

***Impact socio-économique du changement climatique***

***La demande d'énergie***

***Rapport de recherche***

par

***Gaëtan Lafrance, Professeur  
INRS-ÉMT, UQ***

et

***Claude Desjarlais, Directeur de l'analyse économique  
Ouranos***

**Juin 2006**

### **Contributions et remerciements**

Ce document a été réalisé par le professeur Gaëtan Lafrance de l'INRS-ÉMT dans le cadre d'un mandat confié par le consortium Ouranos, appuyé par M. Claude Desjarlais, Directeur Analyses économiques, d'Ouranos. Ce travail a été rendu possible grâce à de nombreuses collaborations, dont les suivantes : M. Alain Bourque, Mme Diane Chaumont, et M. Georges Desrochers d'Ouranos, MM Roger Corbeil, Sylvain Lisotte, Daniel Paré et Mme Brigitte Boudreau du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, Section énergie), Mme Lise Lefebvre et MM, Sylvain Chartier et Jean-Dominic Lacas d'Hydro-Québec, Division Direction Planification et Efficience, Prévision de la demande et des revenus ainsi que Mme Johanne Paquin et ses collaborateurs de Gaz Métropolitain.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>1. SOMMAIRE ET CONTEXTE</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objectif et Approche</b>	<b>2</b>
1.1.1 Horizon d'analyse et scénarios	2
1.1.2 Les modèles et études disponibles	3
<b>2. LE CONTEXTE DÉMOGRAPHIQUE, ÉCONOMIQUE ET ÉNERGÉTIQUE</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Les scénarios démographiques</b>	<b>6</b>
<b>2.2 La croissance économique à très long terme</b>	<b>8</b>
2.2.1 Comparaison avec d'autres études	12
2.2.2 Sommaire sur les scénarios économiques	14
<b>2.3 Le contexte énergétique et technologique</b>	<b>15</b>
<b>3. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Prévission de la demande avant changements climatiques</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Prévission de la demande incorporant les changements climatiques</b>	<b>20</b>
<b>4. LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL</b>	<b>24</b>
<b>4.1 Les hypothèses</b>	<b>24</b>
4.1.1 L'évolution des activités	24
4.1.2 Les gains d'efficacité	24
4.1.3 Part de marché des formes d'énergie	24
<b>4.2 La prévission de demande avant impact climatique</b>	<b>25</b>
<b>4.3 L'impact des changements climatiques</b>	<b>26</b>
4.3.1 Le chauffage des locaux	27
4.3.2 La climatisation	29
4.3.3 Les autres usages	33
4.3.4 Impact sur la demande d'énergie	34
4.3.5 Comparaison avec d'autres études	35
<b>5. LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR TERTIAIRE</b>	<b>37</b>
<b>5.1 Les hypothèses</b>	<b>37</b>
5.1.1 Gain d'efficacité	39
5.1.2 Part de marché des formes d'énergie	39
<b>5.2 La prévission de demande avant impact climatique</b>	<b>39</b>
<b>5.3 L'impact du changement climatique : secteur tertiaire</b>	<b>41</b>
5.3.1 L'approche générale	41
5.3.2 Impact pour le chauffage des locaux	43
5.3.3 La climatisation	43

5.3.4	Impact sur la demande d'énergie	46
5.3.5	Comparaison avec d'autres études	47
<b>6.</b>	<b>LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL</b>	<b>49</b>
<b>6.1</b>	<b>Hypothèses</b>	<b>49</b>
6.1.1	L'évolution des activités	49
6.1.2	Gain d'efficacité	49
6.1.3	Part des formes d'énergie	50
<b>6.2</b>	<b>La prévision de demande avant impact climatique</b>	<b>50</b>
<b>6.3</b>	<b>Impact du changement climatique dans le secteur industriel</b>	<b>54</b>
6.3.1	Approche de Gaz Métro	54
6.3.2	Extrapolation pour le secteur industriel	56
6.3.3	Impact du changement climatique : sous secteurs	57
<b>7.</b>	<b>LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR DES TRANSPORTS</b>	<b>58</b>
<b>7.1</b>	<b>Hypothèses</b>	<b>58</b>
7.1.1	L'évolution des activités	58
7.1.2	Gain d'efficacité	60
7.1.3	Part des formes d'énergie	61
<b>7.2</b>	<b>La prévision de demande avant impact climatique</b>	<b>61</b>
<b>7.3</b>	<b>Impact climatique dans le secteur des transports</b>	<b>62</b>
7.3.1	Les ventes d'essence et de diesel au Québec	63
7.3.2	Ventes de carburant léger par État et région aux États-Unis	64
<b>8.</b>	<b>IMPACT GLOBAL ET POINTS SAILLANTS</b>	<b>67</b>
<b>8.1</b>	<b>La prévision de demande avant impact climatique</b>	<b>67</b>
<b>8.2</b>	<b>La prévision de demande après impact climatique</b>	<b>68</b>
<b>8.3</b>	<b>Impact économique</b>	<b>69</b>
<b>8.4</b>	<b>Stratégies d'adaptation et perspectives</b>	<b>69</b>
<b>9.</b>	<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>73</b>

## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 ÉVOLUTION DE LA POPULATION AU QUÉBEC SELON DIVERS ORGANISMES 2001-2051 (MILLIERS).....	8
TABLEAU 2 ÉVOLUTION DES MENAGES AU QUEBEC SELON DIVERS ORGANISMES 2001-2051 (MILLIERS).....	9
TABLEAU 3 CROISSANCE ECONOMIQUE PAR GRAND SECTEUR D'ACTIVITE .....	12
TABLEAU 4 HYPOTHESES D'EVOLUTION : INDICATEURS DE BASE POUR LES SCENARIOS A ET E.....	12
TABLEAU 5 TAUX DE PARTICIPATION ET DE CHOMAGE (%) .....	12
TABLEAU 6 PRODUCTIVITE PAR EMPLOI : SCENARIOS A ET E (MILLIER DE \$1997).....	13
TABLEAU 7 TAUX DE CROISSANCE DU PIB PAR HABITANT.....	13
TABLEAU 8 NOMBRE D'EMPLOIS (MILLIERS) .....	14
TABLEAU 9 NIVEAU DU PRODUIT INTERIEUR BRUT TOTAL ET POUR DEUX SECTEURS (2001-2050) .....	15
TABLEAU 10 TAUX DE CROISSANCE ANNUELLE DE L'ÉCONOMIE ET DES SECTEURS INDUSTRIEL ET TERTIAIRE ...	16
TABLEAU 11 INDICATEUR UTILISÉ POUR LA PROJECTION DES ACTIVITÉS (2030-2050).....	20
TABLEAU 12 : SCÉNARIOS DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES : RÉGION DE MONTRÉAL.....	22
TABLEAU 13 : SCÉNARIOS DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES : RÉGION DE QUÉBEC.....	23
TABLEAU 14 PRÉVISION D'ÉNERGIE PAR USAGE RÉSIDENTIEL POUR LE SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE(GIGAJOULES)	26
TABLEAU 15 PRÉVISION DE DEMANDE PAR USAGE RÉSIDENTIEL POUR LE SCÉNARIO FORT (GIGAJOULES) .....	26
TABLEAU 16 : FACTEUR POUR ESTIMER LE CHAUFFAGE NET ET BRUT À PARTIR DE COMBUSTIBLES .....	28
TABLEAU 17 : IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CHAUFFAGE RÉSIDENTIEL (PROVINCIAL).....	29
TABLEAU 18 DIFFUSION DES APPAREILS DE CLIMATISATION .....	32
TABLEAU 19 FACTEUR D'AUGMENTATION DE LA DIFFUSION DES CLIMATISEURS .....	32
TABLEAU 20 IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CLIMATISATION DANS LE RÉSIDENTIEL .....	33
TABLEAU 21 IMPACT DU CHAUFFAGE ET DE LA CLIMATISATION : RÉSIDENTIEL (%) .....	35
TABLEAU 22 COMPARAISON AVEC D'AUTRES ÉTUDES (RÉSIDENTIEL EN GJ) .....	36
TABLEAU 23 : DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ TERTIAIRE SELON LES SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE ET FORT (Tj) .....	40
TABLEAU 24 : PART DE CHAQUE USAGE : ÉLECTRICITÉ.....	40
TABLEAU 25 : DEMANDE DE COMBUSTIBLE POUR LES SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE ET FORT (Tj) .....	40
TABLEAU 26 IMPORTANCE DU CHAUFFAGE ET DE LA CLIMATISATION .....	42
TABLEAU 27 IMPACT SUR LE CHAUFFAGE (SECTEUR COMMERCIAL) .....	44
TABLEAU 28 : HYPOTHÈSE DE CONSOMMATION UNITAIRE ET DE DIFFUSION DE LA CLIMATISATION. ....	45
TABLEAU 29 : IMPACT SUR LA CLIMATISATION DANS LE SECTEUR TERTIAIRE.....	46
TABLEAU 30 IMPACT DU CHAUFFAGE ET DE LA CLIMATISATION DANS LE SECTEUR TERTIAIRE (%) .....	47
TABLEAU 31 : COMPARAISON AVEC D'AUTRES ORGANISMES .....	47
TABLEAU 32 CONSOMMATION PAR UNITÉ DE SURFACE : CLIMATISATION (KWH/PI <sup>2</sup> ) .....	48
TABLEAU 33 : DEMANDE D'ÉNERGIE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL (Pj).....	49
TABLEAU 34 : CROISSANCE ANNUELLE DE LA DEMANDE INDUSTRIELLE EN % .....	51
TABLEAU 35 ÉVOLUTION DE CERTAINS INDICATEURS.....	51
TABLEAU 36 :BAISSE DE LA CONSOMMATION (Pj).....	57
TABLEAU 37 :IMPORTANCE DE LA BAISSSE SUR LES VENTES DE COMBUSTIBLES (%).....	57
TABLEAU 38 : DÉPLACEMENTS PERSONNES EN MILIEU URBAIN .....	58
TABLEAU 39 : DÉPLACEMENTS DES PERSONNES POUR L'ENSEMBLE DU TRAFIC AU QUÉBEC .....	59
TABLEAU 40 : DÉPLACEMENTS PERSONNES EN MILIEU URBAIN .....	59
TABLEAU 41 : DÉPLACEMENTS DES PERSONNES : ENSEMBLE DU TRAFIC AU QUÉBEC.....	59
TABLEAU 42 : ÉVOLUTION DES TONNES-KILOMÈTRES TRANSPORTÉES .....	60
TABLEAU 43 ÉVOLUTION DES TONNES-KILOMÈTRES TRANSPORTÉES.....	60
TABLEAU 44 ÉVOLUTION DE L'EFFICACITÉ DES VOITURES NEUVES (2001-2051).....	60
TABLEAU 45 CONSOMMATION D'ÉNERGIE DU SECTEUR DES TRANSPORTS SELON LES DIFFÉRENTES FORMES D'ÉNERGIES UTILISÉES (2001-2051), EN PÉTAJOULES .....	62
TABLEAU 46 RÉPARTITION DE LA CROISSANCE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE (2001-2051) PAR MOTIF DE TRANSPORT SELON LE SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE (Pj) .....	62
TABLEAU 47 RÉPARTITION DE LA CROISSANCE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE (2001-2051) PAR MOTIF DE TRANSPORT SELON LE SCÉNARIO FORT (Pj). ....	62

