par les consommateurs pour l'électricité au Québec sont parmi les plus faibles en Amérique du Nord et dans l'ensemble des pays industrialisés. D'ailleurs, la part des dépenses énergétiques des ménages québécois est demeurée autour de 7,0 % de leur dépense totale depuis la fin des années 80, contrairement aux États-Unis, en particulier en Nouvelle-Angleterre, où la part des dépenses énergétiques par ménage a augmenté de façon significative (MRNF, 2009).

Une analyse des autres aspects économiques du secteur énergétique, tels que la valeur des dépenses énergétiques par ménage, la part des activités énergétiques dans le produit intérieur brut, les investissements et les emplois, est présentée dans l'Annexe A.

1.5. La relation entre les prix et la consommation d'énergie

Les prix compétitifs de l'hydroélectricité contribuent au renforcement économique de l'ensemble de la province. En effet, les surplus peuvent être vendus sur le marché nord-américain, notamment à l'Ontario et au nord-est des États-Unis, et ainsi générer des revenus additionnels, améliorer notre balance commerciale et permettre un meilleur équilibre budgétaire. Dans un contexte où les besoins énergétiques des régions limitrophes sont en forte hausse, les revenus additionnels peuvent être considérables. Dans sa Stratégie énergétique 2006-2015, le gouvernement mentionnait qu'une portion des revenus tirés des exportations devait servir à alimenter le Fonds des générations (MRNF, 2006).

Le gouvernement souhaite également que les Québécois puissent profiter de cet avantage tarifaire pour enrichir la société, en maintenant en vigueur le prix de fourniture du bloc patrimonial (165 TWh, représentant 95 % de l'électricité distribuée par Hydro-Québec en 2006-2007), fixé à 2,79 ¢/kWh. Chaque année les Québécois récupèrent ainsi des millions de dollars. Cependant, il faut reconnaître que les bas prix de l'électricité constituent un incitatif au gaspillage. Ils ne favorisent pas la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique, ni le développement de sources d'énergie alternatives, comme l'énergie solaire et éolienne, ou la géothermie. Il n'est pas étonnant que la consommation énergétique *per capita* soit particulièrement élevée comparativement à la réalité des pays européens.

L'envoi d'un meilleur signal de prix à la population, par exemple en fixant des prix qui reflètent davantage les coûts d'approvisionnement, contribuerait à responsabiliser les différentes catégories de consommateurs. La question n'est cependant pas aussi simple, puisque les décisions concernant les prix de l'électricité sont politiques; une partie de la population se montre particulièrement sensible à toute hausse des tarifs.

Le débat sur le niveau des tarifs d'électricité au Québec doit avoir lieu, même s'il soulève les passions. Un rapport sur le problème de la tarification des services publics avait été commandé par le gouvernement du Québec (Groupe de travail sur la tarification des services publics, 2008), mais aucune suite n'a été donnée à l'exercice jusqu'à maintenant. Le groupe de travail recommandait principalement que le gouvernement révise l'encadrement législatif des coûts de l'électricité, afin que la tarification de l'électricité :

- prenne en compte le coût d'opportunité de l'électricité produite au Québec;
- envoie un signal de prix correspondant au coût croissant de production de l'électricité;
- force le gouvernement à ajuster en conséquence l'aide sociale ou l'un des crédits d'impôt définis en faveur des bas salariés, évitant ainsi d'agir sur les tarifs mêmes.

Ces recommandations soulèveront assurément d'autres débats, notamment sur la compétitivité des entreprises au Québec, telles les alumineries. Bénéficiant de tarifs préférentiels, l'industrie de l'aluminium a souvent été la cible de critiques à l'effet que le Québec serait mieux d'exporter l'électricité qui lui est vendue (Bélanger et Bernard, 2008). Pour certains économistes, cette politique constitue une perte pour l'ensemble de la société (Bernard, 2007). Par exemple, pour la construction d'une nouvelle aluminerie au Saguenay-Lac-Saint-Jean, Alcan investira 2 G$, mais certaines analyses démontrent que la contribution du gouvernement (calcul complexe incluant des dimensions financières, fiscales et énergétiques) est de 3,12 G$, une somme qui aurait pu être employée à améliorer le système de santé.

De plus, il a été démontré que, pour le Québec, il est plus rentable d'exporter l'électricité directement par les interconnexions qu'indirectement par le biais de l'aluminium, étant donné la proximité des marchés de consommation (Bernard, 2007). La vente d'électricité à faible coût aux industries constitue d'autant plus une perte pour la société dans la mesure où le coût des nouvelles sources d'approvisionnement en électricité est plus grand depuis quelques années, les meilleurs potentiels ayant déjà été développés.

L'industrie de l'aluminium fait toutefois valoir les retombées économiques de sa présence au Québec (Association de l'aluminium du Canada, 2008). Il faut reconnaître que l'existence de faibles tarifs d'électricité a jusqu'à maintenant contribué au développement industriel du Québec. Dans la Stratégie énergétique 2006-2015, le gouvernement maintient également la stratégie suivie en matière d'octroi de blocs d'énergie et de stabilité des prix pour les industries grandes consommatrices d'électricité, afin d'attirer des investissements et de créer des emplois (MRNF, 2006).

Quant aux produits pétroliers, le Québec, étant un importateur net de pétrole, a tout avantage à promouvoir les mesures d'économie d'énergie. De plus, les prévisions laissent toutes entrevoir une augmentation soutenue du prix du baril de pétrole, bien que l'ampleur de cette augmentation varie d'une source à l'autre. Ce problème a d'ailleurs été soulevé dans la Stratégie énergétique. Le secteur des transports, principal consommateur de produits pétroliers, est particulièrement visé dans la recherche de solution pour réduire les dépenses énergétiques ainsi que la dépendance de la province aux importations.

Les données sur la consommation énergétique n'étant pas encore disponible pour l'année 2008, il est difficile de déterminer si la hausse du prix du baril de pétrole a eu un impact significatif sur les habitudes des consommateurs, d'autant plus qu'en fin d'année, le prix du brut a connu des baisses substantielles et constantes. Cependant, sur la base des prévisions concernant le prix du pétrole, il est possible d'affirmer qu'une augmentation soutenue aura un impact certain sur la demande. L'ampleur de cet impact reste toutefois à voir, car la demande est également influencée par d'autres facteurs, tels que la pénétration de nouvelles technologies sur le marché.

1.6. La capacité budgétaire du Québec

Le Québec est un importateur net d'énergie, important la totalité du pétrole brut et du gaz naturel nécessaire à la consommation. La valeur de ces importations est considérable et atteignait 5321 M$ et 962 M$, respectivement en 2002. Bien que les trois raffineries présentes sur le territoire québécois produisent des produits pétroliers en partie destinés aux marchés nord-américains, la valeur de ces exportations est nettement inférieure à celle des importations (2292 M$ en 2002). En 2006, la valeur des dépenses énergétiques était de près de 30 G$, soit 10,6 % de la dépense intérieure brute. Les exportations des produits énergétiques ne représentent donc pas une partie importante de la valeur ajoutée du secteur énergétique, la balance commerciale du secteur énergétique étant négative. Néanmoins, les exportations d'électricité sont en forte croissance.

En octobre 2007, le gouvernement a annoncé le *Plan québécois des infrastructures* comportant des investissements de 30,1 G$ au cours de la période 2007-2012. En tenant compte des investissements de 7,6 G$ au titre du parachèvement de projets déjà démarrés avant 2007-2008, les investissements réalisés par le gouvernement du Québec atteindront 37,7 G$ entre 2007 et 2012, notamment dans les industries du pétrole et de l'électricité.

Le 4 novembre 2008, la ministre des Finances du Québec, madame Monique Jérôme-Forget, présentait la mise à jour économique et financière du gouvernement du Québec (Finances Québec, 2008). On y apprenait que le gouvernement québécois prévoit une détérioration des perspectives économiques au moins jusqu'en 2010. Le gouvernement du Québec tente de ne pas sombrer dans les déficits, et pour y parvenir, les prévisions de dépenses sont révisées à la baisse, soit 4,4 % pour l'exercice financier 2008-2009 et 3,2 % pour 2009-2010, des taux de croissance des dépenses nettement inférieurs à ceux observés au cours des dernières années. Le budget provincial présenté en avril 2009 engage toutefois déjà le gouvernement dans un déficit budgétaire important. Compte tenu également de la baisse marquée des exportations québécoises, des pertes d'emplois prévues qui y sont associées et du ralentissement anticipé de la demande intérieure, il est fort probable que la situation financière du Québec soit, une fois de plus, des plus précaires.

Dans un tel contexte, il faut considérer les façons d'augmenter les revenus de l'État, notamment grâce aux infrastructures énergétiques présentes et futures. En effet, sur les bénéfices nets de 2,9 G$ d'Hydro-Québec en 2007, 733 M$ proviennent des ventes hors Québec (Hydro-Québec Production, 2007). Les exportations nettes, qui ont résulté de sorties nettes des réservoirs de seulement 10,7 TWh, ont représenté seulement 5,6 % du volume total des ventes d'électricité d'Hydro-Québec, mais 25 % du bénéfice net total. Selon ces données, il semble plus payant de vendre sur les marchés de court terme. Il est donc légitime de se questionner sur la décision du gouvernement de repousser du 31 janvier 2009 à l'automne 2009 la parution du Plan stratégique d'Hydro-Québec dans lequel la société d'État envisage l'option de vendre de l'électricité à long terme à nos voisins limitrophes[5]. Il y a lieu de se demander si nous sommes mieux en tant que société d'aller vendre à la marge sur les marchés lorsque le prix est élevé plutôt que d'inonder les marchés externes avec une nouvelle offre massive d'électricité du Québec, ce qui ferait diminuer radicalement le gain unitaire sur chaque électron vendu. Une étude de rentabilité approfondie pourrait nous éclairer sur cette question.

Hydro-Québec est le maître d'œuvre dans le développement du potentiel énergétique du Québec. En 2008, la société aura investi 4,5 G$, dont 2,1 G$ pour l'avancement des projets majeurs tels qu'Eastmain-1-A-Sarcelle-Rupert, Gentilly-2 et l'interconnexion avec l'Ontario. Les investissements prévus pour ces projets s'élèveront à 2,6 G$ en 2009. Au total, sur deux ans, il s'agit d'investissements de plus de 9,5 G$.

[5] http://communiques.gouv.qc.ca/gouvqc/communiques/GPQF/Fevrier2009/03/c5106.html

Étant donné le contexte des finances publiques, les solutions pouvant répondre aux besoins énergétiques du Québec doivent être examinées sous l'angle du meilleur rapport coût/bénéfice pour la société, de même que sous l'angle de l'équité intergénérationnelle (du moins lorsque les revenues actualisés sont moindres que les coûts requis lors de la construction). En effet, si les grands barrages ont été inscrits sur la dette publique lors de leur construction, ils continuent néanmoins à profiter aux générations suivantes qui en payent les intérêts.

Par ailleurs, il est important de regarder l'impact de nos choix énergétiques du point de vue environnemental. Par exemple, faire le choix des énergies renouvelables pourrait générer des revenus intéressants provenant de ventes au niveau national et international sur les divers marchés de carbone. Il est essentiel de connaître dans quelle mesure ces activités sont éligibles à l'octroi de crédits sur un éventuel marché canadien (de Kyoto ou volontaire). Les promoteurs devront se référer aux prix actuels des marchés et aux coûts associés aux différentes étapes à suivre, pour faire reconnaître les crédits éventuellement associés à une initiative qui rendrait le Québec capable d'évaluer la pertinence de s'engager dans les marchés de carbone.

2. MOYENS ACTUELS ET ÉMERGENTS DE PRODUCTION ÉNERGÉTIQUE

Cette section présente les différents moyens existants et émergents de production énergétique, les compare avec ceux d'autres juridictions pour illustrer la structure particulière au Québec et analyse l'impact de la pénétration des nouvelles technologiques de production sur les besoins énergétiques québécois.

Malgré les tendances lourdes des dernières années, les moyens de production d'énergie au Québec se modifient graduellement. La conjoncture change. Les citoyens font des choix différents. Les technologies progressent et se mondialisent, et l'expertise développée ici offre des possibilités nouvelles. Tout cela se traduit par des orientations gouvernementales différentes.

2.1. Les filières classiques de production d'énergie au Québec

La production d'énergie au Québec vient principalement de la production d'électricité et du raffinage de produits pétroliers. Les ressources en eau dont nous profitons et les choix effectués par le Québec il y a environ 40 ans font en sorte que la production d'électricité se fait principalement par voie hydroélectrique. La production d'électricité à partir des énergies nucléaire, thermique et éolienne complète ce portrait.

Le raffinage de produits pétroliers est également un secteur important de ce domaine. Le Québec ne produit pas de pétrole brut ni de gaz naturel; ces deux formes d'énergie sont importées en totalité.

2.1.1. Les infrastructures électriques

Une grande partie de la capacité électrique installée au Québec est la propriété d'Hydro-Québec (Tableau 4). En 2005, les installations d'Hydro-Québec représentaient 78 % de cette capacité, et les Chutes Churchill 12 %, en vertu d'une entente à long terme avec Terre-Neuve-et-Labrador. Les producteurs indépendants, les autoproducteurs et les municipalités détiennent seulement 10 % de la capacité installée.

TABLEAU 4 - PUISSANCE INSTALLÉE PAR TYPE DE PRODUCTEUR ET PAR TYPE D'ÉNERGIE, 2005

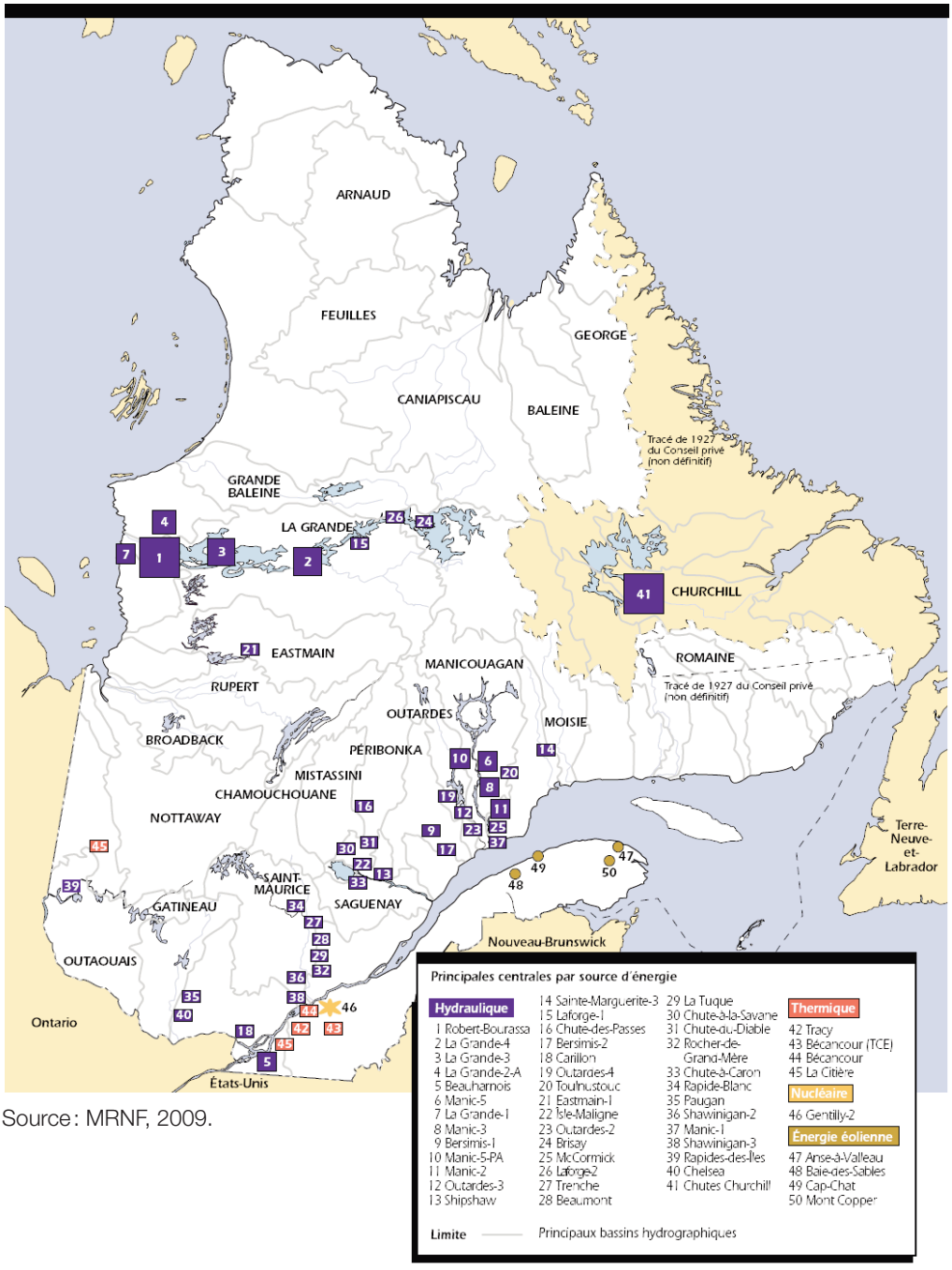
	Hydraulique		Thermique		Nucléaire		Éolienne		Total	
Producteurs	**MW**	**%**	**MW**	**%**	**MW**	**%**	**MW**	**%**	**MW**	**%**
Hydro-Québec	33304,8	78,1	1665,0	67,3	675,0	100,0	2,3	0,5	35647,0	77,1
Municipalités	29,9	0,1							29,9	0,1
Autoproducteurs	3592,4	8,4	92,8	3,8					3685,2	8,0
Producteurs indépendants	585,0	1,4	716,4	29,0			429,0	99,5	1730,4	3,7
Chutes Churchill	5128,0	12,0							5128,0	11,1
Total	**42640,1**	**100,0**	**2474,2**	**100,0**	**675,0**	**100,0**	**431,3**	**100,0**	**46220,5**	**100,0**

Source : MRNF, 2009.

En 2005, l'hydroélectricité représentait 92,2 % de la puissance installée totale de 46 220 MW à la disposition d'Hydro-Québec, les centrales thermiques 5,3 %, le nucléaire 1,5 % et les installations éoliennes 0,9 %. Les principales centrales électriques en service au Québec en 2007 sont présentées à la Figure 34.

Il est important de noter que la croissance de la filière éolienne au Québec est très rapide : aujourd'hui, il y a plus de 430 MW de puissance installée; il est prévu qu'en 2017, cette capacité de production à partir de l'énergie éolienne atteindra 3 500 MW, ce qui représentera environ 10 % de la puissance de production d'électricité à la disposition d'Hydro-Québec et environ 8 % de la capacité totale du Québec.

FIGURE 34 - LES PRINCIPALES CENTRALES ÉLECTRIQUES EN SERVICE AU QUÉBEC EN 2007



Source : MRNF, 2009.

Une liste des principales centrales hydroélectriques, thermiques, nucléaires et éoliennes d'Hydro-Québec en 2007 est présentée dans les Tableaux 5 et 6. Une liste complète de toutes les centrales en service en 2003 est disponible dans *L'énergie au Québec, édition 2004* (MRNF, 2004).

TABLEAU 5 - PRINCIPALES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES HYDRO-QUÉBEC EN 2007

Nom de la centrale	Puissance installée	Type	Groupes[1]	Système hydrique	Mise en service
Robert-Bourassa	5 616 MW	Réservoir	16	La Grande	1979-1981
La Grande-4	2 779 MW	Réservoir	9	La Grande	1984-1986
La Grande-3	2 417 MW	Réservoir	12	La Grande	1982-1984
La Grande-2-A	2 106 MW	Réservoir	6	La Grande	1991-1992
Beauharnois	1 755 MW	Fil de l'eau	38	Saint-Laurent	1932-1961
Manic-5	1 528 MW	Réservoir	8	Manicouagan	1970
La Grande-1	1 436 MW	Fil de l'eau	12	La Grande	1994-1995
Manic-3	1 244 MW	Fil de l'eau	6	Manicouagan	1975
Bersimis-1	1 125 MW	Réservoir	8	Betsiamites	1956
Manic-5-PA	1 064 MW	Réservoir	4	Manicouagan	1989
Manic-2	1 041 MW	Fil de l'eau	8	Manicouagan	1965
Outardes-3	1 026 MW	Fil de l'eau	4	Aux Outardes	1969

[1] Nombre de groupes turbines-alternateurs.

Source : Hydro-Québec, 2008a.

TABLEAU 6 - AUTRES CENTRALES HYDRO-QUÉBEC EN 2007

Nom de la centrale	Puissance installée	Type	Mise en service
Gentilly-2	675 MW	CANDU	1983
Tracy	660 MW	Thermique au mazout	1968
Bécancour	439 MW	Turbines à gaz	
La Citière	280 MW	Turbines à gaz	
Cadillac	162 MW	Turbines à gaz	
Saint-Ulric	2 MW	Éolien	

Source : Hydro-Québec, 2008a.

Hydro-Québec achète aussi la quasi-totalité de la production de la centrale de Churchill Falls (5 128 MW en 2005) de Churchill Falls Corporation Ltd (Labrador), ainsi que la totalité de la production de sept parcs éoliens privés (429 MW en 2005). Hydro-Québec a aussi accès à plus de 1 000 MW de puissance supplémentaire par le biais d'ententes avec d'autres fournisseurs privés.

Le transport et la distribution de l'électricité au Québec se font principalement par les infrastructures d'Hydro-Québec. En 2007, Hydro-Québec possédait plus de 33 000 km de lignes de transport (Figure 35).

Puisque la consommation d'électricité est en croissance constante au Québec, et que cette croissance risque de continuer, pour l'alimenter, Hydro-Québec augmente annuellement la puissance électrique installée au Québec (Tableau 7), soit par la construction de nouvelles centrales, soit par la réfection des anciennes.

TABLEAU 7 - LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE INSTALLÉE AU QUÉBEC

	Hydraulique[2]		Thermique		Nucléaire		Éolienne		Total
Années[1]	MW	%	MW	%	MW	%	MW	%	MW
1995	37 395,7	94,16	1 643,7	4,14	675,0	1,70			39 714,4
1996	38 051,3	94,18	1 678,6	4,15	675,0	1,67			40 404,9
1997	38 073,3	93,96	1 771,3	4,37	675,0	1,67			40 519,6
1998	38 077,6	93,79	1 848,1	4,55	675,0	1,66			40 600,7
1999	39 287,5	93,77	1 837,5	4,39	675,0	1,61	99,8	0,24	41 899,7
2000	39 306,3	93,78	1 834,4	4,38	675,0	1,61	99,8	0,24	41 915,5
2001	39 307,4	93,58	1 917,5	4,57	675,0	1,61	102,0	0,24	42 001,9
2002	39 580,7	93,63	1 916,3	4,53	675,0	1,60	102,0	0,24	42 274,0
2003	40 254,4	93,72	1 916,5	4,46	675,0	1,57	104,3	0,24	42 950,1
2004	40 813,0	93,78	1 917,0	4,40	675,0	1,55	113,3	0,26	43 518,2
2005	41 501,4	93,67	1 919,4	4,33	675,0	1,52	212,3	0,48	44 308,1
2006	42 191,4	92,22	2 562,5	5,60	675,0	1,48	321,8	0,70	45 750,6
2007	42 640,1	92,25	2 474,2	5,35	675,0	1,46	431,3	0,93	46 220,5

1 : au 31 décembre de chaque année.

2 : y compris les Chutes Churchill.

Source : MRNF, 2009.

FIGURE 35 - GRANDS ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION ET DE TRANSPORT D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC

Source : Hydro-Québec, 2008a.

L'augmentation des capacités de production d'électricité permet aussi un accroissement des exportations d'électricité. Hydro-Québec exporte actuellement environ 7 % de sa production annuelle (Tableau 8), vendue à prix élevés.

TABLEAU 8 - PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ AU QUÉBEC (MWH/AN)

	2003	2004	2005	2006
Production	177,848,777	174,950,783	180,296,084	180,247,851
Exportations	10,038,238	9,478,025	10,565,127	11,712,012
Importations	3,924,972	3,459,812	3,271,915	2,534,149
Transferts inter-régions	31,700,212	34,437,830	33,906,301	34,186,533
Total	**203,435,723**	**203,370,400**	**206,909,173**	**205,256,521**

Source : Statistique Canada, 2006

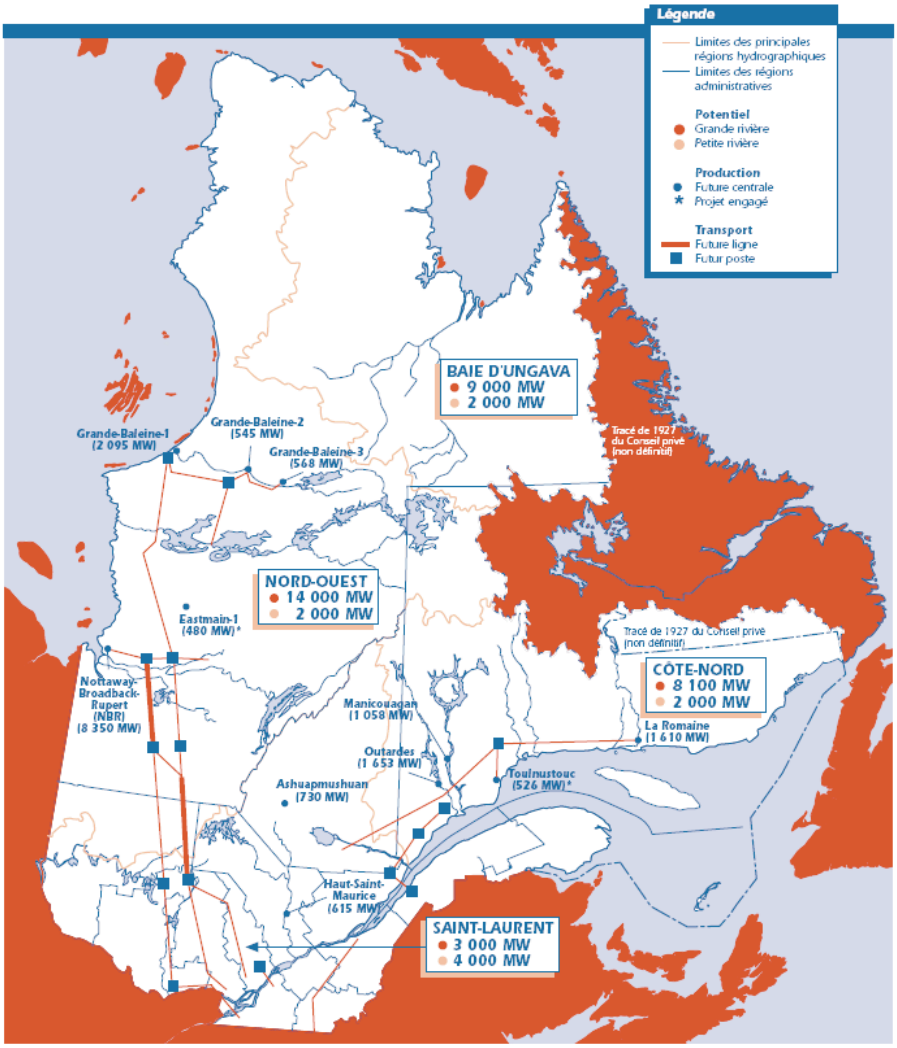
Actuellement, Hydro-Québec compte trois nouveaux projets de centrales hydroélectriques en construction. Deux projets se trouvent sur la rivière Saint-Maurice, l'une à Chute-Allard (65 MW) et l'autre à Rapide-des-Cœurs (83 MW). La finalisation de ces deux projets est prévue pour l'été 2009. Le troisième projet, l'Eastmain-1-A-Sarcelle-Rupert, fait partie des installations de la rivière La Grande. Il comprend trois volets : la construction d'une centrale, Eastmain-1-A (768 MW) à proximité de la centrale existante Eastmain-1; la construction d'une centrale, Sarcelle (125 MW) au réservoir Opinaca; et la construction des systèmes de détournement des eaux de la rivière Rupert vers les deux nouvelles centrales ainsi que vers trois centrales existantes, soit Robert-Bourassa, La Grande 2-A et La Grande-1. La mise en service du projet Eastmain-1-A-Sarcelle-Rupert est prévue pour 2011-2012. Elle apportera des gains de production annuels de 8,5 TWh. Un nouveau projet de quatre complexes hydroélectriques sur la rivière Romaine, ayant une capacité totale de 1 550 MW, est actuellement à l'étude.

Par ailleurs, deux projets de réfection de centrales sont en cours. La centrale de Beauharnois est en réfection depuis 1994, pour un investissement total de 1 133 M$. Au programme, la réfection des groupes turbines-alternateurs, la construction de nouveaux bâtiments, le réaménagement des lignes et le déménagement du centre d'interprétation. La fin des travaux est prévue pour 2009. Le plus grand des projets de réfection implique un investissement de 1,9 G$ pour le réacteur nucléaire Gentilly-2. Il se compose de deux volets : la réfection de la centrale nucléaire et la modification des installations de gestion de déchets radioactifs solides. Le projet doit débuter en 2010 et se terminer en 2011. La réfection permettra de prolonger l'utilisation de la centrale Gentilly-2 jusqu'en 2040. L'étude technico-économique et celle de la sécurité ont démontré qu'il était plus avantageux de poursuivre l'exploitation de la centrale que de la fermer. Le coût de revient de l'électricité produite à partir de 2012 a été estimé à 7,2 ¢/kWh (Hydro-Québec, 2008a). Le projet apportera des retombées économiques directes de 600 M$ au Québec et permettra de créer environ 800 emplois sur 20 mois, ceux-ci s'ajoutant aux effectifs réguliers de la centrale.

Il y a aussi deux projets de réfection des installations de transport d'Hydro-Québec : l'un concerne le poste de Sorel, à un coût de 50 M$; et l'autre, la ligne de transport reliant le poste des Méchins au poste de Goémon via Cap-Chat. La fin de ces deux projets est prévue pour 2010.

Il existe un grand potentiel d'exploitation des ressources hydroélectriques au Québec (Figure 36). Toutefois, ce potentiel techniquement aménageable doit privilégier les sites économiquement viables. Pour le moment, cette contrainte de coût limiterait le potentiel à environ 10 à 12 000 MW.

FIGURE 36 - POTENTIEL ÉLECTRIQUE AU QUÉBEC EN 2003

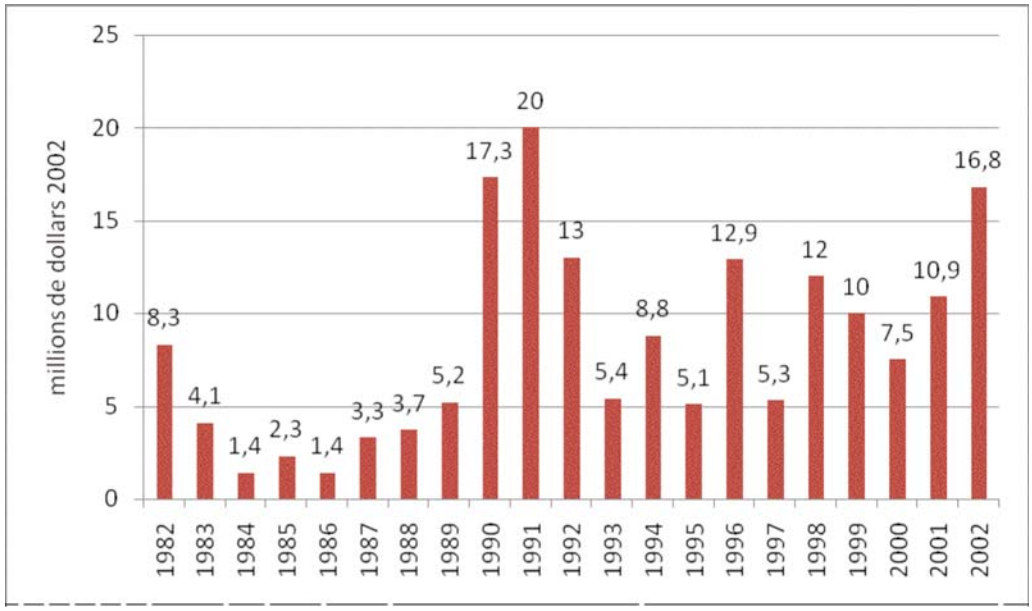


Source : MRNF, 2004.

2.1.2. L'exploitation des hydrocarbures et le raffinage des produits pétroliers

Il n'y a en ce moment aucun projet d'exploitation d'hydrocarbures à grande échelle en cours au Québec, mais des efforts importants sont consentis à l'exploration (Figure 37). Quatre gisements ont été identifiés : trois gisements de gaz naturel (Saint-Flavien, Pointe-du-Lac et Galt) et un gisement de pétrole (Haldimand). Il existe encore de nombreux sites potentiellement exploitables. La superficie du territoire québécois pour laquelle des permis de recherche d'hydrocarbures ont été octroyés a considérablement augmenté depuis la deuxième moitié des années 1990 (Figure 38). La valorisation des ressources pétrolières et gazières du Québec est une action prioritaire du gouvernement québécois.

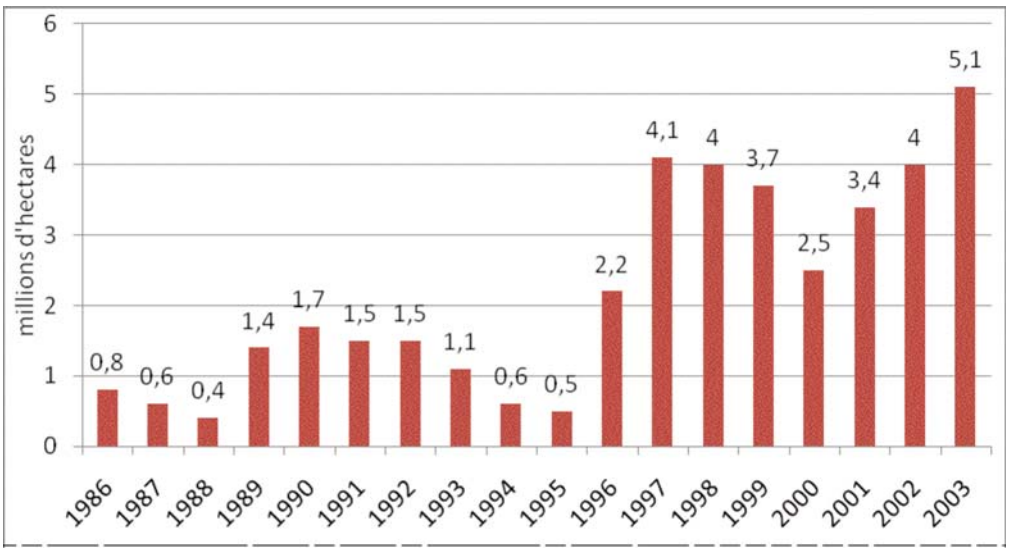
FIGURE 37- LES DÉPENSES EN EXPLORATION ET EXPLOITATION DES HYDROCARBURES AU QUÉBEC



Source : MRNF, 2004

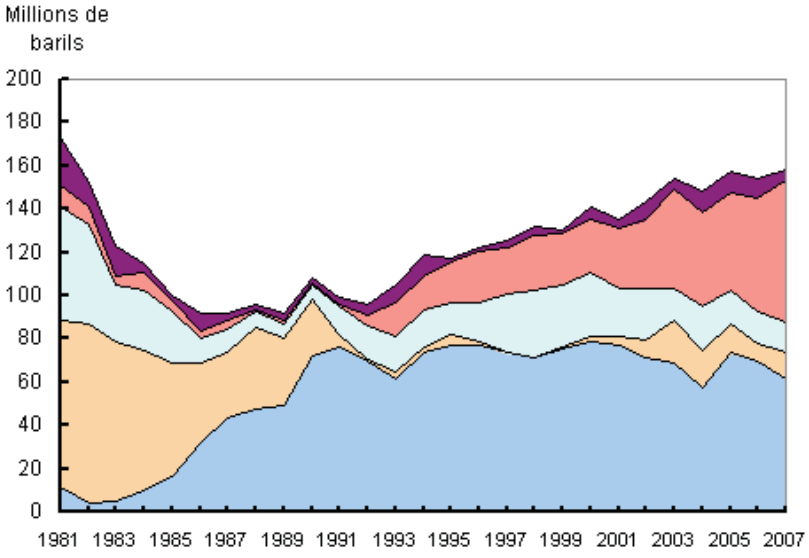
Bien que le Québec n'exploite pas de pétrole brut sur son territoire, il existe quand même des activités importantes de raffinage dans la province à partir de l'importation de pétrole brut (Figure 39).

FIGURE 38 - LA SUPERFICIE DU TERRITOIRE COUVERTE PAR UN PERMIS DE RECHERCHE D'HYDROCARBURES



Source : MRNF, 2004

FIGURE 39 - LA PROVENANCE DES APPROVISIONNEMENTS EN PÉTROLE BRUT AU QUÉBEC

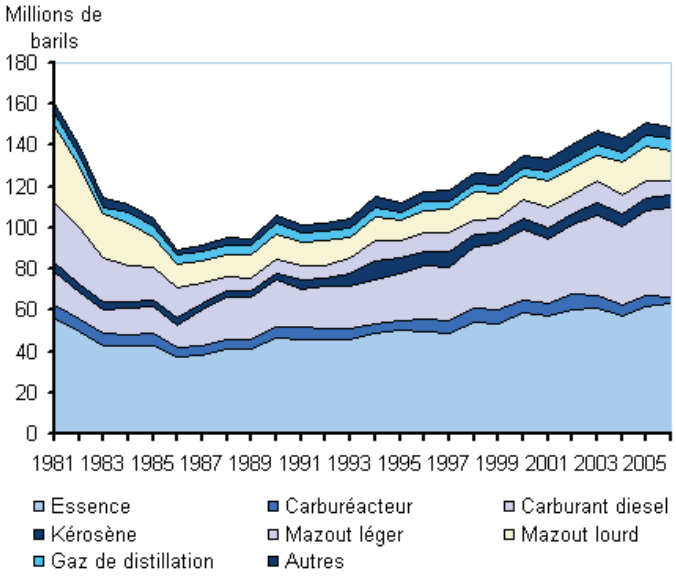


Source : MRNF, 2009.

Les trois principales raffineries au Québec sont celles de Petro-Canada et de Shell à Montréal, et celle d'Ultramar à Lévis. En 2007, ces raffineries détenaient respectivement une capacité journalière de 134 et de 130 milliers de barils pour Montréal, et de 215 milliers de barils pour Lévis (MRNF, 2009). Le pétrole brut livré aux raffineries à Montréal passe principalement par l'oléoduc Portland – Montréal, ainsi que par livraison maritime. La raffinerie de Lévis est desservie principalement par livraison maritime. L'essence est le produit le plus important du raffinage au Québec, suivie du diesel (Figure 40).