TABLEAU 48 : DEMANDE D'ÉNERGIE TOTALE SELON LES SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE ET FORT(PJ).....	67
TABLEAU 49 DÉCROISSANCE DE LA DEMANDE (PJ).....	68
TABLEAU 50 IMPACT SUR LA DEMANDE (%) .....	69
TABLEAU 51 : PRIX DU GAZ ET DE L'ÉLECTRICITÉ (\$ 2003 SANS TAXE) .....	70
TABLEAU 52 IMPACT ÉCONOMIQUE (SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE) .....	71
TABLEAU 53 IMPACT ÉCONOMIQUE (SCÉNARIO FORT) .....	72

## Liste des graphiques

Graphique 1 : Scénarios de population
Graphique 2 : Évolution du nombre de ménages
Graphique 3 : Taux de participation par groupe d'âge
Graphique 4 : Évolution du PIB total selon 3 scénarios
Graphique 5 : Demande d'électricité dans le secteur résidentiel (avant impact climatique)
Graphique 6 : Consommation d'énergie par habitant par État en fonction des degrés-jours de chauffage (Résidentiel)
Graphique 7 : Diffusion des climatiseurs en Amérique du nord
Graphique 8 : Diffusion des climatiseurs au Québec
Graphique 9 : Évolution du stock de bâtiments (Millions de Pi <sup>2</sup> )
Graphique 10 : Évolution de la demande d'énergie dans le secteur tertiaire (avant impact climatique)
Graphique 11 : Consommation d'énergie par habitant par État en fonction des degrés-jours de chauffage (Tertiaire)
Graphique 12 : Évolution du PIB industriel (\$1997)
Graphique 13 : Évolution du PIB industriel par sous secteur (%)
Graphique 14 : Évolution d'intensité énergétique dans le secteur industriel (Mj/\$1997)
Graphique 15 : Évolution de la demande énergétique dans le secteur industriel (avant impact climatique)
Graphique 17 : Ventes de gaz naturel au consommateur à petit débit en fonction des degrés-jours
Graphique 17 : Ventes de gaz naturel à grand débit en fonction des degrés-jours
Graphique 18 : Ventes mensuelles d'essence et diesel (Tj)
Graphique 19 : Ventes annuelles d'essence par habitant au Québec (Tj)
Graphique 20 : Consommation d'essence par habitant versus degrés-jours

## **1. SOMMAIRE ET CONTEXTE**

L'un des impacts directs des changements climatiques sur notre environnement est celui du réchauffement des températures qui se traduit au Québec tout particulièrement par une baisse de la demande d'énergie pour le chauffage et par une augmentation des besoins en climatisation. L'objectif principal du projet est d'estimer avec un certain degré de certitude des impacts de divers scénarios de changements climatiques sur la demande d'énergie au Québec, aux horizons 2030 et 2050, pour toutes les formes d'énergie et pour tous les secteurs de consommation. L'une des particularités de l'évaluation est son approche dynamique intégrant pour la période des scénarios d'évolution démographique et socio-économique aux scénarios climatiques.

Cette étude s'insère dans la programmation d'Ouranos qui vise à aider les décideurs à planifier l'adaptation aux changements climatiques. En effet, outre les programmes de données historiques, de modélisation du climat, de simulation et d'analyse statistique, Ouranos a lancé au cours des dernières années une série de projets de recherche en collaboration avec ses nombreux partenaires portant sur les impacts physiques et l'adaptation de la société québécoise aux changements climatiques. Ces études vont des effets de la fonte accélérée du pergélisol dans l'Arctique québécois, aux conséquences sur l'agriculture dans le Sud du Québec en passant par l'érosion côtière.

Quels risques socio-économiques les Québécois encourent-ils, suite aux changements climatiques? Quelles actions peuvent-ils entreprendre pour réduire les effets néfastes de ces risques? Voilà des questions essentielles auxquelles tentent de répondre les études sectorielles comme celles sur l'agriculture, le tourisme ou la production hydroélectrique. Ce travail vise également à répondre à ces questions. Mais sous certains aspects, il se veut plus large et plus englobant puisqu'il traite du comportement énergétique de l'ensemble de la société. En ce sens, il implique de nombreux champs d'analyse couvrant plusieurs disciplines. Cependant, la plus grande difficulté est sans doute de s'aventurer sur un horizon aussi long allant jusqu'à cinquante ans, alors que la plupart des études économiques se confinent à la moitié de cette période. Il n'est cependant pas inutile de faire porter l'analyse sur une telle période de temps puisque dans ce secteur, comme dans plusieurs autres, les investissements consentis ont une durée de vie qui s'étend sur plus de trente, voire cinquante ans.

L'intérêt de l'approche ne se limite pas au seul secteur de la demande d'énergie. Parmi les autres

retombées de ce projet, nous pensons que cette première étude devrait susciter un intérêt pour de nouveaux partenaires intéressés aux impacts climatiques dans leur secteur respectif. Un des résultats indirects de ce travail est de disposer de deux scénarios socio-économiques de référence pour les horizons 2030 et 2050. Ceux-ci pourront être également utiles à d'autres études d'impact portant sur d'autres problématiques. À titre d'exemple, citons les industries des pâtes et papiers, de l'agriculture et du tourisme qui font l'objet d'études chez Ouranos. En d'autres mots, un des intérêts de ce travail est d'offrir un cadre de référence commun aux divers travaux faits dans le cadre d'Ouranos sur l'adaptation au changement climatique.

### **1.1 Objectif et Approche**

L'objectif principal du projet est d'élaborer des scénarios d'impacts vraisemblables du changement climatique sur la demande d'énergie au Québec aux horizons 2030 et 2050 afin de dégager l'ampleur des changements auxquels la société québécoise pourrait avoir à s'adapter. Quand il est possible de le faire, l'analyse de la demande d'énergie est fondée sur une approche ascendante agrégeant les demandes par usage, par secteur d'activités économiques, par région et par saison. :

- Par secteur : domestique et agricole, général et institutionnel, industriel, transport;
- Par usage : climatisation, chauffage, autres;
- Par forme d'énergie : électricité, gaz naturel et autre combustibles pour la chauffe, carburants;
- Par région : deux régions principales comme témoins, Montréal et Québec.