La production d'essence et de carburant diesel dépasse les besoins de consommation, aussi une bonne partie de la production est exportée en Ontario. En 2006, la production totale de produits pétroliers atteignait 148,5 millions de barils, alors que la consommation n'était que de 108,9 millions de barils. La production totale de produits pétroliers augmente depuis 1986 (MRNF, 2009).

FIGURE 40 - LA PRODUCTION DES PRODUITS PÉTROLIERS ÉNERGÉTIQUES



Source : MRNF, 2009.

2.1.3. Comparaison des filières classiques de production avec d'autres juridictions

La structure énergétique du Québec est singulière si on la compare à celle des autres provinces canadiennes et des autres pays. Grâce à l'abondance naturelle de ses réserves d'eau, 92 % de l'électricité produite au Québec provient de sources hydroélectriques. Si le Canada est un des principaux pays producteurs d'hydroélectricité dans le monde, c'est grâce en grande partie au Québec (Figure 41).

FIGURE 41 - LES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS D'HYDROÉLECTRICITÉ DANS LE MONDE EN 2006

	Hydraulique		Thermique		Nucléaire		Éolienne		Total	
Producteurs	**MW**	**%**	**MW**	**%**	**MW**	**%**	**MW**	**%**	**MW**	**%**
Hydro-Québec	33304,8	78,1	1665,0	67,3	675,0	100,0	2,3	0,5	35647,0	77,1
Municipalités	29,9	0,1							29,9	0,1
Autoproducteurs	3592,4	8,4	92,8	3,8					3685,2	8,0
Producteurs indépendants	585,0	1,4	716,4	29,0			429,0	99,5	1730,4	3,7
Chutes Churchill	5128,0	12,0							5128,0	11,1
Total	**42640,1**	**100,0**	**2474,2**	**100,0**	**675,0**	**100,0**	**431,3**	**100,0**	**46220,5**	**100,0**

Source : BP, 2008 et Statistique Canada, 2006.

Le Manitoba et la Colombie-Britannique produisent également leur électricité majoritairement à partir de l'hydroélectricité (Tableau 9). Quant aux autres provinces, les centrales thermiques, de types divers, dominent.

Le Canada produit peu d'électricité à partir du charbon (11 %), comparativement aux autres pays du monde. La grande majorité des centrales à charbon sont en Ontario, et l'objectif du gouvernement ontarien est de les fermer d'ici 2014. Leur fermeture sera en partie compensée par la production d'énergie renouvelable et la réfection des centrales nucléaires.

Aux États-Unis et en Chine, les centrales au charbon produisent une large part de l'électricité (Figure 42), ce qui entraîne aux États-Unis a un impact considérable sur la pollution et sur la qualité de l'air au Québec Et jusque dans les provinces maritimes, en raison des vents dominants qui proviennent du nord-est des États-Unis et qui traversent l'Ontario vers le Québec (Figure 43).

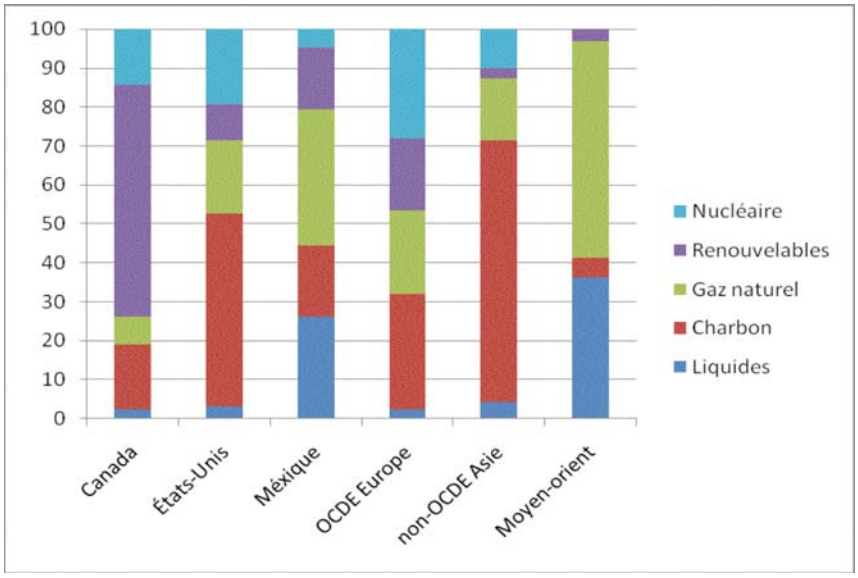
Certes, une solution possible à plus long terme consiste à capter et à séquestrer le carbone émis par les centrales au charbon; ici les ingénieurs pourraient avoir un rôle à jouer. L'idée est d'ailleurs envisagée par les gouvernements américains et canadiens, mais des contraintes techniques, économiques et sociales limitent à l'heure actuelle le développement d'une telle option. De plus, cette solution ne fait pas l'unanimité, puisqu'elle n'incite pas à réduire la consommation.

TABLEAU 9- PUISSANCE ÉLECTRIQUE INSTALLÉE PAR PROVINCE (MW), 2006

	Hydroélectricité	Éolienne Marémotrice	Thermique	Total	% du Canada
Terre-Neuve et Labrador	6777	0	717	7494	6,05
Île-du-Prince-Édouard	0	14	158	171	0,14
Nouvelle-Écosse	404	53	2006	2463	1,99
Nouveau-Brunswick	936	0	3613	4549	3,67
Québec	36686	322	3211	40219	32,49
Ontario	8349	414	23759	32521	26,27
Manitoba	5024	104	501	5629	4,55
Saskatchewan	855	171	2853	0	3,13
Alberta	924	385	10427	11736	9,48
Colombie-Britannique	12598	0	2230	14828	11,98
Yukon	77	1	30	108	0,09
Territoires du Nord-Ouest	31	0	111	142	0,0012
Nunavut	0	0	54	54	0,0004
Total Canada	72661	1463	49669	119914	100%

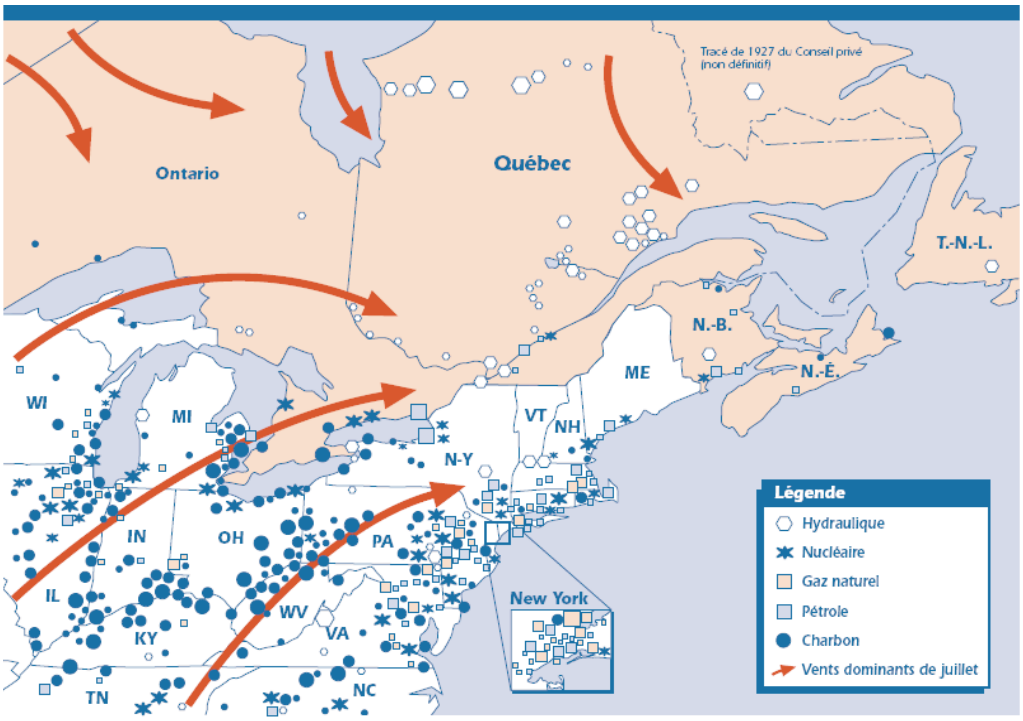
Source : Statistique Canada, 2006

FIGURE 42 - SOURCES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ, 2005



Source : EIA, 2008.

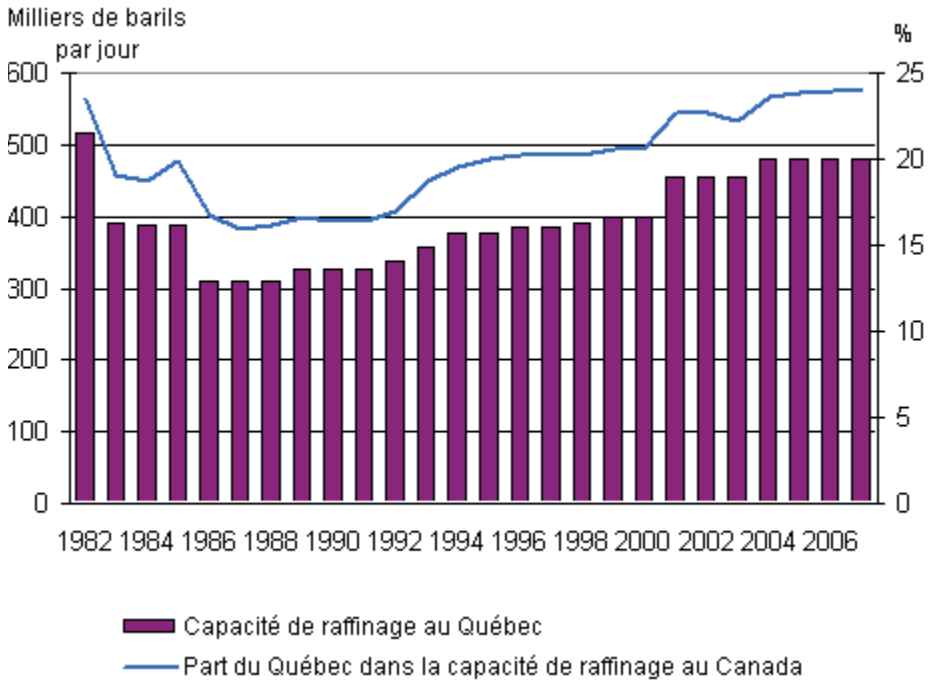
FIGURE 43 - LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN AMÉRIQUE DU NORD ET LES VENTS DOMINANTS



Source : MRNF, 2004

Le Québec importe des quantités importantes de pétrole brut qui sont ensuite raffinées en produits pétroliers (surtout en essence et en diesel). En 2006, le Québec a importé 22 890 millions de litres de pétrole brut et a produit 26 410 millions de litres de produits raffinés, ce qui correspond à 20 % de la capacité de raffinage au Canada (Figure 44).

FIGURE 44 - LA CAPACITÉ DE RAFFINAGE AU QUÉBEC ET AU CANADA



Source: MRNF, 2009.

L'Ontario et l'Alberta sont les deux provinces avec les plus grandes capacités de raffinage au Canada. Néanmoins, les provinces atlantiques, la Colombie-Britannique et le Saskatchewan possèdent des usines de raffinage produisant plus de 2000 barils par jour. À l'heure actuelle, toutes les provinces du Canada produisent du pétrole brut, sauf l'Île-du-Prince-Édouard, le Nouveau-Brunswick et le Québec.

2.2. La production d'électricité provenant des nouvelles sources renouvelables

D'une part, le gouvernement entend développer l'ensemble du potentiel éolien intégrable au réseau électrique d'Hydro-Québec d'ici 2015, l'énergie éolienne étant considérée comme un complément naturel à l'hydroélectricité. D'autre part, le gouvernement favorise la diversification des sources d'énergie utilisées pour la production d'électricité; il appuie notamment le développement des filières solaire et géothermique.

2.2.1. Énergie éolienne

Le territoire québécois offre un potentiel considérable pour le développement de cette filière. Le Nord-du-Québec, la Côte-Nord, le Saguenay-Lac-Saint-Jean et la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine disposent de vents forts et constants. Une étude effectuée par Hélimax et AWS Truewind pour le compte du MRNF en 2005 portait sur le potentiel éolien au Québec par région administrative. Les analyses démontrent qu'il existe un potentiel technique de 3 925 624 MW, dont 85 % se trouve dans la région Nord-du-Québec (Tableau 10).

TABLEAU 10 – POTENTIEL ÉOLIEN ET LIMITES DE CAPACITÉ INTÉGRABLES AU RÉSEAU

	Régions administratives	Potentiel éolien	Limite réseau avec renforcement	Limite réseau avec ajout d'infrastructure
		MW	MW	MW
1	Bas-St-Laurent	21 604	550	550
2	Saguenay-Lac-St-Jean	49 642	2 000	2 100
3	Capitale-Nationale	3 312	2 000	3 650
4	Mauricie	1 288	2 000	4 000
5	Estrie	2 318	2 000	2 200
6	Montréal	0	10 800	10 800
7	Outaouais	93	1 000	1 000
8	Abitibi-Témiscaminque	780	1 000	1 000
9	Côte-Nord	395 075	2 000	3 000
10	Nord-du-Québec	3 473 440	2 000	2 120
11	Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine	19 605	550	550
12	Chaudière-Appalaches	7 306	2 000	5 000
13	Laval	11	5 950	5 950
14	Lanaudière	344	3 000	3 000
15	Laurentides	512	5 670	5 670
16	Montérégie	6 535	21 650	21 650
17	Centre-du-Québec	2 461	2 000	3 000
	Total	**3 984 326**	**66 170**	**75 240**

Note : les capacités intégrables au réseau électrique par région administrative ne peuvent pas s'ajouter, mais doivent être prises individuellement.

Source : MRNF, 2005b

Cependant, ce potentiel est limité de manière importante par la possibilité de raccordement des nouveaux projets éoliens au réseau électrique. Le potentiel de production intégrable à l'ensemble du réseau électrique d'Hydro-Québec était de 3600 MW en 2004. Il est estimé à 4000 MW pour 2015 (MRNF, 2005b), ce qui représente une faible fraction du potentiel technique, mais un potentiel appréciable en valeur absolue.

L'énergie éolienne à elle seule ne peut satisfaire la majorité des besoins énergétiques du Québec. La puissance nominale des éoliennes de grande taille posées sur terre varie aujourd'hui de 600 kW à 2,5 MW (Hélimax, 2004). Un aérogénérateur de 2 MW permet de couvrir les besoins annuels de 750 à 1000 foyers. Des aérogénérateurs d'une puissance nominale de 5 MW ont déjà fait l'objet de tests et pourraient assurer l'alimentation électrique d'une petite ville. Le développement de parcs contenant plusieurs centaines d'éoliennes serait donc nécessaire pour produire la même quantité d'électricité que les grands barrages hydroélectriques.

De plus, le caractère intermittent de la ressource éolienne et le fait que l'énergie produite ne peut être accumulée sont des facteurs qui compliquent l'intégration de cette électricité au réseau. Il est nécessaire de compenser cette intermittence par la production d'une source d'énergie plus facile à contrôler (compensation appelée équilibrage). À cet effet, la présence d'une source renouvelable abondante et relativement stable comme l'hydroélectricité (l'eau pouvant être accumulée dans les réservoirs) constitue un avantage considérable au Québec par rapport à d'autres juridictions où la production d'électricité est essentiellement d'origine thermique. Il existe donc un potentiel intéressant au Québec, car l'énergie éolienne peut être couplée à l'hydroélectrique.

Par ailleurs, l'implantation de systèmes hybrides hydro-éolien sur les sites des grandes centrales est une option qui a déjà été envisagée dans le cadre de nouveaux projets de développement hydroélectrique, mais aucun n'a été considéré de façon très sérieuse jusqu'à maintenant. Par exemple, une option alternative avait été proposée dans le cadre des audiences publiques pour le projet Eastmain 1-A-Rupert et visait la construction de la centrale Eastmain 1-A, ainsi que de plusieurs centrales éoliennes dont la puissance totaliserait 2650 MW afin de fournir les 8,5 TWh d'énergie du projet (Parrouffe, 2007).

De façon générale, les coûts de production de l'énergie éolienne ont diminué sensiblement ces dernières années, et les projections énergétiques montrent que la tendance se poursuivra fort probablement dans le futur. L'énergie éolienne est l'une des sources d'énergie les moins dispendieuses en termes de coûts initiaux : 1561 $/kW de capacité installée, versus 1643 $/kW pour les projets hydroélectriques les moins dispendieux (EIA, 2008b). De plus, le coût de l'énergie produite se rapproche de plus en plus de celle produite à partir des nouveaux barrages hydroélectriques. En effet, à l'issue du second appel d'offres d'Hydro-Québec, pour l'achat de 2 000 MW, le prix moyen de l'électricité des quinze offres retenues est de 10,5 ¢/kWh (8,7 ¢/kWh pour l'énergie éolienne, 1,3 ¢/kWh pour le transport et 0,5 ¢/kWh pour le service d'équilibrage). Enfin, de nouvelles installations peuvent être construites rapidement (2 ou 3 ans en moyenne) si le budget nécessaire pour l'investissement initial est disponible.

Le développement de la filière éolienne présente des opportunités intéressantes pour les ingénieurs. Les études de faisabilité d'un projet de parc éolien nécessitent des analyses techniques détaillées au sujet du site : la vitesse et la qualité des vents, la topographie, le choix du modèle et du nombre d'éoliennes adéquat, etc. De plus, l'installation et l'entretien des éoliennes requièrent une expertise particulière. À cela s'ajoute que l'industrie de fabrication des éoliennes continue à se développer au Québec; elle offre des importunités intéressantes. Les ingénieurs du Québec pourraient largement contribuer au développement de cette filière et influencer chaque aspect de son développement à la condition de pouvoir fournir des candidats bien formés.

Certaines barrières de marché semblent encore freiner le déploiement à plus grande échelle de l'énergie éolienne. Par exemple, on compte le manque d'infrastructures physiques connexes, les lacunes du cadre réglementaire, ainsi que divers problèmes techniques.

Infrastructures physiques. Le manque d'infrastructures nécessaires à la mise en place de projets éoliens et au transport de l'énergie éolienne constitue une barrière significative au développement de cette filière énergétique. Les régions où le potentiel éolien est élevé sont souvent situées dans des zones éloignées des grands centres. Or, la présence de lignes de transport situées près des sites à fort vent est parfois insuffisante, puisque ces lignes ont initialement été construites pour soutenir un modèle traditionnel de production d'électricité (par le biais de grandes centrales hydroélectriques), et non les sources décentralisées qui produisent de petites quantités d'énergie en plusieurs points situés sur une étendue géographique beaucoup plus large. Des efforts sont donc nécessaires pour le développement des infrastructures de transport, comme pour le développement de projets en milieux nordiques et maritimes (qui présentent des conditions d'exploitation souvent extrêmes). À ce chapitre, la contribution des ingénieurs est indéniablement requise.

Cadre réglementaire. Un certain nombre d'obstacles surviennent au moment d'obtenir l'approbation pour la réalisation d'un nouveau projet éolien; il en va de même au moment de procéder à l'interconnexion du projet au réseau. Les procédures peuvent s'éterniser et s'avérer dispendieuses pour les promoteurs et développeurs, menant dans certains cas à l'abandon du projet. La normalisation et la simplification des processus de réglementation, ainsi que l'amélioration de la coordination des politiques intergouvernementales sont souhaitables.

Problèmes techniques. Les fournisseurs d'énergie comme Hydro-Québec font face à des difficultés importantes pour intégrer l'énergie éolienne à leurs approvisionnements énergétiques. Entre autres, ils doivent concilier la nature intermittente de l'offre d'électricité à partir de la production éolienne avec des pointes de demande auxquelles ils doivent répondre. Également, les plus grandes éoliennes existantes sur le marché ont une capacité de 2 à 5 MW, alors que la plupart des nouvelles installations hydroélectriques ont une capacité de 100 à 500 MW. Il est donc nécessaire de construire un parc contenant de 20 à 250 éoliennes pour remplacer une installation hydroélectrique moyenne, avec tous les obstacles que cela implique. L'énergie éolienne doit donc être considérée comme une ressource énergétique complémentaire à une autre source d'approvisionnement de base comme l'hydroélectricité, qui permet de garantir un certain nombre de kilowattheures. Des travaux de recherche et de développement sont nécessaires pour améliorer les techniques de stockage d'énergie et les modèles de prévision des vents, afin que l'énergie éolienne puisse mieux contribuer à la gestion de la demande. Encore ici, il est indiscutable que la contribution des ingénieurs est nécessaire.

Autres barrières. L'opinion publique sur les parcs éoliens est devenue une contrainte non négligeable. On s'inquiète de la sécurité, du bruit, de l'esthétique visuelle et des impacts sur la faune. Tous ces aspects peuvent limiter le développement de nouvelles installations éoliennes, bien que cette barrière perde de son importance au fur et à mesure qu'on informe le public et que des projets entérinés sont rendus opérationnels. La participation des communautés locales dans le développement de projets éoliens, dont elles bénéficient directement, contribue à surmonter cet obstacle.

2.2.2. Énergie solaire

L'énergie solaire peut être utilisée pour produire de l'électricité à grande échelle (production centralisée), ou pour produire de l'électricité ou de la chaleur à plus petite échelle à l'aide de systèmes photovoltaïques ou thermiques (production décentralisée), comme pour le chauffage de l'eau, des locaux ou des piscines. Elle peut être développée dans les secteurs résidentiel, commercial, institutionnel, industriel et agricole. Contrairement à la filière éolienne, la filière solaire reste peu développée au Québec. Actuellement, l'intérêt général se porte sur le développement d'une production décentralisée.

Quoique que la filière solaire en soit à ses débuts, la production décentralisée d'énergie solaire photovoltaïque connaît un taux de croissance important, soit de 20 % à 30 % par année. L'ensoleillement élevé au Québec offre un potentiel significatif de développement. En ciblant les maisons unifamiliales, les chalets et les pourvoiries, le marché potentiel est estimé à 3 820 MW (Drolet, 2007). Le coût d'installation d'un système résidentiel moyen de capteurs photovoltaïques (3 kW) est d'environ 28 800 $ (soit 9 500 $/kW), et le coût de revient de l'électricité produite est estimé à 55 ¢/kWh (Drolet, 2007). Sans aide publique, la période de retour sur investissement est donc de plus de 50 ans.

En Ontario, par exemple, où l'électricité produite est rachetée par les sociétés publiques à un tarif de 42 ¢/kWh, la période de retour sur investissement est réduite à environ 18,7 ans. Bien que les coûts diminuent d'environ 5 % par année, il faudrait environ 40 ans à ce rythme pour obtenir des coûts similaires à ceux de l'hydroélectricité.

En ce qui concerne les systèmes thermiques utilisés pour le chauffage de l'air, le marché potentiel au Québec est considérable; il comprend environ 10 000 bâtiments industriels (PME et grandes entreprises), l'ensemble des maisons unifamiliales (neuves et existantes) et des habitations multi-logements (neufs et existants), mais aussi les édifices commerciaux, municipaux et gouvernementaux, les hôpitaux, les écoles ainsi que les fermes. Ces technologies permettent de réduire les coûts de préchauffage de l'air de 25 % par rapport aux technologies traditionnelles. Les coûts de revient de cette énergie sont d'environ 3 ¢/kWh; la période de retour sur investissement est donc relativement courte, soit de 1,7 à 6 ans (Drolet, 2007).

Le marché potentiel des chauffe-eau solaires est également très large, puisqu'il comprend les maisons unifamiliales (neuves et existantes), les habitations multi-logements (neuves et existantes), les chalets, les piscines municipales et résidentielles, les petites entreprises et industries, les hôpitaux, les hôtels, les exploitations piscicoles et les pourvoiries, ainsi que les entreprises agroalimentaires. Les chauffe-eau solaires peuvent couvrir jusqu'à 50 % des besoins en eau chaude domestique. Le coût moyen d'une installation est environ de 5 500 $ et le coût de revient varie entre 9 et 15,4 ¢/kWh (Drolet, 2007). Avec les aides fédérale et provinciale disponibles, la période de retour sur investissement se situe autour de 6 ans pour une maison moyenne, entre 5 et 7 ans en pisciculture et autour de 10 ans pour des installations communautaires (cette période augmente à 22 ans sans aide publique) (Drolet, 2007).

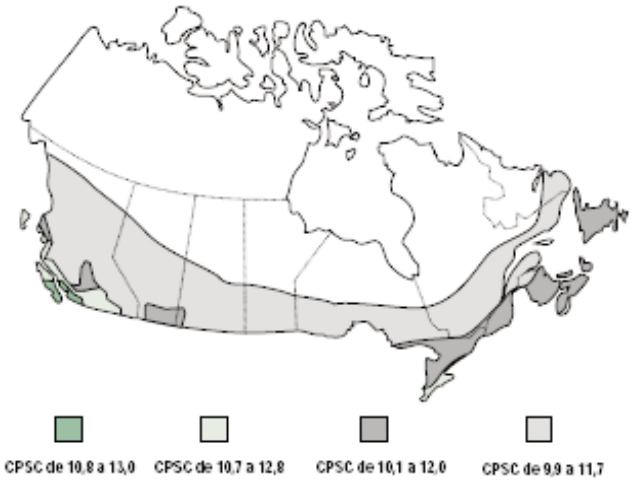
L'intérêt pour l'énergie solaire est particulièrement marqué dans les communautés isolées (75 000 personnes ou 1 % de la population totale, localisées dans les villages autochtones du Nord et dans les localités de la Basse-Côte-Nord, de la Haute-Mauricie, de l'Abitibi et de la Minganie). Aux Îles-de-la-Madeleine par exemple, l'électricité provient d'une centrale thermique au diesel de 70 MW (la plus grande au Québec), nécessitant 40 millions de litres de diesel par année qui doivent être acheminés par bateau. Le coût de production de l'électricité est estimé à plus de 50 ¢/kWh, alors qu'Hydro-Québec doit y vendre l'électricité au même prix que partout ailleurs au Québec, soit environ 7 ¢/kWh (Drolet, 2007). En favorisant l'installation de systèmes photovoltaïques ou de chauffe-eau solaires auprès des particuliers, Hydro-Québec pourrait réduire ses coûts. Le scénario est techniquement et économiquement réalisable. De plus, le couplage des installations photovoltaïques à la centrale thermique permettrait de réduire proportionnellement la consommation de diesel, réduisant d'autant les émissions de GES.

2.2.3. Géothermie

Il est possible de distinguer les géothermies profonde, haute, moyenne, de basse et de très basse énergie. Le Québec ne possède pas les atouts géologiques nécessaires pour pouvoir bénéficier de la géothermie profonde, ni même de la géothermie de haute ou de moyenne énergie (entre 150 °C et 300 °C), lesquelles permettent de produire de l'électricité. Seulement l'Ouest canadien bénéficie de caractéristiques géologiques adéquates; d'ailleurs des projets existent déjà en Colombie Britannique et en Alberta. La géothermie de basse énergie (entre 30 °C et 150 °C) peut servir au chauffage en milieu urbain, au chauffage de serres et peut être employé dans les procédés industriels, ainsi qu'en thermalisme. La géothermie de très basse énergie (moins de 30oC) est généralement pratiquable partout et peut être exploitée à l'aide d'une thermopompe. Des thermopompes géothermiques sont déjà utilisées au Québec. Le potentiel géothermique du Québec se situe donc dans les secteurs de consommation finale et non aux fins de la production d'électricité.

Les thermopompes géothermiques peuvent permettre de générer des économies de 65 % en frais de chauffage et de climatisation par rapport à un système de résistance électrique, et de 40 % par rapport à une thermopompe à air. Ces valeurs dépendent évidemment du climat, du système de chauffage en place, du coût du combustible et de l'électricité, et du coefficient de performance de la thermopompe. Par exemple, la température du sol étant plus élevée que celle de l'air en hiver, la thermopompe géothermique peut fournir plus de chaleur durant cette période que la thermopompe à air. Le coefficient de performance des thermopompes géothermiques est plus élevé dans les régions méridionales du Canada (Figure 45).

FIGURE 45 - PERFORMANCE DES THERMOPOMPES GÉOTHERMIQUES



Source : RNCan, 2004

Les obstacles liés au déploiement de la technologie géothermique sur le marché sont d'ordre économique.

Accès au capital, financement et risques. Selon les facteurs spécifiques aux sites, le coût d'installation d'une thermopompe géothermique varie considérablement et peut être très important. Par exemple, il est souvent nécessaire de réaliser des tests de sol, lesquels sont très couteux. Le besoin d'engager des coûts initiaux substantiels seulement pour déterminer le coût probable de l'installation d'une thermopompe géothermique représente un obstacle important à son implantation. La collecte et la diffusion plus systématiques de données géologiques provenant de puits et d'études géophysiques pourraient réduire de manière significative ces coûts initiaux (Hanova, 2005).

Par ailleurs, d'investir dans une thermopompe géothermique n'augmente pas la valeur du bâtiment (habitat). Aujourd'hui, la valeur marchande des bâtiments tend à ne pas tenir compte entièrement des coûts de cycle de vie de la propriété (ou du bail). Ceci représente un obstacle potentiel à l'installation d'une thermopompe, d'autant plus que la période de retour sur l'investissement peut devenir assez longue. En conséquence, dans la mesure où l'économie d'énergie via l'emploi de thermopompes est en concurrence avec d'autres types d'investissements semblables, l'option de la géothermie est rarement prioritaire. Pour le secteur résidentiel, les solutions possibles pourraient prendre la forme de remises sur les frais d'installations, de crédits d'impôt ou de diverses formes de financement offerts par les fournisseurs d'énergie.

Problèmes des agents principaux. Dans le cas des bâtiments occupés par des locataires, les propriétaires n'ont pas d'incitatif à investir dans l'installation de thermopompes géothermiques, puisque les frais énergétiques (combustibles fossiles ou électricité) sont généralement assumés par les locataires. L'introduction dans le code du bâtiment de l'installation obligatoire, pour les nouvelles constructions résidentielles et commerciales, de tels équipements constitue une piste de solution à explorer.

Le soutien technique. Cet obstacle à l'adoption de l'énergie géothermique comme alternative comprend le manque de formation des installateurs et le manque de vérificateurs pour les installations, les normes associées et les directives. Le manque de soutien technique a constitué une barrière importante au développement de cette technologie jusqu'à tout récemment, conséquence d'une pénurie d'installateurs qualifiés (Hanova et al, 2007). Cependant, la situation évolue rapidement, et il y a maintenant plus de 1500 nouveaux installateurs certifiés chaque année au Canada, grâce aux initiatives du *Canadian Geo-Exchange Coalition*.

Autres barrières. Le grand public reste relativement mal informé au sujet des avantages des thermopompes géothermiques. Il existe peu d'information sur la comparaison des différents systèmes. De plus, la performance des systèmes varie de manière significative, et par conséquent les économies d'énergie également (Hanova et al, 2007). Des investissements dans la recherche et dans le développement pourront aider à stabiliser la performance de la technologie et à en réduire les coûts.

2.3. La production de biocarburants

Les produits pétroliers sont majoritairement destinés au secteur du transport, et les biocarburants constituent actuellement l'option la plus avancée pour remplacer les carburants traditionnels. Il existe un important potentiel pour le développement des biocarburants au Québec, grâce à l'introduction des nouvelles exigences du gouvernement fédéral en matière de proportion de carburants renouvelables dans l'ensemble des carburants (5 % dans l'essence d'ici 2010 et 2 % dans le diesel d'ici 2012), grâce aussi aux incitatifs intéressants offerts par les gouvernements fédéral et provincial. Deux filières industrielles distinctes forment le secteur des biocarburants : celle de l'éthanol et celle du biodiesel.

2.3.1. La production actuelle et le potentiel de marché pour le biodiesel

L'industrie canadienne du biodiesel est à un stade relativement embryonnaire, bien que son développement s'accélère rapidement avec l'augmentation du prix du pétrole. En 2005, la production annuelle atteignait 97 millions de litres répartis dans les Prairies, l'Ontario, le Québec et la Nouvelle-Écosse (Sine Nomine, 2006). Le Québec a accueilli la première usine de production au Canada : Rothsay, à Ville-Ste-Catherine, opérationnelle depuis novembre 2005 et dont la production annuelle est de 35 millions de litres. Rothsay possède un fondoir associé aux Aliments Maple Leaf. La production est vendue en Ontario, en Colombie-Britannique et aux États-Unis.

Le canola et le soya constituent deux sources de matières premières importantes pouvant être employées à la production de biodiesel au Québec. Quant aux graisses animales, elles sont déjà utilisées à pleine capacité à l'usine de Rothsay, car en ce moment 60 % des graisses animales sont exportées (Bourgault, 2007).

Au stade actuel du développement du biodiesel, il est primordial qu'une infrastructure de distribution (pour le stockage, le transport et le mélange du biodiesel) à grande échelle se développe parallèlement aux infrastructures de production. Cette lacune constitue d'ailleurs le principal facteur limitant la consommation de biodiesel sur le territoire canadien et québécois, ce qui explique qu'actuellement presque tout le biodiesel produit au Québec est exporté aux Etats-Unis. La consommation canadienne se limite aux utilisateurs possédant leur propre infrastructure de stockage, comme les sociétés de transport en commun (Sine Nomine, 2006). À cause des propriétés particulières du biodiesel, il est impossible de l'acheminer par le réseau d'oléoducs existant. La nécessité de trouver des solutions est identifiée comme une priorité dans la Stratégie énergétique 2006-2015 (MRNF, 2006). D'ailleurs, la Coop Fédérée Sonic, désirant offrir du biodiesel à ses stations-services, suit de près l'évolution du dossier.

Le marché des biocarburants est très important, puisqu'il comprend tous les différents usages des produits pétroliers. En effet, on emploie le biodiesel pour remplacer les distillats (diesel et mazout) dans tous les secteurs d'application tels que le transport, le chauffage résidentiel, la production d'électricité et tout autre usage industriel et agricole. En réalité, le Québec aura besoin de 120 millions de litres de biodiesel pur (B100) pour atteindre l'exigence minimale de 2 % de carburant renouvelable dans le diesel d'ici 2012.

Par ailleurs, quelques projets pilotes ont été développés avec des consommateurs à grande échelle, où le biodiesel a été utilisé dans le système de transport public de la Ville de Montréal de 2002-2003 (BioBus, 2003). Quatre compagnies offrant des croisières sur le fleuve Saint-Laurent (BioMer, 2005) ont aussi contribué. Ces projets visaient à vérifier les impacts liés à l'utilisation du biodiesel sur les rendements énergétiques, les émissions de GES et sur l'entretien des véhicules; les expériences se sont avérées très concluantes. Il est également intéressant de mentionner que, parallèlement, plusieurs projets de corridors routiers (Bioroute) sont à l'étude à l'heure actuelle au Canada, dont un d'entre eux se situe dans l'axe Québec-Windsor (Sine Nomine, 2007). Initié conjointement par le *Conseil québécois du biodiesel* et le *Clean Air Partnership*, l'objectif de celui-ci est de pouvoir distribuer de 25 à 30 millions de litres de différents mélanges de biodiesel. L'axe Québec-Windsor, 1150 kilomètres en zone densément peuplée et incluant les deux plus grands producteurs de biodiesel au Canada (Rothsay et Biox), deviendrait ainsi un modèle pour l'étude du développement à grande échelle d'une industrie du biodiesel au Canada.

2.3.2. La production actuelle et le potentiel de marché pour l'éthanol

Il y a 12 usines opérationnelles au Canada à l'échelle commerciale qui produisent de l'éthanol respectant les normes canadiennes et dont la production totale s'élèvait à près de 800 millions de litres par an en 2007 (Olar et al., 2004 ; OEE, 2007). De plus, plusieurs petits projets d'usine d'éthanol sont prévus dans les prochaines années. La seule usine de production à grande échelle au Québec, appartenant à Éthanol GreenField à Varennes, produit annuellement 120 millions de litres.

Toute la quantité d'éthanol produite est présentement vendue à Petro-Canada, qui a une entente d'exclusivité pour les 10 prochaines années. L'éthanol est en vente libre dans les stations-service de la région métropolitaine de Montréal, sous forme de mélange avec l'essence dans des concentrations allant jusqu'à 10 % (Petro-Canada, 2007). Les autres stations-services qui offrent de l'éthanol au Québec sont celles de Sonic, qui offrent de l'éthanol à 5 % entièrement importé de l'Ontario (Sonic, 2005). Le Québec fait face à des défis considérables pour réussir à obtenir les 400 millions de litres nécessaires pour atteindre l'objectif de 5 % d'éthanol dans les ventes d'essence d'ici 2012 (IQ, 2007).

Le maïs et le blé constituent les matières premières les plus utilisées pour la production d'éthanol en Amérique du Nord. Au Québec, 10 % du maïs est utilisé pour l'usage industriel, principalement pour la production d'éthanol. Une augmentation de la production d'éthanol-maïs requiert une augmentation de la production de ces produits, à moins que certains changements interviennent dans les schémas traditionnels d'approvisionnement ((S&T)2 Consultants and Meyers Norris Penny LLP, 2004).

La Stratégie énergétique 2006-2015 (MRNF, 2006) priviélgie l'emploi de l'éthanol cellulosique. La technologie est prometteuse, mais toujours en développement. Les matières premières pouvant être utilisées à ces fins incluent les résidus forestiers et agricoles, les déchets urbains et les boues. Le potentiel théorique de la biomasse forestière est estimé à 5 millions de tonnes par année, ce qui correspond à une quantité d'éthanol équivalente à 20 % de la consommation d'essence au Québec (1,6 milliard de litres). De 6 à 7 millions de tonnes de matières résiduelles sont disposées chaque année dans des sites d'enfouissement; plus de la moitié de cette quantité pourrait être récupérée et employée à la production d'éthanol cellulosique au Québec (IQ, 2007). En effet, les déchets municipaux contiennent généralement environ 60 % de matières organiques, un potentiel théorique non négligeable.

2.3.1. Les facteurs limitant la pénétration des biocarburants sur le marché

Bien que l'industrie des biocarburants soit en pleine croissance, quelques facteurs viennent encore limiter le déploiement des biocarburants de première génération sur le marché, limitant aussi le développement des technologies de deuxième et troisième générations.

Disponibilité des ressources. Cet aspect constitue l'un des plus importants obstacles que l'industrie a relevés. En termes d'allocation des terres agricoles, la production des biocarburants de première génération est en compétition avec la production de nourriture et avec l'élevage. Étant donné l'augmentation de la demande de biocarburants, le prix des denrées agricoles a déjà subi une augmentation (bien que l'ampleur exacte de cet impact soit sujet de controverse), et la tendance devrait se perpétuer dans les années à venir. La question de l'utilisation des terres est de moindre importance pour la deuxième génération de biocarburants, d'une part parce que les matières premières ont des rendements plus élevés et requirent donc moins d'espace cultivable, ou d'autre, parce que ces nouveaux biocarburants sont produits à partir de résidus (agricoles, forestiers, municipaux, industriels, etc.) et n'entrent pas en compétition pour l'espace cultivable. Cependant, les matières premières de type résiduel sont des sous-produits, et en conséquence leur disponibilité est généralement moins fiable. De plus, puisqu'une quantité importante de matières premières est nécessaire pour la production de biocarburants à grande échelle, il est probable que les producteurs devront s'approvisionner à partir de différents sites plus ou moins éloignés du lieu de production, impliquant ainsi des coûts de transports ainsi qu'une augmentation des émissions de GES.