#### **1.1.1 Horizon d'analyse et scénarios**

L'étude considère deux horizons d'analyse, 2030 et 2050. L'année 2030 est en quelque sorte le laboratoire d'analyse pour l'ensemble des secteurs et usages retenus; elle correspond en gros à l'horizon habituel de prévision des modèles énergétiques pour lesquels l'évolution technologique est raisonnablement prévisible. À cet égard, le MRNF et Hydro-Québec font déjà des scénarios de prévision de demande pour le long terme. Il est donc possible de se baser sur les modèles de ces institutions pour déterminer des hypothèses détaillées pour les 25 prochaines années. De même, plusieurs scénarios économiques et énergétiques au Canada couvrant cette période ont été publiés au cours des dernières années notamment dans le cadre de l'analyse des stratégies de réduction de gaz à effet de serre qui permettent un certain degré de comparaison.

Dans un deuxième temps, l'étude extrapole les scénarios économiques sur l'horizon 2050 et y applique les scénarios climatiques centrés sur cette période. L'étude à l'horizon 2050 permet de considérer les conséquences des divers scénarios démographiques élaborés par l'Institut de la statistique du Québec et de dégager les impacts nettement plus significatifs sur cet horizon des changements climatiques, cela pour la demande d'énergie<sup>1</sup>. Cette extrapolation est fondée implicitement sur la continuation des tendances amorcées au cours des précédentes décennies.

En résumé, pour déterminer les scénarios de demande à long terme, le cheminement est le suivant :

1. Choix de deux scénarios démographiques;
2. Élaboration des scénarios économiques globaux en fonction de la démographie et des évolutions tendanciennes de la productivité du travail;
3. Détermination des PIB sectoriels et des autres variables économiques : évolution par sous-secteur en termes de production physique ou en dollars réels;
4. Détermination des scénarios de changement climatique (en termes de degrés jours de chauffage et de climatisation);
5. Détermination des facteurs qui influencent les activités par secteur : évolution des logements et bâtiments, évolution du secteur industriel, etc;
6. Extrapolation du scénario de demande de 2026 pour les horizons 2030 et 2050 : avant impact climatique;
7. Calcul de l'impact climatique.

Autant que possible, l'impact du changement climatique sur un usage est estimé en tenant compte à la fois de : a) l'impact de la hausse de température, exprimé en terme de variation de degrés-jours par rapport à la normale; b) la réaction du consommateur face à cette hausse de température, par exemple dans l'achat d'un climatiseur.

### **1.1.2 Les modèles et études disponibles**

L'une des difficultés majeures liées à l'évaluation économique des impacts des changements climatiques réside dans la très grande différence entre les horizons de scénarisation retenus par les climatologues et ceux utilisés en économie. En effet, les modèles climatiques s'intéressent aux changements devant survenir dans plusieurs décennies et considèrent généralement des horizons de

---

<sup>1</sup> Indirectement, il serait possible d'évaluer cet impact pour l'approvisionnement.

cinquante et cent ans. Déjà, il faut savoir que si les organismes nationaux et provinciaux font des prévisions démographiques sur cinquante ans peu de modèles économiques de long terme<sup>2</sup> existent pour estimer l'évolution d'un secteur d'activités humaines sur des horizons de plus de vingt-cinq ans et pratiquement aucun à plus long terme. De plus, en général, les prévisions économiques ne sont pas détaillées sur un horizon aussi long que ceux considérés dans cette étude.

Les seuls organismes au Québec ayant maintenu de façon continue des exercices de scénarisation économique de long terme (horizon de 20 à 25 ans), sont des organismes du secteur de l'énergie soit Hydro-Québec et le ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec. Cette banque de modèles a bien sûr été utilisée pour cette étude. Mais leur niveau de détail pourrait éventuellement servir à d'autres fins, comme par exemple estimer la demande d'eau potable ou d'autres services qui seront affectés par un éventuel changement climatique.

En tout état de cause, l'énergie est un bon secteur pour se faire la main en termes d'approche méthodologique. Il faut savoir cependant que certains travaux ont déjà été entrepris de ce côté à la fois par Hydro-Québec et le MRNF. Chez Hydro-Québec, par exemple, le calcul des impacts climatiques pour l'horizon 2028 pour les secteurs résidentiel et commercial fait maintenant partie des exercices de prévision périodiques. Le MRNF a également fourni des estimations préliminaires de ces impacts sur le chauffage et la climatisation (D. Paré, 2004). Dans les deux cas, les prévisions climatiques ont été fournies par Ouranos.

Ailleurs dans le monde, les études d'impacts climatiques sur la demande d'énergie sont rares. Une étude récente à laquelle on fait souvent référence est celle qui a été produite pour la région métropolitaine de New York (Center for International Earth Science Information Network, 2000). Selon cette étude, la demande de chauffage dans la région métropolitaine de New York diminuerait de 20 à 40 %, alors que la demande de climatisation augmenterait de 45 à 135 % selon les modèles et les hypothèses à taux d'humidité constant. Un taux d'humidité plus élevé aurait pour effet d'augmenter l'élasticité entre la demande de climatisation et la température. Comme la climatisation est essentiellement électrique, la demande de pointe estivale (entre 7 et 17 %) augmenterait de façon progressive et substantielle au cours des prochaines décennies, accentuant ainsi la vulnérabilité des réseaux de production, de transport et de distribution d'électricité.

---

<sup>2</sup> Les termes long terme et moyen ou court terme peuvent devenir confus en raison de la signification différente selon la discipline. Le lecteur comprendra que dans cette étude, « moyen terme » se rapporte à l'horizon 2030, le

## Impact du changement climatique sur la demande d'énergie

---

Nos résultats vont dans le même sens. C'est d'abord sur le chauffage et la climatisation que le changement climatique a un impact, et donc sur le secteur domestique en premier lieu. Suivent les secteurs commercial et industriel, pour lesquels on observe une baisse de la demande des combustibles en particulier. Par contre, le secteur des transports semble peu affecté par une hausse des températures si on se base sur les données agrégées utilisées.

D'un point de vue économique, les résultats sont globalement positifs pour le Québec : a) les besoins énergétiques baissent, b) les achats de combustibles diminuent ce qui favorise la balance des paiements, c) la demande de pointe en hiver diminue à cause de la diminution de la demande de chauffage, d) les émissions de gaz à effet de serre diminuent.

Une extrapolation grossière à l'échelle nord-américaine occasionne une substitution du chauffage par de la climatisation. Pour l'environnement, on comprend rapidement que la nouvelle peut être bonne ou mauvaise selon le mode de production des nouveaux besoins d'électricité. Quelque soit le cas les profits venant des exportations d'Hydro-Québec en été ne peuvent qu'augmenter.

---

*« long terme », à celui de 2050.*

## **2. LE CONTEXTE DÉMOGRAPHIQUE, ÉCONOMIQUE ET ÉNERGÉTIQUE**

### **2.1 Les scénarios démographiques**

Les scénarios démographiques constituent un élément de base de la prévision socio-économique. En effet, les ménages comme consommateurs ultimes représentent un élément essentiel de la dépense globale et par conséquent de la dépense énergétique. De plus, ils influencent indirectement les besoins des secteurs commerciaux et institutionnels. Par ailleurs la croissance de la force de travail ou la main-d'œuvre qui est largement fonction de l'évolution démographique constitue, via le taux d'emploi et de productivité, un élément essentiel de la croissance économique.

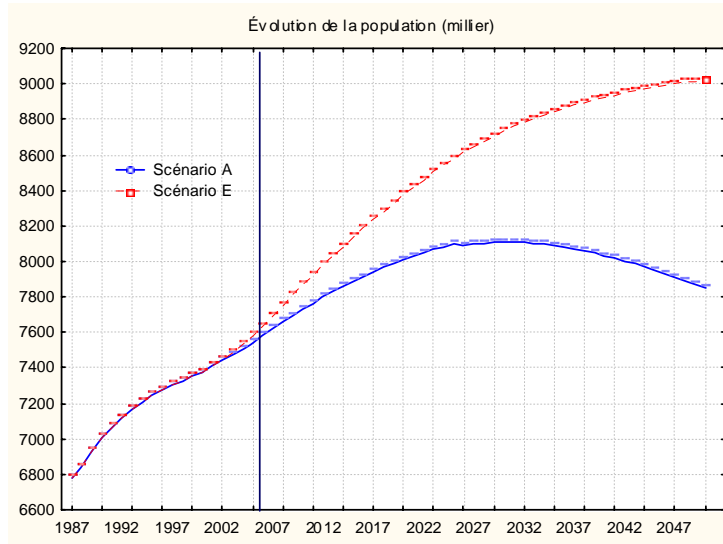
L'Institut de la statistique du Québec (ISQ) est le seul organisme<sup>3</sup> à offrir une gamme complète de scénarios démographiques pour le Québec à l'horizon 2051: sept scénarios au total (tableau 1). Comme l'horizon d'analyse de ce rapport est 2050, l'utilisation des scénarios de l'ISQ est incontournable. Les scénarios de croissance démographiques retenus sont donc directement tirés de ces scénarios. Afin d'examiner l'impact maximal du changement climatique deux scénarios démographiques ont été retenus : a) le scénario de référence (scénario A du de l'ISQ), b) le scénario fort (scénario E de l'ISQ). Les graphiques 1 et 2 présentent l'évolution de la population et des ménages selon ces deux scénarios. On remarque que dans le scénario de référence A, la population du Québec atteint un sommet vers 2031 alors que le nombre des ménages continue de croître pendant quelques années de plus jusqu'en 2036. Dans le scénario fort E, ces deux variables continuent de croître pendant toute la période.

Notons par ailleurs qu'Hydro-Québec produit trois scénarios démographiques pour l'horizon 2036, alors que le MRNF n'utilise qu'un seul scénario de référence qui s'arrête en 2026. Les tableaux 1 et 2 présentent l'évolution de la population et des ménages selon ces diverses sources.

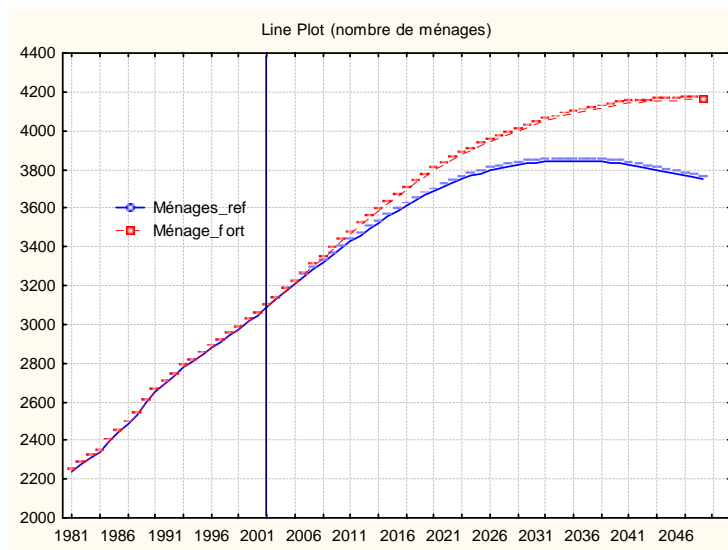
---

<sup>3</sup> Statistique Canada s'intéresse aussi à cette période et produit des scénarios pour le Canada jusqu'en 2051 mais ne fournit pas de scénario pour le Québec au-delà de 2031.

## Graphique 1- Évolution de la population Scénario A et E en millier



## Graphique 2- Évolution des ménages Scénario A et E en millier



Source: ISQ, 2003

**Tableau 1 Évolution de la population au Québec selon divers organismes 2001-2051 (milliers)**

	ISQ <sup>1</sup>							HQ <sup>2</sup>		MRNF <sup>3</sup>
	A	D	E	F	G	I	J			
	Référence	Faible	Fort	Migration Zéro	Fécondité (2,1)	Mortalité Constante		Référence	Fort	Référence
2001	7397	7397	7397	7397	7397	7397	7397	7418	7418	7410
2011	7767	7577	7922	7539	8052	7723	7767	7684	7913	7764
2021	8014	7511	8418	7551	8570	7863	8014	7823	8343	8033
2026	8086	7419	8614	7495	8774	7860	8086	7834	8497	8107
2031	8107	7275	8761	7380	8946	7796	8107	7785	8592	
2036	8080	7077	8863	7211	9109	7678	8080	7685	8642	
2041	8017	6839	8936	7002	9259	7527	8017			
2051	7832	6324	9031	6516	9504	7202	7832			

1.- [www.stat.gouv.qc.ca](http://www.stat.gouv.qc.ca), scénarios 2003

2.- Hydro-Québec, scénario août 2003

3.- Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF), automne 2004

## 2.2 La croissance économique à très long terme

La projection de la croissance économique à long et très long terme constitue un exercice difficile et périlleux dans lequel peu d'organismes se sont aventurés. Il est cependant possible en se basant sur les tendances observées et les scénarios démographiques de dégager une image générale de l'ampleur de l'économie des prochaines décennies et dans une moindre mesure de sa composition par activités principales. Les hypothèses de croissance démographique sont en effet déterminantes pour la croissance économique en raison à la fois du rôle de la main-d'œuvre comme facteur de production et du rôle de la population en tant que consommateur intérieur ultime. Même si l'activité économique peut influencer certains aspects de la participation de la main-d'œuvre ainsi que les hypothèses relatives à l'immigration nette, les données de base de la croissance démographique naturelle telle que la croissance naturelle et l'évolution de la composition par âge et par sexe constituent donc des éléments fondamentaux, raisonnablement prévisibles, de la croissance économique sur les horizons considérés de long (2030) et très long terme (2050).

**Tableau 2 Évolution des ménages au Québec selon divers organismes 2001-2051 (milliers)**

Année	ISQ <sup>1</sup>							HQ <sup>2</sup>		MRNF <sup>3</sup>
	A	D	E	F	G	I	J	Référenc e	Fort	Référenc e
	Référenc e	Faible	Fort	Migration Zéro	Fécondit é (2,1)	Mortalité Constant e		Référenc e	Fort	Référenc e
2001	3043	3043	3043	3043	3043	3043	3043	3046	3046	3050
2011	3428	3378	3469	3344	3425	3402	3356	3360	3465	3399
2021	3711	3561	3822	3532	3707	3621	3585	3563	3782	3652
2026	3792	3579	3943	3558	3818	3657	3650	3603	3873	3714
2031	3834	3545	4034	3538	3917	3648	3682	3610	3940	
2041	3823	3367	4140	3387	4033	3536	3653			
2051	3725	3118	4164	3143	4074	3371	3553			