Infrastructures physiques. Le manque d'infrastructures efficaces et opérationnelles pour le transport et la distribution des biocarburants constitue également une barrière importante à leur développement. L'emploi des réseaux de transport actuellement utilisés pour les carburants conventionnels, tels que les oléoducs, est problématique, car les biocarburants ont un effet solvant et absorbent l'eau et les impuretés, ce qui affecte la qualité du produit final. De plus, dans le cas du biodiesel en particulier, le transport doit être réalisé par le biais de camions-citernes isolés, et les réservoirs de stockage doivent être chauffés en hiver en raison de son point de trouble élevé (température à laquelle il commence à se cristalliser). Ces problèmes seront minimisés pour les prochaines générations de biocarburants, permettant leur transport par le biais des oléoducs. En attendant, des modes de transport moins efficaces du point de vue économique et environnemental doivent être utilisés, tels que les camions-citernes et les trains.

Problèmes techniques. Bien que l'industrie de la première génération de biocarburants soit assez bien développée, des efforts importants de recherche et développement sont nécessaires afin de développer les biocarburants de prochaines générations à une échelle commerciale. Ces nouveaux biocarburants seront plus efficaces, du point de vue environnemental. Des projets de démonstration sont aussi nécessaires.

L'opinion publique. L'opposition de l'opinion publique au sujet des biocarburants de première génération est un facteur à considérer, plus spécifiquement sur les questions de la déforestation et de l'utilisation des terres cultivables pour produire des cultures énergétiques. On s'interroge aussi sur la réduction effective des émissions de GES qu'implique l'emploi de biocarburants par rapport aux combustibles fossiles. Cette opposition affecte indirectement la popularité des biocarburants de prochaines générations, car le public ne connaît pas nécessairement la différence entre les divers types de biocarburants, ni leur potentiel. La gestion appropriée des terres et des matières premières, ainsi que l'information et la sensibilisation du public peuvent aider à lever cette barrière.

2.4. La valorisation des bioénergies

2.4.1. Le biogaz

La filière énergétique du biogaz est en développement au Québec. D'ailleurs, à la suite de l'orientation annoncée dans sa Stratégie énergétique 2006-2015, le gouvernement a procédé à la déréglementation des activités de distribution du biogaz en provenance de lieux d'enfouissement sanitaires situés au Québec, pour tout projet développé après le 13 décembre 2006[6]. Auparavant, la distribution du biogaz était soumise à un droit exclusif de distribution sur un territoire donné, au même titre que le gaz naturel, alors que la production et la fixation du prix de vente n'étaient soumises à aucune réglementation.

Le développement de la filière suscite un intérêt marqué dans le secteur agricole. Pour le moment, deux vitrines technologiques existent au Québec :

- La Ferme R. Péloquin (Estrie) qui produit 5 000 porcs par an : utilisation de deux digesteurs de 165 m^3 et un de 450 m^3 fournissant une bouilloire au gaz de 400 000 BTU/h pour le chauffage de la pouponnière.

- La Ferme Saint-Hilaire (Chaudière-Appalaches) qui produit 10 000 porcs par an : utilisation de trois digesteurs de 450 m^3 fournissant une bouilloire au gaz de 600 000 BTU/h pour le chauffage de la porcherie et éventuellement pour la production de l'électricité.

La technologie de méthanisation suscite énormément d'intérêt en ce qui concerne les applications agricoles, puisque le fumier animal constitue une matière première intéressante pour la digestion anaérobie. Un digesteur anaérobie de ferme offre la possibilité de traiter le fumier d'une manière qui respecte les exigences réglementaires de plus en plus strictes au plan environnemental. De plus, il génère des produits très utiles (fertilisants) et des sources potentielles de revenu (production de chaleur et d'électricité). Les digesteurs anaérobies peuvent être de grande taille ou de petite taille, tels les digesteurs de ferme, qui conviennent au traitement du fumier provenant d'un petit troupeau de bovins. Ceux de taille industrielle, lorsque situés dans un endroit centralisé, peuvent également traiter des matières premières agricoles et non agricoles.

Un des principaux problèmes actuels de la méthanisation est l'inégalité de l'efficacité énergétique des substrats agricoles et domestiques. Le lisier de porc par exemple produit 16 à 23 m^3/t de biogaz, alors que le fumier de volaille en produit de 61 à 112 m^3/t de biogaz et que les déchets domestiques produisent 126 m^3/t de biogaz (Fischer, 2007).

[6] Loi L.R.Q., 2006, ch. 46, article 63.

2.4.2. La biomasse

La valorisation de la biomasse est également reconnue comme une solution pour réduire les émissions de GES dans le *Plan d'action 2006-2012 contre les changements climatiques*. L'objectif initial était de réduire les émissions annuelles de 10 millions de tonnes d'ici 2012. Cependant, avec 349,9 M$ accordés au Québec en décembre 2007 via le programme ÉcoFiducie pour la qualité de l'air et les changements climatiques du gouvernement fédéral, le montant réservé à plusieurs mesures a pu être bonifié et l'objectif global est devenu de 14,6 millions de tonnes. Parmi les mesures proposées pour atteindre cette cible, l'une d'elles vise le traitement des lisiers et la valorisation énergétique de la biomasse agricole, forestière et organique (municipale), mesure qui pourrait réduire les émissions de GES de 1,8 million de tonnes (MDDEP, 2006). Le budget total pour cette mesure est maintenant de 124 M$ pour la période 2006-2012, incluant l'aide du fédéral.

La majorité de la biomasse employée à des fins de combustion au Québec est issue de la forêt ou de l'industrie de transformation du bois et des pâtes et papiers. Les résidus provenant du secteur de la construction, de la démolition et de la rénovation sont aussi très utilisés (CEPAF, 2007). La biomasse sert principalement à la production de bûches et de granules densifiées.

Le Québec compte actuellement cinq usines de production de granules, dont la plus importante est Energex, qui produit 120 000 tonnes de granules par année destinées aux marchés résidentiel et commercial. On compte également au Québec douze centrales de cogénération à la biomasse forestière, qui, raccordées au réseau d'Hydro-Québec, produisent plus de 285 MW d'électricité. Des projets existent pour développer 150 MW supplémentaires. De plus, le projet de règlement du 19 mars 2008 définit un bloc d'énergie produit par cogénération à la biomasse de 125 MW[7], de façon à amorcer les livraisons au plus tard le 1er décembre 2011. La société Boralex est le producteur d'électricité à partir de résidus de bois le plus important en Amérique du Nord (cinq centrales aux États-Unis et deux au Québec) (CEPAF, 2007). Par ailleurs, il existe de nombreuses installations de combustion de la biomasse pour l'autoproduction.

L'utilisation de la biomasse forestière et agricole présente des avantages socioéconomiques intéressants surtout pour les communautés des régions du Québec qui ont accès à la matière forestière ou agricole. Les coûts totaux de production de granules à partir de différentes biomasses (saule, panic érigé, résidus forestiers) semblent relativement comparables. Cependant, cette filière doit faire face à de nombreux défis technologiques et économiques. Étant une production naissante au Québec, tout reste à faire, tant au plan du fonctionnement général, qu'en matière de modèle d'affaires et de mise en marché de la production. Les récentes innovations technologiques en matière de systèmes de combustion de la biomasse associées à une meilleure compréhension des carburants ont permis d'améliorer les systèmes (Intégration des énergies renouvelables à la ferme). Toutefois, à l'heure actuelle, les marchés alternatifs, tels que la fabrication de litière, l'isolation des maisons, etc., présentent de meilleures opportunités pour les producteurs de cultures énergétiques (Brodeur, 2008).

[7] Décret 916-2008, *Énergie produite par cogénération à la biomasse.*

2.5. Les opportunités liées à l'autoproduction et à la microproduction

Le gouvernement québécois, avec sa Stratégie énergétique 2006-2015 (MRNF, 2006), se positionne également en faveur du développement de la production décentralisée d'électricité, définie comme étant toute source de production d'électricité située près de la charge qu'elle alimente et généralement raccordée au réseau d'Hydro-Québec. Le gouvernement désire modifier la réglementation actuelle, afin de favoriser les initiatives privées en matière d'autoproduction ou de microproduction d'électricité :

- *Autoproduction*. Selon la définition d'Hydro-Québec, l'autoproduction est la production d'électricité, par, pour et chez le client. Ainsi, le client comble une partie ou la totalité de ses besoins en électricité avec une installation dont il est à la fois le propriétaire et l'exploitant. Il s'agit clairement d'une activité déjà autorisée; cependant, la puissance installée des équipements d'autoproduction ne doit pas être supérieure à 50 kW.

- *Microproduction*. La voie est également ouverte à la microproduction d'électricité, à partir d'équipements dont la puissance est inférieure à 1 MW, afin de permettre aux particuliers, aux entreprises et aux coopératives de développer des projets de production d'énergie à l'extérieur du processus d'appel d'offres d'Hydro-Québec (MRNF, 2006).

Le 9 février 2006, la Régie de l'énergie approuvait les diverses dispositions permettant de faciliter l'autoproduction (Régie de l'énergie, 2006). La formule retenue permet aux autoproducteurs d'électricité de sources renouvelables de fournir de l'électricité au réseau, au tarif résidentiel, jusqu'à concurrence de ce qu'ils ont consommé, et ainsi réduire leur facture d'électricité (option appelée « mesurage net »). Les sources acceptées sont l'hydroélectricité, l'éolien, le photovoltaïque, le biogaz, les résidus issus de la biomasse forestière et la géothermie. Par contre, l'autoproduction ne vise qu'à combler, partiellement ou totalement, les besoins du client et non la vente des surplus de production à Hydro-Québec. Le gouvernement souhaite que les autoproducteurs puissent également vendre à Hydro-Québec l'excédent de leur production sur leur consommation (MRNF, 2006).

Quant à la microproduction, la prochaine avancée serait d'autoriser les microproducteurs à vendre l'excédent de leur production à des tarifs préférentiels, permettant la rentabilité des équipements de production. Pour ce faire, le gouvernement mandate Hydro-Québec afin de proposer à la Régie de l'énergie un programme de rachat de l'électricité auprès des microproducteurs. Hydro-Québec devra donc proposer les conditions permettant aux particuliers et aux entreprises de valoriser l'excédent de leur production.

Il existe un intérêt croissant chez les individus et les entreprises commerciales et industrielles, ainsi que dans les régions rurales et les communautés, pour l'autoproduction ou la microproduction d'énergie renouvelable. Une liste d'exemples est présentée dans le Tableau 11.

L'autoproduction et la microproduction d'électricité représentent de nouvelles opportunités pour les ingénieurs, que ce soit pour l'élaboration d'études de faisabilité, pour l'apport d'un soutien technique lors de l'installation ou durant le fonctionnement des appareils, pour le développement des lignes de transport ou pour le raccordement des projets au réseau électrique. Par contre, un projet de microproduction n'est rentable que si le développeur trouve un acheteur pour ses surplus d'électricité générés.

Des programmes de rachat d'électricité des projets de microproduction sont très populaires en Europe. Dans le cadre de ces programmes, les services publics sont obligés, par la réglementation, de racheter le surplus de production d'électricité des microproducteurs à un tarif qui permet aux développeurs à rentabiliser leurs projets. Les coûts des services publics sont redistribués aux consommateurs, mais ils sont souvent minimes. En 2007, 15,8 % de la production totale d'électricité en Allemagne, soit 67,120 GWh, provenaient des projets de microproduction d'énergie renouvelable. Les coûts du programme du rachat représentaient moins de 5 % du prix par kWh payé par les consommateurs (BMU, 2008).

TABLEAU 11- EXEMPLES DE PROJETS D'AUTOPRODUCTION OU DE MICROPRODUCTION D'ÉNERGIE

Type de développeur	Exemples de projets d'auto- ou micro-production d'énergie
Individus- résidences domestiques Entreprises- bureaux	Panneaux solaires au toit pour le chauffage ou l'électricité, chauffage géothermique, chauffe-eau à la biomasse, petits éoliens pour les bâtiments ruraux
Entreprises- usines et grands bâtiments commerciaux	Murs solaires : panneaux solaires au toit, chauffage géothermique, biomasse pour le chauffage ou pour l'électricité, éolien
Fermes	Murs solaires : panneaux solaires au toit, chauffage géothermique, biomasse pour le chauffage ou pour l'électricité, éolien, production de chaleur ou d'électricité par la digestion anaérobique des déchets agricoles (animaux ou végétaux)
Communautés	Parcs éoliens, parcs solaires, réseaux de chaleur géothermique, valorisation des déchets communautaires (gazéification) et/ou des déchets agricoles (digestion anaérobique).

Source : Compilation ÉcoRessources.

Contrairement à l'Europe, les programmes de rachat sont peu courants en Amérique du Nord. Aux États-Unis, moins de dix états ont mis en œuvre de tels programmes. Au Canada, seulement les provinces de l'Ontario et de la Colombie-Britannique l'ont fait. Les programmes sont généralement trop simples et trop rigides, avec des tarifs de rachat qui ne sont pas avantageux pour les développeurs, et ne sont pas accompagnés d'une réglementation obligeant le rachat de l'électricité par les services publics.

Au Québec, certains développeurs ont recours à des ententes privées avec Hydro-Québec pour le rachat de leur surplus de production d'électricité, mais ces ententes sont définies au cas-par-cas, et les tarifs offerts restent souvent peu profitables. Il semble que l'établissement d'un programme de rachat avantageux ne soit pas une priorité d'Hydro-Québec pour le moment. Par contre, la volonté de mettre en place un programme de rachat existe au Québec. Le 21 mars 2007, le *Conseil québécois de la coopération et de la mutualité*, la *Fédération québécoise des Municipalités* (FQM) et l'*Union des municipalités du Québec* (UMQ) ont fait appel au gouvernement afin d'instaurer un programme de rachat d'électricité (Coop-Québec, 2007).

La démonstration d'une forte volonté de la part des consommateurs et des producteurs potentiels, bref de la population en général faciliterait un engagement de la part des gouvernements et d'Hydro-Québec sur le terrain de l'autoproduction et de la microproduction d'électricité. Compte tenu des opportunités et des défis qu'offre la microproduction d'électricité aux ingénieurs, il serait pertinent d'établir des contacts avec d'autres organismes potentiellement impliqués (consommateurs et des producteurs), afin de promouvoir le développement d'un programme de rachat d'électricité au Québec.

2.6. La contribution des ingénieurs au développement des moyens énergétiques existants et émergents

En octobre 2007, le gouvernement a annoncé le *Plan québécois des infrastructures* comportant des investissements de 30,1 G$ au cours de la période 2007-2012. Ces investissements dans le secteur énergétique sont destinés à la réfection des infrastructures existantes de production d'énergie, à la construction de nouvelles infrastructures et à l'exploration pétrolière et gazière. Le gouvernement québécois a affirmé dans sa Stratégie énergétique 2006-2915 (MRNF, 2006) son engagement envers le développement et le soutien des énergies renouvelables. Il existe donc un important bassin d'opportunités pour les ingénieurs souhaitant contribuer au développement des moyens énergétiques existants et émergents au Québec.

2.6.1. La réfection des infrastructures existantes

Les ingénieurs ont un rôle majeur à jouer dans la réfection des infrastructures énergétiques. Il n'est pas dans l'intérêt collectif de laisser dépérir les infrastructures énergétiques comme ce fut le cas pour les infrastructures routières au cours des dernières décennies. Le Québec doit tout faire pour préserver le patrimoine collectif que constitue le parc d'équipements énergétiques québécois.

La majorité des centrales hydroélectriques ont besoin d'un entretien constant, voire d'une modernisation. Le remplacement des turbines, des alternateurs, et la réfection du couloir d'amenée peuvent faire partie de cette stratégie de modernisation des actifs hydroélectriques. Hydro-Québec a d'ailleurs un programme de réfection de ses centrales, notamment Beauharnois (1 133 M$), La Tuque (179 M$) et Outardes-4 (142 M$), sans oublier le projet de réfection de sa centrale nucléaire, Gentilly-II (1,9 G$). La réfection des équipements de transport d'énergie est également importante, étant donné les demandes de consommation et les capacités de production croissantes.

L'utilisation de l'hydroélectricité comme moyen de production d'énergie comporte plusieurs avantages qu'il faut conserver :

- La matière première (l'eau) est renouvelable et gratuite;
- Une fois la centrale construite, les seuls coûts sont ceux du fonctionnement et de l'entretien;
- La production d'électricité est relativement stable, constante, prévisible et contrôlable selon la demande;
- La production de l'hydroélectricité génère aucun déchet toxique et peu de polluants atmosphériques (exception faite des émissions associées à la construction de la centrale et des émissions des réservoirs).

Il est vrai que les grandes centrales hydroélectriques peuvent avoir un impact environnemental significatif sur la biodiversité de la flore et de la faune; mais parmi l'ensemble des moyens de production, les centrales sont parmi ceux qui ont le moins d'impact.

Au Québec, la production d'hydroélectricité est relayée en faible proportion par l'énergie nucléaire. Les avantages des centrales nucléaires sont leur immense capacité de production ainsi que la stabilité de leur production, d'où la pertinence de préserver cette production. Par contre, on ne peut passer outre les problèmes associés à l'énergie nucléaire, lesquels se résument aux coûts très élevés des investissements initiaux, aux risques d'accident, à la perception négative de la population, ainsi qu'à la gestion pour le moins problématique des déchets radioactifs.

Étant donné le fort potentiel hydroélectrique du Québec, les centrales thermiques sont peu utilisées. Elles possèdent quelques avantages, dont leur flexibilité, leur prévisibilité et la capacité de contrôler exactement le niveau de production. Par contre, elles requièrent toutes pour fonctionner des combustibles conventionnels (le charbon, le mazout, le gaz naturel, etc.). Les coûts de production sont donc fortement liés au coût des carburants, qui peut être très instable. De plus, la combustion de ces combustibles pollue beaucoup, cela est bien documenté.

La réfection des raffineries présentes en sol québécois devrait aussi être envisagée, puisque celles-ci assurent la disponibilité des carburants fossiles à la base des activités du secteur des transports.

2.6.1. La construction des nouvelles infrastructures

Le prix des réfections des infrastructures de production d'énergie ne doit évidemment pas dépasser les coûts liés à la construction d'une nouvelle infrastructure. Étant donné que ce type de mesure ne se réalise qu'à la fin de la vie utile des équipements, il n'est pas possible de combler tous les besoins énergétiques du Québec avec la seule réfection des infrastructures existantes.

Les ingénieurs auront un rôle important à jouer dans la construction des nouvelles infrastructures énergétiques. Par exemple, les projets Eastmain-1 (480 MW), Péribonka (385 MW) et Chute-Allard et des Rapides-des-Coeurs (138 MW) représentent des investissements de 25 G$ et 70 000 emplois sur dix ans (MRNF, 2006). Quant au projet Eastmain-1-A-Sarcelle-Rupert (888 MW), ce sont 4 G$ d'investissements.

Étant donné les préoccupations environnementales croissantes, notamment celles concernant les émissions de GES et celles au sujet de la sécurité énergétique et du prix du pétrole, les énergies renouvelables se développent très rapidement au niveau mondial, tant la production d'électricité (principalement l'énergie éolienne et solaire) que la production de carburants destinés au secteur des transports (les biocarburants).

En ce qui concerne la production d'électricité, la motivation au Québec de remplacer les moyens de production existants est moins forte qu'ailleurs, et moins nécessaire, puisque la province fournit déjà la grande majorité de son électricité à partir d'une source faible en émissions des GES. Toutefois, les nouveaux projets hydroélectriques, ceux de grande ampleur en particulier, font face à une opposition de plus en plus forte, en raison de leur effet sur les ressources aquatiques, sur la flore et la faune, et sur le paysage, ainsi qu'en raison du dérangement des communautés touchées par de tels projets. Les diverses autorisations nécessaires risquent donc d'être de plus en plus difficiles et longues à obtenir pour les nouveaux projets hydroélectriques. Cela ouvre la porte au développement des moyens émergents de production d'électricité.

Par exemple, la filière éolienne est en forte croissance au Québec. Une capacité éolienne de 3 500 MW est prévue pour 2017, ce qui totaliserait environ 8 % de la capacité totale du Québec (Hydro Québec, 2008). La filière éolienne détient plusieurs avantages, dont les faibles coûts d'investissements initiaux comparativement à ceux des grandes centrales thermiques, nucléaires ou hydroélectriques. Comme l'eau, le vent est une source d'énergie gratuite et renouvelable. De plus, le soutien technique requis pour gérer un parc d'éoliennes est également plus simple que pour les centrales nucléaires, par exemple, où un problème technique nécessite l'arrêt de toute la centrale. Par contre, l'inconvénient principal de la filière éolienne tient à son caractère intermittent. Puisque les éoliennes ne produisent de l'électricité efficacement qu'en présence de vents soutenus et de vitesse importante, la production n'est ni stable, ni prévisible à long terme, ni contrôlable. Par conséquent, l'énergie éolienne pour l'instant est plutôt considérée comme une ressource énergétique complémentaire, et non de base.

Les ingénieurs ont un rôle important à jouer dans plusieurs aspects du développement de cette industrie croissante, que ce soit dans l'analyse technique des sites et des études de faisabilité, durant la planification et la construction des installations ou dans leur entretien, fonctionnement et réfection. Il existe aussi des opportunités importantes au sein de l'industrie de fabrication des éoliennes, qui devrait croître rapidement au Québec (les usines de production québécoises opèrent déjà à la limite de leur capacité de production).

En complément, le développement des nouveaux parcs éoliens nécessitera le renforcement et l'expansion du réseau de transport d'électricité. Pour l'instant, l'objectif de 3500 MW en 2017 a été estimé en tenant compte des infrastructures de transport existantes, avec quelques renforcements et réfections. La MRNF (2006) estime qu'il y a un potentiel de 4000 MW d'éolien intégrable au réseau. Cependant, il n'y a pas d'investissements importants qui soient prévus à moyen ou à long terme pour la construction de nouvelles infrastructures de transport. Des investissements seraient pourtant nécessaires pour bénéficier du potentiel éolien énorme existant au Québec (presque 4 000 000 MW) et ainsi satisfaire la demande croissante. Les ingénieurs seront grandement impliqués dans la planification et dans la construction des nouvelles lignes de transmission.

À court et moyen termes, il semble que le gouvernement ne prévoie pas promouvoir d'autres formes de production d'électricité renouvelable de façon aussi significative que l'éolien. Par contre, l'intérêt du public québécois pour l'autoproduction et la microproduction d'énergie renouvelable est sensible, surtout en milieu rural et agricole. Ces options sont également intéressantes pour les communautés isolées où la production d'électricité se fait à partir de génératrices au diesel.

Pour l'instant, le cadre réglementaire entourant l'autoproduction et la microproduction demeure insuffisant et n'assure pas le développement de projets, limite du coup le potentiel de contribution des ingénieurs. Il serait donc dans l'intérêt des ingénieurs de promouvoir le développement d'un cadre règlementaire pour l'autoproduction et la microproduction d'électricité, tel qu'un tarif avantageux de rachat de l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. Les ingénieurs pourront également jouer un rôle important dans la formation des autoproducteurs et des microproducteurs, dans la réalisation d'études de faisabilité, et tout au long de la planification, de la construction et de l'entretien des installations et de leur raccordement au réseau. Les filières éolienne, solaire (photovoltaïque et thermique), géothermique, ainsi que celles de la valorisation du biogaz et de la biomasse, possèdent toutes un potentiel de développement significatif par le biais de l'autoproduction et de la microproduction.

La contribution des ingénieurs aux avancées technologiques peut être significative dans toutes les filières renouvelables, mais principalement sur le plan des nouvelles technologies de production des biocarburants, puisque le gouvernement fédéral a introduit de nouvelles exigences en matière de proportion de carburants renouvelables dans l'ensemble des carburants (5 % dans l'essence d'ici 2010 et 2 % dans le diesel d'ici 2012). L'implication des ingénieurs sera essentielle, que ce soit pour l'expansion des usines de production de biocarburants de première génération ou dans le cadre de projets de démonstration ou d'usines pilotes produisant des biocarburants de deuxième et troisième générations.

Bien que la première génération de biocarburants soit déjà bien connue, la compétition qu'elle implique en termes d'utilisation des terres allouées à l'agriculture et à l'élevage constitue un obstacle à son développement. Il s'agit en revanche d'un incitatif au développement des biocarburants de deuxième et de troisième génération. Par ailleurs, l'emploi d'un éventail plus large de matières premières, incluant les matières ligno-cellulosiques et les résidus forestiers, présente pour l'instant des obstacles qui sont essentiellement de nature technologique. De prime abord, la disponibilité de ces matières premières ne semble pas constituer d'obstacle à l'implantation de cette production au Québec; les différents maillons de la chaîne d'approvisionnement restent cependant à définir. Les nouvelles technologies de production sont plus efficaces en termes économiques et environnementaux, mais des efforts de recherche et développement sont encore nécessaires avant qu'elles atteignent l'étape commerciale.

2.6.1. L'exploration pétrolière et gazière

Pour ce qui est la production du pétrole brut et du gaz naturel, le Québec fait actuellement des investissements importants dans l'exploration pétrolière. Le but serait de produire le pétrole brut et le gaz naturel au Québec afin de réduire notre dépendance sur les importations de ces produits. À ce jour, quatre gisements ont été découverts. Des incitatifs fiscaux sont aussi offerts par les gouvernements québécois et canadien aux développeurs pétroliers. Si une industrie de production de pétrole brut et de gaz naturel se développe au Québec, les ingénieurs pourront contribuer à l'émergence de ce secteur.

3. CIBLES D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE POUR LE QUÉBEC

Cette section porte sur les questions d'efficacité énergétique et examine les nouvelles cibles proposées par le gouvernement du Québec, les programmes disponibles et les mesures proposées spécifiquement pour réduire la consommation des produits pétroliers.

Le 4 mai 2006, le gouvernement du Québec a rendu publique la Stratégie énergétique 2006-2015 (MRNF, 2006). Elle comporte les orientations générales et les priorités d'action du gouvernement en matière d'énergie ainsi que celles plus spécifiques à l'efficacité énergétique. Le gouvernement a fait de l'efficacité énergétique l'un des points centraux de la Stratégie énergétique en introduisant la notion de *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies*.

3.1. Les cibles d'efficacité énergétique du gouvernement du Québec

L'objectif global du gouvernement est de générer des économies annuelles de 2,5 G$ pour le Québec et d'obtenir une réduction des émissions annuelles de GES de 9,4 millions de tonnes. La Stratégie fait état de cibles d'économie d'énergie ambitieuses pour toutes les formes d'énergie à l'horizon 2015, y compris les produits pétroliers, pour lesquels des cibles sont adoptées pour la première fois (Tableau 12).

TABLEAU 12 - CIBLES D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE DE LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE POUR 2015

	Unités naturelles	Tonne équivalent pétrole (tep)	Térajoules (TJ)
Gaz naturel	350 000 000 m^3	310 000 tep	12 976 TJ
Électricité*	11 TWh	948 755 tep	39 713 TJ
Produits pétroliers**	2 000 000 tep	2 000 000 tep	83 716 TJ
Autres***	350 000 tep	350 000 tep	14 650 TJ

* Le gouvernement avait initialement demandé un effort de huit TWh à Hydro-Québec et à l'Agence de l'efficacité énergétique, mais a révisé à 11 TWh cet objectif en février 2008 (AEE, 2007, p. 3).

** Les produits pétroliers, tels que présentés dans la Stratégie énergétique, ont été définis dans la Loi sur la Régie de l'énergie sous le vocable de « carburants et combustibles » et comprennent : l'essence, le diesel, le mazout (utilisé pour le chauffage domestique, commercial, institutionnel ou industriel) et le propane (carburant dans les moteurs à allumage commandé, pour la cuisson pour le chauffage domestique, commercial, institutionnel ou industriel), à l'exception des carburants utilisés en aviation ou servant à l'alimentation des moteurs de navire et de la partie renouvelable des carburants et combustibles. (Exemple : dans un mélange de biodiesel 95 % diesel et 5 % éthanol, la partie éthanol n'est pas incluse dans la cible)[8].

*** La catégorie « Autres », telle que présentée dans la Stratégie énergétique, n'a jamais été formellement définie, mais l'Agence de l'efficacité énergétique a stipulé que les formes d'énergie « Autres » comprennent notamment le bois et les matières ligneuses (AEE, 2007, p. 4).

[8] Loi sur la Régie de l'énergie, L.R.Q., chapitre R-6.01.

On peut d'ailleurs le confirmer en étudiant les cibles 2007-2010, approuvées par le gouvernement en février 2008, dans le document intitulé *Mettre toutes nos énergies à agir efficacement* préparé par l'Agence de l'efficacité énergétique (AEE, 2007) en collaboration avec les distributeurs d'électricité et de gaz naturel. En effet, le Tableau 13 compare les objectifs des cibles triennales approuvées par le gouvernement à l'horizon 2010 avec les cibles de la Stratégie énergétique à l'horizon 2015, alors que quatre années sur neuf seront déjà écoulées (44,4 % du temps total).

TABLEAU 13 - COMPARAISON DES CIBLES APPROUVÉES PAR LE GOUVERNEMENT ET DES CIBLES DE LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE

	Cibles 2007-2010	**Cibles 2015**	**Cibles 2010 / Cibles 2015**
Gaz naturel	3 244 TJ	12 976 TJ	25,0 %
Électricité	9 768 TJ	39 713 TJ	24,6 %
Produits pétroliers	1 806 TJ	83 716 TJ	2,2 %
Autres	0 TJ	14 650 TJ	0 %
Total	**14 818 TJ**	**151 055 TJ**	**9,8 %**

Les données laissent perplexe lorsque l'on considère le seul horizon 2007-2010 puisqu'à peine 9,8 % des cibles 2015 seraient atteintes.

Afin d'avoir un portrait plus global de la situation récente de l'efficacité énergétique au Québec, nous pouvons ajouter à ce total les économies d'énergie calculées depuis que les distributeurs d'électricité et de gaz naturel font approuver les budgets associés à leurs programmes et interventions en efficacité énergétique par la Régie de l'énergie, soit depuis l'an 2000 et ce, jusqu'en 2006 (Tableau 14). C'est d'ailleurs ce que l'Agence de l'efficacité énergétique et les distributeurs d'électricité et de gaz naturel ont fait dans le document intitulé *Mettre toutes nos énergies à agir efficacement* (AEE, 2007), qui constituait la pièce d'assise du *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies 2007-2010* (AEE, 2008). Ce document a été déposé devant la Régie de l'énergie le 31 juillet 2008 pour approbation.

De plus, il est important de considérer les cibles du *Plan d'action sur les changements climatiques 2006-2012* (PACC) qui interpelle également l'Agence de l'efficacité énergétique. Il faut préciser cependant que ce plan d'action a surtout pour but d'abord de réduire les GES et non l'efficacité énergétique (Tableau 15).

TABLEAU 14 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2000-2006

	Unités naturelles	Térajoules (TJ)
Gaz naturel	107 400 000 m^3	4 089 TJ
Électricité	1,5 TWh	5 397 TJ
Produits pétroliers	0 TEP	0 TJ
Autres	0 tep	0 TJ
Total	**-**	**9 486 TJ**

TABLEAU 15 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2007-2010 DÉCOULANT DES ACTIONS DU PACC

	Unités naturelles	Térajoules (TJ)
Mazout lourd	50 658 998 litres	2 114 TJ
Carburant (essence et diesel)	240 058 730 litres	8 723 TJ
Total	**-**	**10 837 TJ**

Dans le plan d'ensemble de l'Agence de l'efficacité énergétique et des distributeurs d'électricité et de gaz naturel déposé en juillet, les cibles approuvées par le gouvernement ont été modifiées. Si globalement elles sont plus élevées que celles approuvées par le gouvernement en février 2008 (de 3,1 %), elles sont toutefois beaucoup plus faibles pour les produits pétroliers (75 % moins élevées) (Tableau 16).

TABLEAU 16 - COMPARAISON DES CIBLES APPROUVÉES PAR LE GOUVERNEMENT ET DES CIBLES DU PLAN D'ENSEMBLE

	Approuvées par le gouvernement	Plan d'ensemble	Écart
Gaz naturel	3 244 TJ	4 093 TJ	849 TJ
Électricité	9 768 TJ	10 723 TJ	955 TJ
Produits pétroliers	1 806 TJ	453 TJ	-1 353 TJ
Autres	0 TJ	6 TJ	6 TJ
Total	**14 818 TJ**	**15 275 TJ**	**457 TJ**

La totalité de ces économies d'énergie (plan d'ensemble, économies d'énergie 2000-2006 et PACC) est présentée au Tableau 17.

TABLEAU 17 - COMPARAISON DES CIBLES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2000-2010 ET DES CIBLES DE LA STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE

	Économies d'énergie 2000-2010	**Cibles 2015**	**Cibles 2000-2010 / Cibles 2015**
Plan d'ensemble	15 275 TJ	151 055 TJ	10,1 %
Économies d'énergie 2000-2006	9 486 TJ	-	-
PACC	10 837 TJ	-	-
Total	**35 598 TJ**	**151 055 TJ**	**23,6 %**

Même en tenant compte de toutes ces économies d'énergie, le Québec n'atteindrait que 23,6 % des cibles 2015 alors que 44,4 % de la période visée par la Stratégie énergétique se sera écoulée. Allant plus loin, si on se rappelle les expériences passées des distributeurs d'électricité et de gaz naturel, les cibles historiques des nouveaux programmes n'ont pas été dépassées de façon systématique, ce qui oblige à la prudence quant à l'éventuel dépassement des objectifs en 2010 pour les produits pétroliers. L'action sur les produits pétroliers constitue un domaine nouveau d'intervention. Aussi, une certaine période de roulement est nécessaire au bon fonctionnement des programmes.

3.2. Les programmes d'efficacité énergétique offerts au Québec

Dans son *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies* (AEE, 2008), l'Agence de l'efficacité énergétique présente une liste de mesures pour atteindre les cibles d'économies présentées ci-dessus. La grande majorité des mesures proposées touchent au secteur résidentiel. Certaines de ces mesures ont déjà eu du succès : Novoclimat[9] et Rénoclimat[10]. Pour les ménages à faible revenu, le programme Éconologis fournit, par l'intermédiaire d'agents livreurs, des conseils personnalisés et des produits liés à l'efficacité énergétique à la maison, peu importe la forme d'énergie. Pour le secteur industriel, un projet pilot vise à implanter de meilleures pratiques d'opération et de gestion de systèmes en vue d'améliorer l'efficacité énergétique, et plusieurs mesures existent qui offrent de l'aide financière aux clients dans le but de réduire la période de récupération de l'investissement (PRI) globale de projets majeurs entraînant une réduction considérable de la consommation d'électricité d'une ou de plusieurs de leurs usines.

Plusieurs programmes offrent de l'aide financière à l'achat d'équipements plus efficaces pour le chauffage des locaux et de l'eau, et pour l'éclairage. Quant au secteur résidentiel, l'aide financière est souvent sujette à l'achat d'un équipement certifié ENERGY STAR[11]. Dans la majorité des cas, les programmes s'appliquent aux bâtiments existants ainsi qu'aux nouveaux bâtiments. Il existe également des programmes de sensibilisation sur l'efficacité des équipement et produits, des programmes d'aide financière au diagnostic énergétique d'un bâtiment ou des études de faisabilité pour grandes entreprises.

En plus des programmes existants, certaines mesures présentées dans le *Plan d'ensemble* sont à l'heure actuelle en voie de développement; elles pourront être intéressantes pour les ingénieurs (AEE, 2008).

- Post-réglementation : l'entrée en vigueur de la nouvelle réglementation en bâtiment amènera un changement dans les méthodes de construction résidentielle. Les bases techniques devront être révisées à la lumière des nouvelles exigences réglementaires.

- Aide à l'élaboration d'un plan intégré d'action en efficacité énergétique : l'Agence de l'efficacité énergétique entend appuyer les municipalités et les inciter à mettre en œuvre des plans d'action en matière d'efficacité énergétique (toute intervention sur le bâtiment, sur le traitement de l'eau, sur l'éclairage de rue, sur le transport, sur l'aménagement du territoire, sur la sensibilisation et sur la gestion des déchets).

Dans son Plan global en efficacité énergétique, Hydro-Québec propose à son tour diverses mesures pour réduire la consommation d'électricité dans les secteurs résidentiel, commercial, institutionnel et industriel. La cible d'économie atteint 5,0 TWh pour 2010, avec des investissements globaux de près de 1,2 G$ réalisés entre 2003 et 2011 (Hydro-Québec, 2008b). Pour leur part, Gaz Métro et Gazifère proposent des mesures semblables visant la consommation réduite de gaz naturel. L'ensemble des programmes du *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies* de l'Agence de l'efficacité énergétique, incluant les programmes des distributeurs d'énergie, peuvent être consultés en ligne (AEE, 2008).

[9] Le concept de maison neuve Novoclimat est offert aux consommateurs désirant acquérir une maison à haute performance énergétique. En plus d'améliorer d'un minimum de 25 % la performance énergétique des bâtiments, le concept Novoclimat tend à influencer l'industrie de la construction résidentielle afin que celle-ci améliore ses techniques de construction.

[10] Programme de rénovation énergétique pour les propriétaires de maisons unifamiliales qui comprend une évaluation énergétique avant et après les travaux de rénovation, une cotation énergétique de la maison et de l'aide financière.

[11] ENERGY STAR est un système de certification et de labellisation des produits les plus efficaces dans le marché. Le système a été développé par le Environmental Protection Agency et le Department of Energy des États-Unis, mais c'est aussi utilisé au Canada, avec l'appui des gouvernements fédéral et provinciaux, tels que l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada et l'AEE, entre autres.

Aux programmes offerts par l'Agence de l'efficacité énergétique s'ajoutent ceux offerts part l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada, notamment dans le cadre de leur programme écoÉNERGIE (RNCan, 2009). Les mesures écoÉNERGIE sont du même genre que ceux de l'Agence de l'efficacité énergétique discutées plus haut : sensibilisation et formation; aide financière à l'inspection et à l'évaluation d'un bâtiment; aide financière et technique à l'élaboration d'une étude de faisabilité; aide financière à l'achat de technologies alternatives ou plus efficaces.