1.- [www.stat.gouv.qc.ca](http://www.stat.gouv.qc.ca), scénarios 2003

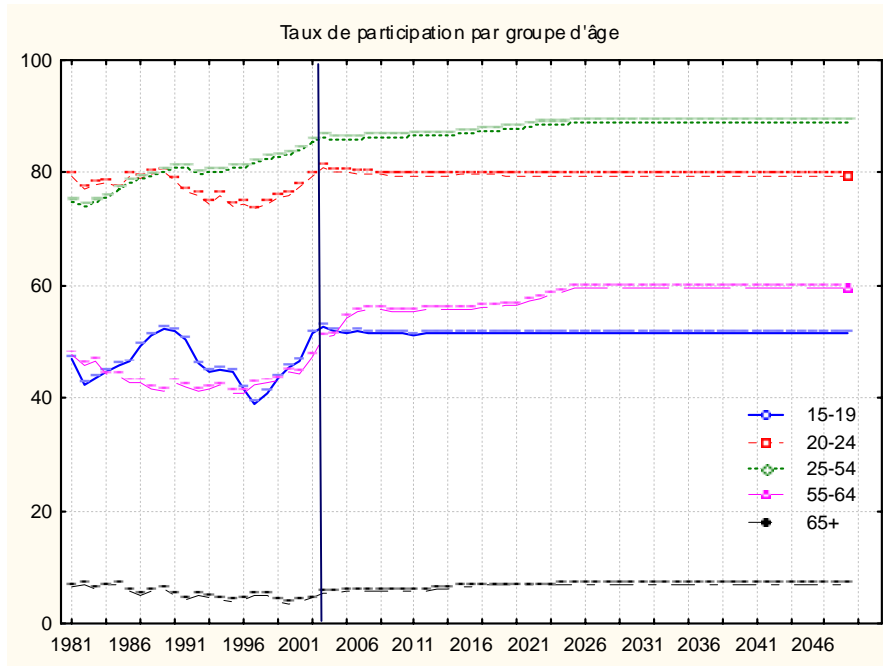
2.- Hydro-Québec, scénario août 2003

3.- MRNF, automne 2004

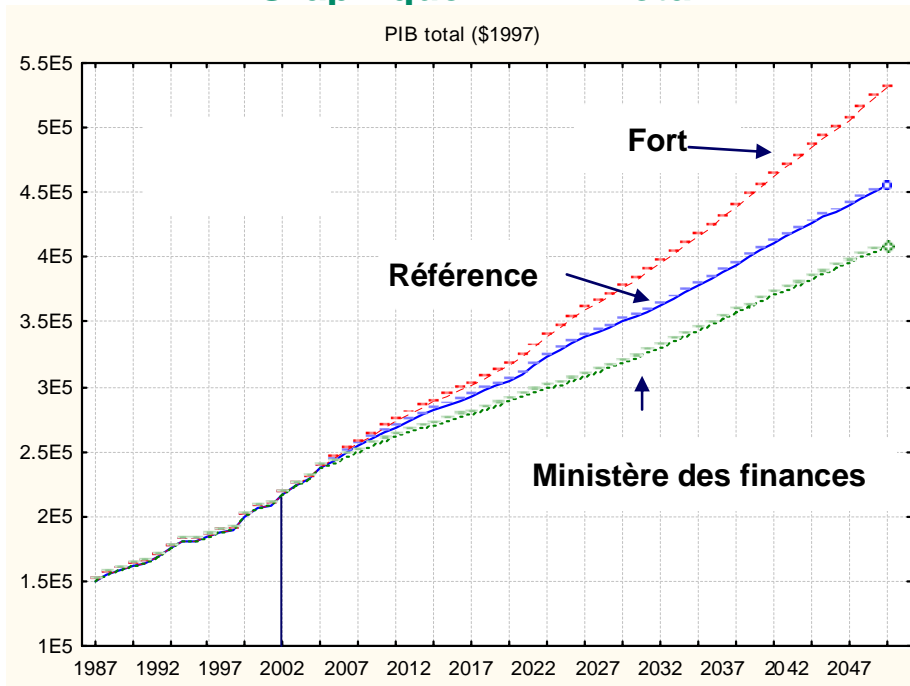
En se basant sur une hypothèse de continuité des tendances actuelles concernant la participation de la main-d'œuvre et la productivité du travail, il est ainsi possible d'élaborer un ou des scénarios concernant la croissance économique globale. Cette approche implique dans une large mesure l'absence de coupures radicales dans les tendances observées à ce jour au Québec et de bouleversements technologiques ayant pour effet de changer substantiellement la productivité du travail. Il s'agit essentiellement d'une extrapolation des données actuelles. La détermination des PIB sectoriels peut s'effectuer de la même façon à partir des scénarios de prévision du PIB d'ensemble et en supposant la continuation des tendances actuelles de l'économie vers une tertiarisation encore plus poussée.

C'est à partir de ces hypothèses que ce travail a été élaboré. On peut ainsi résumer le processus suivi pour la détermination du PIB d'ensemble et des PIB sectoriels selon l'algorithme suivant. La population en âge de travailler (ayant plus de 15 ans) est ainsi dérivée directement des scénarios de population A et E de l'ISQ. La population active est par la suite déterminée par l'application d'un taux de participation par groupe d'âge. À cet égard, on envisage que le taux de participation augmentera jusqu'en 2026 pour ensuite demeurer stable pour la période 2026 à 2050 (graphique 3).

### Graphique 3: Taux de participation par groupe d'âge Scénario A et E



### Graphique 4: PIB Total



### *Détermination de la population active*

#### *Le nombre d'emplois totaux*

Le nombre d'emplois totaux pour les scénarios A et E est ensuite calculé en appliquant une hypothèse de réduction du taux de chômage sur la période, permettant au Québec l'atteinte progressive du plein emploi vers 2026 (taux de chômage autour de 4,7%), celui-ci se maintenant à ce niveau à l'horizon 2050 (autour de 4,5%). Cette hypothèse est cohérente avec le ralentissement de la croissance de la main-d'oeuvre provoqué par la faible croissance démographique de la période considérée.

#### *Le nombre d'emplois sectoriels*

Le nombre d'emplois pour les secteurs principaux (tertiaire et industriel) est calculé en se basant sur l'évolution de la part de chaque secteur pour l'horizon 1987 à 2025 (les prévisions 2001 à 2025 étant celles du MRNF). Cette part est ensuite extrapolée jusqu'en 2050 selon une équation logarithmique<sup>4</sup>. La forme de cette équation reflète l'atteinte progressive d'un plafond dans la proportion de l'emploi tertiaire. À l'intérieur du secteur industriel, la part du secteur primaire continue de diminuer, mais à un rythme plus lent. L'hypothèse retenue est que la part de l'industrie lourde reste constante sur la période 2025-2050. Dans le cas du tertiaire, nous distinguons l'institutionnel des activités privées ; dans ce cas également il est assumé que la part de chaque sous-secteur reste constante après 2025.

#### *Le calcul des PIB sectoriels et la productivité de la main d'oeuvre*

Le nombre d'emplois par secteur (industriel et tertiaire) multiplié par la productivité de la main d'oeuvre (exprimé en \$ par employé) sert ensuite à calculer un PIB total et sectoriel. Pour estimer la productivité de la main d'oeuvre, nous avons testé deux approches : a) l'extrapolation tendancielle des valeurs retenues annuellement pour la période 1987-2025, et b) l'extrapolation du taux de croissance annuel prévu pour la période 2015-2025 correspondant à un scénario optimiste de croissance de productivité. Compte tenu que le Québec connaîtra des difficultés dans le renouvellement de sa main d'oeuvre à long terme, nous avons déduit qu'il fallait faire progresser la productivité à un niveau plus élevé que par le passé.

---

<sup>4</sup> Pour rappel, l'approche est tendancielle, et non basée sur la théorie économique pure.

### 2.2.1 Comparaison avec d'autres études

La synthèse des hypothèses servant au calcul du PIB apparaît dans les tableaux 3, 4, 5 et 6. À titre de comparaison, les taux de croissance planifiés par Hydro-Québec et le MRNF sont indiqués dans le tableau 3.

**Tableau 3 Croissance économique par grand secteur d'activité**

	Historique (1986-2001)	MRNF (2001-2016)	Hydro-Québec (2004-2014)
Industriel	2,55	2,33	2,70
Tertiaire	2,59	2,52	2,45
Ensemble de l'économie	2,58	2,46	2,48

**Tableau 4 Hypothèses d'évolution : indicateurs de base pour les scénarios A et E**

Variable	Extrapolation 2025-2050
Population en âge de travailler	15 ans et plus
Taux de participation par groupe d'âge	Fixé à la valeur de 2025
Taux de chômage	Objectif de 4,5% en 2050
Part du tertiaire	$Y = 69.194 + 4.275 * \log_{10}(x)$
Part du primaire dans l'industrie	$Y = 37.2562 - 4.8151 * \log_{10}(x)$
Part de l'industrie lourde dans le manufacturier	Fixé à la valeur de 2025
Part de l'institutionnel dans le tertiaire	Fixé à la valeur de 2025
Productivité par emploi	Fixé à la valeur moyenne pour 2015-2025

Note x correspond au pas de temps, le début étant l'année initiale de la série chronologique (1980 en général ou 2001)

**Tableau 5 Taux de participation et de chômage (%)**

	Taux de Participation		Chômage	
	Moyen	Fort	Sc A et E	MDF <sup>1</sup>
2001	62.9	62.9	8.7	8.7
2025	58.7	59.3	4.7	5,0
2030	56.7	57.7	4.7	5,0
2050	54.1	55.8	4.5	5,0

1.- Ministère des Finances (2005)

**Tableau 6 Productivité par emploi : scénarios A et E (millier de \$1997)**

	Industrie	Manufacturier	Tertiaire
2001	77.5	74.2	53.2
2025	117.3	115.2	76.6
2030	127.8	125.5	82.9
2050	180.1	176.9	113.7

Afin d'illustrer nos choix, il est apparu utile de comparer un exercice récent d'analyse économique pour l'horizon 2050. Il s'agit d'une étude du Ministère des Finances du Québec publiée en février 2005 (tableau 7). qui a suscité un débat médiatique important. Dans cette étude, la croissance économique est également basée sur le scénario A de l'ISQ, mais certaines des hypothèses sont quelque peu différentes de celles retenues pour cette étude.

**Tableau 7 Taux de croissance du PIB par habitant**

	Sc A et E	MDF <sup>1</sup>
1987-2004	1,9	1,9
2005-2010	1,8	1,8
2010-2020	1,1	1,1
2020-2030	1,4	1,1
2030-3040	1,5	1,3
2040-2050	1,4	1,1
2005-2050	1,4	1,2

1.- Ministère des Finances (2005)

La principale différence se situe au niveau de la productivité du travail. La croissance de la productivité du travail s'est en effet accélérée au cours des dernières décennies passant de 0,8% pour la période 1981-1998 à 1,5% de 1998 à 2003. Cependant alors que cette étude table sur une continuation de la croissance de la productivité à 1,6% sur la période 2005 à 2050, le scénario du MDF s'en tient à 1,3%. Le taux de chômage en fin de période est également plus optimiste dans cette étude à 4,5% au lieu de 5%.

En conséquence, le taux de croissance annuel du PIB total par habitant pour le MDF sur la période 2005 à 2050 se situe à 1,2% environ, alors que notre scénario de référence est autour de 1,4% (voir tableau 7). Comme l'objectif de ce document est d'analyser l'impact du changement climatique, le

choix d'hypothèses optimistes pour estimer la croissance économique à l'instar de nos scénarios démographiques permet d'en déterminer l'impact maximal. À l'inverse, il faut bien comprendre qu'un scénario socio-économique faible aura moins d'impact sur la demande.