RNCan travaille actuellement en collaboration avec le Conseil national de recherche Canada (CNRC) à mettre à jour le Code modèle national de l'énergie pour les bâtiments , publié en 1997, afin de prendre en compte tant les avancements en efficacité énergétique que les nouvelles technologies et pratiques. La publication de cette mise à jour est prévue pour 2011. Cela requerra des formations diverses pour les ingénieurs travaillant dans le secteur des bâtiments. Dans un deuxième temps, les ingénieurs pourront agir comme référence et comme ressource aux autres acteurs, pour la transmission de l'information et des nouvelles normes.

Il existe aussi un système de certification de tierce partie des bâtiments 'verts,' la certification LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), qui vise à reconnaître l'excellence dans la conception, la construction et le fonctionnement des bâtiments verts en cinq volets : le développement durable du site; l'efficacité dans l'utilisation de l'eau; l'efficacité énergétique; le choix écologique des matériaux; et la qualité de l'environnement intérieur. Un bâtiment peut être certifié selon quatre niveaux : certifié, argent, or et platine. LEED est un système de certification international, mais les critères d'évaluation au Canada ont été adaptés à partir des critères de l'organisme américain Green Building Council's (USGBC) LEED Green Building Rating System, pour tenir compte du climat et des pratiques de construction canadiens.

Finalement, quoiqu'ils ne constituent pas exactement une mesure d'efficacité énergétique directe, les compteurs intelligents peuvent jouer un rôle important dans la gestion de la consommation d'électricité et ainsi affecter positivement l'efficacité énergétique. Les compteurs d'électricité conventionnels mesurent la consommation totale sur une période entière de facturation et ils sont lus manuellement. Les compteurs intelligents mesurent plutôt la consommation d'électricité par intervalle de temps (par heure ou par seconde). Ces données sont envoyées automatiquement par voie électronique au service public. Les compteurs intelligents permettent donc au consommateur d'obtenir l'information concernant les périodes et les activités les plus énergivores, et d'adapter ses habitudes en vue d'améliorer son efficacité énergétique. De leur côté, les services publics éventuellement détiendront des données beaucoup plus détaillées sur les profils de consommation et sur les périodes de pointe, ce qui leur permettra de mieux gérer la production d'électricité selon les fluctuations de la demande. Cela contribuera à réduire le plus possible l'importation d'électricité (à gros prix) et réduira aussi la mise en marche de centrales électriques d'appoint, qui sont souvent polluantes (au charbon ou au gaz naturel).

En Ontario, les compteurs intelligents seront installés dans toutes les résidences et toutes les petites entreprises d'ici 2010. L'Ontario introduira aussi un système de facturation en fonction l'heure de consommation, pour encourager les consommateurs à mieux gérer leur consommation et pour éviter les périodes de pointe sévères (Gouvernement d'Ontario, 2009).

Au Québec, il n'existe actuellement aucune réglementation sur les compteurs intelligents. Hydro-Québec semble être contre une telle initiative (Hydro-Québec, 2007b), vu le coût associé au remplacement d'un grand nombre de compteurs. Quoique la rentabilité ou la non-rentabilité de cette mesure ne soient pas encore démontrées par une étude indépendante, il n'en demeure pas moins qu'une telle initiative compte parmi les choix qu'une société peut faire; ce fut le cas en Ontario, le décret gouvernemental[12] allant contre l'avis de l'Ontario Energy Board. Ainsi, la Régie de l'énergie pourrait instaurer cette initiative sans l'assentiment d'Hydro-Québec. Une décision pourrait être prise prochainement par la Régie à ce chapitre.

[12] http://www.oeb.gov.on.ca/documents/cases/RP-2004-0196/smartmeters_directiveJuly14_190704.pdf

3.3. Les mesures proposées pour réduire la consommation des produits pétroliers

C'est la première fois qu'un objectif est établi officiellement en matière d'économies d'énergie, et la cible est ambitieuse : 2 millions de tep à l'horizon 2015 (équivalent à un peu plus de 10 % de notre consommation annuelle) (MRNF, 2006). Ceci étant dit, dans le premier plan d'ensemble, seulement trois mesures sont proposées dans le secteur des transports :

- Incitatifs à l'acquisition de véhicules légers neufs à faible consommation;
- Formation des conducteurs de véhicules lourds aux comportements de conduite écoénergétique.

Pour mettre en contexte l'importance de ces programmes dans le plan d'ensemble, nous pouvons répartir les économies d'énergie par type de clientèle de la façon suivante (Tableau 18).

TABLEAU 18 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2007-2010 DU PLAN D'ENSEMBLE PAR TYPE DE CLIENTÈLE

	Cibles plan d'ensemble	Pourcentage par type de clientèle	Consommation d'énergie par secteur au Québec en 2005*
Résidentiel	5 369 TJ	35,1 %	18,2 %
Affaires	4 731 TJ	31,0 %	17,1 %
Industriel	4 721 TJ	30,9 %	38,9 %
Transports	348 TJ	2,3 %	25,8 %
Nouvelles technologies	105 TJ	0,7 %	-
Total	**15 275 TJ**	**100 %**	**100 %**

*Source : http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-consommation-secteur.jsp

On constate que le secteur des transports est le parent pauvre du plan d'ensemble. Toutefois, il faut reconnaître que l'Agence de l'efficacité énergétique débute à peine les programmes destinés à ce segment de clientèle. Au cours de prochaines années, les programmes devraient se multiplier. Il est à noter que les ingénieurs ne jouent aucun rôle dans les programmes proposés en transport à ce jour.

3.4. La contribution des ingénieurs à l'atteinte des cibles d'efficacité énergétique

Au résidentiel, les efforts effectués dans le plan d'ensemble sont importants par rapport à la consommation d'énergie de ce secteur en 2005 (dernières statistiques officielles disponibles sur le sujet). Par le passé, ce segment de clientèle a toujours eu sa large part de programmes et d'interventions en efficacité énergétique; la tendance se poursuit.

Pour le secteur affaires, le pourcentage de programmes et d'interventions est plus élevé que la consommation d'énergie de ce secteur en 2005. Toutefois, historiquement, les distributeurs d'électricité et de gaz naturel ont eu de la difficulté à toucher ce segment de clientèle qui est caractérisé par sa diversité, tant en termes de taille que d'activités économiques. Il apparaît donc souhaitable que des efforts plus soutenus y soient dédiés.

Pour ce qui est du secteur industriel, il apparaît clairement que les efforts consacrés à cette clientèle, dans le plan d'ensemble, sont insuffisants. Cependant, ce segment de clientèle a traditionnellement implanté de lui-même des mesures d'efficacité énergétique, soit à cause de l'importance de la composante énergétique dans le procédé de production (ex. : alumineries), soit parce qu'une subvention ne changeait en rien leurs décisions d'investissement (PRI très courte et coût d'administration plus lourd que le gain permis par la subvention). La clientèle industrielle ne sera donc pas récompensée pour ses bonnes pratiques passées, mais elle pourrait bénéficier de mesures éventuelles sur le plan des produits pétroliers.

Parmi les programmes actuels de l'Agence de l'efficacité énergétique et des distributeurs d'électricité et de gaz naturel, certains requièrent la participation des ingénieurs. Ces programmes s'adressent principalement à la clientèle industrielle, et, dans une moindre mesure, aux clientèles institutionnelle et d'affaires. Le type de mesures auxquelles les ingénieurs sont associés concerne principalement l'amélioration des procédés de production de même que l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments. Ainsi, pour être admissibles à une subvention de l'Agence de l'efficacité énergétique ou des distributeurs d'électricité et de gaz naturel pour ce type de mesures, les clients doivent faire certifier et approuver les économies d'énergie par un ingénieur, membre en règle d'une corporation professionnelle d'ingénieurs.

Au cours de l'audience publique portant sur le premier *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies*, les groupes représentant les clients des secteurs affaires et industriel ont réaffirmé[13] qu'ils veulaient participer à l'efficacité énergétique, mais pas à n'importe quel prix. Ils estimaient que les distributeurs d'électricité et de gaz naturel offrent déjà de bons programmes d'efficacité énergétique et que le rôle de l'Agence de l'efficacité énergétique devait donc mettre l'accent sur les initiatives touchant les carburants et combustibles, tel que le souhaitait le gouvernement en lui confiant cette responsabilité.

L'analyse en profondeur les programmes d'efficacité énergétique destinés aux différents segments de clientèle permet de constater qu'un peu plus de la moitié des économies d'énergie visées (56 %) découlent principalement de l'amélioration des procédés de production ou de l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments. Il est donc possible d'identifier, pour chaque forme d'énergie, les programmes requérant d'une façon ou d'une autre la participation d'un ingénieur, et ce, pour chacun des segments de clientèle (Tableau 19).

La politique de l'efficacité énergétique est une occasion de réduire nos besoins énergétiques et d'améliorer la productivité de nos entreprises. Il faut récompenser davantage les investissements qui procurent des gains en efficacité énergétique, tout comme il faut soutenir la recherche et le développement de meilleurs produits moins énergivores, que ce soit en transport ou dans nos activités quotidiennes.

Le Québec dispose d'ingénieurs qualifiés dont l'expertise pourra être encore meilleure, si les intervenants s'y mettent. Les ingénieurs québécois jouent déjà un rôle prépondérant dans l'offre de programmes d'efficacité énergétique, mais leur expertise pourrait être davantage mise à contribution dans le secteur résidentiel ou celui des transports. Pour les produits pétroliers, il serait souhaitable d'accélérer les investissements dans le secteur affaires, étant donné l'historique de difficultés à conscientiser ce segment de clientèle. De même dans le secteur industriel, vu l'important volume d'énergie qu'il consomme.

En effet, la firme Technosim[14] évalue le potentiel technico-économique d'efficacité énergétique dans les secteurs commercial et institutionnel à 75 millions de litres de mazout, soit 20 % de la consommation de référence de 376 millions de litres. Quant à elle, la firme Sodexpro évalue le potentiel technico-économique d'efficacité énergétique dans le secteur industriel à 30 % des volumes consommés, si on avait des incitatifs permettant aux entreprises de ce secteur de réaliser toutes les initiatives dont la période de récupération sur l'investissement va jusqu'à 4 ans. La firme Sodexpro constate également que le potentiel dans la grande entreprise « est 10 fois plus élevé en $ et 20 fois plus élevé en quantité de produits pétroliers que celui des petites et moyennes industries, pour un nombre 20 fois moindre d'entreprises »[15]. Comme ordre de grandeur, cela peut représenter près de 95 % du potentiel d'économie des produits pétroliers qui proviendrait des mesures d'économie d'énergie appliquées aux procédés industriels. Le volume d'économies d'énergie qu'il est possible d'atteindre auprès de ces segments de clientèle est donc important, comme le démontrent aussi les autres études de potentiels technico-économiques[16].

Nous adhérons aux propositions de Sodexpro de :

- Créer un Fonds national d'efficacité énergétique garanti par le gouvernement du Québec, qui consent des prêts aux entreprises dont le remboursement se fait à même les économies générées une fois l'investissement initial récupéré;

- De favoriser la création de postes de gestionnaire de l'énergie par le biais de crédits d'impôt, puisque les projets d'efficacité énergétique ont besoin d'un champion dans la grande entreprise afin de faire avancer les projets, à l'instar de Cascades.

Un financement des projets à même un fond autofinancé par les projets d'efficacité énergétique est une solution concrète aux problèmes de sous financement et d'atteinte de résultats probants, car les entreprises industrielles n'investissent pas suffisamment et n'exploitent pas le plein potentiel d'efficacité énergétique de leur procédé, elles qui visent une PRI inférieure à un an. Cette solution aurait le mérite d'affronter directement l'épineuse question du financement des mesures d'efficacité énergétique.

[13] http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3671-08/MemoiresPreuves_3671-08/C-4-5_AIEQ_Preuv_3671_17nov08.pdf et http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3671-08/MemoiresPreuves_3671-08/C-6-8_FCEI_RapExpert_3671_14nov08.pdf et http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3671-08/MemoiresPreuves_3671-08/C-5-5_AQCIE-CIFQ-ACIG_Preuv_3671_14nov08.pdf.

[14] http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3671-08/EngAEE_3671-08/B-9-AEE-9doc1_Eng1_Mazout_3671_24sept08.pdf

[15] http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3630-07/GrTrav3630/RappPEN/B-16_GazMetro-9Doc3_3630_29juin07.pdf

[16] http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3596-06_2/Preuve3596_2/B-23_SCGM-10Doc4_3596_4mai06.pdf et http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3473-01/HQ/HQD2_Doc14_6dec02.pdf et http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3473-01/HQ/HQD2-11_5nov02.pdf et http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3473-01/HQ/HQD2-10_5nov02.pdf.

TABLEAU 19 - ÉCONOMIES D'ÉNERGIE 2007-2010 DU PLAN D'ENSEMBLE DANS LES MESURES REQUÉRANT L'INTERVENTION D'UN INGÉNIEUR

	Unités naturelles	**Térajoules (TJ)**
Gaz naturel	107 400 000 m^3	4 089 TJ
Électricité	1,5 TWh	5 397 TJ
Produits pétroliers	0 TEP	0 TJ
Autres	0 tep	0 TJ
Total	**-**	**9 486 TJ**

* Les chiffres peuvent légèrement différer du Tableau 18, car les chiffres ont été arrondis.

4. OPTIMISER LE TRANSPORT

Dans cette section, l'accent est mis sur le secteur des transports, ce dernier étant le secteur économique qui consomme la plus grande part d'énergie au Québec, essentiellement des produits pétroliers importés (essence et diesel). Les carburants utilisés dans le secteur des transports au Québec en 2005 représentaient environ 88 millions de barils de pétrole ou 14 milliards de litres. L'augmentation constante du prix du baril rend capitale l'importance de ce produit, du point de vue économique, que l'on songe aux dépenses du consommateur ou encore au solde des échanges commerciaux du Québec avec l'étranger. Par ailleurs, le secteur des transports contribue à plus de la moitié des émissions de GES provenant de la combustion énergétique au Québec.

Dans le but d'atteindre l'objectif ambitieux de réduction de la consommation de produits pétroliers établi par le gouvernement (MRNF, 2006), il faut considérer l'ensemble des mesures d'efficacité énergétique potentielles liées aux activités de transport.

4.1. Le portrait détaillé de la consommation énergétique dans le secteur des transports

Cette sous-section dresse le portrait détaillé de la consommation énergétique dans le secteur des transports au Québec pour l'année 2005[17].

4.1.1. La consommation par forme d'énergie et équipement

En 2005, 27 % de la consommation d'énergie servait à des fins de transport, soit 473,1 PJ (Tableau 20). Cette énergie est constituée presque exclusivement de produits pétroliers, principalement l'essence (62 %) et le diesel (27 %).

Évidemment, chaque équipement a son type de carburant spécifique. Ainsi, plus de la moitié de tous les besoins en énergie pour le transport résulte de l'utilisation de l'automobile (53 %), un secteur où l'essence domine. Le diesel n'a pas réussi à pénétrer le marché nord-américain comme il l'a fait en Europe. Le camionnage a nécessité, pour sa part, 27 % de l'énergie utilisée dans les transports en 2005, principalement du diesel. La consommation d'essence consommée par les camions est le fait de petits camions utilisés pour les déplacements de marchandises sur de courtes distances, ainsi que pour les services de proximité (réparation, livraison, etc.). Suivent en ordre décroissant, l'avion, le bateau, le train et l'autobus, qui se partagent 15 %. Enfin, une série d'usages plus restreints, « hors route », et qui ne répondent pas spécifiquement à des besoins de déplacements (bateaux de plaisance, motoneige, tondeuse, souffleuse, etc.), ont compté pour 4,5 % de la consommation.

[17] Les données disponibles les plus récentes ont été publiées dans une étude sur le potentiel technico-économique d'économies d'énergie dans le secteur du transport routier au Québec effectuée pour le compte de l'Agence de l'efficacité énergétique (ÉcoRessources Consultants, 2008a). Le rapport a par la suite été déposé à la Régie de l'énergie dans le cadre des audiences publiques sur le *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies* (AEE, 2008).

TABLEAU 20 - LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR ÉQUIPEMENTS EN 2005

PJ	Auto	Métro Autobus	Camion	Train	Avion	Bateau	Hors route	Total
Essence	248,8	1,6	22,3				21,3	294,1
Diesel	3,5	4,1	104,9	8,9		6,0		127,3
Gaz naturel	0,0	0,2	0,0					0,2
Carburéacteur					35,0			35,0
Mazout lourd						15,5		15,5
Électricité	0,0	1,0	0,0	0,0				1,0
TOTAL	**252,3**	**7,0**	**127,2**	**8,9**	**35,0**	**21,5**	**21,3**	**473,1**

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

En 2005, le transport des personnes a nécessité 62 % de la consommation d'énergie du secteur des transports, dont la majeure partie pour des motifs dits « urbains ». Le transport urbain représente les trois quarts de toute l'énergie consommée pour le transport des personnes. La consommation d'énergie en période de pointe a représenté une quantité non négligeable; il s'agit de déplacements qui entraînent des aspects négatifs (pollution, congestion, etc.). Les milieux urbains présentent par ailleurs certaines caractéristiques, notamment la densité, qui en font une cible particulière des programmes d'économie d'énergie. Le transport des marchandises représentait un peu moins de 30 % du total en énergie.

4.1.2. Les déplacements de personnes par région

Pour les déplacements urbains, la consommation énergétique dans une région dépend de différents facteurs qui influent sur la demande (revenu, âge et taille des ménages, distance moyenne des déplacements, etc.) et sur l'offre de transport en commun. La grande région de Montréal (Montréal Centre et Montréal Banlieue), qui représentait 45 % de la population du Québec en 2005, a généré 46 % de la consommation d'énergie pour les déplacements de personnes en milieu urbain.

Il est facile de remarquer que l'automobile est tout de même prépondérante en termes de passagers-kilomètres pour les déplacements urbains (88 %) (Tableau 21), bien que de façon moins importante qu'en termes d'énergie (97 %). Par ailleurs, il y a une variation régionale importante de la part de l'automobile, compte tenu de la différence en termes d'offre de transport en commun. Ainsi, la part de l'automobile baisse à 75 % pour les déplacements originaires du centre-ville de Montréal, témoignant d'une offre supérieure de transport en commun. En banlieue, la place de l'automobile augmente à 91 %, tandis qu'elle est de 89 % dans la grande région de Québec et de 94 % dans le reste de la province, là où l'offre de transport en commun reste faible.

TABLEAU 21 - DÉPLACEMENTS DES PERSONNES EN MILIEU URBAIN PAR RÉGION EN 2005

En millions de passagers-kilomètres *	Transport en commun	Autobus scolaire	Auto conducteur	Auto passager	Non motorisés	Total
Montréal Centre	2,481	169	8,139	2,190	767	13,746
Région de Québec	282	120	3 442	723	99	4 667
Autres régions	196	668	23 907	5 747	1 192	31 711
Montréal Banlieue	567	586	12 490	3 110	344	17 097
Total	**3 526**	**1 543**	**47 979**	**11 771**	**2 403**	**67 222**

* Pour obtenir les passagers-kilomètres, il suffit de multiplier la distance parcourue par le nombre de passagers. Ainsi, un autobus qui parcourt 5 kilomètres avec 20 passagers représente 100 passagers-kilomètres. Les déplacements sont classés selon l'origine et non selon le lieu où la consommation a eu lieu. Ainsi, le déplacement d'un citoyen de Longueuil vers le centre-ville de Montréal compte comme un déplacement de la région Montréal Banlieue.

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

Dans le cas du transport interurbain de personnes (Tableau 22), la domination de l'automobile est moins forte, elle s'élève à 59 % de l'ensemble des passagers-kilomètres. L'avion occupe une place significative, avec 37 % du marché. En outre, puisque l'avion requiert 30 % plus d'énergie par passager-kilomètre que l'automobile, les proportions des deux modes de transport se rapprochent encore plus en matière d'énergie. Ainsi, en 2005, pour les déplacements interurbains de personne, 54 % de la consommation d'énergie provenait de l'utilisation de l'automobile et 44 % des déplacements en avion.

TABLEAU 22 - DÉPLACEMENTS DES PERSONNES EN MILIEU URBAIN PAR ÉQUIPEMENT EN 2005

En millions de passagers-kilomètres	Autobus	Automobile	Train	Avion	Total
Total	1 438	25 731	560	16 089	43 817

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

4.1.3. Les déplacements de marchandises par mode

La production québécoise de marchandises génère une partie de la demande de transport interurbain, lors de l'importation de matières premières ou encore lors de la livraison des produits finis aux clients. Une autre partie est due à la consommation des ménages québécois de biens importés. L'accord de libre-échange et les méthodes de gérance des inventaires ont augmenté le niveau de ces flux au cours de deux dernières décennies. Le reste de la consommation d'énergie à toutes fins pratiques est lié au transport de marchandises dit urbain, dont une part, bien que difficile à mesurer, consiste en l'offre de services de proximité (plombiers, électriciens, réparateurs, etc.).

Le transport par camion est responsable de la majeure partie de la consommation énergétique pour le transport des marchandises, mais le transport maritime domine nettement en termes de tonnes-kilomètres transportés (Tableau 23). En effet, d'un point de vue énergétique, le bateau est de loin le mode de transport le plus efficace. À l'opposé, le camion est le moins efficace des modes de transport de marchandises (si on exclut l'avion, dont l'emploi demeure marginal), mais il est le plus flexible. Il faut comprendre que seule une faible portion du marché du camion est en compétition avec le bateau et que la compétition avec le train se limite à certaines des besoins de transport assurés par camion.

TABLEAU 23 - TRANSPORT DE MARCHANDISES PAR MODE EN 2005

	Unités naturelles	Térajoules (TJ)
Gaz naturel	107 400 000 m^3	4 089 TJ
Électricité	1,5 TWh	5 397 TJ
Produits pétroliers	0 TEP	0 TJ
Autres	0 tep	0 TJ
Total	**-**	**9 486 TJ**

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

4.2. L'évolution de la consommation énergétique à l'horizon 2016

L'évolution de la consommation énergétique est ici analysée en utilisant un des scénarios que le MRNF a élaborés au cours de 2007, où le prix du pétrole brut est de 65 $ US le baril ($ US de 2005) (ÉcoRessources Consultants, 2008a). Ce scénario est caractérisé par un contexte socioéconomique de croissance démographique faible, par une croissance économique modérée et par le fait que la stabilité relative des prix du pétrole jusqu'au milieu de l'année 2004 a réduit la pression sur les consommateurs.

4.2.1. Évolution des déplacements de personnes et de marchandises

L'ensemble des passagers-kilomètres augmenterait de 15,6 % entre 2005 et 2016 (Tableau 24). Sur l'intervalle, le nombre de passagers-kilomètres à motifs urbains augmenterait globalement de 10,1 %. Malgré l'augmentation du prix des carburants, les déplacements urbains en automobile progresseraient plus rapidement que la moyenne des autres modes de transport. La faible croissance des déplacements en pointe, la croissance plus forte de la Banlieue et l'enrichissement des ménages contribuent à ce résultat.

Quant aux déplacements interurbains, ils s'accroîtraient de 24,1 %, malgré l'augmentation du prix des carburants. Le nombre de passagers-kilomètres en automobile croîtrait plus que celui en avion, car le prix des carburants a un impact plus important sur les déplacements qui se font sur de grandes distances. L'autobus et le train demeureront des modes marginaux; ensemble, ils n'occuperont que 4 % du marché en 2016.

TABLEAU 24 - ÉVOLUTION DES DÉPLACEMENTS DE PERSONNES ENTRE 2005 ET 2016

En millions de passagers-kilomètres	2005	2 016	Croissance 2005/2016
Transport en commun	3 526	3 625	2,8%
Autobus scolaire	1 543	1 373	-11,1%
Auto conducteur	47 979	53 821	12,2%
Auto passager	11 771	12 671	7,6%
Non motorisés	2 403	2 513	4,6%
Total urbain	**67 222**	**74 003**	**10,1%**
Autobus	1 438	1 596	*11,0%*
Automobile	25 731	33 121	*28,7%*
Train	560	635	*13,5%*
Avion	16 089	19 015	*18,2%*
Total interurbain	**43 817**	**54 367**	**24,1%**

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

Étant donné la croissance du secteur de la production de biens, le trafic de marchandises progresserait de 28 % entre 2005 et 2016, soit une moyenne annuelle de 2,3 % (Tableau 25). Le trafic par train montre la progression la plus forte.

TABLEAU 25 - ÉVOLUTION DU TRANSPORT DE MARCHANDISES

En millions de tonnes-kilomètres	2001	2005	2016	Répartition		
				2 001	2005	2016
Routier	35,1	40,0	47,3	*18,3%*	*20,1%*	*18,6%*
Ferroviaire	36,2	32,6	52,7	*18,9%*	*16,4%*	*20,7%*
Aérien	0,2	0,2	0,3	*0,1%*	*0,1%*	*0,1%*
Maritime	120,0	126,3	154,5	*62,7%*	*63,5%*	*60,6%*
Total	**191,5**	**199,0**	**254,8**	***100,0%***	***100,0%***	***100,0%***

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

4.2.2. Évolution de l'efficacité des équipements

L'augmentation du prix des carburants à partir de 2004 devrait induire une amélioration progressive de l'efficacité des équipements (Tableau 26). Ces changements ne seront pas terminés en 2016, même en l'absence de nouvelles augmentations des prix, parce que, d'une part, la réponse des constructeurs d'équipement de transport à la pression des consommateurs n'est pas instantanée et, d'autre part, le renouvellement de la flotte ne sera pas terminé. La réponse la plus forte à la croissance du prix des carburants se trouve chez l'automobile et l'avion.

TABLEAU 26 - ÉVOLUTION RELATIVE DU RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE DES ÉQUIPEMENTS

	2005	2016*
Automobile	100,0	79,6
Autobus (interurbain)	100,0	91,5
Autobus (urbain)	100,0	91,3
Métro	100,0	100,0
Avion (passagers)	100,0	74,5
Train (marchandise)	100,0	96,6
Camion	100,0	89,9
Bateau	100,0	97,3

* Le rendement énergétique est évalué en termes d'énergie par kilomètre dans le cas de l'auto, d'énergie par passagers-kilomètres dans le cas de l'autobus, du métro et de l'avion, et d'énergie par tonnes-kilomètres dans le cas du transport de marchandises.

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

4.2.3. Évolution de la consommation énergétique par type de déplacement

La croissance économique relativement forte et un prix du pétrole modéré ont induit une croissance moyenne de la consommation de carburant de 1,3 % par année de 1996 à 2005, et ce, en dépit de la croissance démographique faible. Cependant, des prix élevés du pétrole favoriseraient l'efficacité des équipements et la réduction de la croissance économique limiterait cette augmentation en 2016. Comme résultat, la demande totale d'énergie pour le transport en 2016 se maintiendrait plus ou moins au niveau atteint en 2005 (Tableau 27).

La consommation d'énergie liée au transport des personnes diminue de 8 %, les besoins augmentant moins rapidement que l'efficacité des équipements. La baisse est particulièrement concentrée pour les motifs en pointe. La consommation due au transport de marchandises augmente, notamment dans le cas du transport interurbain, en raison d'une amélioration moins forte de l'efficacité des équipements utilisés pour le transport des marchandises (bateau et train) par rapport au transport des personnes.

Au total, l'énergie utilisée par les différents équipements connaîtrait des évolutions inégales, compte tenu d'améliorations d'efficacité différentes. Entre 2005 et 2016, la consommation d'énergie par les automobiles diminuerait de 7,4 %, alors qu'elle augmenterait de 5,1 % dans le cas des camions.

TABLEAU 27 - ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE PAR TYPE DE DÉPLACEMENT

En pétajoules	2005	2016	Croissance 2005/2016		Répartition
			PJ	%	%
Transport de personnes	292,8	269,4	-23,4	-8,0%	*61,9%*
Urbain en pointe*	75,8	61,4	-14,3	-18,9%	*16,0%*
Urbain hors pointe	122,8	119,3	-3,5	-2,9%	*26,0%*
Commercial**	20,0	16,9	-3,1	-15,5%	*4,2%*
Total urbain	218,6	197,6	-21,0	-9,6%	*46,2%*
Total interurbain	74,2	71,8	-2,4	-3,2%	*15,7%*
Transport de marchandises	159,1	177,6	18,5	11,6%	*33,6%*
Urbain	60,3	63,4	3,1	5,1%	*12,7%*
Interurbain	98,8	114,2	15,4	15,6%	*20,9%*
Hors route	21,3	25,1	3,8	17,8%	*4,5%*
Total	**473,1**	**472,1**	**-1,1**	**-0,2%**	***100,0%***

* La consommation en pointe inclut la consommation des déplacements pour fin d'étude et de travail, la consommation des autobus scolaires et une partie de celle du métro.

** La consommation des déplacements de personnes travaillant pour les gouvernements dans le cadre de leur travail est incorporée à « commercial ».

Source : données du MRNF et de l'Agence de l'efficacité énergétique dans ÉcoRessources Consultants, 2008a.

4.2.4. Impact du prix du pétrole sur la consommation d'essence

La comparaison de deux scénarios du MRNF (ÉcoRessources Consultants, 2008a), distincts quant au prix du baril de pétrole utilisé comme hypothèse de base, donne certaines indications pertinentes. Rappelons que le prix du pétrole brut utilisé dans le scénario du MRNF présenté ci-dessus était de 65 $ US le baril. Le Tableau 28 montre que la consommation d'essence diminue dans un scénario basé sur un prix de 45 $ US le baril de pétrole. Les améliorations d'efficacité compteraient pour les deux tiers de l'impact contre un tiers pour la réduction du trafic. Il faut également noter que la réduction du trafic est d'abord plus importante, puis son impact diminue au fur et à mesure que les améliorations techniques surviennent.

TABLEAU 28 - IMPACT DU PRIX DU PÉTROLE SUR LA CONSOMMATION D'ESSENCE

En pétajoules	2011	2016	2021
Amélioration de l'efficacité	-4,6	-14,4	-24,4
- Automobile	-4,4	-14,0	-23,8
- Autobus	0,00	-0,04	-0,07
- Camion	-0,1	-0,4	-0,6
Diminution du trafic	-10,2	-7,1	-4,9
- Automobile	-9,5	-6,4	-4,2
- Autobus	0,0	0,0	0,0
- Camion	-0,7	-0,7	-0,7
Consommation totale	**-14,8**	**-21,5**	**-29,3**

4.3. Les mesures d'économie d'énergie pour le secteur du transport routier

Parmi un grand nombre de mesures d'économie d'énergie et de réduction des émissions de GES pour le secteur du transport routier (ÉcoRessources Consultants, 2008a), il est possible de distinguer deux grands groupes : agir sur la demande pour le transport ou sur l'efficacité des transports.

La gestion de la demande comprend les mesures visant à :

- Réduire l'utilisation de la voiture au profit des modes de transport plus environnementaux (transport en commun, covoiturage, transport ferroviaire et maritime pour les marchandises, etc.);
- Réduire les besoins en déplacements, c'est-à-dire en réduisant la distance à parcourir et/ou la fréquence d'utilisation (aménagement urbain, options de télétravail, etc.).

L'efficacité des transports peut être améliorée de plusieurs manières, soit par :

- L'utilisation de véhicules plus efficaces (véhicules électriques, hybrides ou moins polluants, etc.);
- Une meilleure utilisation des véhicules (formation des conducteurs, optimisation des routes de livraison, contrôle des limites de vitesse, etc.);
- Le choix du carburant (biocarburants, propane, électricité, gaz naturel, etc.);
- L'amélioration de la fluidité de la circulation (feux de circulation adaptatifs, amélioration de la gestion des incidents, etc.).

L'étude effectuée pour le compte de l'Agence de l'efficacité énergétique visait notamment à calculer la rentabilité des nombreuses mesures répertoriées et à calculer le potentiel technico-économique d'économie d'énergie dans le secteur du transport routier au Québec (ÉcoRessources Consultants, 2008a). La rentabilité de chaque mesure a été calculée annuellement, pour une période de 5 ans, en fonction de ses coûts de mise en œuvre et des bénéfices générés par chacune d'elle en termes d'économie d'énergie et d'autres bénéfices non-énergétiques[18].

Ce calcul a permis d'identifier les mesures rentables pour la société à court terme, fonction du coût par unité d'énergie économisée, c'est-à-dire celles dont le coût annuel net par unité d'énergie économisée ($/GJ) est négatif. Il est intéressant de constater que de nombreuses mesures sont considérées comme étant rentables pour la société (ÉcoRessources Consultants, 2008a). En ce sens, le secteur des transports est particulier comparativement aux autres secteurs économiques (résidentiel, industriel, commercial, etc.), dans la mesure où plusieurs initiatives visent un changement de comportement des utilisateurs du transport, et par conséquent, impliquent des coûts faibles et des économies d'énergie importantes.

Le calcul de rentabilité fournit une première indication des mesures les plus prometteuses pour la société et les plus susceptibles d'être mises en œuvre par les gouvernements à court terme. Il est toutefois important de préciser que les mesures présentant un coût annuel net positif à court terme ne doivent pas être exclues a priori de tout programme d'économie d'énergie. Certaines d'entre elles sont très prometteuses à moyen et long terme.

[18] Les coûts liés à la mise en œuvre des mesures incluent les coûts supportés par le secteur privé et le secteur public. Ils comprennent l'ensemble des coûts qui doivent absolument être engagés pour mettre en place une mesure, mais non les programmes de sensibilisation visant à assurer leur promotion. Pour les mesures comportementales, sont inclus les coûts monétaires et aussi les coûts associés à la perte ou au gain de temps.

Presque tous les types d'initiatives portant sur le choix du mode de transport des personnes sont rentables à court terme.Il en va ainsi des mesures visant à promouvoir l'utilisation du transport en commun pour :

- Les déplacements liés au travail (par exemple, un crédit d'impôt sur l'achat de titres de transport en commun directement auprès de l'employeur = -108,08 $/GJ);
- Les déplacements personnels (par exemple, l'implantation de systèmes électroniques pour la perception des tarifs de transport en commun = -5,64 $/GJ);
- Les déplacements interurbains (par exemple, l'amélioration de l'information aux utilisateurs du transport en commun = -3,73 $/GJ);
- Le covoiturage dans les déplacements liés au travail (par exemple, des programmes en entreprise = -123,06 $/GJ);
- Les déplacements personnels (par exemple, la désignation de voies réservées pour les véhicules avec plusieurs occupants = -109,78 $/GJ);
- Les mesures visant à restreindre l'accès aux centres urbains (-122,92 $/GJ).

Par contre, les mesures portant sur le choix du mode de transport pour les marchandises, c'est-à-dire l'utilisation du train ou du bateau pour les trajets de longues distances, comportent un coût assez élevé. Parmi les mesures visant la diminution des distances à parcourir et de la fréquence de déplacement en général, le télétravail constitue une initiative intéressante du point de vue de la rentabilité (- 16,46 $/GJ).

Parmi les mesures portant sur le choix du véhicule pour le transport des personnes, seulement l'imposition de normes de consommation de carburant aux véhicules légers neufs (- 47,26 $/GJ) et l'achat de véhicules légers neufs à faible consommation (- 1,45 $/GJ) sont rentables à court terme. Le retrait accéléré des vieux véhicules et l'achat de véhicules légers neufs à l'éthanol, au diesel propre, à carburants alternatifs, hybrides, électriques, à l'hydrogène, au propane ou au gaz naturel comprimé apparaissent comme des mesures ayant un coût positif à court terme sur la base de l'approche utilisée. Il est cependant pertinent de mentionner que le coût annuel net par unité d'énergie économisée de plusieurs mesures est faible, comme l'achat de véhicules légers neufs au diesel propre (6,19 $/GJ), hybrides (23,33 $/GJ) ou électriques (18,60 $/GJ). Ces initiatives sont donc à surveiller de près, étant donné les améliorations possibles sur le plan de leur efficacité et de leur coût dans le cadre des activités de recherche et de développement en cours dans l'industrie automobile. Quant à l'achat de véhicules légers neufs au propane et au gaz naturel comprimé, les économies d'énergie potentielles ne sont pas substantielles; ces mesures comportent davantage d'intérêt dans un contexte de réduction d'émissions de GES. En somme, concernant le choix du véhicule, seules les mesures permettant d'améliorer l'efficacité de la consommation sont pertinentes, peu importe le type de carburant utilisé. Enfin, pour ce qui concerne les autobus, le manque d'information n'a pas permis d'identifier de mesures viables, même si le programme d'achat d'autobus hybrides a pu être évalué, car celui-ci s'est avéré non rentable.

Concernant le choix du type de véhicule pour le transport des marchandises, les mesures rentables concernent surtout les modifications pouvant être apportées aux véhicules existants qui fonctionnent au diesel; par exemple, l'optimisation de la performance énergétique des composantes des véhicules lourds neufs (- 10,96 $/GJ). Le retrait accéléré des vieux véhicules lourds a aussi été identifié comme une mesure rentable (- 22,28 $/GJ).

Dans la catégorie impliquant une utilisation plus efficace des véhicules légers existants pour le transport des personnes, quelques mesures n'ont pu être évaluées. Cependant, l'analyse a permis de retenir que la formation des conducteurs de véhicules légers à la conduite écoénergétique (- 13,58 $/GJ) et le contrôle strict des limites de vitesse sur les autoroutes permettraient de faire des économies d'énergie envisageables (- 5,09 $/GJ). L'entretien régulier des véhicules légers ne s'avère cependant pas prometteur du point de vue de la rentabilité.

Pour le transport des marchandises, les mesures rentables qui ont été identifiées pour assurer une utilisation plus efficace des véhicules lourds existants sont : la formation des conducteurs à la conduite écoénergétique (- 0,02 $/GJ), le contrôle de la marche au ralenti (- 9,99 $/GJ), l'emploi de modules améliorant l'aérodynamisme (- 8,29 $/GJ), l'entretien régulier (- 9,85 $/GJ), l'emploi de pneus à faible résistance (- 12,18 $/GJ), l'emploi de lubrifiants synthétiques pour les moteurs (- 3,72 $/GJ) et l'emploi de trains routiers (- 145,67 $/GJ). Il est cependant à noter que le coût annuel net par unité d'énergie économisée de plusieurs mesures est faible, et que par conséquent les mesures suivantes sont à surveiller : le contrôle des limites de vitesse (4,08 $/GJ), le maintien de la bonne pression des pneus (0,73 $/GJ), l'optimisation des pratiques de chargement des camions (11,30 $/GJ) et des routes de livraison (11,86 $/GJ). Parmi les mesures génériques, le surfaçage en ciment est une mesure rentable (- 8,39 $/GJ) alors que l'asphaltage plus fréquent ne l'est pas.

Le choix du type de carburant, tant pour le transport des personnes que des marchandises, n'apparaît pas comme une mesure rentable. De plus, modifier le type de carburant ne conduit pas à des économies d'énergie significatives (la consommation de biocarburants est en général équivalente ou du moins similaire à la consommation de carburant). En effet, le potentiel associé à cette catégorie de mesures est plus pertinent dans le cas où l'on vise la réduction d'émissions de GES, bien que la question reste controversée.

Enfin, presque toutes les mesures influant sur la fluidité de la circulation de façon générale méritent d'être considérées, notamment la mise en place de feux de circulation adaptatifs (- 46,19 $/GJ), l'amélioration de la gestion des incidents (- 5,98 $/GJ) et l'utilisation de systèmes de vérification électronique des véhicules commerciaux (- 34,32 $/GJ).

4.4. Le potentiel technico-économique d'économie d'énergie dans le secteur du transport routier

Le potentiel technico-économique représente l'ensemble des économies d'énergie pouvant être réalisées avec l'implantation de toutes les mesures qui sont techniquement réalisables et économiquement rentables, et ce, en excluant les mesures naturellement adoptées par les consommateurs (par effet tendanciel)[19]. Pour calculer ce potentiel d'économie d'énergie dans le secteur du transport routier au Québec, pour 2013, une sélection a été effectuée parmi les mesures rentables afin de ne conserver qu'une seule variante de chaque mesure et d'éviter le double comptage d'économie d'énergie (Tableau 29).

TABLEAU 29 - APERÇU DU POTENTIEL D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE EN TRANSPORT ROUTIER POUR 2013

Catégorie	Mesure	Coût net	Réduction	
		$/GJ	Annuelle (GJ)	Cumulative (PJ)
Utilisation du véhicule (Marchandises)	Utilisation de trains routiers	-145,67 $	39 846	0,04
Choix du mode (Personnes)	Désignation de voies réservées pour les véhicules avec plusieurs occupants (automobiles et transport en commun).	-109,78 $	2 340 720	2,38
Choix du mode (Personnes)	Crédit d'impôts sur l'achat des billets ou des cartes mensuelles directement auprès de l'employeur	-108,08 $	446 295	2,83
Fluidité de la circulation (Personnes et Marchandises)	Mise en place de feux de circulation adaptatifs	-46,19 $	126 188	2,95
Fluidité de la circulation (Personnes et Marchandises)	Dédouanement électronique	-34,32 $	30 841	2,98
Choix du véhicule (Marchandises)	Retrait accéléré des vieux véhicules lourds (20 ans)	-22,28 $	6 648 377	9,63
Distances à parcourir et la fréquence de déplacement (Personnes)	Possibilité de télétravail	-16,46 $	839 952	10,47
Utilisation du véhicule (Personnes)	Formation des conducteurs de véhicules légers à la conduite écoénergétique	-13,58 $	2 979 662	13,45
Utilisation du véhicule (Marchandises)	Contrôle de la marche au ralenti	-9,99 $	3 448 719	16,90

[19] Le potentiel technico-économique postule un taux de pénétration réaliste des mesures rentables qui seraient adoptées dans un contexte d'incitatifs majeurs (donc il suppose le taux de pénétration réaliste le plus élevé dans un contexte de campagne de sensibilisation agressive et soutenue, de financement et d'interventions du marché, etc.).

Catégorie	Mesure	Coût net	Réduction	
		$/GJ	Annuelle (GJ)	Cumulative (PJ)
Utilisation du véhicule (Marchandises)	Inspection et entretien régulier des véhicules lourds	-9,85 $	2 326 328	19,23
Utilisation du véhicule (Mesures génériques)	Surfaçage en ciment	-8,39 $	318 516	19,55
Fluidité de la circulation (Personnes et Marchandises)	Amélioration de la gestion des incidents (contrôle routier)	-5,98 $	136 378	19,68
Choix du mode (Personnes)	Implantation de systèmes électroniques pour la perception des tarifs de transport en commun urbain ou interurbain	-5,64 $	38 429	19,72
Utilisation du véhicule (Personnes)	Contrôle strict des limites de vitesse sur les autoroutes à 100 km/h et 110 km/h	-5,09 $	10 672 038	30,39
Choix du mode (Personnes)	Amélioration de l'information aux utilisateurs du transport en commun urbain ou interurbain	-3,73 $	189 790	30,58
Utilisation du véhicule (Marchandises)	Utilisation de lubrifiants synthétiques pour les moteurs	-3,72 $	2 953 961	33,54
Choix du véhicule (Marchandises)	Optimisation de la performance énergétique des composantes des véhicules lourds neufs	-3,14 $	355 085	33,89
Choix du véhicule (Personnes)	Achat de véhicules légers (voitures + camions légers) à faible consommation	-1,45 $	249 578	34,14
Utilisation du véhicule (Marchandises)	Formation des conducteurs de véhicules lourds à la conduite écoénergétique	-0,02 $	2 907 910	**37,05**

Source : ÉcoRessources Consultants, 2008a.

Il est pertinent de présenter le pourcentage que les économies d'énergie potentielles pour 2013 représentent par rapport à la consommation totale de carburant dans le secteur du transport routier (Tableau 30). Il est à noter que le transport routier des personnes et des marchandises représente au total 80 % de la consommation de carburant du secteur des transports. Il est important de savoir que ce potentiel représente la meilleure estimation possible en fonction des données disponibles et des hypothèses posées, et donne un premier aperçu de ce que le Québec peut faire en matière d'économie d'énergie dans le secteur du transport routier.

TABLEAU 30 - IMPORTANCE DU POTENTIEL PAR RAPPORT À LA CONSOMMATION DE CARBURANT EN 2013

	Potentiel technico-économique			% du total en 2013
	PJ	Millions de litres	Millions de tep	
Personnes	17,76	507,33	0,42	6,48%
Marchandises	18,68	533,72	0,45	10,80%
Générique	0,61	17,48	0,01	n.d.
Total	**37,05**	**1058,53**	**0,88**	**7,85%**

4.5. Les véhicules hybrides et électriques

Les mesures visant le remplacement des véhicules à l'essence par des véhicules hybrides et électriques sont prometteuses à moyen et à long termes, et méritent ainsi une attention particulière. À l'heure actuelle, quelques obstacles limitent leur développement et leur déploiement à grande échelle sur le marché. Une étude effectuée pour le compte de la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE), où de nombreux intervenants du milieu ont été consultés (développeurs de technologie, chercheurs, consultants, président d'association, fonctionnaires, etc.), a permis d'identifier les principales barrières de marché limitant la pénétration à grande échelle de ces véhicules et a apporté des pistes de solution pour y remédier.

4.5.1. Les problèmes techniques

Les moteurs électriques sont trois fois plus efficaces que les moteurs à combustion, cependant de nombreux facteurs empêchent pour le moment le déploiement des véhicules électriques à grande échelle.

L'état d'avancement de la technologie des piles est l'un des obstacles les plus importants au développement de véhicules électriques hybrides rechargeables. Le coût des piles est également un facteur important, car le prix du véhicule peut augmenter de 2000 $ à 20 000 $, selon le type de pile, ce qui implique une plus longue période de retour sur investissement. Les durées de vie des batteries de véhicules hybrides sont relativement bien connues, mais elles n'ont pas encore été démontrées dans la pratique pour les véhicules électriques rechargeables. Il en découle un risque qui est un surcoût pour les producteurs et qui pourrait être transféré aux consommateurs. Si la performance du moteur n'est pas aussi bonne que prévu, même avec des économies de combustible substantielles, le seuil de rentabilité ne sera peut-être jamais atteint.

Quant aux véhicules hybrides rechargeables, l'autonomie de la batterie et le temps de recharge constituent également des barrières de marché importantes. C'est un un incitatif pour le consommateur si la distance que le moteur peut permettre de couvrir sans devoir être converti au carburant ou devoir être rechargé est grande. Le temps de recharge est également important du point de vue du consommateur. Il semble évident que les batteries ayant une plus grande autonomie et des temps de recharge plus courts sont plus chères. Le poids, la taille, la sécurité et la fonctionnalité par temps froid constituent encore des facteurs qui jouent un rôle dans la commercialisation des technologies de ce type.

Les investissements dans la recherche et le développement constituent la solution principale au besoin de développement de la technologie pour le succès des véhicules hybrides et des véhicules hybrides rechargeables. À l'heure actuelle, le montant des fonds alloués pour les piles à hydrogène semble disproportionné par rapport aux fonds alloués aux véhicules hybrides et aux véhicules hybrides rechargeables, en dépit du fait qu'ils semblent avoir un futur limité.

Évidemment, ces investissements devraient s'inscrire dans une politique plus large de développement de l'industrie de l'hybride au Québec, étant donné notre expertise dans ce domaine (Section 5.2.2).

4.5.2. Le manque d'infrastructure connexe

Les infrastructures du réseau électrique posent une difficulté à l'implantation de telles technologies dans le secteur des transports. Plus spécifiquement l'établissement d'un réseau de points de recharge et la capacité du réseau de gérer la demande accrue provenant de véhicules électriques rechargeables sont des défis qu'il faudra relever, même s'ils ne concernent pas les véhicules hybrides purs, dont les batteries sont chargées par le moteur à combustion et ainsi n'exigent pas de raccordement au réseau.

La création d'un réseau de points de recharge est particulièrement nécessaire pour des villes avec des résidents sans stationnement privé. Ce réseau peut être mis en place en installant les points de recharge dans des rues avec stationnement de résidents et dans des stationnements. Il peut y avoir un besoin de régulation exigeant un certain pourcentage des stations de recharge dans les stationnements privés d'immeubles ou des lieux de travail.

les points de recharge doivent être largement disponibles et commodes pour les utilisateurs qui n'ont pas de garage, car les véhicules peuvent devoir être chargés quotidiennement : selon l'autonomie de la batterie et en raison du fait que les temps de charge ne permettent pas encore de recharger le véhicule aussi rapidement qu'un plein d'essence standard,.

La gestion de charge du réseau sera également extrêmement importante. Les feuilles de route prévoient une croissance significative de la demande d'électricité au cours de la période de modélisation, en grande partie due au développement massif des véhicules rechargeables. L'infrastructure du réseau, qui dans beaucoup de secteurs est déjà à pleine capacité, devra pouvoir gérer une telle augmentation de charge, particulièrement dans les périodes de demande maximum : en début de soirée, après l'heure de pointe. Par contre, les véhicules rechargeables comportent l'avantage d'agir en tant qu'unités de stockage d'énergie qui pourrait potentiellement être couplée au réseau en cas de panne d'électricité ou en situation d'urgence. Pour surmonter l'obstacle de la charge accrue du réseau et tirer profit des avantages du stockage d'énergie d'une grande flotte de véhicules, l'amélioration du réseau électrique est nécessaire.

4.5.1. L'impact sur le réseau de production d'électricité

L'évaluation de l'impact de la pénétration des véhicules électriques sur la production d'électricité au Québec varie légèrement selon les sources. L'électricité nécessaire pour alimenter une flotte de véhicules électriques correspondant à 10 % des véhicules au Québec serait de l'ordre de 0,5 TWh, soit 0,3 % de toute la production électrique actuelle au Québec selon le MRNF (2004). Selon le Centre d'expérimentation des véhicules électriques du Québec (CEVEQ), une pénétration des véhicules électriques dans une proportion de 10 % de l'ensemble des véhicules au Québec exigerait plutôt une réserve de puissance de 450 MW, soit environ 1 % de la puissance totale actuellement disponible. La consommation des véhicules électriques est estimée à environ 10 kWh par jour, pour un parcours quotidien de 25 à 40 kilomètres. Selon cette même source, si l'ensemble des véhicules traditionnels (environ 4,5 millions) étaient remplacés par des véhicules électriques, il faudrait une réserve de puissance de 4 500 MW pour les approvisionner en électricité. Il est probable que la pénétration de véhicules électriques dans les transports se fera plutôt de façon graduelle, par le biais des véhicules électriques hybrides ayant la possibilité d'être rechargés en les branchant au réseau.

La qualité de l'approvisionnement dépendra de l'heure de la recharge, selon la quantité d'énergie disponible. En évitant les heures de pointe, la charge du réseau pourra être préservée plus longtemps, même si le nombre de véhicules augmente. À cet effet, la tarification variable selon l'heure pourrait encourager les gens à recharger leur véhicule en dehors des heures de pointe. Cependant, cela exige la mise en place de nouveaux types de compteurs et de modèles de facturation. De plus, de nouveaux moyens de facturation devront être envisagés pour les recharges effectuées dans les endroits publics.

Au Québec, les avantages économiques de l'énergie électrique par rapport à l'essence sont considérables. Pour deux raisons : les véhicules électriques sont de 4 à 5 fois plus efficaces; l'électricité coûte beaucoup moins cher que l'essence (par exemple, un prix de 1,35 $ le litre équivaut à 15,5 ¢/kWh). Donc, un trajet de 100 km coûterait 1 $, avec les véhicules électriques comparativement à 13,50 $ avec les voitures à essence (Schurr et McGrath, 2008). Les avantages environnementaux, du point de vue des émissions de GES sont également importants, puisque la production d'électricité au Québec est renouvelable dans une très grande proportion.

Beaucoup d'intervenants ont discuté des avantages du développement d'un « réseau intelligent » qui tient compte de l'adaptation en temps réel de la fluctuation du service (par des sondes et des systèmes de communication bidirectionnelle avancés) et qui permet à des consommateurs d'alimenter le réseau (par l'intermédiaire d'un véhicule rechargeable, d'une éolienne, d'un panneau solaire, etc.). Les industries des énergies renouvelables ont également cité un « réseau intelligent » comme solution à certains obstacles auxquels leur industrie fait face. Il y aurait enfin un besoin de coopération entre les compagnies automobiles et les fournisseurs d'électricité en vue de s'assurer que l'offre de cette nouvelle grande source de consommation d'électricité ait lieu aussi efficacement que possible.

4.5.2. Autres obstacles

Le manque de variété dans les véhicules alternatifs constitue par ailleurs une barrière importante pour les consommateurs. Les véhicules à moteur pouvant avoir une valeur sentimentale élevée, il est nécessaire que le consommateur sente qu'un large choix de types et de classes de véhicules lui est offert, si l'on veut faciliter le changement vers les véhicules alternatifs. Ce détail n'est pas sans lien avec les deux barrières déjà discutées, puisqu'actuellement le manque de choix sur le marché est la plupart du temps imputable à la technologie, toujours au stade du développement.

Il n'en demeure pas moins qu'un tel problème est lié à l'obstacle posé par les *technologies traditionnelles / indétrônables*, les fabricants de voitures ayant relativement peu d'incitatifs à produire des véhicules alternatifs à grande échelle. L'augmentation du prix des carburants et les changements de l'opinion publique ont entrainé des développements récents, mais le déploiement de ces technologies pourrait être accéléré en encourageant les fabricants automobiles à produire plus de véhicules alternatifs, soit par l'entremise de quotas, de normes d'efficacité énergétique ou encore d'aides à la réhabilitation d'usines existantes pour qu'elles produisent des véhicules alternatifs.

Cependant, l'accent devrait peut-être être mis sur l'emploi de méthodes dites de « carotte et de bâton », qui encouragent et orientent les achats des consommateurs : des remises sur des véhicules de haute efficacité énergétique ou des charges supplémentaires sur des véhicules de basse efficacité énergétique. De telles mesures sont habituellement accompagnées d'une campagne d'information publique qui aide en même temps à lever une autre barrière souvent mentionnée, celle de l'information. En effet, le public n'est pas correctement informé sur les véhicules hybrides, sur les véhicules hybrides rechargeables, ni sur leurs avantages.

4.6. La contribution des ingénieurs pour la réalisation d'économie d'énergie en transport

4.6.1. Promouvoir des stratégies intégrées

Un constat apparaît très clairement dans les nombreuses études consultées : aucune mesure prise individuellement ne peut mener à des économies d'énergie suffisantes. Les conclusions de plusieurs études mettent en évidence l'importance d'envisager des stratégies intégrées combinant un ensemble de mesures qui se renforcent mutuellement et d'éviter de combiner des mesures dont les effets s'annulent en partie ou en totalité.

Un des exemples les plus révélateurs à cet égard concerne les mesures visant à favoriser le transport en commun. Selon des expériences à l'étranger, il semble que la disponibilité d'un système de transport en commun efficace soit essentielle à toute stratégie visant à effectuer des économies d'énergie dans le secteur des transports. Bien que des investissements importants soient nécessaires, les économies d'énergie potentielles qui en résultent sont importantes, une diminution des coûts associés à l'utilisation des voitures compensant ainsi partiellement les fonds investis. Les initiatives de transport en commun doivent donc être accompagnées de mesures parallèles visant à décourager l'emploi de la voiture personnelle. Idéalement, ces mesures doivent s'inscrire dans un contexte plus large de planification urbaine et suburbaine pour favoriser un développement optimal du réseau de transport en commun. Enfin, pour assurer le succès de la mise en œuvre de ces mesures, il est impératif de sensibiliser la population aux avantages de recourir à ces options plutôt qu'à la voiture.

Ces différentes initiatives se renforcent donc mutuellement, mais ce n'est pas le cas de toutes les mesures. Par exemple, le covoiturage réduira le nombre de déplacements individuels en voiture, mais peut aussi inciter certains utilisateurs de transport en commun à délaisser le transport en commun et ainsi augmenter le nombre d'usagers de la route. De même, les mesures visant à améliorer la fluidité de la circulation, rendant ainsi les déplacements plus rapides, peuvent contribuer à augmenter en retour l'emploi de la voiture au détriment du transport en commun. Quant aux mesures visant à améliorer l'efficacité de la conduite ou le choix de véhicules plus efficaces, elles permettent de réduire les coûts des déplacements et peuvent ainsi contribuer à favoriser leur utilisation au détriment d'autres options plus rentables.

L'analyse de stratégies intégrées est primordiale à la bonne prise de décision en matière d'économie d'énergie dans le secteur des transports. À cet effet, il est souhaitable que les gouvernements mettent en place un institut de recherche et de développement axé spécifiquement sur l'analyse des mesures d'économie d'énergie et de réduction des émissions de GES dans le secteur des transports. Le secteur des transports étant complexe, des exercices de modélisation sont requis afin d'obtenir un portrait adéquat du problème et des solutions possibles. En plus de la rentabilité, d'autres facteurs sociaux et économiques sont indispensables pour cibler les mesures les plus prometteuses; par exemple, les autres impacts sur l'environnement et sur la qualité de vie, les activités commerciales, la sécurité routière, le soutien public nécessaire, la probabilité de succès des mesures à long terme, les notions d'équité entre les régions et l'acceptabilité sociale (Transports Canada, 1999). Cet institut pourrait être financé par divers mécanismes financiers (taxes, fonds, etc.).

4.6.2. Miser d'abord sur le transport des personnes en milieu urbain

À la lumière de l'analyse précédente, il est possible d'orienter les ingénieurs vers le sous-secteur du transport des personnes en milieu urbain, afin de les engager dans la réalisation d'économie d'énergie en transport. D'abord, le transport des personnes a nécessité 62 % de la consommation d'énergie du secteur des transports en 2005, alors que l'énergie nécessaire au transport des marchandises représentait un peu moins de 30 % du total. De plus, le transport en milieu urbain représente 75 % de toute l'énergie consommée pour le transport des personnes. Le transport des personnes en milieu urbain inclut tous les déplacements effectués par les ménages à des fins de loisirs, d'affaires personnelles, de magasinage, d'études, de travail, ainsi que des déplacements de types commercial et gouvernemental (ÉcoRessources Consultants, 2008a). Ces déplacements sont effectués sur de courtes distances, soit généralement moins de 30 kilomètres. Le transport interurbain des personnes comprend plutôt les déplacements faits à titre personnel (vacances, visites d'amis, de famille, etc.) et les déplacements faits pour des raisons professionnelles (tel que le voyage d'affaire).

Le déplacement de personnes en milieu urbain constitue donc le segment de marché où la mise en œuvre de mesures d'économie d'énergie s'avère essentielle, où l'impact de ces mesures peut être le plus significatif, et donc, où les ingénieurs peuvent apporter une contribution significative.

De plus, le transport des personnes en général constitue un segment de marché où le potentiel technico-économique d'économie d'énergie est le plus important, où plusieurs mesures ont un coût négatif, c'est-à-dire qu'elles sont caractérisées par des bénéfices énergétiques et non-énergétiques qui ont une valeur supérieure à ce qu'il en coûte pour les mettre en place, et en conséquence elles présentent un avantage net à la société.

Si le potentiel d'économie d'énergie est moins important sur le plan du transport de marchandises que du transport des personnes, c'est grâce aux incitatifs économiques associés aux économies de carburant pour les propriétaires de compagnies de transport. Ainsi, dans le cas du transport des marchandises, de nombreuses mesures ont déjà été appliquées, et la marge de manœuvre pour réaliser des économies d'énergie additionnelles, où les ingénieurs pourraient apporter leur contribution, demeure plus faible.

4.6.3. S'orienter vers la mise en œuvre des mesures les plus prometteuses

Les orientations apportées permettent ainsi de cibler les mesures à prioriser, du point de vue de la rentabilité pour la société, pour réaliser les meilleures économies d'énergie dans le secteur des transports au Québec. Cependant, il est essentiel de prendre en compte d'autres facteurs que la rentabilité pour effectuer une sélection optimale des mesures à implanter dans le secteur des transports. Il est donc recommandé d'orienter davantage les ingénieurs vers les mesures à prioriser en fonction de la complexité de mise en œuvre, ainsi que de la préférence des consommateurs (Transports Canada, 1999).

Mesures très prometteuses, mais avec une contribution potentielle limitée. Certes, d'un point de vue sociétal, les mesures les plus prometteuses sont celles qui sont les plus rentables en termes de coût par unité d'énergie économisée, mais aussi celles qui sont faciles à mettre en œuvre, qui ne requièrent pas d'investissements initiaux importants et qui sont généralement faciles à faire accepter par la population.

- Ce sont entre autres celles qui misent sur le comportement volontaire du public par une sensibilisation visant à modifier les habitudes, que ce soit en favorisant l'utilisation du transport en commun pour les déplacements liés au travail au détriment de l'utilisation de la voiture personnelle, en diminuant le nombre de voyages par le télétravail ou en améliorant l'efficacité de la conduite lors des déplacements personnels grâce à la formation des conducteurs.

- Les mesures visant à améliorer la fluidité de la circulation sont également considérées comme très prometteuses, comme l'utilisation plus étendue des systèmes intelligents de transport qui améliorent la gestion des incidents, ainsi que la mise en place de feux de circulation adaptatifs. Bien que les économies d'énergie ne soient pas énormes, le coût annuel net par unité d'énergie économisée de ces mesures est avantageux si l'on tient compte des bénéfices associés aux économies de temps.

Puisque ces mesures misent sur un changement de comportement des utilisateurs du transport, la contribution des ingénieurs dans leur mise en œuvre apparaît limitée. Ces mesures sont considérées comme étant très prometteuses, car elles impliquent à première vue des coûts faibles et des économies d'énergie importantes. Cependant, ces estimations ne tiennent pas compte des coûts des programmes nécessaires pour déclencher le changement de comportement désiré. La prise en compte des coûts additionnels engendrés pour inciter un changement de comportement sociétal pourrait avoir un impact non négligeable sur la rentabilité de certaines mesures.

Mesures prometteuses, mais avec une contribution potentielle plus importante. Il est donc tout à fait pertinent de miser sur des mesures dont le coût unitaire est plus élevé à la base et/ou dont la mise en œuvre est plus complexe, soit parce qu'elles requièrent des investissements initiaux plus grands ou une intervention plus importante des instances publiques, mais qui ont un bon potentiel d'économie d'énergie et qui restent acceptables aux yeux de la population.

Parmi ces mesures prometteuses se trouvent les solutions encourageant une plus grande utilisation du transport en commun en réduisant la tarification, en augmentant les investissements dans les infrastructures et en améliorant les services aux voyageurs. Quant aux voies réservées aux véhicules à plusieurs occupants, cette mesure est très rentable, principalement grâce aux importantes économies d'énergie et au gain de temps pour les usagers. Par ailleurs, cette mesure doit être accompagnée de mesures visant à promouvoir le covoiturage ou l'utilisation du transport en commun.

De même, le potentiel d'économie d'énergie associé à l'installation de péages urbains est important, et la contribution des ingénieurs pour la mise en œuvre de ce type de mesure pourrait être importante, puisqu'elle nécessite des travaux supplémentaires (aménagement des autoroutes et des voies de circulation environnantes pour éviter le détournement de la circulation vers les artères gratuites). Il faut cependant savoir que ce type d'initiative fait généralement l'objet d'une forte résistance de la part de la population.

Les mesures portant sur le choix du véhicule ou sur le choix du carburant occupent également une place importante dans une stratégie de réduction de la consommation énergétique, mais leur impact variera en fonction de l'évolution de la recherche et du développement dans ce domaine. L'amélioration de l'efficacité de la consommation énergétique en transports, par l'imposition de normes aux nouveaux véhicules, est une voie à considérer parmi d'autres. Étant donné l'intégration de l'industrie canadienne et américaine de l'automobile, il est impératif d'harmoniser le plus possible les normes de consommation des deux pays, d'où la difficulté de mettre en œuvre des changements radicaux. De telles normes favoriseraient la pénétration de véhicules à faible consommation d'essence ou au diesel propre dans un premier temps; puis, le marché verrait une plus grande pénétration de véhicules plus coûteux, mais encore plus efficaces, comme les véhicules hybrides et ceux munis de piles à combustible, ainsi que les véhicules au gaz naturel et au propane.

Enfin, le surfaçage en ciment peut améliorer l'efficacité de la consommation de carburant, bien que l'effet se fasse surtout sentir pour les poids lourds et que les estimations de coûts sont encore incertaines.

Mesures moins prometteuses. Les mesures moins prometteuses sont celles dont le potentiel d'économie d'énergie est restreint et/ou le coût unitaire élevé et/ou font l'objet de débats publics, et pour lesquelles la contribution des ingénieurs est limitée. Les voici :

- L'augmentation des tarifs dans les grands centres urbains. Bien que les économies d'énergie puissent être très significatives, la mise en œuvre est passablement complexe et le rôle des ingénieurs limité.

- La restriction de l'accès aux centres urbains. La résistance de la population face à ce type de contraintes est forte, et par conséquent les gouvernements en place ne les envisage généralement pas (Transports Canada, 1999). Il importe néanmoins de préciser que de telles mesures peuvent générer de grandes économies d'énergie à un coût sociétal négatif (ÉcoRessources Consultants, 2008a).

- L'inspection et l'entretien des véhicules ne semblent pas du tout rentables en raison des faibles économies d'énergie potentielles par rapport au coût élevé lié à l'inspection de chaque véhicule.

- L'utilisation de biocarburants en remplacement des carburants traditionnels ne permet pas actuellement de faire d'économie d'énergie, elle permet seulement la réduction des émissions de GES, bien qu'il y ait controverse quant à la quantité effective de réduction obtenue.

4.6.4. Participer aux efforts de sensibilisation de la population

Les orientations apportées ci-dessus permettent ainsi de cibler les mesures à prioriser pour réaliser les meilleures économies d'énergie dans le secteur des transports au Québec. D'autres facteurs que les calculs de rentabilité et de potentiel technico-économique d'économie d'énergie doivent nécessairement intervenir au moment d'effectuer une sélection optimale des mesures à implanter dans le secteur des transports.

La grande majorité des mesures d'économie d'énergie de ce secteur visent un changement de comportement des utilisateurs du transport, et par conséquent impliquent à première vue des coûts faibles et des économies d'énergie importantes. Cependant, ces estimations ne tiennent pas compte des coûts liés à la mise en œuvre proprement dite de la mesure; les programmes nécessaires pour déclencher des changements de comportement auprès d'un bassin suffisamment large de la population entraînent des coûts pouvant être très importants.

De plus, la population doit être persuadée du rôle que les ingénieurs ont à jouer pour les assister dans l'atteinte des objectifs.

5. EXPERTISE QUÉBÉCOISE EN MATIÈRE D'ÉNERGIES ÉMERGENTES AU QUÉBEC

Cette section discute du soutien existant au Québec pour favoriser le développement et le déploiement des technologies émergentes à l'échelle nationale et internationale. L'état de la situation en matière d'expertise technologique au Québec est décrit, et un rappel des principales barrières limitant la pénétration des nouvelles technologies sur le marché est effectué.

5.1. Les politiques gouvernementales pour développement technologique

Une des six orientations de la Stratégie énergétique 2006-2015 (MRNF, 2006) vise l'innovation en matière de nouvelles technologies énergétiques afin qu'elles deviennent plus performantes, moins coûteuses, et qu'elles constituent des solutions complémentaires aux formes d'énergie traditionnelles. Le développement d'une filière québécoise des carburants renouvelables, notamment l'éthanol produit à partir de résidus forestiers et agricoles et les déchets municipaux, le soutient à la géothermie et à l'énergie solaire, ainsi que la préparation d'un avenir avec de l'hydrogène constituent des priorités d'action en matière d'innovation.

5.1.1. L'Agence de l'efficacité énergétique

Afin de mettre en œuvre la Stratégie énergétique, un mandat important est confié à l'Agence de l'efficacité énergétique pour bâtir un *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies 2007-2010*, couvrant tous les marchés et toutes les formes d'énergie. L'Agence a donc un rôle important à jouer afin de promouvoir l'efficacité énergétique et le développement des nouvelles technologies, d'élaborer des plans d'ensemble et d'offrir divers programmes afin de mieux répondre aux besoins des différents types de clientèles. Les priorités d'action en matière de nouvelles technologies se concrétisent par le biais de divers programmes ou projets pilotes qui seront réalisés d'ici 2010 (Tableau 31).

TABLEAU 31 - PROGRAMMES ET INTERVENTIONS POUR LE DÉVELOPPEMENT DES NOUVELLES TECHNOLOGIES

Programmes et interventions	Description	Responsable	An1	An2	An3
Technoclimat - Volet d'aide à l'innovation en énergie	Le programme vise principalement à soutenir la recherche et le développement; l'expérimentation; la démonstration; le mesurage; la précommercialisation; la valorisation et le transfert; la diffusion.	Agence		X	X
Chauffe-eau solaire domestique (projet pilote)	Le projet pilote vise à installer jusqu'à 1 000 chauffe-eau solaires dans le secteur résidentiel afin de réduire la consommation d'énergie liée au chauffe-eau traditionnel.	Agence		X	X
Initiatives de démonstration technologique et d'expérimentation (IDÉE)	Lancé en 2005, le programme IDÉE vise à soutenir les efforts d'innovations technologiques en efficacité énergétique.	Hydro-Québec	X	X	X
Projet d'initiatives structurantes en technologies efficaces (PISTE)	Lancé à la fin de 2005, le programme PISTE vise à valider la rentabilité et l'acceptabilité commerciale d'opportunités destinées aux clientèles résidentielle et d'affaires.	Hydro-Québec	X	X	X
Programme d'analyse et de démonstration industrielles Grandes entreprises (PADIGE) – Volet démonstration	Lancé en 2003, le volet démonstration du programme PADIGE accorde une aide financière pour l'expérimentation de nouvelles technologies plus efficaces qui permettent de réduire la consommation d'électricité de clients de la grande industrie.	Hydro-Québec	X	X	X
Programme Innovation technologique (projet pilote) (PE220)	Gaz Métro a signalé qu'il croit pertinent et nécessaire de créer le nouveau programme PE220, qui sera spécifiquement consacré à l'implantation et au mesurage chez les clients de ces nouvelles technologies.	Gaz Métro		X	X
Programme de soutien à la géothermie*	L'Agence fera la promotion et le soutien de la géothermie en mettant en place un programme d'appui financier à la pénétration de la technologie dans les secteurs résidentiel, affaires et industriel. Un deuxième mandat consiste à examiner systématiquement l'apport potentiel de la géothermie dans le cadre de la conception de bâtiments des secteurs public et parapublic.	Agence			

Programmes et interventions	Description	Responsable	An1	An2	An3
Programme de soutien à la production d'énergie solaire*	L'Agence travaillera sur un plan de soutien des technologies solaires en photovoltaïque et en chauffage de l'air et de l'eau. Le programme touchera les secteurs résidentiel, affaires et industriel, ainsi que la recherche et le développement.	Agence			
Mise en réseau*	En ce qui concerne la consolidation de la base scientifique de la recherche en énergie, l'Agence entend mettre en valeur l'expertise en place, notamment dans les universités et les centres de recherche, par des interventions touchant la valorisation de la recherche, le transfert des résultats vers les entreprises et la consolidation de l'excellence de la recherche publique.	Agence			
Biocarburants*	L'Agence évaluera la possibilité de prévoir un programme propre aux biocarburants d'ici la fin du premier Plan d'ensemble.	Agence			

* Programmes pour lesquels les travaux de développement ne sont pas terminés.
Source : AEE, 2008

Certains de ces programmes impliquent indirectement la participation des ingénieurs puisqu'ils visent l'installation de nouvelles technologies (principalement les énergies solaire et géothermique) en milieu résidentiel, affaires et industriel. De plus, le programme *Technoclimat - Volet d'aide à l'innovation en énergie* (AEE, 2008) est particulièrement intéressant pour les ingénieurs. Il vise principalement à financer des projets de démonstration de technologies et de procédés présentant un bon potentiel de réduction des émissions de GES. Pour être admissibles, les projets doivent s'échelonner sur une période de moins de 36 mois et porter sur la démonstration de technologies québécoises novatrices et émergentes, viser la réduction des émissions de GES (quantifiées et vérifiées selon la norme ISO-14064) et présenter un bon potentiel de commercialisation.

Le champ des projets admissibles est assez large; ils peuvent porter sur la production d'énergie renouvelable (bioénergie, éolienne, géothermie, hydrolienne, hydrogène, marémotrice, solaire), sur la séquestration du CO2 (biologique, géologique, chimique et dans des résidus métallurgiques) ainsi que sur l'efficacité énergétique (bâtiments, cogénération, procédés industriels, transport, véhicules hybrides et électriques, etc.). Les projets sont évalués principalement selon leur potentiel de réduction des émissions de GES (critère éliminatoire), mais aussi selon la qualité du projet sur le plan technologique, les impacts énergétiques et socioéconomiques, le potentiel de marché et la garantie de réalisation du projet. Les dépenses admissibles doivent être directement liées à la réalisation du projet de démonstration, et l'aide financière accordée peut atteindre 3 M$ par projet.

5.1.1. Le Conseil de la science et de la technologie

Le *Plan stratégique du Conseil de la science et de la technologie* (CST, 2008) porte sur la recherche universitaire et industrielle dans les buts de réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et de favoriser le développement économique. Les trois axes d'innovation et de développement sont : 1) l'efficacité énergétique dans les bâtiments, les industries et le secteur des transports; 2) les nouvelles technologies de l'énergie (éolien, solaire, géothermique, éthanol cellulosique, biodiesel et hydrogène); et 3) l'énergie et la société (territoire et ville, économie et gestion, politiques incitatives, individu et société). Ces orientations sont en accord avec les lois et politiques élaborées ces dernières années :

- *L'énergie pour construire le Québec de demain*, Stratégie énergétique du Québec 2006-2015, ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), 2006;
- *Un Québec innovant et prospère*, Stratégie québécoise de la recherche et de l'innovation, ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE), 2006;
- *Le Québec et les changements climatiques : un défi pour l'avenir*, Plan d'action 2006-2012, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2006;
- *Le transport des personnes au Québec : pour offrir de meilleurs choix aux citoyens*, Politique québécoise du transport collectif, ministère des Transports (MTQ), 2006;
- *Loi sur le développement durable*, Lois du Québec 2006, chapitre 3.

Au Canada, l'investissement en matière d'innovation technologique fédéral est en baisse depuis 20 ans; il est passé de plus de 600 M$ à moins de 300 M$. L'investissement est également en baisse au niveau provincial. Seul le secteur privé a maintenu un niveau d'investissement relativement stable au cours des dernières années, mais les dépenses en recherche et en développement ne représentent que 0,75 % des revenus qu'il tire de l'énergie. Au Québec, les investissements en recherche et développement atteignaient environ 200 M$ en 1990. Il est difficile d'estimer l'ensemble des sommes investies à l'heure actuelle, mais notons la contribution du Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT), qui a octroyé environ 1,8 M$ de 2002 à 2005 à la recherche dans le secteur de l'énergie, et celle du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) qui a octroyé 31 M$ pour la recherche universitaire de 2000 à 2006. Dans les domaines « efficacité énergétique » et « autres sources d'énergie », le Québec obtient respectivement 28 % et 41 % du financement octroyé à l'échelle canadienne.

5.2. L'état de la situation en matière d'expertise technologique au Québec

Cette sous-section fait état de l'expertise existant au Québec dans le domaine des technologies émergentes les plus susceptibles d'avoir un impact sur la consommation de formes d'énergie polluantes; il s'agit plus spécifiquement des nouvelles technologies qui peuvent remplacer les technologies actuellement utilisées :

- Dans le secteur des transports : les technologies de production des biocarburants de deuxième et de troisième génération, ainsi que les véhicules hybrides, hybrides rechargeables et électriques;
- Dans les secteurs résidentiel et commercial : les thermopompes géothermiques pour le chauffage des locaux et de l'eau et pour la climatisation, ainsi que les systèmes solaires (photovoltaïques ou thermiques);
- Dans le secteur énergétique : les parcs éoliens.

Les principaux organismes, centres de recherche et industries spécifiques à chaque secteur sont abordés ci-dessous; une liste complète est présentée à l'Annexe B (la liste n'est pas forcément exhaustive).

5.2.1. Le secteur des transports : les biocarburants

Dans le secteur des transports, plusieurs mesures d'économie d'énergie visent des changements de comportements de la part de la population. Cependant, il existe également des avenues intéressantes en matière de nouvelles technologies, comme l'utilisation des biocarburants de deuxième et de troisième génération, ou l'emploi de véhicules hybrides, hybrides rechargeables et électriques.

De nos jours, la production des biocarburants de première génération, tels que l'éthanol-maïs et le biodiesel fait à partir d'huiles végétales, d'huiles usées ou de graisses animales, est bien maîtrisée. Ces biocarburants peuvent être mélangés avec les carburants traditionnels dans de faibles proportions et ainsi servir dans les moteurs existants. Des procédés (biotechnologiques et thermiques) permettent de produire des biocarburants à partir de matières premières résiduelles (résidus forestiers, agricoles, municipaux, industriels, etc.), mais des travaux de recherche et de développement restent à faire pour rendre possible l'exploitation commerciale de ces biocarburants de deuxième et de troisième génération. Il faudra notamment effectuer une évaluation détaillée des ressources et des résidus disponibles, des efforts de recherche et développement au sujet des procédés de conversion (les technologies étant encore relativement coûteuses et pas encore au point) et des études nécessaires sur la viabilité de l'implantation d'unités de production de différentes tailles. La production de ces nouveaux biocarburants sera plus avantageuse, du point de vue énergétique et environnemental, que la production des biocarburants à partir du maïs ou d'autres produits céréaliers.

Au Québec, le développement des biotechnologies est appuyé par le *Centre Québécois de Valorisation Des Biotechnologies* (CQVB), dont le rôle est de stimuler et d'accélérer l'exploitation des résultats du développement dans les bio-industries. Plus spécifiquement, l'utilisation du biodiesel comme carburant de remplacement pour le diesel est supportée par le *Conseil Québécois du Biodiesel* (CQB).