### 2.2.2 Sommaire sur les scénarios économiques

Les tableaux 8 et 9 résument les résultats obtenus pour la croissance des indicateurs économiques retenus, y compris le nombre d'emplois et le PIB (sectoriel et total).

**Tableau 8 Nombre d'emplois (milliers)**

	Total	Industrie	Primaire	Manufacturier	Lourd	Tertiaire	Institutionnel.
2001	3500	916	269	647	123	2584	818
Référence							
2025	3876	922	276	647	94	2952	1004
2030	3784	900	264	636	93	2884	981
2050	3535	816	233	583	85	2719	925
Fort							
2025	4095	975	291	683	100	3119	1061
2030	4079	970	285	685	100	3109	1058
2050	4109	949	271	678	99	3161	1075

#### *L'emploi*

Pour le scénario de référence, on observe que l'emploi atteint un sommet vers la mi-période. Puis en fin de période, le nombre d'emplois régresse presque au niveau de 2001. Par secteur, les choses sont cependant différentes : alors que dans l'industriel, le nombre d'emplois a tendance à diminuer de façon continue, dans le tertiaire, on observe une hausse jusqu'en 2025 pour ensuite obtenir une diminution lente avec un niveau en 2050 encore supérieur à celui de 2001.

Dans le scénario fort, l'emploi augmente légèrement sur toute la période et cela pour les deux secteurs importants, l'industriel et le tertiaire. Par contre, nous assistons à une baisse continue de l'emploi pour l'industrie lourde<sup>5</sup>. Cela concorde avec une stabilisation de la croissance pour certains secteurs « fort consommateurs » d'énergie. Pour le secteur des pâtes et papiers ainsi que de la première transformation des métaux, nous faisons l'hypothèse que la production physique annuelle se stabilisera, même si la valeur ajoutée en dollars augmente. Dans le premier cas, il s'agit d'une

conséquence de la stabilisation de l'offre en bois. Dans le second cas, c'est une question de disponibilité d'énergie bon marché. La croissance de l'emploi dans l'institutionnel pour sa part s'explique en bonne partie par l'accroissement des besoins en santé.

#### *La croissance économique*

De son côté, la croissance économique de très long terme s'affaiblit après l'horizon 2025 en raison de la faiblesse de la croissance démographique (tableau 10). Pour le scénario de référence, la croissance du PIB serait de l'ordre de 1,3 % après 2030. Par contre la croissance prévue à très long terme dans le scénario fort ne s'éloignerait pas trop de ce qui est prévu dans la période 2001-2030.

**Tableau 9 Niveau du produit intérieur brut total et pour deux secteurs (2001-2050)**

	PIB total	PIB industriel	Part de l'industriel	PIB tertiaire	Part du tertiaire
	Milliards \$97	Milliards \$97	%	Milliards \$97	%
2001	208 433	70 972	34.1	137 461	65.9
<b>Référence (A)</b>					
2025	334 285	108 187	32.4	226 098	67.6
2030	354 099	115 006	32.5	239 094	67.5
2050	456 262	147 012	32.2	309 251	67.8
<b>Fort (E)</b>					
2025	353 212	114 313	32.4	238 900	67.6
2030	381 696	123 968	32.5	257 727	67.5
2050	530 329	170 877	32.2	359 453	67.8

### **2.3 Le contexte énergétique et technologique**

Si la croissance économique est le fondement de la demande d'énergie, celle-ci est également fonction de l'évolution du contexte énergétique proprement dit soit l'évolution des prix de l'énergie eux-mêmes affectés par l'évolution de la demande et de l'offre, le développement des technologies énergétiques tant du côté de l'offre que de la demande et enfin les politiques gouvernementales qui cherchent à agir sur chacun des éléments précédents dont notamment les politiques en matières de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

<sup>5</sup> Dans cette étude, l'industrie lourde comprend les secteurs des pâtes et papiers, de la première transformation des métaux, des minéraux non métalliques, des produits chimiques et des raffineries.

**Tableau 10 Taux de croissance annuelle de l'économie et des secteurs industriel et tertiaire**

<b>2001-2050</b> (%)	<b>Total</b>	<b>Industriel</b>	<b>Tertiaire</b>
<b>Référence (A)</b>			
2025-2030	1,2	1,2	1,1
2001-2030	1,8	1,7	1,9
2030-2050	1,3	1,2	1,3
<b>Fort (E)</b>			
2025-2030	1,6	1,6	1,5
2001-2030	2,1	1,9	2,2
2030-2050	1,7	1,6	1,7

*Prix de l'énergie*

Les prix du pétrole ont connu récemment une croissance rapide en raison d'une demande relativement forte et une conjoncture géopolitique entraînant des incertitudes quant à l'offre. L'évolution en dent de scie du prix du gaz naturel depuis l'an 2000 correspond également à des tensions offre/demande, liées en particulier à la demande forte du secteur de production de l'électricité. Sur le très long terme, de telles situations peuvent se répéter. Pour les besoins de cette étude de long terme, il a cependant été décidé de poser l'hypothèse d'un contexte énergétique où les tendances actuelles se prolongent avec un équilibre offre/demande qui se maintient sans chocs pétroliers ou gaziers majeurs.

Pour le pétrole et le gaz naturel, la plupart des organismes, dont l'Agence Internationale de l'Énergie ([www.iea.org](http://www.iea.org)) prévoient un fléchissement, à moyen et long terme, du prix par rapport au prix élevé du début 2006. De plus, même si les prix attendus restent élevés si on les compare à ceux observés au cours de la décennie 90, l'augmentation de l'écart des prix relatifs entre ceux-ci et celui de l'électricité n'est pas suffisant pour causer des modifications majeures dans les choix des consommateurs.

Dans cette hypothèse, le monde se défait peu à peu de sa dépendance envers les combustibles, sans vraiment modifier les fondements de son système d'approvisionnement énergétique. Pour le

transport, par exemple, un tel cadre d'analyse suppose qu'il y a peu de substitution intermodale; en revanche l'efficacité des véhicules progresse de façon tendancielle.

Cette approche implique que la position concurrentielle de chaque forme d'énergie suit la tendance des dernières décennies en termes d'approvisionnement énergétique. Il s'agit bien sûr d'une hypothèse forte du fait que d'ici 2050, le risque de crises majeures du pétrole et/ou de gaz est élevé. Ce choix permet d'éviter les scénarios catastrophes dont les impacts sur la demande sont difficiles à évaluer.

Comme cette étude utilise les modèles d'Hydro-Québec et du MRNF pour bâtir les scénarios par usage et par secteur et que ces organismes retiennent ces hypothèses, celles-ci sont implicitement utilisées dans les prévisions de cette étude pour l'horizon 2026,. Pour l'extrapolation à 2050, nous supposons un équilibre dans les parts de marchés de chaque forme d'énergie par secteur. Sur ce dernier point, le secteur des transports est un peu différent puisque la simulation a été effectuée jusqu'en 2050 avec le modèle MEDEE-Québec; ce modèle incorpore le paramètre prix.

Comme le contexte énergétique ne change pas beaucoup, les résultats attendus par secteur de consommation pour l'approvisionnement sont les suivants:

- Dans le résidentiel, la tendance lourde des trois dernières décennies se poursuit : la part de l'électricité continue de progresser lentement au détriment des combustibles;
- Si on prend l'exemple du secteur Général et institutionnel (Hydro-Québec, INRS, 2004), la variation moyenne du coût relatif des systèmes de chauffage semble être relativement stable depuis 1994 et devrait se poursuivre pour les prochaines décennies. En d'autres mots, l'équilibre observé entre l'électricité et les combustibles comme mode de chauffage semble être établi depuis plus d'une décennie.
- Dans l'industriel, le gros de la consommation de chauffage revient au gaz naturel;
- Dans le transport, si on assume une certaine « paix énergétique » pour l'approvisionnement à long terme du pétrole, la substitution intermodale reste faible; par contre, des gains d'efficacité tendanciels sont réalisés.

### *Changements technologiques*

Un contexte énergétique tendanciel est accompagné de progrès technologiques tendanciels, ce qui

est discuté secteur par secteur en ce qui concerne la demande.

### *Politiques gouvernementales*

Nul doute que le contexte environnemental sera à l'ordre du jour dans le siècle qui démarre. Mais comment évaluer l'impact de la prise de conscience des populations à la question relative au Protocole de Kyoto<sup>6</sup>. Même en le ratifiant, est-ce que le Canada pourra respecter ses engagements<sup>7</sup>? Quelles en seraient les conséquences pour le Québec? Quel sera l'impact du changement climatique sur les habitudes de consommation? Ce sont des questions complexes, surtout si on examine la situation pour l'horizon 2050.

Dans la pratique, la simulation de scénarios climatiques à forte intervention politique en faveur d'une baisse des GES nous obligerait à reconstruire entièrement les scénarios énergétiques et économiques. Comme notre approche vise surtout à établir une borne supérieure d'impact climatique, nous nous sommes limités à des scénarios tendanciels, sans intervention majeure des gouvernements en faveur de la réduction des gaz à effet de serre. Cela n'exclue pas totalement le contexte de Kyoto. Car une certaine volonté politique à l'échelle mondiale est déjà perceptible et indirectement des gains d'efficacité vont s'ensuivre y compris au Québec.

Le bilan d'émission de gaz à effet de serre du Québec est déjà meilleur que celui de nos voisins. À long terme, on peut prévoir que ce bilan ne s'alourdira pas indûment, considérant que la demande d'énergie plafonnera assez rapidement au cours du siècle, que les choix de production électriques demeureront axés sur les énergies renouvelables et que l'on peut espérer que les gains tendanciels en efficacité énergétique se poursuivront. On peut donc raisonnablement envisager dans un tel contexte que les mesures mises en œuvre au Canada et dans le monde pour la réduction des émissions de GES n'auront que peu d'effet sur ces scénarios tendanciels faits pour le Québec.

---

<sup>6</sup> Au moment d'écrire ce rapport, le plan du Canada concernant les moyens à prendre pour respecter Kyoto n'était connu que partiellement.. Pour connaître le plan du Canada sur les changements climatiques, il faut consulter le site [www.climatechange.gc.ca](http://www.climatechange.gc.ca).

<sup>7</sup> De toutes façons, le Québec n'a pas signé d'engagements sur le sujet.

### **3. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE**

Les scénarios climatiques utilisés dans cette étude ont été sélectionnés à partir d'un ensemble de dix scénarios climatiques futurs basés sur la méthode des deltas (Chaumont, 2005, [www.ouranos.ca/doc/produit\\_f.html](http://www.ouranos.ca/doc/produit_f.html)). Les scénarios reposent sur cinq modèles de circulation générale reconnus par le GIEC (CGCM2, CSIRO-Mk2, ECHAM4, GFDL-R30 et HadCM3), couplés à deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (A2 et B2). Le recours à plusieurs simulations climatiques assure la couverture d'un spectre de conditions climatiques équiprobables; l'impact de changements climatiques d'amplitudes variables mais plausibles peut ainsi être évalué. Trois scénarios climatiques ont été retenus pour l'analyse des impacts sur la demande énergétique: les scénarios optimistes (minimum de changements), médian et pessimistes (maximum de changements). Les degrés-jour de chauffe et de climatisation servent de critères de sélection. De façon générale, les modèles climatiques prévoient un réchauffement plus important l'hiver que l'été dans le sud du Québec. Toutefois, le changement hivernal est associé à une plus grande incertitude compte tenu de la plus grande différence entre les simulations des modèles durant la saison hivernale.

Les divers scénarios de changements climatiques varient en fonction des modèles et de scénarios d'émissions. À moyen terme, c'est-à-dire pour la période autour des années 2020 à 2030, comme les concentrations de GES varient très faiblement en fonction des émissions dans les prochaines décennies, l'ensemble des modèles climatiques présente peu de variations. Ainsi pour les régions de Montréal et Québec à l'horizon 2030, l'augmentation des températures permettrait de réduire les besoins de chauffage en degrés-jours de 8 à 19%. En ce qui concerne les degrés-jours de climatisation, ils augmenteraient de 223% à 491% selon les scénarios pour les deux régions. À l'horizon de 2050 par contre les différentiels sont beaucoup plus importants et contrastés en fonction des scénarios. Ainsi, pour le chauffage la diminution va de 12 à 26% alors que pour la climatisation l'augmentation atteint de 280% à 799%.

Pour calculer l'effet de cette variation des degrés-jours sur la demande d'énergie il est nécessaire de procéder en deux temps. Dans un premier temps l'étude procède au calcul de la demande d'énergie en supposant un climat constant. Par la suite, le même processus est réalisé avec les divers scénarios de changements climatiques. La différence est ensuite calculée pour chacun des scénarios par rapport à la prévision de demande sans changements climatiques.

### 3.1 Prédiction de la demande avant changements climatiques

Une fois le cadre méthodologique établi pour la construction des deux scénarios socio-économiques, l'étape suivante consiste à déduire les prévisions de demande pour les quatre secteurs considérés : résidentiel et agricole, commercial et institutionnel, industriel ainsi que transport. La prévision énergétique correspond à des scénarios tendanciels, avant programme d'économie d'énergie, avant innovation technologique particulière ainsi qu'avant impact climatique. Comme nous l'avons déjà souligné, l'approche est différente selon que l'on considère les horizons 2030 ou 2050.

En bref, le calcul de l'impact climatique par secteur passe par les étapes suivantes :

- Une projection des activités par secteur est réalisée à partir d'indicateurs globaux (voir tableau 11 pour le sommaire);
- Des hypothèses sont effectuées pour les gains d'efficacité par usage et pour l'évolution des parts de marchés des sources d'énergie;
- Une prévision de demande avant impact climatique est calculée par secteur;
- On calcule ensuite l'impact climatique par usage quand il est possible de le faire.

Les chapitres par secteur décrivent avec plus de détail notre démarche pour établir l'évolution de la demande.

**Tableau 11 Indicateur utilisé pour la projection des activités (2030-2050)**

	Indicateur	Méthode d'extrapolation
Résidentiel	Consommation par Ménage	Basé sur les scénarios A et E de l'ISQ
Tertiaire	Unité de surface par type d'édifice et par habitant	Fonction de variables économiques comme l'emploi et les activités économiques
Industriel	Consommation par dollars de production	Hypothèse tendancielle
Transport	Plusieurs variables démographiques et économiques	Modélisation avec MEDEE-Québec

### 3.2 Prédiction de la demande incorporant les changements climatiques

L'approche retenue consiste à produire des scénarios de demande d'énergie par secteur, par usage et par forme d'énergie. Cette demande d'énergie est calculée pour deux régions climatiques,

représentées par Montréal et Québec. Les scénarios d'Ouranos (2006) qualifiés d'optimiste (faible réchauffement), médian (réchauffement moyen) et pessimiste (fort réchauffement) donnent les degrés-jours de chauffage et de climatisation selon l'approche suivante:

- Les degrés jours de climatisation sont calculés pour les températures supérieures à 13°C pour le secteur Général et institutionnel et à 22°C pour le secteur résidentiel;
- Les degrés jours de chauffe sont calculés pour les températures inférieures à 15°C pour le secteur Général et institutionnel et à 18°C pour le secteur résidentiel;
- La normale correspond à la période 1961-1990.

Les données de base correspondant à ces scénarios ainsi que les facteurs correcteurs par rapport à la normale sont présentés dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 12 : Scénarios de changements climatiques : région de Montréal