À l'été 2007, le gouvernement a investi 6,5 M$ d'un montant total de 25 M$ dans une chaire de recherche à l'Université de Sherbrooke en partenariat avec Énerkem, CRB Innovations, Kruger, Ultramar et Éthanol Greenfield, ainsi que dans l'implantation de deux usines de démonstration de production d'éthanol cellulosique (Gouvernement du Québec, 2007). Ces usines fonctionneront à partir des matières résiduelles urbaines et des matières résiduelles forestières et agricoles (Gouvernement du Québec, 2007) et constituent une démarche importante pour l'examen de la faisabilité de la filière de l'éthanol cellulosique au Québec. Ce financement est effectué dans le but d'atteindre l'objectif de 5 % d'éthanol dans l'essence d'ici 2012, car la production de 400 millions de litres annuellement est nécessaire pour y arriver. Actuellement, il n'y a aucune garantie que cette production sera intégrée à l'essence effectivement consommée au Québec, et par conséquent, que l'objectif sera atteint pour 2012.

Dans le secteur privé, les entreprises *Rothsay – Laurenco et Greenfield Ethanol* sont déjà actives dans la production de biodiesel et d'éthanol de première génération. Concernant la production de biocarburants de deuxième et troisième générations, il est pertinent de souligner la présence de l'entreprise *Enerkem Technologies*, qui développe des technologies de gazéification applicables à une grande variété de matières premières.

5.2.2. Le secteur des transports : les véhicules hybrides et électriques

Les véhicules électriques munis d'un moteur électrique alimenté par un bloc batterie rechargeable seraient, avec les véhicules à pile à combustible à l'hydrogène, les seuls véhicules à émission zéro ou à très faibles émissions polluantes. Cependant, de tels véhicules n'existent encore qu'à l'état de prototypes ou sont produits en séries limitées. Des améliorations sont nécessaires dans la technologie des piles et dans l'infrastructure connexe pour assurer aux véhicules hybrides rechargeables et aux véhicules tout électriques une pénétration à grande échelle du marché (voir Section 4.6).

En attendant, les véhicules hybrides, dotés d'un moteur électrique couplé à un moteur à combustion interne, constituent une alternative intéressante (ex. Toyota Prius, Honda Civic, Ford Escape) : ils sont plus chers à l'achat ou à la location que les véhicules conventionnels à l'essence, mais ils coûtent moins cher à faire rouler. Les véhicules hybrides permettent de maintenir une bonne performance du véhicule tout en diminuant la cylindrée du moteur à combustion et en réduisant la consommation de carburant; mieux, les moteurs électriques sont d'une plus grande efficacité, ils ont un rendement trois fois plus élevé que les moteurs à combustion interne. Le Québec détient une expertise reconnue à l'échelle mondiale dans ce domaine.

La filière des hybrides est appuyée par le Centre d'expérimentation des véhicules électriques du Québec (CEVEQ), qui a pour mission de promouvoir et de donner des avis techniques sur les véhicules électriques et d'aider les entreprises et les particuliers à mieux comprendre les nouvelles technologies. Le CEVEQ est récemment devenu le Centre National du Transport Avancé (CNTA), une corporation à but non-lucratif qui agit pour le développement, la coordination et la mobilisation de tous les acteurs du milieu du transport terrestre avancé. Le *Plan d'action 2007 2010 : Transport terrestre avancé* du CNTA (2007) vise notamment à faire reconnaître la région des Laurentides comme leader en transport terrestre avancé à l'échelle québécoise d'ici 2012 et à faire reconnaître le Québec comme un leader compétitif sur la scène mondiale (d'ici 2017). Aussi, la région des Laurentides se démarque par la présence de main-d'œuvre spécialisée, d'une concentration importante d'assembleurs, de quatre centres d'expertise en transport et de nombreuses entreprises liées à la fabrication de pièces en matériaux légers.

Le *Plan d'action 2007 2010* a été élaboré dans le cadre du projet d'Action concertée de coopération régionale de développement (ACCORD). Il a été développé par les partenaires régionaux et soutenu par le gouvernement du Québec dans sa stratégie de développement économique. Le projet ACCORD et les créneaux d'excellence sont considérés comme des moyens d'assurer le développement de régions compétitives à l'échelle mondiale; c'est justement la stratégie adoptée par les membres du comité du créneau Transport terrestre avancé.

À moyen terme (2012), le plan vise entre autres à accroître de 20 %le nombre d'emplois associés au transport avancé dans la région, de 5 % par an le chiffre d'affaires des entreprises, ainsi que d'élever à 3 % du chiffre d'affaires la part d'investissement en recherche et développement des entreprises. À plus long terme (d'ici 10 ans), les objectifs sont de tripler le nombre d'emplois et d'attirer cinq à dix gros investissements majeurs dans la région. Les 64 actions du plan sont partagées en huit volets et totalisent 1,4 M$ de coûts initiaux et 7,7 M$ de coûts récurrents pour les trois années du plan d'action :

- Entreprises : 849 M$;
- Entrepreneuriat : 580 M$;
- Innovation et développement : 734 M$;
- Alliances et partenariats : 1418 M$;
- Formation et main-d'œuvre : 645 M$;
- Milieu et qualité de vie : 1525 M$;
- Infrastructures : 150 M$;
- Organisation et financement : 2040 M$.

L'Institut du transport avancé du Québec (ITAQ) de Saint-Jérôme est également au service des entreprises et des organisations impliquées dans le développement de technologies du transport durable. Leur laboratoire en propulsion avancée dispose d'un parc d'équipements de pointe, de composantes de systèmes de propulsion et d'un véhicule générique d'essais conçu par l'ITAQ. Un soutien financier de 5,4 M$ de la Fondation Canadienne pour l'Innovation (FCI), du gouvernement du Québec et de 16 partenaires du secteur privé a permis l'acquisition de ces équipements. Les recherches concernent la traction électrique et hybride, les biocarburants et l'efficacité énergétique en transports. Dans le domaine de la traction électrique et hybride, leurs réalisations portent sur :

- Le développement d'un véhicule générique et la mise en place d'un laboratoire à propulsion avancée;
- La réalisation d'un projet de développement d'un autobus hybride à structure monocoque 100 % composite;
- Le développement du véhicule électrique à basse vitesse ZENN, NEMO (assistance) et DEFIANT;
- L'optimisation d'un système de compresseur à air faisant partie d'une chaine de traction de locomotive hybride;
- L'assistance au développement d'une chaine de traction électrique et de la suspension d'un véhicule industriel;
- L'étude de la situation des véhicules à basse vitesse à l'échelle internationale;
- La réalisation d'un projet de véhicule électrique à trois roues pour une compagnie américaine du Tennessee et mise en liaison avec trois universités du Québec.

Des recherches sont également effectuées en milieu universitaire sur les piles Ni-métal hydrure (INRS-EMT), sur les piles au lithium (UQAM) et sur les supercondensateurs électrochimiques (INRS-EMT et UQAM) (CST, 2008).

Dans le secteur privé, notons la présence de *Bathium Canada*, filiale située à Boucherville du Groupe français Bolloré, une entreprise qui depuis 1979 développe et perfectionne la technologie des batteries au lithium-métal-polymère (LMP) à électrolyte solide. En 2006, le Groupe Bolloré a acheté Avestor, créé en 2000 pour la fabrication commerciale de batteries pour le secteur des télécommunications. Le Groupe Bolloré a créé des partenariats pour produire en série des voitures entièrement électriques, la BlueCar et la B-Zéro.

La BlueCar est équipée d'une batterie développée par BatScap, une filiale du Groupe Bolloré et d'Électricité de France, basée sur la technologie Lithium-Métal-Polymère. Cette batterie de haute performance est de 4 à 5 fois plus légère et de 2 à 3 fois plus petite que les batteries traditionnelles. La BlueCar a été présentée au salon de Genève en 2005 et son utilisation dans diverses conditions de circulation a permis de valider la performance et l'autonomie des batteries Lithium-Métal-Polymère, homologuées à l'automne 2007. Quant à la B-Zéro, elle sera produite en série à partir de la fin 2009 par la société commune Pininfarina-Bolloré avec la technologie des batteries Lithium-Métal-Polymère. La batterie pourra être rechargée dans une prise standard; la voiture aura une autonomie de 250 km, pourra atteindre 60 km/h en 6,3 secondes et sa vitesse de pointe sera limitée à 130 km/h. Autre fait à mentionner, des cellules photoélectriques placées sur le toit et le capot contribueront à l'alimentation des équipements électriques.

Soulignons également la mise sur pied par le ministère des Transports du Québec en juillet 2008 du projet pilote sur l'utilisation des véhicules à basse vitesse. D'une durée de trois ans, le projet a pour but d'évaluer les questions de sécurité associées à l'intégration de ces véhicules dans la circulation urbaine. Ces véhicules sont exclusivement électriques et peuvent atteindre une vitesse maximale de 40 km/h. Les deux véhicules autorisés à circuler sur les routes où la vitesse permise est inférieure à 50 km/h et où les pentes sont inférieures à 15 degrés sont la ZENN (Zero Emission No Noise), une petite voiture électrique assemblée à Saint-Jérôme, et le camion

NEMO, fabriqué à Ste-Thérèse. La ZENN a une autonomie de 60 kilomètres alors que la camionnette NEMO, dont la capacité de charge est d'une demie-tonne, offre une autonomie de 115 kilomètres.

En octobre 2008, suite à l'annonce de ce projet pilote, la Zenn Motors Company de Toronto a obtenu une licence l'autorisant à vendre directement aux consommateurs les voitures électriques ZENN fabriquées à son usine de Saint-Jérôme (aux États-Unis, la voiture est déjà vendue par le biais d'un réseau de détaillants). La ZENN convient aux banlieusards et aux parcs de véhicules comme les aéroports, les universités, les municipalités et les espaces verts. Son autonomie est de 50 à 80 km. Il est intéressant de noter que le partenaire de la compagnie EEStor Inc. prévoit commercialiser prochainement un supercondensateur qui permettra à ce type de voitures de rouler plus vite et sur de plus grandes distances.

Voilà qui illustre la volonté du gouvernement d'encourager les initiatives permettant des économies d'énergie dans le secteur du transport routier. Ce projet pilote soulève néanmoins certaines critiques, notamment dues au fait qu'il pourrait nuire à l'image et au développement de l'industrie des véhicules électriques, et qu'une politique plus large de développement et de déploiement de ces véhicules au Québec est nécessaire (Francoeur, 2008). Ces véhicules sont en fait moins rapides qu'une mobylette électrique (70 km/h) ou qu'un vélo électrique (dont l'appoint est autorisé jusqu'à 32 km/h). De plus, le projet n'est accompagné d'aucune mesure de soutien à l'achat ou d'objectifs de ventes des véhicules assemblés au Québec.

Un autre acteur important œuvre dans le développement de véhicules hybrides et électriques, soit *TM4*, entreprise affiliée à Hydro-Québec qui est notamment impliquée dans le développement et la commercialisation de la technologie du système de propulsion utilisant des moteurs-roues à aimants permanents et à entraînement direct. En 2003, la firme a développé la première génération de son système, et il maintenant utilisé dans la Cleanova, une voiture électrique fabriquée par la Société de Véhicules Électriques. Une autre version, développée en 2006, permet d'utiliser simultanément le moteur électrique, le générateur et le moteur thermique, permettant de fournir une puissance d'accélération plus grande lorsque nécessaire et de remettre le moteur thermique et le générateur en mode de production d'électricité ou au repos, selon les besoins. La firme a également développé en 2006 le système utilisé dans la voiture Citroën C-Métisse, un véhicule hybride diesel-électrique, qui combine un moteur à combustion et deux moteurs-roues électriques dans les roues arrières du véhicule. Enfin, *TM4* a été retenu au début de 2009 par une filiale norvégienne de Tata Motors, la plus grande compagnie automobile en Inde, comme fournisseur de moteurs électriques et de contrôles électroniques pour une centaine de voitures (Indica Vista) qui seront testées en Norvège au cours de la prochaine année 2009-2010.

5.2.3. Le secteur des transports : les autres moyens de transports électriques

Le CEVEQ a réalisé plusieurs projets portant sur le développement et sur l'utilisation d'autres moyens de transports électriques. Par exemple, l'utilisation d'un microbus électrique a été testée durant l'hiver 2007 dans le Vieux-Québec. Les résultats obtenus sur les plans de la performance et de la capacité à répondre à la géographie et au climat se sont avérés positifs au point de poursuivre l'utilisation. Le microbus circule à une fréquence minimale de vingt minutes en semaine entre l'Hôtel de Ville et la place D'Youville. Les gouvernements du Québec et du Canada, ainsi que la Ville de Québec sont partenaires du projet, dont le budget atteint près de 600 000 (355 000 $ pour l'achat du véhicule). Il constitue le premier d'un éventuel parc de véhicules semblables.

En 2003, le CEVEQ a aussi réalisé un projet pilote portant sur l'appareil de transport personnel motorisé Segway HT, une trottinette électrique, en partenariat avec le ministère des Transports du Québec et avec Transports Canada. Le projet visait à mieux comprendre les aspects de sécurité liés à son utilisation sur la voie publique. Enfin, le projet vélos électriques 2000 visait à promouvoir et à documenter l'emploi du vélo électrique.

Une initiative originale a été lancée par le groupe VoltThor, formé en septembre 2006 par huit étudiants en génie mécanique (AIEQ, 2008). Leur objectif était et demeure de fabriquer un prototype de moto sport électrique à usage urbain. L'autonomie de leur prototype atteint environ 175 km en ville et 90 km sur l'autoroute, et sa vitesse maximale atteint 130 km/h. Les coûts de fabrication sont importants, soit entre 25 000 $ et 28 000 $, dont la moitié sont consacrés aux piles. La production en série permettrait évidemment de diminuer les coûts. Le projet est financé par l'Association de l'industrie électrique du Québec (AIEQ), Cascades, Bombardier, Soucy International, Grebo Precision 3D et Multivesco.

L'*Agence métropolitaine de transport* (AMT) contribue également à l'augmentation de l'utilisation de l'électricité dans le secteur des transports, car elle désire optimiser l'efficacité énergétique et la fiabilité de son réseau. La ligne Deux-Montagnes, qui représente 15 % du réseau actuel du train de banlieue, fut la première à être alimentée en électricité au Canada. Elle a été modernisée au milieu des années 90, où le système 3000 V en courant continu a été remplacé par un système de 25 000 V en courant alternatif (Gauthier, 2008). L'AMT est maintenant propriétaire de l'infrastructure de cette ligne exclusivement alimentée en électricité et réservée au transport des passagers. L'électrification du reste du réseau représente toutefois un défi d'envergure, car les lignes servent également au transport de marchandises à l'aide de trains alimentés au diesel, lesquels ont priorité, et l'infrastructure ferroviaire demeure la propriété du CN et du Chemin de fer Canadien Pacifique (CFCP). L'électrification doit donc être effectuée tronçon par tronçon (85 % du réseau est électrifiable) et nécessitera une modification des systèmes ferroviaires : signaux, communication, mise à la terre et points de connexion de l'alimentation électrique (Gauthier, 2008). De plus, des mesures de sécurité et d'entretien additionnelles devront être mises en place. Les investissements requis sont donc considérables, et le recrutement de personnel spécialisé en conception et en entretien des systèmes électriques ferroviaires est difficile.

Le projet reste par contre réalisable à long terme, notamment avec l'achat de locomotives bimodes (diesel et électricité) qui peuvent circuler sur des lignes électrifiées ou traditionnelles. L'AMT est d'ailleurs la première société de transport de passagers au Canada à avoir fait l'acquisition de ce type de locomotives (Gauthier, 2008). Avec la hausse de l'achalandage sur l'ensemble du réseau de trains de banlieue, l'AMT devra augmenter la capacité du réseau de 70 % dans les prochaines années pour satisfaire la demande, d'où l'occasion de développer un réseau de transport propre.

Le gouvernement fait la promotion du transport en commun, avec notamment la *Politique québécoise de transport collectif*, qui fixe l'objectif d'augmenter l'achalandage de 8 % d'ici 2012 et pour lequel le budget annuel est de 130 M$ provenant du Fonds vert créé en vertu du *Plan d'action québécois sur les changements climatiques* (Bourbonnière, 2008). Dans le but d'atteindre l'objectif, la *Société de transport de Montréal* (STM) a développé le *Plan d'amélioration du service de transport en commun* (PASTEC) (Bourbonnière, 2008). Le métro est déjà alimenté presque exclusivement en électricité, mais la STM a planifié plusieurs projets électriques, tels que le remplacement des wagons construits dans les années 60 par des wagons plus efficaces (appel d'offres lancé en juillet 2008), ainsi que le prolongement des lignes de métro vers l'est, le nord-ouest et la Rive-Sud.

Pour ce qui est du parc d'autobus, l'utilisation de l'électricité est plus complexe, mais la STM effectue présentement des tests avec l'utilisation de huit autobus hybrides biodiesel-électrique. Le projet est réalisé en collaboration avec la Société de transport de l'Outaouais et Transport Québec. Des efforts de recherche, de développement et de démonstration sont nécessaires avant de pouvoir utiliser des autobus fonctionnant exclusivement à l'électricité.

Les trolleybus, qui ont circulé dans les rues de Montréal jusqu'au début des années 60, pourraient être réintégrés dans le réseau de transport collectif sur les lignes les plus achalandées, comme les voies réservées (songeons au boulevard Pie-IX). Leur utilisation à grande échelle est limitée par le fait qu'ils nécessitent l'installation d'infrastructures de distribution d'électricité au-dessus des rues et qu'ils ne peuvent être redirigés sur une autre ligne. De même, les tramways ont été remplacés vers la fin des années 50, mais la STM vise l'implantation d'un réseau au centre-ville de Montréal. Les perspectives concernant l'augmentation de l'électricité dans les systèmes de transport collectif sont excellentes.

5.2.4. Les secteurs résidentiel et commercial : les thermopompes géothermiques

Dans les secteurs résidentiel et commercial, l'utilisation de pompes à chaleur géothermiques est en croissance pour le chauffage des locaux et de l'eau ainsi que pour la climatisation, mais elles sont encore peu utilisées. Les obstacles liés au déploiement de cette technologie sur le marché sont plus d'ordre économique que technique (voir Section 2.2.3). L'entreprise *Géothermix* offre des thermopompes géothermiques pour des applications résidentielles, commerciales et industrielles. La *Coalition canadienne de l'énergie géothermique*, dont le siège social est localisé au Québec, a pour rôle d'élargir le marché des thermopompes géothermiques et de la technologie géothermique au Canada.

5.2.5. Les secteurs résidentiel et commercial : les systèmes solaires

À l'instar de plusieurs autres juridictions en Amérique du Nord, la production d'énergie solaire constitue une filière renouvelable encore peu développée au Québec. L'énergie solaire peut servir à produire de la chaleur ou de l'électricité. Les systèmes photovoltaïques sont actuellement considérés comme une solution viable pour les endroits isolés. Le gouvernement favorise également la filière solaire photovoltaïque en donnant à l'Agence de l'efficacité énergétique, en collaboration avec Hydro-Québec, le mandat de déposer à la Régie de l'énergie un programme pour le développement de la filière solaire active au Québec. Le degré d'ensoleillement élevé offre un potentiel significatif de développement de cette filière dans la province. Cependant, la filière solaire se limite actuellement à l'utilisation de systèmes solaires thermiques à des fins d'usage résidentiel (chauffage de l'eau, des locaux ou des piscines), agricole et industriel.

L'inventaire des acteurs québécois intéressés par l'énergie solaire montre qu'il y a une expertise solide dans le domaine au Québec (Drolet, 2007) :

- Une trentaine d'entreprises développent et commercialisent des produits et des services;
- Une douzaine de centres de recherche conçoivent et développent des technologies;
- Une dizaine d'organismes fournissent des conseils et font la promotion de l'énergie solaire.

L'organisme *Énergie Solaire Québec* a pour mandat de promouvoir son utilisation ainsi que celles des autres ressources énergétiques renouvelables au Québec. Le *Réseau de Recherche sur les bâtiments solaires* de l'Université Concordia constitue une forme de partenariat intéressant regroupant des industries et des groupes de recherche impliqués dans le développement des technologies d'énergie solaire. Des groupes de recherche de plusieurs instituts d'enseignement (*Université du Québec à Montréal, Université Laval, Université McGill, Université de Montréal, École Polytechnique, École de technologie supérieure (ETS), Institut de technologie agricole (ITA) de Ste-Hyacinthe*) sont impliquées dans le développement des technologies d'énergie solaire. Plusieurs de ces groupes participent d'ailleurs au fameux concours « Solar Decathlon ».

De plus, bien que la filière soit encore à l'état embryonnaire au Québec, plusieurs entreprises commercialisent des chauffe-eau solaires, des systèmes solaires décentralisés et des équipements connexes, tels que ventilateurs et systèmes de récupération de chaleur pour les secteurs résidentiel, commercial, institutionnel et industriel (*Boisé Alternatives, Centennial Solar, Dispaq, EnerConcept, Énergie Matrix Inc, Énergies Solex, Ener-Tech 2000, Groupe Enerstat, HLT Énergie, ICP Solar, Innergy Tech, Micro-Énergies, Murox/Filiale du Groupe CANAM, Produits Sunforce, Solag, Sunarc, Techno-Solis*). D'autres initiatives originales méritent également d'être mentionnées, comme les entreprises spécialisées dans la fabrication de maisons solaires, (*Groupe Boies 2000, Maisons Alouette*) et les firmes de conseil (*Pageau, Morel et associés, Solener, TN Conseil*) ou les firmes d'architectes spécialisées dans l'énergie solaire (*Michel Dallaire et Associés, Sevag Pogharian Design, Thermtech*).

5.2.6. La production d'électricité : les parcs éoliens

Pour la production d'électricité, l'énergie éolienne est la principale filière envisagée de nos jours au Québec pour compléter la production d'énergie hydroélectrique. Même si cette industrie connaît actuellement un taux de croissance important et si l'énergie éolienne est en train de passer du stade des énergies émergentes à celui des énergies couramment utilisées, il faudra à cette filière énergétique encore des efforts importants en matière de recherche et de développement. Au Québec, les grands bassins hydroélectriques constituent des réservoirs de stockage d'énergie qui favorisent le couplage « hydro-éolien » et qui facilitent une meilleure gestion des parcs éoliens. Il existe aussi dans certaines régions nordiques, comme au Québec, une étroite concordance entre la fréquence de vents forts en hiver et la demande d'énergie électrique pour le chauffage des résidences. Le couplage entre production éolienne et production de centrales diesel présente également un intérêt particulier en région isolée. Par contre, l'amélioration des connaissances est souhaitable notamment quant aux conditions optimales d'exploitation des parcs éoliens. Il faut également approfondir notre compréhension des moyens d'intégration des parcs éoliens aux réseaux électriques, des aspects aérodynamiques du fonctionnement des éoliennes, de l'adaptation des équipements aux conditions climatiques rigoureuses, des méthodes de prévisions opérationnelles des conditions éoliennes et de la gestion des réseaux électriques.

La filière éolienne est notamment supportée par le *Technocentre Éolien Gaspésie-Les-Îles*, un organisme de développement et de promotion de cette forme d'énergie. Le milieu universitaire québécois est bin entendu impliqué au plan de la recherche des conditions d'exploitation optimale des éoliennes, avec la présence de la *Chaire de recherche sur l'optimisation des conditions d'exploitation de l'énergie éolienne en milieu nordique* de l'École de Technologie Supérieure (ETS), spécialisée dans l'étude des phénomènes liés à l'aérodynamique des pales et à la couche limite atmosphérique; et avec le *Groupe de recherche en énergie éolienne* de l'Université du Québec à Rimouski, spécialisé dans l'étude des conditions d'exploitation de l'énergie éolienne et dans l'inventaire des vents. Étant donné que la Stratégie énergétique 2006-2015 spécifie que les investissements effectués dans l'implantation des parcs éoliens requièrent un contenu québécois de 60 % (MRNF, 2006), de plus en plus d'industries québécoises œuvrent dans ce secteur. Notons la présence de firmes d'ingénieurs impliquées dans la promotion de l'énergie renouvelable, dans les études de faisabilité et dans le développement de projets de parcs éoliens (*3Ci, GPCo Inc.*), ainsi que la présence d'entreprises se spécialisant dans la conception, la fabrication et la mise en marché de produits liés au secteur éolien (*Énergie PGE*) ou encore dans la réalisation de parcs éoliens de grande ampleur (*Hélimax Énergie*).

5.3. Formation des ingénieurs dans le secteur énergétique au Québec

Depuis une quinzaine d'années, les universités ont réduit considérablement leur offre de cours liés au domaine de l'énergie. L'engouement pour la photonique et les nanotechnologies a fait en sorte que les départs à la retraite des professeurs ayant œuvré dans le domaine de l'énergie ont surtout été comblés dans ces nouveaux créneaux de pointe. Le problème chronique du financement des universités n'est pas non plus étranger à cette diminution de l'offre de cours liés au domaine de l'énergie. Les universités ont des choix budgétaires à effectuer et, dans ce contexte, on peut comprendre les compressions faites dans un domaine boudé par les étudiants et où les embauches n'ont pas été massives depuis quinze ans.

Si le domaine de l'énergie a longtemps été perçu comme ayant atteint sa maturité et n'offrant plus de défis technologiques, notamment à cause de l'importance de la filière hydroélectrique au Québec, les choses sont en train de bouger. Le Québec voit apparaître dans le portrait énergétique de nouvelles filières prometteuses. Les annonces des dernières années concernant la volonté gouvernementale de prioriser les énergies renouvelables ont créé un effet d'entraînement sur la recherche. L'hydrogène, l'énergie éolienne et les biocarburants sont autant d'exemples de ce nouvel essor. Si on constate que ces nouveaux domaines de pointe sont bien desservis par nos universités (l'Université du Québec à Trois-Rivières pour l'hydrogène, l'École de Technologie Supérieure (ETS) et l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) pour l'énergie éolienne ainsi que l'Université de Sherbrooke pour les biocarburants), on ne peut pas en dire autant des activités générales entourant le domaine de l'énergie. Le Québec veut être actif dans le domaine de l'énergie, mais n'a pas su bien maintenir son expertise académique à cet égard. Ce sont des initiatives récentes de l'industrie et des universités conjointement qui ont été les voies privilégiées afin de se prémunir contre la pénurie d'expertise.

On peut voir une illustration de ce phénomène dans la création de l'Institut en génie de l'énergie électrique par Hydro-Québec. Étant confronté au difficile recrutement et voyant les départs massifs à la retraite qui se pointaient à l'horizon, Hydro-Québec a décidé de régler le problème à la source en relançant la formation en énergie électrique par un financement adéquat. Sans se substituer aux institutions d'enseignement, Hydro-Québec a fait le pari de s'associer à elles et de les soutenir afin qu'elles forment leurs ingénieurs de demain en qualité et en quantité suffisante. Un autre exemple est le Center for Building Studies, qui concentre ses recherches sur la construction de bâtiments efficaces.

Les départs massifs à la retraite qui pointent à l'horizon et la baisse anticipée de la clientèle universitaire nous confrontent à deux réalités : la perte de l'expertise académique et le besoin criant de l'industrie en matière de main-d'œuvre. La formation est la clé de ces problèmes et doit être bonifiée en matière énergétique.

5.3.1. Énergies renouvelables

La plupart des pays de la planète se sont dotés de cibles en matière d'énergies renouvelables afin de combler leurs futurs besoins énergétiques. Ce secteur a donc le vent en poupe à l'échelle planétaire. Mais qu'en est-il au Québec? L'Université du Québec à Chicoutimi, l'Université du Québec à Rimouski et l'École de Technologie Supérieure se sont récemment entendues pour mettre sur pied une concentration de deuxième cycle en énergies renouvelables. Les ingénieurs actuels et les futurs ingénieurs auront donc accès à une formation de pointe dans les filières qui tentent de percer le marché, comme notamment l'énergie solaire, l'énergie éolienne et la géothermie.

En matière de biocarburants, il reste beaucoup de travail à accomplir. Si les événements récents ont permis de constater qu'il n'était pas souhaitable d'augmenter la production d'éthanol à partir de matières premières récoltées aux champs, la recherche doit donc se poursuivre du côté des biocarburants de deuxième et de troisième génération. Les ingénieurs doivent donc être formés en ce sens.

5.3.2. Efficacité énergétique

C'est connu, la meilleure énergie est celle que l'on ne consomme pas. Le gouvernement du Québec s'est doté de cibles ambitieuses à atteindre en efficacité énergétique d'ici 2015. Les ingénieurs auront évidemment un rôle important à jouer pour que le Québec puisse atteindre ces objectifs. Mais sont-ils bien formés à cet égard et sont-ils en nombre suffisant? La réponse est non. Il n'existe pas à ce jour de microprogramme ou de programme universitaire axé sur l'efficacité énergétique, quoiqu'il y aurait, dit-on, à l'heure actuelle dans les instances universitaires québécoises, discussion d'un projet de Chaire de recherche industrielle en efficacité énergétique.

Toutes les universités donnent les cours de base en thermodynamique et en transfert de chaleur, mais cela s'arrête souvent à des connaissances de base qui ne suffisent pas à répondre aux besoins de l'industrie. Une alternative est envisageable, vu les pénuries appréhendées : créer, à l'instar de la concentration en énergie renouvelable, un microprogramme ou un programme multidisciplinaire et multi-universitaire[20] en efficacité énergétique qui serait également soutenu par l'industrie.

Afin de rendre opérationnel l'exercice, les technologies de l'information pourraient être mises à contribution. En développant des cours web de base en thermodynamique et en transfert de chaleur, il se dégagerait des ressources professorales qui pourraient contribuer à la création d'un microprogramme ou d'un programme multidisciplinaire et multi-universitaire en efficacité énergétique pour les ingénieurs. Ces cours web devront toutefois être conçus et être approuvés par l'ensemble des universités, qui ont été réticentes par le passé à créditer aux étudiants des cours suivis dans une autre institution d'enseignement. Cette solution pourrait aussi s'appliquer au domaine des biocarburants, aux énergies renouvelables et conventionnelles, de même qu'au secteur des transports. Cette façon de faire aiderait notamment les ingénieurs actuels à parfaire leur connaissance en conciliant travail et formation continue.

5.3.3. Énergies conventionnelles

Nous avons déjà discuté de l'Institut en génie de l'énergie électrique, soutenu par Hydro-Québec. Mais la société d'État dispose également de deux autres centres de recherche qui lui sont associés dans le domaine du génie, soit l'Institut de recherche d'Hydro-Québec (IREQ) et le Laboratoire des technologies de l'énergie (LTÉ). En plus des formations universitaires dans le domaine du génie électrique, ces centres de recherche assurent une formation adéquate des ingénieurs en énergie électrique.

En ce qui concerne le gaz naturel, le Québec dispose du Centre des technologies du gaz naturel (CTGN), soutenu principalement par Gaz Métro. À l'interne, Gaz Métro aussi compte un groupe de développement et d'assistance technologique appelé DATECH. On peut donc ici encore conclure qu'il existe au Québec des façons de parfaire ses connaissances dans le domaine du gaz naturel malgré le désintéressement relatif des universités.

Quant aux domaines de l'essence, du diesel, du mazout et des autres carburants et combustibles de ce type, la formation donnée aux ingénieurs n'est pas aussi développée que pour le gaz naturel et l'électricité. L'institut de chimie et de pétrochimie rattaché au Collège de Maisonneuve tente bien d'ouvrir la voie, mais il n'est pas directement rattaché à une institution universitaire. Cela reste une manière de faire intéressante à explorer, surtout si l'on tient compte des synergies à exploiter avec les biocarburants dans les mélanges avec les combustibles classiques (B5, B20, etc.). En somme, la formation liée aux recherches sur les produits pétroliers doit être bonifiée.

---

[20] Le Dr Gaëtan Lafrance avait déjà proposé de créer un département des sciences de l'énergie multidisciplinaire et multi-universitaire dans son ouvrage *Vivre après le pétrole : mission impossible?* (p. 391).

5.3.4. Transport

Le secteur du transport consommait 27 % de toute l'énergie au Québec en 2005. De ce total, le transport routier compte pour plus des trois quarts de la consommation énergétique. Il y a clairement du travail à faire sur ce plan, comme nous l'avons déjà souligné en examinant les mesures timides de l'Agence de l'efficacité énergétique en matière de transport. Au cours des dernières décennies, les caractéristiques de la demande en transport des marchandises ont changé : le juste-à-temps, le porte-à-porte, la fréquence plus grande, la meilleure fiabilité, le temps de transit, la flexibilité et l'internationalisation des marchés ont favorisé le camionnage pour le transport de marchandises sur le marché québécois. Il faut donc considérer que le rôle du camionnage dans le transport des marchandises est appelé à s'accroître.

Si on doit penser aux carburants d'avenir, tel l'hydrogène, il faut également s'intéresser à l'efficacité et au choix des équipements : les accumulateurs, les piles à combustible, les véhicules hybrides, les véhicules électriques, etc. Les ingénieurs auront un rôle important dans l'amélioration du cycle de vie well-to-wheel de cet important secteur d'activité. Il faut donc s'attaquer à la fois à la formation des ingénieurs en matière de carburants d'avenir et aux différents moyens de locomotion.

Les grandes flottes de transport de marchandises peuvent être des leaders dans la transformation du marché. Par conséquent, il convient de former des ingénieurs qui viendront réduire leurs coûts d'opération avec de nouveaux carburants et des technologies améliorant la locomotion. Outre le secteur du transport routier, le nouveau Centre National du Transport Avancé (CNTA), successeur du Centre d'expérimentation des véhicules électriques du Québec (CEVEQ), aura un rôle important à jouer en agissant pour le développement, la coordination et la mobilisation de tous les acteurs du milieu du transport terrestre avancé. En définitive, il ne faut pas passer sous silence l'importance que joueront les ingénieurs au sein des sociétés de transport en commun et des autobus privés, puisque, comparativement à l'automobile, le transport collectif produit actuellement 95 % moins de monoxyde de carbone, 90 % moins de composés organiques volatils et 50 % moins de dioxyde de carbone et d'oxyde nitreux par mille passagers (ATUQ, 2008).

5.3.5. Formation continue

Si certains ordres professionnels obligent leurs membres à avoir recours à la formation continue pour pouvoir continuer d'exercer leur profession, ce n'est pas encore le cas des ingénieurs. Cependant, compte tenu de la situation au Québec, lorsqu'on se demande où mettre les efforts afin de combler les lacunes en matière de formation des ingénieurs québécois dans le domaine de l'énergie, on est tenté de se doter de formations continues.

L'Association québécoise pour la maîtrise de l'énergie (AQME) est d'ailleurs une pionnière en la matière. Ayant constaté que plusieurs formations existaient et que ses membres lui faisaient fréquemment la remarque qu'ils ne disposaient pas des formations répondant à leurs besoins, l'AQME a créé son Centre de formation en maîtrise de l'énergie. Ce centre est né de la volonté de répondre aux besoins imminents des intervenants du milieu de l'énergie en termes de formation et de certification spécialisées. Ainsi, le Centre offre notamment des formations et des certifications de niveau international en lien avec des projets en efficacité énergétique. Il serait donc pertinent, une fois l'offre de formation augmentée dans le domaine de l'énergie au Québec, de regrouper les formations disponibles en la matière, à l'instar de ce qu'a fait l'AQME.

5.4. La contribution des ingénieurs au développement technologique et à la formation dans le secteur énergétique québécois

Tel qu'abordé précédemment, trois principales barrières de marché semblent limiter le développement et le déploiement des technologies à faible émission de GES sur les marchés : ce sont les problèmes techniques, le manque d'infrastructures physiques et le manque ou la faiblesse du cadre réglementaire (ÉcoRessources Consultants, 2008b). Ces barrières empêchent le marché de fonctionner de façon optimale et efficace. Ainsi, mettre l'accent sur ces obstacles et y remédier contribuera à générer des résultats positifs aux plans économique et environnemental.

Les problèmes techniques. Plusieurs contraintes techniques ont été identifiées par les acteurs œuvrant dans les diverses filières énergétiques comme facteurs limitant le développement des technologies à faibles émissions de GES ou encore comme facteurs compliquant leur déploiement sur les marchés à l'échelle commerciale. Nul doute, contribuer à résoudre les problèmes techniques et encourager les avancées technologiques peut exercer un effet direct sur la diminution des coûts de ces technologies. Certains programmes offerts au Québec fournissent de l'aide financière pour le développement de prototypes pré-commerciaux, permettant d'accélérer la pénétration de ces technologies sur le marché. Ils peuvent également avoir des effets complémentaires importants, tels que la réduction des risques et l'augmentation de la quantité d'informations disponibles pour les développeurs, les investisseurs et les consommateurs.

Le manque d'infrastructures physiques. L'investissement dans les infrastructures nécessaires pour le développement et le déploiement des technologies à faible émission de GES constitue un élément clé pour la réduction de leurs coûts. Le manque d'infrastructures associé au déploiement d'une nouvelle technologie ainsi que les solutions alternatives nécessaires pour soutenir la technologie avant son déploiement à grande échelle contribuent à augmenter le coût de la technologie. Une infrastructure adéquate est donc nécessaire à l'augmentation de l'efficacité de la technologie. Avec la mise en place des infrastructures nécessaires, plus d'intervenants seront encouragés à adopter une nouvelle technologie, introduisant alors de la concurrence, qui entraîne elle-même une réduction des coûts.

Le manque ou la faiblesse du cadre réglementaire. Il est également important que le cadre réglementaire entourant les technologies émettrices de GES soit clair, simple et praticable à long terme. Un cadre réglementaire visant à réduire les émissions de GES avec l'introduction d'un système de permis échangeables, par exemple, contribuerait à réduire les risques des nouveaux investissements et à faciliter la planification des entreprises à long terme.

Un certain nombre de lignes directrices peuvent contribuer au succès d'une politique de développement et de déploiement technologique (OECD, 2001; WRI, 2008). Ces principes sont couramment utilisés pour concevoir des lois ou règlements visant l'atteinte d'objectifs de développement durable, c'est-à-dire contribuant positivement aux aspects économiques, environnementaux et sociaux d'une filière, d'un secteur ou d'un projet. Des exemples concrets sur les manières possibles pour les ingénieurs de contribuer à la définition de politiques respectant ces lignes directrices sont fournis à titre indicatif ci-dessous (Foxon and Pearson, 2008; Jaffe et al, 2005; Nilsson and Wene, 2001; Steenberghen and Lopez, 2008) :

- **Long terme**. Les politiques technologiques doivent être conçues pour être prévisibles et stables sur de longues périodes afin d'assurer la planification efficace de projets, de minimiser les risques, d'inspirer la confiance des investisseurs et de motiver les consommateurs. Il est donc souhaitable de se prononcer en faveur d'objectifs environnementaux clairs et stables à long terme (20 ans), avec étapes concrètes intermédiaires, pour encourager le développement et le déploiement des technologies à faibles émissions de GES.
- **Information**. Il est impératif que les décideurs aient accès à l'information la plus récente sur les outils et sur les approches pouvant être utilisés en vue de favoriser le développement ou le déploiement des nouvelles technologies. Il est donc souhaitable de contribuer

à l'acquisition des connaissances sur les nouvelles technologies, de travailler en collaboration avec le secteur public, de promouvoir les interconnexions entre les instituts de recherche, les développeurs de technologies, les experts et les représentants des gouvernements, de surveiller ce qui se passe dans les autres régions du monde et de contribuer à diffusion les connaissances.

- **Variété**. Afin d'assurer le succès à long terme d'une politique, il est important de considérer plusieurs options et d'éviter d'encourager une technologie en particulier, par exemple en misant sur les résultats (atteindre les objectifs) plutôt que sur les moyens. De même, il est souhaitable de procéder à l'analyse des coûts et des bénéfices des technologies potentielles, envisagées sous l'angle de divers scénarios politiques, économiques, environnementaux et sociaux, afin d'identifier les avenues les plus prometteuses compte tenu des incertitudes.
- **Flexibilité**. La flexibilité est primordiale, tant du côté des gouvernements dans la définition des politiques qui doivent tenir compte des avancées technologiques, que du côté des développeurs de technologies et autres intervenants qui travaillent à satisfaire les objectifs. Il est bon de procéder régulièrement à l'évaluation des technologies, afin de mesurer leur impact et leur contribution sur le marché et orienter les projets en fonction du succès potentiel et de l'atteinte des objectifs.
- **Consultation et collaboration**. La mise en pratique de ce principe passe par la consultation du public aux divers stades de développement des projets impliquant une nouvelle technologie (approche participative), ainsi que par l'implication dans les réseaux ou groupes de travail réunissant les acteurs du milieu, et par la participation aux partenariats ou accords internationaux sur le sujet.

Les autres principes, bien que tout aussi importants, interpellent moins les ingénieurs. Ce sont par exemple la clarté, la transparence et la simplicité des politiques (développer des indicateurs de performance des programmes, formuler des règles claires, centraliser l'information, procurer les ressources nécessaires, développer des procédures simples, etc.); la cohérence et la compatibilité des politiques entre-elles, entre les ministères et entre les paliers de gouvernements; l'équité et l'acceptabilité sociale quant à la répartition des coûts et bénéfices; et enfin la surveillance et la conformité aux règlements par l'instauration d'un contexte légal.

Concrètement, les ingénieurs peuvent s'impliquer, influencer les orientations, les façons de voir, et diffuser plus rapidement les technologies qui vont améliorer l'efficacité du secteur énergétique, et ainsi contribuer au développement durable de plusieurs manières :

- En participant aux consultations du processus d'élaboration de politiques. Ces périodes sont des moments importants pour faire valoir ses points de vue et influencer le débat; c'est dans ce cadre que se décident notamment les orientations quant aux moyens de production énergétiques et aux choix en matière d'efficacité énergétique. Il est donc essentiel de participer aux consultations liées à ce processus sous toutes les formes – rencontres avec les autorités du MRNF, présentation de mémoires, commissions parlementaires, etc.
- En influençant les choix et en sensibilisant le public. Un réseau de la nature du RéseauIQ dispose d'un certain nombre de moyens pour se faire entendre. La publicité bien ciblée sur les services offerts et sur la nature du travail des ingénieurs, et les interventions répétées dans des forums aux clientèles variées en sont de bons exemples.

La formation des ingénieurs en énergie demeure un élément central pour pouvoir intervenir à la fois en amont du processus (élaboration de stratégies dans le secteur de l'énergie) et au cours du processus (application des technologies et des savoir-faire appropriés). C'est en formant adéquatement les ingénieurs dans les domaines cités précédemment à la Section 5.3, qu'avec le temps ils occuperont des postes un peu partout, dans le secteur privé et dans la fonction publique notamment, et influenceront les orientations et les choix en matière de politique énergétique.

Concrètement, les ingénieurs peuvent s'impliquer, influencer les orientations et les façons de faire qui vont améliorer la formation dans le secteur énergétique et contribuer au développement durable de plusieurs manières. Par exemple :

- Par l'augmentation et la bonification de la formation dans le secteur des énergies renouvelables;
- Par la mise en place d'un institut de recherche et de développement axé spécifiquement sur l'analyse des mesures d'économies d'énergie et de réduction des émissions de GES, notamment dans le secteur des énergies conventionnelles.

6. UNE POLITIQUE ENERGETIQUE POUR UN QUEBEC PROSPERE

6.1. Le contexte entourant la mise en œuvre de la politique énergétique

Le contexte énergétique mondial était caractérisé il y a quelques mois à peine par une forte augmentation de la demande d'énergie, principalement en provenance des pays en développement comme la Chine et l'Inde, et toutes les projections officielles montrent que cette tendance se poursuivra à long terme. Parallèlement à l'augmentation habituelle et structurelle de la demande, nous assistons également à une raréfaction des sources d'énergie conventionnelles. Les principaux pays producteurs de pétrole brut seront de moins en moins capables d'accroître leur capacité de production pour répondre à la demande mondiale.

Il en découle un impact sur le prix du baril de pétrole, qui augmente de façon significative depuis quelques années. Malgré l'accalmie conjoncturelle des derniers mois, due à la sévère récession économique que traverse actuellement l'économie mondiale, une telle situation de pénurie relative continuera de créer une pression à la hausse sur le prix des hydrocarbures, et sur celui du pétrole brut en particulier. Les questions de sécurité énergétique prennent de plus en plus d'importance dans plusieurs régions à travers le monde, dont le Québec, qui est un importateur net d'énergie. La province est soumise, comme d'autres états, à l'instabilité sociopolitique des principales zones de production des formes d'énergie conventionnelles.

Dans ce contexte, il faut accélérer l'analyse des choix qui s'offrent à la société québécoise, car les choix possibles sont nombreux. La société québécoise doit trouver des pistes de solution afin que le développement des différentes filières énergétiques corresponde à ses besoins et soit en accord avec ses moyens, dans une perspective de développement durable. Aussi, les experts, dont les ingénieurs, ont un rôle important à jouer dans la nécessaire prise de conscience globale de ces questions; ils doivent contribuer au changement des habitudes de consommation énergivores et dépendantes des formes d'énergie conventionnelles. Pour y parvenir, ils se doivent de porter un jugement sur les enjeux actuels entourant le développement du secteur énergétique québécois, de se positionner en faveur des filières énergétiques qui s'harmonisent avec le développement durable, d'ajuster leurs façons de faire en fonction de ces nouvelles opportunités et de proposer des solutions pour effectuer les choix technologiques appropriés.

Les recommandations présentées ci-dessous visent à fournir des orientations au RéseauIQ quant aux diverses questions soulevées par le développement durable des secteurs énergétiques au Québec.

6.2. Les particularités du secteur énergétique québécois

Au Québec, les industries demeurent les plus grandes consommatrices d'énergie (40 %), suivies du secteur des transports (27 %) qui nécessite également une part importante de la quantité d'énergie finale, alors que les secteurs résidentiel, commercial et agricole se partagent le reste (33 %).

Selon le scénario de référence du MRNF, la consommation énergétique totale augmente de 1,2 % en moyenne chaque année sur la période 2001-2016, et la proportion des différentes formes d'énergie ne change pas de façon significative. L'industrie manufacturière, forte consommatrice d'électricité, et le transport routier des marchandises constituent des secteurs où la consommation énergétique augmente plus rapidement que l'ensemble de l'économie.

La politique énergétique québécoise des dernières années, fondée sur le développement de l'hydroélectricité, a grandement favorisé l'utilisation de l'électricité dans tous les secteurs de l'économie selon des proportions beaucoup plus importantes que dans les autres provinces canadiennes et que dans la plupart des autres juridictions (où le gaz naturel est davantage utilisé). Grâce à ce patrimoine hydroélectrique, les prix payés par les consommateurs pour l'électricité au Québec sont parmi les plus bas en Amérique du Nord et

ces prix compétitifs ont grandement contribué au renforcement économique de la province. Un débat existe cependant à ce sujet, dans la mesure où le bas prix de l'électricité ne favorise ni la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique ni le développement de sources d'énergie alternatives. D'ailleurs, la consommation énergétique par habitant au Québec est nettement supérieure à celle d'autres pays développés. Une comparaison avec les pays scandinaves illustre particulièrement bien le fait qu'il est possible de faire davantage d'efforts en matière d'efficacité énergétique.

Le secteur des transports est, quant à lui, essentiellement dépendant de la consommation de produits pétroliers, soit de l'essence et du diesel, comme dans la grande majorité des autres juridictions. Le Québec importe la totalité du pétrole brut et du gaz naturel nécessaire à la consommation. Les exportations des produits énergétiques ne représentent pas une partie importante de la valeur ajoutée du secteur énergétique, et la balance commerciale du secteur énergétique est négative. Malgré la chute du prix du baril de pétrole brut depuis juillet 2008, les pronostics mondiaux prévoient tous une augmentation du prix du baril de pétrole à long terme.

Actuellement, la production d'énergie au Québec se limite principalement à la production d'électricité et au raffinage de produits pétroliers. De la capacité électrique installée en 2005, 92,2 % étaient fournis par l'hydroélectricité. Les centrales thermiques ont fourni 5,3 %, le central nucléaire 1,5 % et les installations éoliennes 0,9 %. La grande majorité de cette capacité installée (78 %) est la propriété d'Hydro-Québec. Il importe de noter la croissance très rapide de la filière éolienne au Québec; une capacité éolienne de 3 500 MW est prévue pour 2017, ce qui représenterait environ 8 % de la capacité totale du Québec. Le raffinage de produits pétroliers constitue également un secteur important de la production d'énergie. La capacité journalière des trois principales raffineries (Petro-Canada et Shell à Montréal; Ultramar à Lévis) totalise 479 milliers de barils en 2007 (MRNF, 2009). De plus, des efforts importants sont déployés pour l'exploration, et jusqu'à présent quatre gisements ont été identifiés.

Quant aux perspectives de développement du secteur énergétique, des orientations ont été identifiées dans la Stratégie énergétique 2006-2015 rendue publique par le gouvernement du Québec en mai 2004 (MRNF, 2006). Afin de mettre en œuvre la Stratégie, un mandat important est confié à l'Agence de l'efficacité énergétique pour bâtir un *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies 2007-2010*, couvrant tous les marchés et toutes les formes d'énergie. Une des six orientations concerne la mise en place de cibles d'économie d'énergie ambitieuses pour toutes les formes d'énergie à l'horizon 2015, y compris les produits pétroliers, pour lesquels des cibles sont adoptées pour la première fois. L'objectif global du gouvernement est de générer des économies annuelles de 2,5 G$ pour le Québec et une réduction des émissions annuelles de GES de 9,4 millions de tonnes.

Enfin, notons que l'innovation en matière de nouvelles technologies énergétiques constitue aussi un élément central de la Stratégie, qui compte développer une filière québécoise de l'éthanol produit à partir de résidus forestiers, agricoles et municipaux, ainsi qu'un soutient à la géothermie et à l'énergie solaire.

6.3. Recommandations et orientations

La croissance énergétique optimale du Québec est étroitement liée au choix d'une société d'être simplement autosuffisante, d'exporter un maximum d'électricité ou de se situer quelque part entre les deux. Le Québec est donc en quelque sorte à la croisée des chemins quant aux décisions à prendre concernant ses infrastructures énergétiques. À cet égard, nous pouvons dresser un parallèle avec les infrastructures routières, où le gouvernement du Québec a décidé d'investir massivement au cours des dernières années, parvenant à peine à maintenir le réseau routier en état et à faire face à la croissance des besoins des utilisateurs. Le dilemme énergétique dans lequel la société se trouve est de choisir entre :

- L'efficacité énergétique;
- La modernisation des actifs en mode proactif plutôt que réactif;
- Le développement de nouvelles capacités de production d'énergie pouvant assurer notre croissance.

Le portrait global de la situation énergétique du Québec et les scénarios de croissance de la demande présentés précédemment fournissent des indications pertinentes pour se positionner sur la question.

Lorsque les distributeurs d'électricité et de gaz naturel se présentent devant la Régie de l'énergie pour faire approuver leur plan d'approvisionnement visant à combler la demande énergétique québécoise, la loi les oblige à présenter leurs solutions après avoir tenu compte de toutes les mesures en efficacité énergétique rentables. Il est donc logique de procéder de cette manière avant de proposer des pistes de solution sur la modernisation des actifs et sur le développement de nouvelles capacités de production d'énergie.

6.3.1. Faire de l'efficacité énergétique

La meilleure énergie est celle que la société québécoise ne consomme pas. En effet, nous avons vu que la valeur des dépenses en énergie au Québec en 2005 s'élevait à 29,1 G$, soit 10,6 % de la dépense intérieure brute, ce qui n'est pas négligeable.

À long terme, l'inefficacité énergétique prive le Québec de retombées économiques importantes, car l'électricité gaspillée pourrait générer des revenus intéressants sur le marché des exportations. À titre indicatif, notons que la réduction de 0,5 tep *per capita* d'ici 5 ans et de 1 tep *per capita* d'ici 10 ans permettrait de faire des économies d'énergie de 88 TWh (basé sur une population de 7,6 millions d'habitants en 2006) et ainsi réduire la dépendance énergétique du Québec d'une proportion correspondant à peu près à deux centrales comme celle de Robert-Bourassa (La Grande-2).

L'efficacité énergétique s'affiche par conséquent comme le premier choix à faire dans une perspective de développement durable, c'est-à-dire pour réduire nos besoins énergétiques et améliorer la productivité de nos entreprises. Les ingénieurs contribuent actuellement de façon significative à la réussite des différents programmes d'efficacité disponible au Québec et souhaitent y contribuer davantage. Le Québec dispose d'ingénieurs qualifiés dont l'expertise pourra être encore plus grande, si les intervenants et le marché lui donnent les outils dont ils ont besoin.

Il est logique de participer à la réalisation de projets d'efficacité énergétique, tant que le coût de la mesure d'économie énergétique n'atteint pas le montant des frais épargnés par la réfection ou par la construction d'une infrastructure de production énergétique. Qui payerait plus cher pour un projet d'efficacité énergétique quand celle-ci ne compense pas l'ensemble de la croissance de la demande en énergie au Québec? Surtout qu'inévitablement il faudra un jour ou l'autre rénover ou construire de nouvelles infrastructures énergétiques.

Recommandations :

1) Développer de nouveaux programmes et interventions en transport et en nouvelles technologies via l'expertise et l'innovation des ingénieurs dans ces secteurs (voir section 6.3.2);

2) Accélérer les efforts en efficacité énergétique dans les programmes existants des secteurs affaires et industriel, afin que le Québec atteigne ses objectifs d'économie d'énergie pour les produits pétroliers à l'horizon 2015. Les moyens suivants favoriseraient l'atteinte de cet objectif :

   - Mettre sur pied un Fonds national d'efficacité énergétique garanti par le gouvernement du Québec, qui consent des prêts aux entreprises dont le remboursement se fait à même les économies générées une fois l'investissement initial récupéré;
   - Mettre en place des crédits d'impôt favorisant la création de postes de gestionnaire de l'énergie en entreprise.

3) Réaliser davantage de projets d'efficacité énergétique soutenus par les programmes actuels de l'Agence de l'efficacité énergétique et par ceux des distributeurs d'énergie, en collaboration avec les clientèles industrielle, institutionnelle et affaires.

6.3.2. Optimiser le secteur des transports

Dans le but d'atteindre l'objectif ambitieux établi par le gouvernement de réduire la consommation de produits pétroliers, il est nécessaire de considérer l'ensemble des mesures d'efficacité énergétique potentielles touchant aux activités de transport. Rappelons que le secteur des transports est celui qui consomme la plus grande part de produits pétroliers (essence et diesel). Avec l'augmentation constante prix du baril de pétrole, d'un point de vue économique, le rôle pivot de ce produit devient indiscutable, que ce soit sous l'angle de la dépense du consommateur ou encore sous celui du bilan net des échanges du Québec avec l'extérieur. Par ailleurs, le secteur des transports contribue à plus de la moitié des émissions de GES provenant de la combustion énergétique au Québec.

Recommandations :

4) Promouvoir des stratégies d'efficacité énergétique intégrées en transport, puisque les conclusions de plusieurs études mettent en évidence le fait qu'aucune mesure prise individuellement ne peut mener à des économies d'énergie suffisantes.

5) Miser d'abord sur le transport des personnes en milieu urbain, d'une part parce que ce sous-secteur compte pour la majorité de l'énergie consommée à des fins de transport et d'autre part parce que plusieurs mesures examinées offrent un avantage net à la société (bénéfices supérieurs aux coûts).

6) S'orienter vers la mise en œuvre des mesures d'efficacité énergétique prometteuses en termes de rentabilité pour la société, de simplicité de la mise sur pied des mesures, ainsi qu'en termes de préférence des consommateurs et de contribution potentielle des ingénieurs :

   - L'utilisation du transport en commun par la réduction de la tarification, par les investissements dans les infrastructures et par l'augmentation des services aux voyageurs;
   - La création de voies réservées aux véhicules à plusieurs occupants (avec la promotion du covoiturage et le transport en commun);
   - La mise en vigueur de normes d'efficacité énergétique pour les nouveaux véhicules (à faible consommation d'essence, au diesel propre, hybrides et munis de piles à combustible, etc.);
   - La réalisation des infrastructures d'autoroutes en béton;
   - La conception de systèmes intelligents de transport.

7) Sensibiliser la population, puisque la grande majorité des mesures d'économies d'énergie visent ou impliquent un changement de comportement des utilisateurs du transport.

8) Mettre en place une politique de développement de l'industrie des véhicules hybrides et électriques au Québec. Les moyens suivants pourraient favoriser l'atteinte de cet objectif :

- Investir dans la recherche et le développement de la technologie des piles pour résoudre les problèmes techniques (amélioration de l'autonomie et diminution du temps de recharge), et participer aux efforts de recherche et de développement en cours. Adapter la réglementation routière afin de permettre l'utilisation légitime et sécuritaire des véhicules hybrides et électriques en cohabitation avec des véhicules traditionnels dont les caractéristiques techniques diffèrent.
- Investir massivement dans la création et la coordination d'un véritable pôle industriel de développement du véhicule électrique, notamment en regroupant les ressources scientifiques, techniques, humaines et matérielles, en coordonnant les efforts des organismes publics, parapublics ainsi que des entreprises impliquées et, enfin, en finançant les projets de développement de produits.
- Favoriser l'implantation de programmes d'achat et de remplacement progressif des flottes de véhicules par des véhicules hybrides et électriques au sein des organismes et entreprises publics.
- Établir un réseau de soutien technique et de points de recharge pour les véhicules hybrides rechargeables et les véhicules électriques.
- Planifier les améliorations à apporter au réseau électrique pour gérer la demande accrue due à la recharge de véhicules électriques rechargeables, particulièrement dans les périodes de pointe (besoin d'une tarification variable selon l'heure d'utilisation). Et tirer profit des avantages du stockage d'énergie d'une grande flotte de véhicules (notion de réseau intelligent).
- Utiliser des incitatifs afin d'encourager les consommateurs à adopter les véhicules hybrides et électriques, tels que des remises sur des véhicules de haute efficacité énergétique, ou des charges supplémentaires sur des véhicules moins efficaces.

6.3.3. Moderniser les actifs de production d'énergie

Les ingénieurs ont encore une fois un rôle majeur à jouer lorsqu'il est question de rénover les infrastructures énergétiques au Québec. Il n'est pas dans l'intérêt général de laisser dépérir les infrastructures énergétique comme l'ont été les infrastructures routières au cours des dernières décennies. Nous devons tout faire pour sauvegarder le patrimoine collectif que constitue le parc d'équipements énergétiques québécois.

L'utilisation de l'hydroélectricité comme moyen de production d'énergie comporte plusieurs avantages qu'il faut préserver : la matière première (l'eau) est renouvelable, et son coût est nul; la production d'électricité est relativement stable, prévisible et contrôlable selon la demande. De plus, la production d'hydroélectricité ne génère pas de déchets toxiques et peu de polluants atmosphériques. Il est possible d'augmenter la capacité installée pour la production d'hydroélectricité avec des impacts financiers, environnementaux et sociaux mineurs, en accord avec le concept de développement durable.

La centrale nucléaire Gentilly-II est également au cœur des discussions sur la modernisation des actifs énergétiques québécois. Elle devra également être considérée à sa juste valeur, compte tenu de l'importance de diversifier le portefeuille énergétique du Québec. En effet, une centrale nucléaire fonctionne sur une base continue toute l'année, ce qui est un excellent moyen de compenser un éventuel manque d'eau dans les barrages d'Hydro-Québec. Nous ne pouvons nous permettre en tant que société de risquer un délestage en rotation des municipalités en période hivernale par incapacité de satisfaire la demande. Par contre, on ne peut passer outre les problèmes associés à l'énergie nucléaire, lesquels se résument aux coûts très élevés des investissements initiaux, aux risques d'accident, à la perception négative de la population, ainsi qu'à la problématique gestion des déchets radioactifs.

Du point de vue social, l'acceptabilité du milieu est essentielle pour la réalisation du projet. À cet effet, l'efficacité énergétique et la réfection d'infrastructures énergétiques existantes n'ont que peu ou pas d'impact sur les gens. La population de Bécancour a par ailleurs clairement démontré son appui à la réfection de la centrale Gentilly-II, les seules notes discordantes provenant de certains groupes écologistes.

Recommandations :

9) Afin d'assurer le maintien de la qualité du réseau et de l'expertise énergétique québécoise dans toutes les filières, il faut notamment :

   - Aller de l'avant avec la modernisation des centrales hydroélectriques prévue par Hydro-Québec (Beauharnois, La Tuque, Outardes-3 et Outardes-4);
   - Moderniser la centrale nucléaire Gentilly-II.

10) Appuyer la modernisation des raffineries présentes sur le territoire québécois, puisque celles-ci assurent la disponibilité des carburants fossiles actuellement utilisés dans les secteurs des matériaux et des transports.

Le prix de ces réfections ne doit évidemment pas dépasser les coûts évités liés à la construction d'une nouvelle infrastructure de production énergétique. Étant donné que ce type de mesure ne se réalise qu'à la fin de la vie utile des vieux équipements, nous ne pourrons pas combler tous les besoins énergétiques du Québec avec la seule réfection des infrastructures énergétiques.

6.3.4. Développer de nouvelles capacités de production électrique

Une fois les projets d'efficacité énergétique et la réfection des infrastructures énergétiques en cours, le Québec devra parallèlement se doter de nouveaux équipements de production énergétique, afin d'être capable d'affronter la demande croissante en énergie des citoyens et des entreprises, ce qui permettra à ces dernières d'assurer la croissance économique et la sécurité énergétique du Québec.

Par exemple, la croissance prévue du secteur manufacturier et le développement de l'industrie des véhicules hybrides et électriques sont des facteurs qui auront un impact certain sur la demande d'électricité. Selon le Centre d'expérimentation des véhicules électriques du Québec (CEVEQ), une pénétration des véhicules électriques dans une proportion de 10 % de l'ensemble des véhicules au Québec exigerait une réserve de puissance de 450 MW (1 % de la puissance totale actuellement disponible).

Certes, des projets de grandes centrales hydroélectriques offrent certaines possibilités, mais les sites les plus rentables ont déjà été aménagés. Pour ce qui est des projets de construction en cours, Hydro-Québec a toutefois conclu des ententes avec les Premières Nations et les MRC afin d'assurer un développement harmonieux des nouvelles centrales hydroélectriques. Ce mode de fonctionnement devrait être reconduit, peu importe le type de nouvelle infrastructure énergétique développé.

Étant donné les préoccupations croissantes au sujet de la qualité de l'environnement, notamment à l'égard des émissions de GES, ainsi qu'au sujet de la sécurité énergétique et du prix du pétrole, les énergies renouvelables se développent très rapidement au niveau mondial. La filière éolienne est déjà en forte croissance au Québec. Elle détient plusieurs avantages, dont les faibles coûts d'investissements initiaux, les coûts inexistants pour la matière première, un soutien technique relativement simple et des émissions de GES nulles. À l'issue du second appel d'offres d'Hydro-Québec, pour l'achat de 2 000 MW, le prix moyen de l'électricité des 15 offres retenues est de 10,5 ¢/kWh. Par contre, l'inconvénient principal de la filière éolienne est son caractère intermittent; pour cela, cette forme d'énergie est considérée comme une ressource énergétique complémentaire à l'hydroélectricité. De plus, cette filière fait l'objet de certaines critiques en regard de la pollution visuelle et sonore.

Quant à l'énergie nucléaire, le gouvernement n'a pas à ce jour manifesté la volonté de construire de nouvelles centrales au Québec, ce qui satisfait les groupes écologistes inquiets de l'entreposage des déchets radioactifs. Finalement, une partie de la population québécoise s'est prononcée contre les projets de centrale thermique; le contexte n'est donc pas favorable en ce sens.

Les ingénieurs ont un rôle capital à jouer dans la construction des nouvelles infrastructures énergétiques qui permettront d'assurer la croissance économique et la sécurité énergétique du Québec et qui minimiseront l'impact sur les finances publiques, sur l'environnement et sur les citoyens, de façon obéir au principe du développement durable.

Recommandations :

11) Construire les nouvelles infrastructures hydroélectriques actuellement prévues par Hydro-Québec (Eastmain-1, Péribonka, Chute-Allard et Rapide-des-cœurs, Eastmain-1-A-Sarcelle-Rupert et La Romaine).

12) Poursuivre le développement de la filière éolienne, dont la capacité installée est actuellement de 430 MW, mais qui devrait atteindre 3 500 MW en 2017.

13) Remédier aux obstacles qui pour le moment limitent le développement de la filière éolienne et son déploiement à plus grande échelle sur le marché. Les moyens suivants favoriseraient l'atteinte de cet objectif :

- Encourager l'intégration d'un plus grand potentiel de distribution d'énergie éolienne dans le réseau de transport d'électricité.
- Financer les travaux de recherche et de développement nécessaires pour l'amélioration des techniques de stockage d'énergie et des modèles de prévision des vents afin que l'énergie éolienne puisse mieux contribuer à la gestion de la demande. Financer aussi les projets en milieu nordique et maritime présentant des conditions d'exploitation extrêmes.
- Considérer l'implantation de systèmes hybrides hydro-éolien dans le cadre des nouveaux projets de développement hydroélectrique.
- Normaliser et simplifier les processus de réglementation, et améliorer la coordination des politiques intergouvernementales.

6.3.5. Appuyer le développement de la microproduction d'électricité

Il existe un intérêt significatif de la part du public québécois pour la microproduction d'électricité renouvelable, surtout en milieu rural et agricole. Ces options sont également intéressantes pour les communautés isolées où la production d'électricité se fait à partir de génératrices au diesel.

Nous devons effectuer nos futurs choix en tenant compte notamment du coût de revient des différentes filières de microproduction d'électricité en émergence (Tableau 32).

TABLEAU 32 - COÛT DE REVIENT DES FILIÈRES DE MICROPRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ AU CANADA

Éolienne	Solaire	Biogaz	Biomasse agricole et forestière
12 à 30 ¢/kWh	51 ¢/kWh	14 -15 ¢/kWh	10 ¢/kWh

* Tirés de projets concrets réalisés au Canada, principalement en Ontario.

Bien que les coûts paraissent élevés, il ne faut pas écarter ces options *a priori*, mais encourager leur développement de façon raisonnable. Les objectifs de ces nouvelles filières de microproduction d'électricité ne doivent pas être considérés uniquement en termes économiques, mais également en termes environnementaux et sociaux. Le développement de la microproduction d'électricité au Québec peut procurer de nombreux avantages aux communautés éloignées, ainsi qu'à la population en général :

- Diversifier les sources d'énergie;
- Favoriser la sécurité énergétique du Québec par cette diversification;
- Soutenir le développement rural et la création d'emplois par le développement des technologies, et par l'implantation et l'entretien des installations;
- Favoriser le développement de nouvelles technologies, inciter la recherche et l'investissement dans cette sphère;
- Diversifier les revenus par la revente d'électricité.

Recommandations :

14) Mettre en place un cadre de développement de la microproduction d'électricité renouvelable (via les filières éolienne, solaire photovoltaïque et thermique, géothermique, et la valorisation du biogaz et de la biomasse) autorisant les producteurs à vendre l'excédent de leur production à des tarifs préférentiels et à rentabiliser les équipements de production.

6.3.6. Contribuer au développement des biocarburants et autres bioénergies

La contribution des ingénieurs aux avancées technologiques peut être significative dans toutes les filières renouvelables, mais principalement sur le plan des nouvelles technologies de production de biocarburants. Le marché des biocarburants au Québec offre une opportunité intéressante aux ingénieurs, notamment grâce à l'introduction des nouvelles exigences du gouvernement fédéral en matière de proportion de carburants renouvelables dans l'ensemble des carburants (5 % dans l'essence d'ici 2010 et 2 % dans le diesel d'ici 2012).

On connaît bien la première génération de biocarburants, mais celle-ci fait face à de nombreux obstacles, dont certains constituent un incitatif au développement des biocarburants de deuxième et de troisième génération. Par exemple, la production des biocarburants de première génération entre en compétition avec la production de nourriture et l'élevage dans l'utilisation des terres agricoles. Ce problème est moins grand pour ce qui a trait à la prochaine génération de biocarburants, soit parce que les matières premières ont des rendements plus élevés, soit parce que ces nouveaux biocarburants sont produits à partir de résidus et n'entrent donc pas en compétition avec la production des denrées alimentaires pour l'espace cultivable.

Recommandations :

15) Contribuer au développement d'une infrastructure de distribution (pour le stockage, le transport et le mélange) du biodiesel parallèlement aux infrastructures de production, notamment par la mise en œuvre de projets de corridor routier permettant d'étudier les contraintes et les enjeux relatifs à la distribution à grande échelle.

16) Accélérer le développement de la filière de l'éthanol cellulosique, en soutenant les divers projets de démonstration des bénéfices liés à elle et en maintenant les efforts de recherche et de développement déployés à l'heure actuelle pour développer les technologies de production des biocarburants de prochaines générations.

17) Résoudre les problèmes d'approvisionnement en matières premières (résidus) afin de maximiser la rentabilité des projets et de minimiser les émissions de GES associées à leur transport. L'ingénierie des systèmes devra être mise à contribution pour, d'une part, analyser la localisation et la disponibilité des matières premières dans le but de situer les futurs sites de production; ou, d'autre part, déterminer les meilleurs schémas d'approvisionnement des sites de production.

6.3.7. Défis technologiques et de formation dans le secteur énergétique au Québec

Tel qu'abordé précédemment, trois principales barrières de marché semblent limiter le développement et le déploiement des technologies à faible émission de GES sur les marchés : ce sont les problèmes techniques, le manque d'infrastructures physiques et le manque ou la faiblesse du cadre réglementaire (ÉcoRessources Consultants, 2008b). Ces barrières empêchent le marché de fonctionner de façon optimale et efficace. Ainsi, mettre l'accent sur la difficulté posée par ces obstacles et y remédier contribuera à générer des résultats positifs aux plans économique et environnemental.

Concrètement, les ingénieurs peuvent s'impliquer, influencer les orientations, les façons de voir, et diffuser plus rapidement les technologies qui améliorent l'efficacité du secteur énergétique, et ainsi contribuer au développement durable de plusieurs manières.

18) Participer aux consultations liées au processus d'élaboration de politiques.

La formation des ingénieurs dans le domaine de l'énergie est la clé pour que nous soyons en mesure de faire face aux départs massifs à la retraite qui pointent à l'horizon et à la baisse anticipée de la clientèle universitaire. Le problème n'est pas le manque de formation des ingénieurs, mais plutôt la disponibilité de l'offre de formation dans des domaines de pointe. La formation des ingénieurs suit l'offre du marché; et, afin de réussir à bien former nos ingénieurs dans le domaine de l'énergie, il est primordial d'établir des contacts et de collaborer étroitement avec les institutions universitaires (enseignement et recherche) afin d'adapter les formations aux nouvelles réalités du secteur énergétique, en particulier dans les domaines de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et des biocarburants.

Concrètement, les ingénieurs proposent les recommandations suivantes pour améliorer la formation dans le secteur énergétique au Québec :

19) Augmenter la formation dans le secteur des énergies renouvelables;

20) Mettre en place un institut de recherche et développement axé spécifiquement sur l'analyse des mesures d'économie d'énergie et de réduction des émissions de GES, notamment dans le secteur des énergies conventionnelles.

6.4. Sommaire des recommandations et orientations

À la lumière des arguments avancés plus haut, il est plus que souhaitable pour le Québec d'utiliser différents moyens en vue de combler nos besoins énergétiques, ce qui permettra de bien évaluer les disponibilités financières de la société, et ce, dans une perspective de développement durable. Toutes les solutions examinées mettent en relief l'importance qu'auront les ingénieurs dans le pari de doter le Québec de tous les moyens nécessaires pour assurer son développement futur.

L'ensemble des recommandations sont rassemblées au Tableau 33, et des indications sont fournies quant aux acteurs de la société qui devront être impliqués pour mieux orienter l'action future du réseau des ingénieurs.

TABLEAU 33 - RECOMMANDATIONS

Recommandations

FAIRE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE UNE PRIORITÉ

1) Développer de nouveaux programmes et des interventions en transport et en nouvelles technologies en faisant appel à l'expertise et à l'innovation des ingénieurs dans ces secteurs (voir section 6.3.2).

2) Accélérer les efforts en efficacité énergétique dans les programmes existant dans les secteurs affaires et industriel, afin que le Québec atteigne ses objectifs d'économie d'énergie pour les produits pétroliers à l'horizon 2015. Les moyens suivants favoriseraient l'atteinte de cet objectif :
   - Mettre sur pied un Fonds national d'efficacité énergétique garanti par le gouvernement du Québec, qui consent des prêts aux entreprises dont le remboursement se fait à même les économies générées une fois l'investissement initial récupéré;
   - Mettre en place des crédits d'impôt favorisant la création de postes de gestionnaire de l'énergie en entreprise.

3) Réaliser davantage de projets d'efficacité énergétique soutenus par les programmes actuels de l'Agence de l'efficacité énergétique et des distributeurs d'énergie, en collaboration avec les clientèles industrielle, institutionnelle et affaires.

OPTIMISER LE SECTEUR DES TRANSPORTS

4) Promouvoir des stratégies d'efficacité énergétique intégrées en transport, puisque les conclusions de plusieurs études mettent en évidence le fait qu'aucune mesure prise individuellement ne mène à des économies d'énergie suffisantes.

5) Miser d'abord sur le transport des personnes en milieu urbain, car ce sous-secteur compte pour la majorité de l'énergie consommée à des fins de transport; de plus, les mesures dans ce sous-secteur présentent un avantage net à la société (bénéfices supérieurs aux coûts).

6) S'orienter vers la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique prometteuses en termes de rentabilité pour la société, de simplicité de mise en œuvre, ainsi qu'en termes de préférence des consommateurs et de contribution potentielle des ingénieurs importante :
   - L'utilisation du transport en commun par la réduction de la tarification, par les investissements dans les infrastructures et par l'augmentation des services aux voyageurs;
   - La création de voies réservées aux véhicules à plusieurs occupants (avec la promotion du covoiturage et le transport en commun);

- La mise en place de normes d'efficacité énergétique pour les nouveaux véhicules (ceux à faible consommation d'essence, au diesel propre, hybrides et ceux munis de piles à combustible, etc.);
- La réalisation des infrastructures d'autoroutes en béton;
- La conception de systèmes intelligents de transport.

7) Sensibiliser la population, puisque la grande majorité des mesures d'économies d'énergie visent un changement de comportement des utilisateurs du transport.

8) Mettre en place une politique de développement de l'industrie des véhicules hybrides et électriques au Québec. Les moyens suivants pourraient favoriser l'atteinte de cet objectif :
   - Investir dans la recherche et le développement de la technologie des piles pour résoudre les problèmes techniques (amélioration de l'autonomie et diminution du temps de recharge); et participer aux efforts de recherche et de développement en cours;
   - Adapter la réglementation routière afin de permettre l'utilisation légitime et sécuritaire des véhicules hybrides et électriques en cohabitation avec les véhicules traditionnels dont les caractéristiques techniques diffèrent;
   - Investir massivement dans la création et la coordination d'un véritable pôle industriel de développement du véhicule électrique; notamment en regroupant les ressources scientifiques, techniques, humaines et matérielles; en coordonnant les efforts des organismes publics, parapublics et des entreprises impliquées; et en finançant les projets de développement de produits;
   - Favoriser l'implantation au sein des organismes et des entreprises publics de programmes d'achat et de remplacement progressif des flottes de véhicules par des véhicules hybrides et électriques;
   - Établir un réseau de soutien technique et de points de recharge pour les véhicules hybrides rechargeables et les véhicules électriques;
   - Planifier les améliorations à apporter au réseau électrique pour gérer la demande accrue due à la recharge de véhicules électriques rechargeables, particulièrement dans les périodes de pointe (besoin d'une tarification variable selon l'heure d'utilisation); et tirer profit des avantages du stockage d'énergie d'une grande flotte de véhicules (notion de réseau intelligent);
   - Utiliser des incitatifs encourageant les consommateurs à faire des choix conséquents : remises sur des véhicules de haute efficacité énergétique; ou charges supplémentaires sur les véhicules moins efficaces.

MODERNISER LES ACTIFS DE PRODUCTION D'ÉNERGIE

9) Afin d'assurer le maintien de la qualité du réseau et de l'expertise énergétique québécoise dans toutes les filières, il faut notamment :
   - Aller de l'avant avec la modernisation des centrales hydroélectriques prévue par Hydro-Québec (Beauharnois, La Tuque, Outardes-3 et Outardes-4);
   - Moderniser la centrale nucléaire Gentilly-II.

10) Appuyer la modernisation des raffineries présentes sur le territoire québécois, puisque elles assurent la disponibilité des carburants fossiles actuellement utilisés dans les secteurs des matériaux et des transports.

DÉVELOPPER DE NOUVELLES CAPACITÉS DE PRODUCTION ÉLECTRIQUE

11) Construire les nouvelles infrastructures hydroélectriques actuellement prévues par Hydro-Québec (Eastmain-1, Péribonka, Chute-Allard et Rapide-des-cœurs, Eastmain-1-A-Sarcelle-Rupert et La Romaine.

12) Poursuivre le développement de la filière éolienne, dont la capacité installée est actuellement de 430 MW, mais qui devrait atteindre 3 500 MW pour 2017.

13) Remédier aux obstacles qui à l'heure actuelle limitent le développement de la filière éolienne et voir à son déploiement à plus grande échelle sur le marché. Les moyens suivants favoriseraient l'atteinte de cet objectif :
    - Favoriser l'intégration d'un plus grand potentiel de distribution d'énergie éolienne dans le réseau de transport d'électricité;
    - Financer les travaux de recherche et de développement nécessaires à l'amélioration des techniques de stockage d'énergie et des modèles de prévision des vents, pour que l'énergie éolienne puisse mieux contribuer à la gestion de la demande; ainsi que financer son implantation dans les milieux nordiques et maritimes qui présentent des conditions d'exploitation extrêmes;
    - Considérer l'implantation de systèmes hybrides hydro-éolien dans le cadre des nouveaux projets de développement hydroélectrique;
    - Normaliser et simplifier les processus de réglementation et améliorer la coordination des politiques intergouvernementales.

APPUYER LES DÉVELOPPEMENTS DE LA MICROPRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

14) Mettre en place un cadre de développement de la microproduction d'électricité renouvelable (notamment les filières éolienne, solaire photovoltaïque et thermique, géothermique, de la valorisation du biogaz et de la biomasse) autorisant les producteurs à vendre l'excédent de leur production à des tarifs préférentiels, rentabilisant du coup les équipements de production.

CONTRIBUER AU DÉVELOPPEMENT DES BIOCARBURANTS ET AUTRES BIOÉNERGIES

15) Contribuer au développement d'une infrastructure de distribution (pour le stockage, le transport et le mélange) du biodiesel parallèlement aux infrastructures de production, notamment par la mise en œuvre de projets de corridor routier pour étudier les contraintes et les enjeux relatifs à la distribution à grande échelle.

16) Accélérer le développement de la filière de l'éthanol cellulosique, notamment en soutenant les efforts de recherche et de développement actuellement en cours sur les technologies de production des biocarburants de prochaines générations; soutenir également les divers projets de démonstration du potentiel de la technologie.

17) Résoudre les problèmes d'approvisionnement en matières premières (résidus) pour maximiser la rentabilité des projets et minimiser les émissions de GES associées à leur transport, en utilisant l'ingénierie des systèmes pour, d'une part, analyser la localisation et la disponibilité des matières premières dans le but de situer les futurs sites de production, ou d'autre part, en déterminant les meilleurs schémas d'approvisionnement des sites de production.

DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE ET FORMATION DANS LE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE

18) Participer aux consultations liées au processus d'élaboration de politiques énergétiques.

19) Augmenter la formation dans le secteur des énergies renouvelables.

20) Mettre en place un institut de recherche et développement axé spécifiquement sur l'analyse des mesures d'économie d'énergie et de réduction des émissions de GES, en particulier dans le secteur des énergies conventionnelles.

Les ingénieurs du Québec assurent tous les acteurs visés par les présentes recommandations de leur entière collaboration dans la vaste entreprise qui va amener le Québec vers la prospérité à l'aide des énergies durables. Tout comme par le passé, les ingénieurs du Québec participeront à tous les comités de travail et s'impliqueront dans toutes les instances qui proposeront des solutions aux défis techniques et technologiques de demain.

Qui plus est, les recommandations ici présentées sont en droite ligne avec les propositions passées du Réseau IQ en matière de développement industriel. L'étude commandée à cet effet confirmait que le Québec doit se doter d'une politique industrielle forte et cohérente, basée sur trois piliers :

- L'innovation, ce qui rejoint nos recommandations en matière de développement technologique;
- L'investissement, ce qui rejoint nos recommandations en matière de maintien des actifs et de construction de nouvelles infrastructures énergétiques;
- La productivité, ce qui rejoint nos recommandations en matière d'efficacité énergétique (production d'un même produit avec moins d'énergie) et de formation.

Ces trois piliers font clairement consensus lorsque vient le temps d'identifier les facteurs qui contribueront à notre compétitivité à court, moyen et long termes. Les ingénieurs, par leur expertise et par leur expérience, étaient, sont et seront des acteurs clés du développement industriel et énergétique du Québec.

BIBLIOGRAPHIE

Agence de l'environnement et de la maitrise de l'énergie (ADEME, 2009). *La géothermie*. Site Internet consulté le 26 janvier 2009 : http://www.ademe.fr/Midi-Pyrenees/a_2_15.html.

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME, 2008). Site Internet consulté le 3 décembre 2008. http://www.ademe.fr/midi-pyrenees/a_2_10.html

Agence de l'efficacité énergétique (AEE, 2008). *Plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies 2007-2010*. Déposé à la Régie de l'énergie dans la cause R-3671-2008 : *AEE-8, Document 1*. http://www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/plan_ensemble_2007-2010_vamendee.pdf

Agence de l'efficacité énergétique (AEE, 2007). *Mettre toutes nos énergies à agir efficacement : Cibles triennales d'efficacité énergétique, échéancier prévisionnel triennal et priorités d'action triennales en vue du plan d'ensemble en efficacité énergétique et nouvelles technologies 2007-2010.* http://www.aee.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/cibles-triennales2007-2010vf.pdf

Agence internationale de l'énergie (AIE, 2006). *World Energy Outlook 2006*. Paris, 601 p.

Association de l'aluminium du Canada (2008). *Aluminium et électricité : une combinaison gagnante*. 12 p.

Association de l'industrie électrique du Québec (AIEQ, 2008). Projet VoltThor : une moto électrique. CHOC - Octobre 2008 : L'utilisation de l'électricité dans les transports.

Association du transport urbain du Québec (ATUQ, 2008). *Communiqué de presse : Le prochain gouvernement du Québec doit s'engager à assurer la pérennité du financement du transport collectif, pour assurer le développement durable des villes du Québec*. Publié le 20 novembre 2008. http://www.atuq.com/_library/images/contentImages/081120_demandes_campagne_quebec_2008.pdf

Bélanger, G. et J.-T. Bernard (2008). *Coût économique de l'électricité vendue aux nouvelles alumineries*. Options politiques, Avril 2008, p. 56-58.

Bernard, J.-T. (2007). *Les subventions aux alumineries : des bénéfices illusoires*. Le Soleil, lundi 15 janvier 2007. http://www.vigile.net/Les-subventions-aux-alumineries

Bourbonnière, M. (2008). Des moyens de transport écoénergétiques. CHOC - Octobre 2008 : L'utilisation de l'électricité dans les transports. Association de l'industrie électrique du Québec (AIEQ).

Bourgault, C. (2007). *Défis de la mise en œuvre d'une usine de biodiésel*. Colloque biodiesel au Québec… à la croisée des chemins!, Sainte-Foy, Québec, le 5 juin, 2007.

British Petroleum (BP, 2008). *BP Statistical Review of World Energy*. Disponible à : http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2008/STAGING/local_assets/downloads/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_review_2008.pdf

Brodeur C., Cloutier J., Crowley D., Desmeules X., Pigeon S., St-Arnaud R. M. (2008). *La production de biocombustibles solides à partir de biomasse résiduelle ou de cultures énergétiques*.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit- Ministère fédéral allemand pour l'environnement, la conservation de la nature et la sécurité nucléaire (BMU, 2008). *Renewable Energy Sources in Figures; Status 2008*. http://www.bmu.de/files/english/renewable_energy/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_en.pdf

CEPAF - Centre d'Éxpertise sur les produits agroforestiers (2007). *La production des biocarburants dans les milieux ruraux du Québec*. Disponible en ligne : http://www.cepaf.ca/pdf/biocarbur.pdf

Conseil de la science et de la technologie (CST, 2008). Plan stratégique d'innovation en efficacité énergétique et en nouvelles technologies de l'énergie. 82 p. http://www.oaq.com/wmfichier/Strategie_Energie_papier_.pdf

Dakkina, Abdelali (2008) *L'énergie solaire photovoltaïque*, à l'Atelier de renforcement des capacités dans le domaine de l'énergie durable, Tunis, 2008.

Drolet, B. (2007). *Le développement de l'énergie solaire*. Rapport préparé pour l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEE) déposé à la Régie de l'énergie (R-3671-2008, AEE-9, Document 4), 104 p.

ÉcoRessources Consultants (2008a). *Analyse du portrait de la consommation énergétique et aperçu du potentiel technico-économique en efficacité énergétique dans le secteur des transports au Québec*. Rapport préparé pour l'Agence de l'efficacité énergétique du Québec (AEE) déposé à la Régie de l'énergie (R-3671-2008, AEE-9, Document 3), 450 p.

ÉcoRessources Consultants (2008b). *Low Carbon Emissions Technology Deployment*. Rapport préparé pour la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE), 129 p.

ÉcoRessources Consultants (2008c). *Analyse du potentiel de microproduction énergétique à la ferme*. Rapport préparé pour l'Union des producteurs agricoles (UPA), 150 p.

Energy Information Administration (EIA, 2008). *International Energy Outlook*. US Department of Energy. Disponible en ligne : http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/

Energy Information Administration (EIA, 2008b). *Assumptions to the Annual Energy Outlook 2008 – Electricity Market Module*. US Department of Energy. Disponible en ligne : http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/assumption/pdf/electricity.pdf#page=3

Energy Information Administration (EIA, 2009). *Annual Energy Outlook 2009* (early release). Disponible en-ligne: http://www.eia.doe.gov/oiaf/forecasting.html

Energy Information Administration (EIA, 2005). *Kentucky's Residential Electric Rates*. US Department of Energy. Disponible en ligne : http://www.kaec.org/images/stand/0607_RateMap.pdf

Féménias, A., Bouvier, M., Balny, P. et Jaujay, J. (2008). *Évaluation des conditions de développement d'une filière de méthanisation «à la ferme» des effluents d'élevage*. Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables. Disponible en ligne : http://www.ecologie.gouv.fr/publications/IMG/pdf/Rapport_Methanisation_effluants_elevage.pdf

Finances Québec (2008). *Le point sur la situation Économique et financière du Québec*. 124 p. http://www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/AUTFR_lepoint2008.pdf

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, 16S1, p.S148.

Francoeur, L.-G. (2009). *Projet hydroélectrique sur la rivière Romaine - L'éolien servirait mieux les intérêts des Québécois, selon un expert*. Le Devoir, Édition du 4 février 2009.

Francoeur, L.-G. (2008). *Véhicule à basse vitesse - L'auto électrique en marche arrière*. Le Devoir, Édition du 18 juin 2008.

Gauthier, J. (2008). Train de banlieue : quand l'électrification du réseau devient possible. CHOC - Octobre 2008 : L'utilisation de l'électricité dans les transports. Association de l'industrie électrique du Québec (AIEQ).

Gouvernement du Québec (2007). « Près de 25 millions de dollars d'investissements dans la recherche sur l'éthanol cellulosique en Estrie ». Communiqués du 7 juin 2007. [en ligne] < http://www.premier-ministre.gouv.qc.ca/salle-de-presse/communiques/2007/juin/2007-06-07.shtml >.

Gouvernement de l'Ontario (2009). *Comprendre les compteurs intelligents*. Site Internet informatif sur les compteurs intelligent en Ontario, consulté le 26 janvier : http://www.smartmetersontario.ca/index.cfm?page=accueil

Groupe de travail sur la tarification des services publics (2008). *Mieux tarifer pour mieux vivre ensemble*. Gouvernement du Québec, 314 p.

Hanova,J.,Dowlatabadi,H.,Mueller, L. (2007) *Ground Source Heat Pump Systems in Canada*, May 2007, RFF DP 07-18

Hanova, J. (2005). *Environmental And Techno-Economic Analysis Of Ground Source Heat Systems*. B.Sc., University of Calgary, p.36

Hydro-Québec (2007a). *Rapport annuel 2007*. Disponible en ligne :
http://www.hydroquebec.com/publications/fr/rapport_annuel/2007/pdf/hydro2007fr_complet.pdf

Hydro-Québec (2007b). *Proposition relative à la tarification horo-saisonnière*. Document déposé à la Régie de l'énergie (R-3644-2007, HQD-12, Document 5), 135 p.
http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3644-07/Requete3644/B-1_HQD-12Doc5_3644_3aout07.pdf

Hydro-Québec (2008a). Site Internet consulté le 27 novembre 2008.
http://www.hydroquebec.com/comprendre/production/index.html

Hydro-Québec (2008b). *Plan global en efficacité énergétique : Budget 2009*. Document déposé à la Régie de l'énergie (R-3677-2008, HQD-14, Document 1), 93 p.
http://www.regie-energie.qc.ca/audiences/3677-08/Requete_3677-08/B-1-HQD-14-01_3677_01aout08.pdf

Hydro-Québec Production (2007). *Rapport annuel 2007*. Disponible en ligne :
http://www.hydroquebec.com/publications/fr/rapport_annuel/2007/pdf/hydro2007fr_complet.pdf#page=10

Jaffe, A. B., Newell, R. G. and Stavins, R. N. (2005). *A Tale of Two Market Failures: Technology and Environmental Policy*. Ecological Economics, 54, p.164.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, 2009). Information Disponible en ligne : Site consultée en 20 janvier 2009 : http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/

Ministère du Développement durable, de l'environnement et des Parcs (MDDEP, 2006). Plan d'action 2006-2012. *Le Québec et les changements climatiques : Un défi pour l'avenir*. 40 p.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, 2006). *La Stratégie énergétique du Québec 2006-2015 : L'énergie pour construire le Québec de demain*. Gouvernement du Québec, 119 p.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, 2005a). *Évolution de la demande d'énergie au Québec: Scénario de référence, horizon 2016*. Gouvernement du Québec, 52 p.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, 2005b). *Inventaire du potentiel éolien exploitable du Québec*. Disponible en-ligne : http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/energie/eolien/vent_inventaire_inventaire_2005.pdf

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, 2004). *L'énergie au Québec, édition 2004*. Gouvernement du Québec, 128 p.

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, 2001). *Évolution de la demande d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre au Québec : Scénario de référence 1996-2021*. Gouvernement du Québec, 57 p.

Nilsson, H. and C.-O.Wene (2001). *Best practices in technology deployment policies*. IEA Secretariat, Paper presented at the Workshop on Good Practices in Policies and Measures, Copenhagen, 13 p.

OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development (2001b). *Multifunctionality: Towards and Analytical Framework*. Paris.

Office nationale de l'énergie (ONE, 2009). *Mécanismes des marchés canadiens*. Site Internet consulté le 19 janvier 2009 : http://www.neb.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfmtn/prcng/lctrct/cndnmrkt-fra.html

Office de l'efficacité énergétique (OEE, 2008) *Comprehensive Energy Use Data*. Ressources naturelles Canada. Disponible en ligne : http://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/comprehensive_tables/index.cfm?attr=0.

Office de l'efficacité énergétique (OEE, 2007). *Programme d'expansion de l'éthanol*. [en ligne], <http://www.oee.nrcan.gc.ca/transports/carburants/ethanol/peme.cfm?attr=8>.

Office nationale de l'énergie (ONE, 2003). *L'avenir énergétique du Canada : Scénarios sur l'offre et la demande jusqu'à 2025*. Disponible en ligne : http://www.neb.gc.ca/clf-nsi/rnrgynfmtn/nrgyrprt/spplydmnd/spplynddmndt20252003/spplynddmndt20252003-fra.html

Olar, M., R. Romain, N. Bergeron et K. Klein (2004). *Ethanol Industry in Canada*. Produit par l'Université Laval et CRÉA (Centre de recherche en économie agroalimentaire). [en ligne], <http://www.crea.ulaval.ca/Publications/Serie%20de%20recherche/2004/SR-04-08.pdf>.

Parrouffe, J.-M. (2007). *Rupert : il y a d'autres solutions*. Le Devoir, Édition du 26 janvier 2007.

Ressources naturelles Canada (RNCan, 2009). *L'Initiative écoÉNERGIE sur l'efficacité énergétique*. http://oee.nrcan.gc.ca/organisme/eeinitiative.cfm?attr=0

Ressources naturelles Canada (RNCan, 2008). RETScreen International. Site Internet consulté le 1er décembre 2008, http://www.retscreen.net/fr/gas_turbine_combined_cycle_schematic.php.

Ressources naturelles Canada (RNCan, 2006). *Perspectives énergétiques du Canada : scénario de référence de 2006*. Gouvernement du Canada, 226 p.

Ressources naturelles Canada (RNCan, 2004). *Le chauffage et le refroidissement à l'aide d'une thermopompe*. Gouvernement du Canada, 37 p.

Schurr,A. et M. McGrath (2008). « L'impact des véhicules électriques et des véhicules électriques hybrides rechargeables sur les entreprises d'électricité ». *CHOC: Magazine de l'Association de l'industrie électrique du Québec*, vol. 26, no 2, p. 38-42.

(S&T)2 Consultants et Meyers Norris Penny LLP (2004). *Economic, Financial, Social Analysis and Public Policies for Fuel Ethanol Phase 1*. Préparé pour The Canadian Renewable Fuels Association. [en ligne], <http://www.greenfuels.org/ethanol/pdf/OConnor-Report-Ethanol-2004.pdf>.

Sine Nomine (2007). *Benchmarking Study for a Project to Determine Environmental Footprint from the Establishment of Biodiesel Corridors or Zones in at Least 3 of the 5 Regions of Canada. Final Report – Draft Version*. Préparé pour Environnement Canada.

Sine Nomine (2006) *Assessment of the Biodiesel Distribution Infrastructure in Canada*. Preparé pour Ressources naturelles Canada.

Statistique Canada (2008a). *Bulletin sur la disponibilité et écoulement d'énergie au Canada*. 57-003-X. Disponible en-ligne : http://www.statcan.gc.ca/pub/57-003-x/2006000/tablesectlist-listetableauxsect-fra.htm

Statistique Canada (2008b). *Recueil statistique des études de marché*. 63-224-XWF. Disponible en-ligne : http://www.statcan.gc.ca/bsolc/olc-cel/olc-cel?catno=63-224-XWF&lang=fra.

Statistique Canda (2006) *Production, transport et distribution d'électricité*. 57-202-X. Disponible à : http://www.statcan.gc.ca/pub/57-202-x/2006000/5208610-fra.htm

Steenberghen, T. and Lopez, E. (2008). *Overcoming Barriers to the Implementation of Alternative Fuels for Road Transport in Europe*. Journal of Cleaner Production, 16, p.577.

Total (2009) *L'énergie marémotrice*. Site Internet consulté le 28 janvier 2009: http://www.planete-energies.com/contenu/energies-renouvelables/voies-du-futur/energie-courant-ocean/maremotrice.html

Transports Canada, 1999: Les Transports et le Changement Climatique : Options à Envisager. Préparé par La Table des Transports et du Changement Climatique. Disponible à http://www.tc.gc.ca/programs/environment/climatechange/subgroups1/Options_Paper/English/default.htm

US Department of Energy – Energy Information Administration (USDOE-EIA, 2008). *International Energy Outlook 2008*. Washington DC, Disponible en ligne : http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/

US Department of Energy – Energy Information Administration (USDOE-EIA, 2008). *Annual Energy Outlook 2008*. Washington DC, Disponible en ligne : http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/

WRI- World Resources Institute (2008). *Scaling Up: Global Technology Deployment to Stabilize Emissions*. Available online at: http://pdf.wri.org/scalingup.pdf

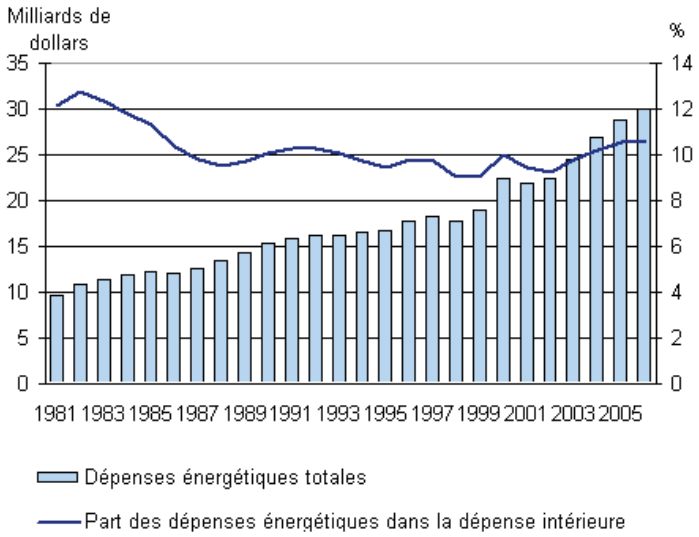
Annexes

Annexe A – Aspects économiques du secteur énergétique

La valeur des dépenses énergétiques

En 2006, la valeur des dépenses énergétiques atteignait près de 30 G$, soit 10,6 % de la dépense intérieure brute. Les dépenses énergétiques augmentent en moyenne de 6,5 % par année. Par contre, la part des dépenses énergétiques dans la dépense intérieure brute est demeurée relativement stable, soit autour de 10% depuis la fin des années 1980. La Figure 46 illustre la croissance des dépenses énergétiques de 1981 à 2006 et la part de ces dépenses dans la dépense intérieure brute.

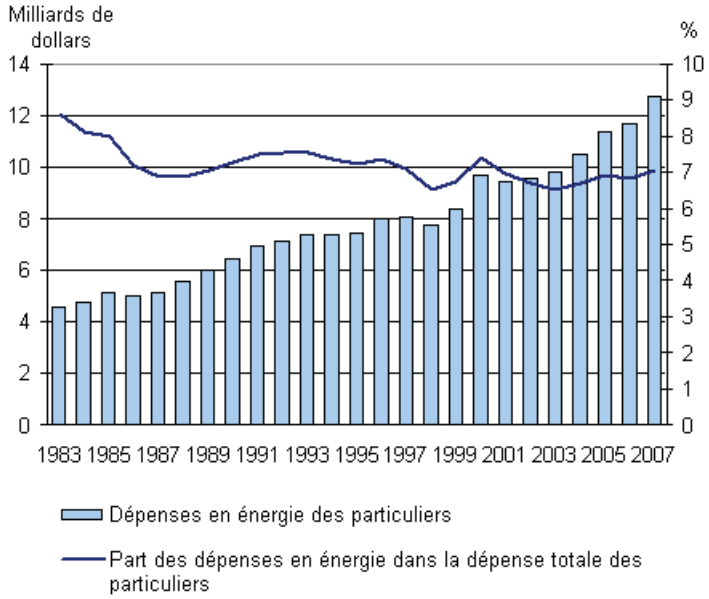
FIGURE 46 - LES DÉPENSES TOTALES EN ÉNERGIE AU QUÉBEC



Source : MRNF, 2009e.

En 2007, les dépenses énergétiques représentaient 7,0 % des dépenses totales des ménages québécois. Depuis la fin des années 1980, la part des dépenses énergétiques sur les dépenses totales des ménages est demeurée assez stable, autour de 7,0 %. En 2007, la dépense énergétique totale des particuliers a atteint presque 13 G$ (Figure 47).

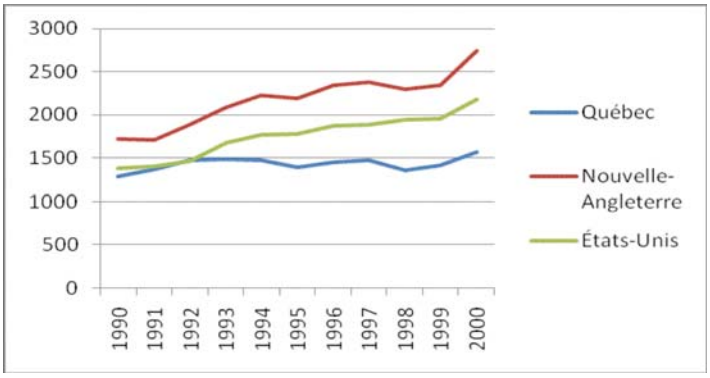
FIGURE 47 - LA DÉPENSE DES PARTICULIERS CONSACRÉE À L'ÉNERGIE AU QUÉBEC



Note : la dépense en énergie inclut les dépenses en carburants et en biomasse, mais exclut celles en efficacité énergétique.
Source : MRNF, 2009e.

La dépense moyenne des ménages en énergie au Québec est largement inférieure à celles des ménages de la Nouvelle-Angleterre et de l'ensemble des États-Unis; les écarts atteignaient respectivement 75 % et 39 % en 2000. Depuis le début des années 90, cet écart s'est élargi progressivement. Les tarifs d'électricité plus faibles au Québec expliquent en grande partie cet écart (Figure 48).

FIGURE 48 - COMPARAISON DES DÉPENSES ÉNERGÉTIQUES PAR MÉNAGE (EN $ CAN)

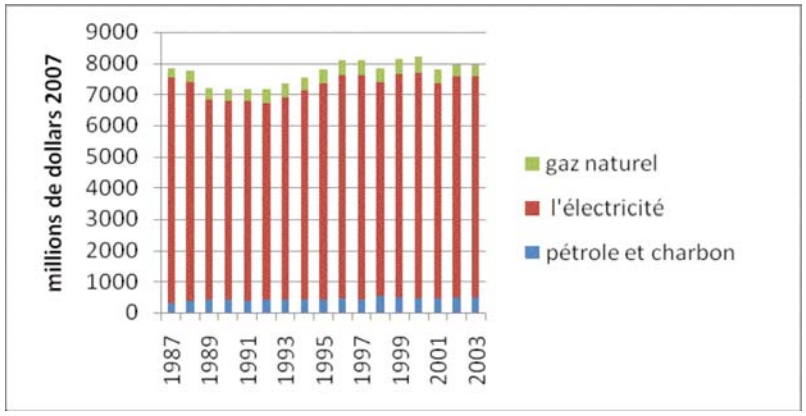


Note : n'inclut pas les dépenses en carburants et en biomasse.
Source : MRNF, 2004

La part des activités énergétiques dans le produit intérieur brut

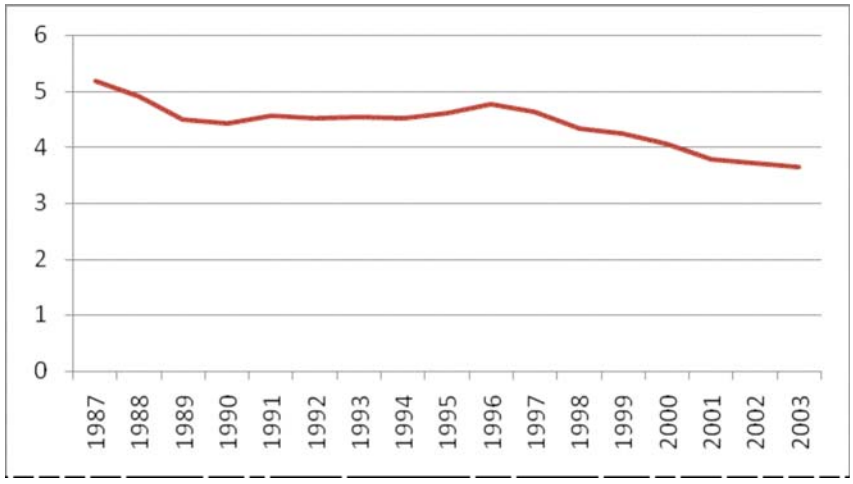
En 2005, les activités du secteur énergétique représentaient 4,0 % du produit national brut au Québec (MRNF, 2009f). Dans les années 80, cette proportion se situait autour de 5 %, mais elle a ensuite diminué progressivement jusqu'en 2003, où elle était de 3,64 % (Figure 49).

FIGURE 49 - VALEUR AJOUTÉE DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE



Source : MRNF, 2004.

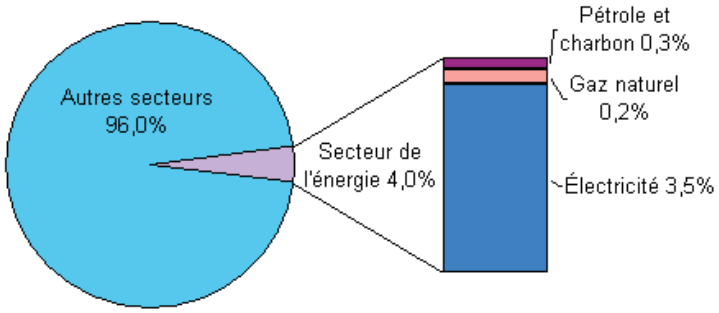
FIGURE 50 - PART DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE DANS LE PRODUIT INTÉRIEUR BRUT TOTAL (%)



Source : MRNF, 2004.

L'électricité représente évidemment la plus grande part de la contribution du secteur énergétique au produit intérieur brut du Québec (Figure 51).

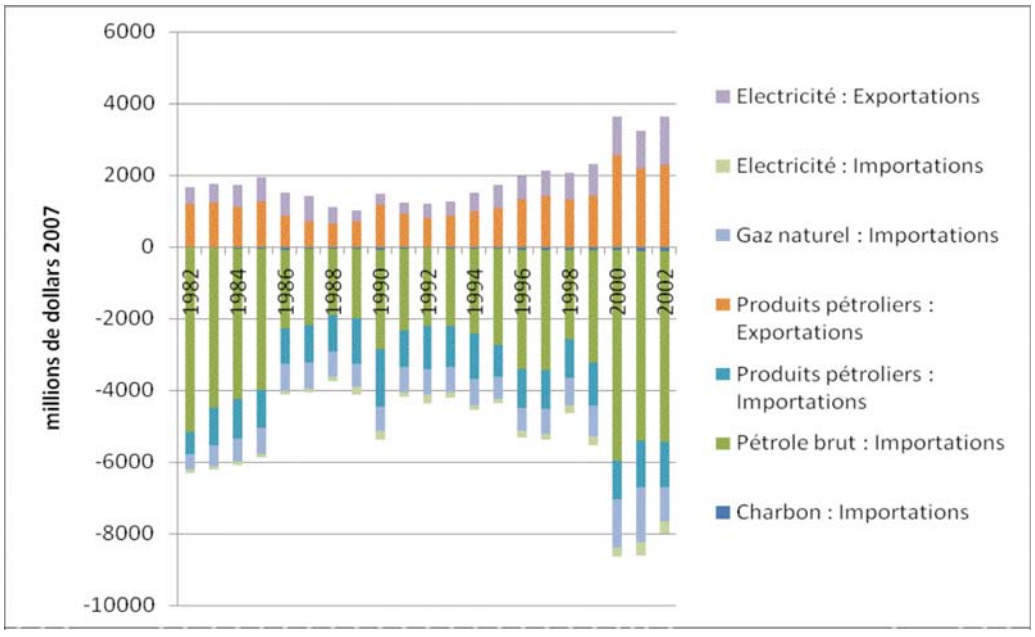
FIGURE 51 - VALEUR AJOUTÉE DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE QUÉBÉCOIS EN 2005



Source : MRNF, 2009f

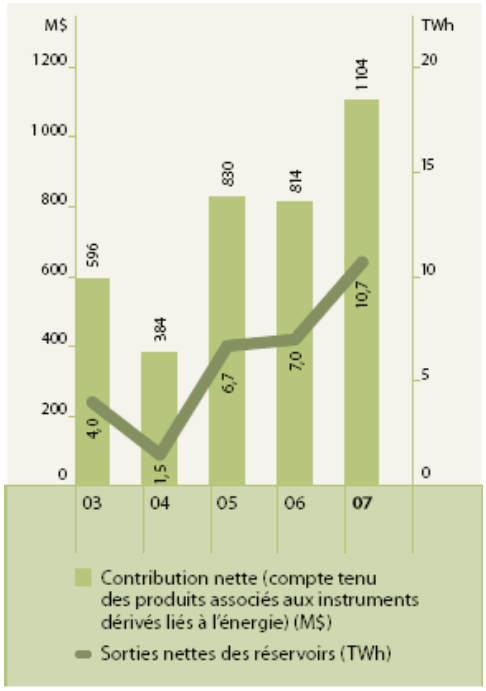
Les exportations de produits énergétiques (l'électricité et les produits pétroliers) ne représentent pas une part importante de la valeur ajoutée du secteur énergétique. En fait, dû aux importations importantes de pétrole brut et de gaz naturel, la balance commerciale du secteur énergétique est négative (Figure 52). En 2001, cette balance était de -5382 M$ (MRNF, 2004). Toutefois, les exportations d'électricité sont en forte croissance. En 2004, Hydro-Québec a exporté 1,5 TWh d'hydroélectricité. En 2007, ses exportations s'élevaient à 10,7 TWh, soit 1104 millions $ (Figure 53).

FIGURE 52 - BALANCE COMMERCIALE DU SECTEUR ÉNERGÉTIQUE



Source : MRNF, 2004.

FIGURE 53 - EXPORTATIONS NETTES D'ÉLECTRICITÉ, 2007

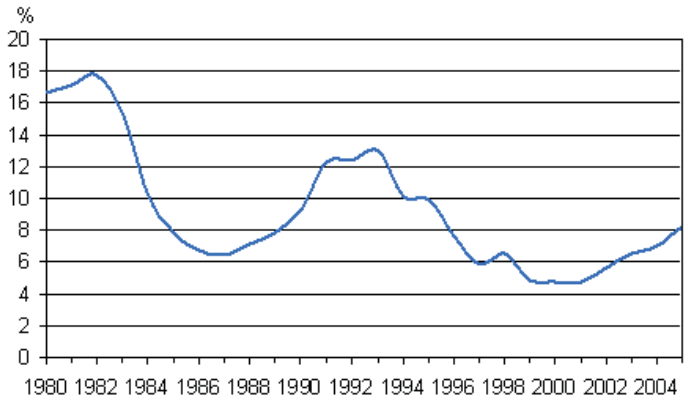


Source : Hydro-Québec, 2007a.

Les investissements et les emplois par secteur d'énergie

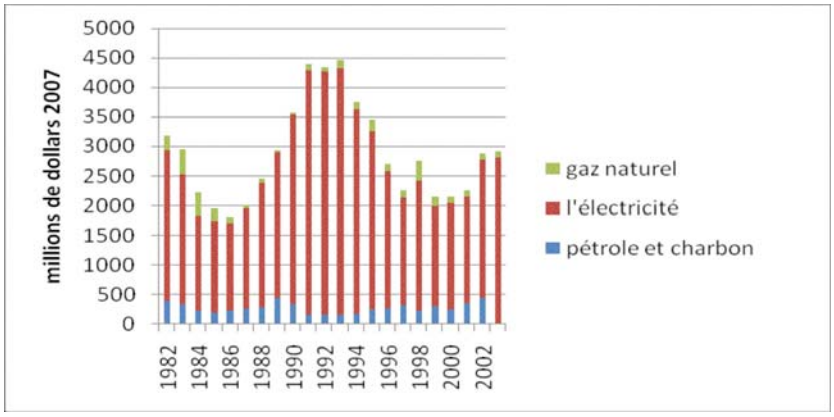
En 2005, les investissements dans le secteur énergétique ont constitué 8,2 % des investissements totaux dans l'économie québécoise, soit 5 G$ (Figure 54). Trois quarts de ces investissements étaient consacrés au secteur électrique (MRNF, 2009g). La Figure 55 présente les investissements en énergie par secteur et montre que les investissements dans les industries du pétrole et de l'électricité sont en croissance.

FIGURE 54 - LA PART DES INVESTISSEMENTS EN ÉNERGIE DANS LES INVESTISSEMENTS TOTAUX



Source : MRNF, 2009g.

FIGURE 55 – LES INVESTISSEMENTS DANS LE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE PAR INDUSTRIE



Source : MRNF, 2004.

Les investissements d'Hydro-Québec en 2007 étaient de 3,6 G$, soit une augmentation de 1 M$ par rapport à 2006). Selon Hydro-Québec, les retombées économiques régionales de leurs acquisitions étaient de 2,4 G$ en 2007 (Tableau 34).

TABLEAU 34 - RETOMBÉES RÉGIONALES DES ACQUISITIONS D'HYDRO-QUÉBEC, 2007 (K$)[A,B]

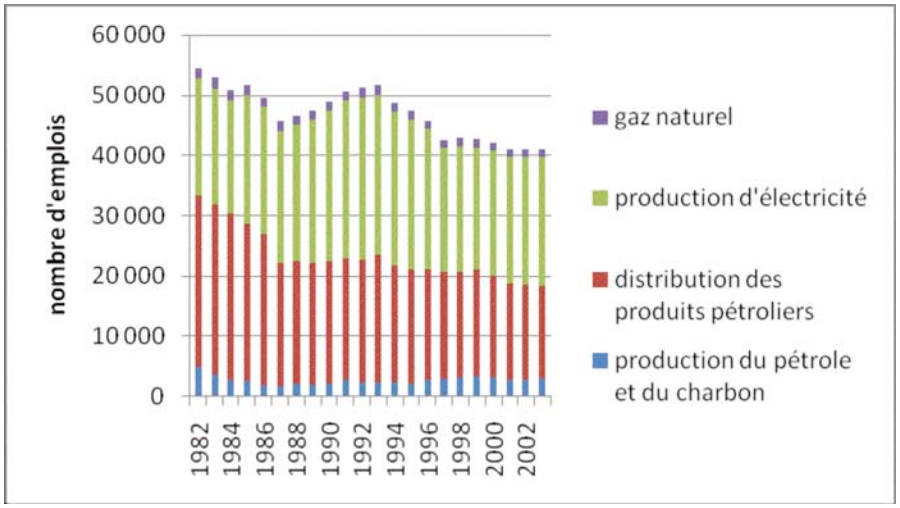
Région administrative du Québec	Acquisitions de services[C]	Acquisitions de biens[D]	Total
Abitibi-Témiscamingue (08)	20 589	15 898	36 487
Bas-Saint-Laurent (01)	7 041	2 584	9 625
Capitale-Nationale (03)	185 255	31 370	216 625
Centre-du-Québec (17)	82 877	29 807	112 684
Chaudière-Appalaches (12)	55 664	26 496	82 160
Côte-Nord (09)	45 370	9 553	54 923
Estrie (05)	6 552	8 532	15 084
Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine (11)[E]	4 304	1 397	5 701
Lanaudière (14)	27 930	17 960	45 890
Laurentides (15)	79 969	20 497	100 466
Laval (13)	120 798	28 315	149 113
Mauricie (04)	124 703	40 148	164 851
Montérégie (16)	114 592	258 450	373 042
Montréal (06)	377 348	433 776	811 124
Nord-du-Québec (10)	9 045	6 123	15 168
Outaouais (07)	6 974	21 665	28 639
Saguenay–Lac-Saint-Jean (02)	184 079	30 307	214 386
Total	**1 453 090**	**982 878**	**2 435 968**

a) Montants facturés par les fournisseurs établis dans la région administrative.
b) Ces données excluent les acquisitions de la Société d'énergie de la Baie James.
c) Services spécialisés, services professionnels et travaux.
d) Achat et location de biens.
e) Dans la municipalité régionale de comté de Matane et la région de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine, les contrats attribués à des producteurs d'énergie éolienne privés par suite du premier appel d'offres d'Hydro-Québec Distribution ciblant ce type d'énergie ont généré des retombées estimées à environ 185 M$ en 2007.

Source : Hydro-Québec, 2007a.

Le secteur énergétique contribue d'une façon modeste aux emplois permanents au Québec, en grande partie parce que les activités énergétiques engloutissent une grande part des investissements. Par contre, le secteur énergétique contribue d'une façon importante aux emplois temporaires, notamment durant la construction des nouvelles infrastructures. Tel que présenté dans la Figure 56, le plus grand nombre d'emplois se trouve dans les secteurs de l'électricité et de la distribution des produits pétroliers.

FIGURE 56 - EMPLOIS DANS LE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE



Source : MRNF, 2004.