	Actuel 1961-1990	Horizon 2015-2044			Horizon 2035-2064		
		optimiste	médian	pessimiste	optimiste	médian	pessimiste
<i>Cumul degrés-jour au-dessus de 13°C</i>							
janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
mars	0.1	0.3	0.3	0.8	0.4	0.4	1.5
avril	5.5	8.7	11.2	24.0	9.1	13.4	38.3
mai	54.0	93.3	91.8	121.4	109.2	108.9	153.9
juin	154.0	198.0	201.8	239.8	215.3	222.3	251.3
juillet	242.5	301.9	306.1	326.4	322.5	341.0	352.0
août	198.5	238.1	267.9	271.8	251.1	293.9	286.5
septembre	76.0	106.0	114.9	126.3	114.6	136.6	135.9
octobre	12.8	20.5	21.8	26.1	23.3	30.6	31.1
novembre	0.3	0.7	1.1	1.8	0.5	2.0	2.4
décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>total annuel</b>	<b>743.6</b>	<b>967.5</b>	<b>1016.8</b>	<b>1138.3</b>	<b>1046.0</b>	<b>1149.2</b>	<b>1253.1</b>
Écart (ratio par rapport à la		1.30	1.37	1.53	1.41	1.55	1.69
<i>Cumul degrés-jour au-dessus de 22°C</i>							
janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
avril	0.0	0.1	0.1	0.6	0.1	0.2	0.2
mai	1.2	4.5	4.3	8.0	6.3	6.3	2.9
juin	7.3	16.9	17.9	30.6	21.9	24.2	19.9
juillet	22.3	50.5	53.1	66.3	63.6	76.8	104.0
août	12.8	25.8	38.4	40.2	30.9	51.6	79.9
septembre	2.6	5.3	6.4	7.9	6.3	9.5	12.9
octobre	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2
novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>total annuel</b>	<b>46.2</b>	<b>103.1</b>	<b>120.3</b>	<b>153.7</b>	<b>129.3</b>	<b>168.7</b>	<b>220.1</b>
Écart (ratio par rapport à la		2.23	2.61	3.33	2.80	3.65	4.77
<i>Cumul degrés-jour en-dessous de 15°C</i>							
janvier	785.9	739.6	696.0	681.5	721.4	636.0	638.4
février	674.0	663.7	608.6	602.1	632.6	574.9	552.8
mars	540.5	520.9	479.2	438.6	483.6	467.4	392.0
avril	282.5	237.1	229.2	163.9	215.8	214.1	122.3
mai	94.3	55.4	54.2	35.4	43.9	42.3	21.7
juin	13.2	5.2	5.3	2.6	3.0	3.7	2.1
juillet	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
août	4.9	1.2	1.0	0.9	0.6	0.6	0.7
septembre	58.5	32.6	32.5	27.1	34.0	23.0	23.2
octobre	212.9	183.8	172.9	158.4	172.9	145.8	144.4
novembre	402.5	350.9	353.0	332.2	341.1	326.6	315.6
décembre	680.9	643.4	623.7	608.3	628.9	610.9	547.5
<b>total annuel</b>	<b>3751.0</b>	<b>3433.8</b>	<b>3255.5</b>	<b>3051.0</b>	<b>3277.8</b>	<b>3045.2</b>	<b>2760.6</b>
Écart (ratio par rapport à la		0.92	0.87	0.81	0.87	0.81	0.74
<i>Cumul degrés-jour en-dessous de 18°C</i>							
janvier	878.9	832.6	789.0	774.5	814.4	729.0	731.4
février	758.7	748.5	693.4	686.9	717.4	659.7	637.6
mars	633.5	613.9	572.1	531.3	576.5	560.3	484.5
avril	370.6	323.3	315.1	245.3	300.9	299.2	198.6
mai	167.4	115.3	113.6	84.4	98.2	95.7	60.4
juin	44.7	23.3	23.6	13.1	14.9	17.5	10.8
juillet	9.2	2.2	2.2	1.2	1.1	0.7	0.5
août	25.5	9.5	7.7	7.1	4.9	4.6	5.3
septembre	120.1	80.3	80.3	70.7	82.8	63.2	63.7
octobre	301.5	270.0	257.9	241.7	257.9	227.3	225.8
novembre	492.5	440.6	442.7	421.8	430.7	416.1	404.9
décembre	773.9	736.3	716.6	701.2	721.8	703.8	640.4
<b>total annuel</b>	<b>4576.6</b>	<b>4195.8</b>	<b>4014.0</b>	<b>3779.3</b>	<b>4021.5</b>	<b>3777.0</b>	<b>3463.8</b>
Écart (ratio par rapport à la		0.92	0.88	0.83	0.88	0.83	0.76

Note : Valeurs qui correspondent au milieu de la période

**Tableau 13 : Scénarios de changements climatiques : région de Québec**

	Actuel	Horizon 2030			Horizon 2050		
	1961-1990	optimiste	médian	pessimiste	optimiste	médian	pessimiste
<i>Cumul degrés-jour au-dessus de 13°C</i>							
janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
avril	1.1	2.1	2.7	7.0	2.2	3.4	13.4
mai	26.5	51.8	50.7	72.1	63.1	62.9	97.3
juin	107.8	148.5	152.2	189.2	165.3	172.1	200.6
juillet	188.2	247.0	251.2	271.4	267.6	286.1	297.0
août	144.9	183.6	213.1	216.9	196.4	238.9	231.6
septembre	40.1	61.9	68.8	77.9	68.6	86.3	85.8
octobre	3.9	7.1	7.7	9.8	8.4	12.2	12.5
novembre	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.3
décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>total annuel</b>	<b>512.4</b>	<b>701.9</b>	<b>746.3</b>	<b>844.6</b>	<b>771.6</b>	<b>862.1</b>	<b>938.6</b>
Écart (ratio par rapport à la		1.37	1.46	1.65	1.51	1.68	1.83
<i>Cumul degrés-jour au-dessus de 22°C</i>							
janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
avril	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
mai	0.2	1.1	1.1	0.4	1.8	1.8	0.6
juin	2.1	6.4	7.0	5.5	9.3	10.6	8.2
juillet	8.8	24.0	25.5	41.0	32.2	41.3	61.9
août	3.5	9.2	16.2	23.3	11.9	24.3	43.9
septembre	0.4	1.4	1.8	1.8	1.8	2.9	4.2
octobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>total annuel</b>	<b>15.0</b>	<b>42.2</b>	<b>51.5</b>	<b>72.0</b>	<b>57.0</b>	<b>80.8</b>	<b>118.9</b>
Écart (ratio par rapport à la		2.82	3.44	4.81	3.80	5.40	7.94
<i>Cumul degrés-jour en-dessous de 15°C</i>							
janvier	852.1	806.1	762.4	747.9	787.9	702.5	704.9
février	735.7	725.6	670.5	664.1	694.6	636.9	614.8
mars	609.1	589.5	547.8	507.0	552.2	536.0	460.1
avril	353.2	305.8	297.5	226.7	283.2	281.4	179.1
mai	143.6	93.9	92.3	65.2	77.8	75.5	43.8
juin	26.3	11.5	11.7	5.3	6.3	7.8	4.1
juillet	4.0	0.6	0.6	0.2	0.2	0.1	0.1
août	12.1	3.4	2.6	2.4	1.6	1.5	1.7
septembre	95.6	58.7	58.6	50.3	60.9	43.7	44.1
octobre	264.8	234.5	222.6	206.5	222.6	192.3	190.7
novembre	467.7	415.4	417.6	396.6	405.5	391.0	379.8
décembre	747.9	710.1	690.3	675.0	695.5	677.5	614.1
<b>total annuel</b>	<b>4312.2</b>	<b>3954.9</b>	<b>3774.4</b>	<b>3547.2</b>	<b>3788.2</b>	<b>3546.0</b>	<b>3237.1</b>
Écart (ratio par rapport à la		0.92	0.88	0.82	0.88	0.82	0.75
<i>Cumul degrés-jour en-dessous de 18°C</i>							
janvier	945.1	899.1	855.4	840.9	880.9	795.5	797.9
février	820.4	810.4	755.3	748.9	779.4	721.7	699.6
mars	702.1	682.5	640.8	600.0	645.2	629.0	553.1
avril	442.9	394.8	386.5	314.5	371.9	370.2	264.7
mai	227.3	168.3	166.3	131.4	148.0	145.1	100.7
juin	74.5	43.2	43.7	26.3	29.4	33.7	22.2
juillet	23.8	7.4	7.3	4.7	4.5	3.4	2.5
août	48.0	21.7	18.2	17.0	12.1	11.6	13.1
septembre	171.1	123.3	123.2	111.2	126.4	101.3	101.9
octobre	356.9	325.7	313.2	296.3	313.2	281.1	279.5
novembre	557.7	505.4	507.6	486.6	495.5	481.0	469.7
décembre	840.9	803.0	783.2	767.9	788.4	770.4	707.0
<b>total annuel</b>	<b>5210.6</b>	<b>4784.8</b>	<b>4600.6</b>	<b>4345.5</b>	<b>4594.8</b>	<b>4343.8</b>	<b>4011.9</b>
Écart (ratio par rapport à la		0.92	0.88	0.83	0.88	0.83	0.77

## **4. LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL**

### **4.1 Les hypothèses**

#### **4.1.1 L'évolution des activités**

Le nombre de ménages représente l'évolution des activités dans le secteur résidentiel, c'est-à-dire le besoin de logements. Tel que présenté dans le graphique 2, le scénario de référence prévoit que le nombre de ménages baissera légèrement entre 2030 et 2050. Par contre dans le scénario fort, le nombre de ménages continue d'augmenter. Pour les besoins de cette étude, nous ne supposons pas de changement structurel dans le stock de logements, par exemple entre unifamiliales et multilogements. Cette hypothèse est renforcée par le fait que le nombre de nouvelles constructions sera très limité d'ici quelques décennies.

#### **4.1.2 Les gains d'efficacité**

Comme nos prévisions se font dans un contexte conservateur où aucun programme ambitieux d'économie d'énergie n'est mis en opération, nous n'assumons que des gains d'efficacité tendanciels. Dans la pratique cela représente des gains d'environ 10% sur le chauffage net et 15% sur la climatisation. La consommation unitaire d'eau chaude baisserait de 13% et celle de la piscine de 50%. Par contre, les économies d'énergie pour les autres usages électriques seraient compensées par des augmentations de nouveaux besoins. Globalement, la consommation unitaire par ménage serait à peu près constante dans le temps.

Ce scénario conservateur s'appuie également sur deux autres facteurs : a) le contexte énergétique reflétant un prix faible de l'électricité n'avantage pas des mesures extraordinaires d'économie d'énergie, b) l'ajout de nouvelles constructions étant marginal en deuxième période, les économies se font sur un stock ancien, ce qui rend plus onéreux les mesures d'efficacité.

#### **4.1.3 Part de marché des formes d'énergie**

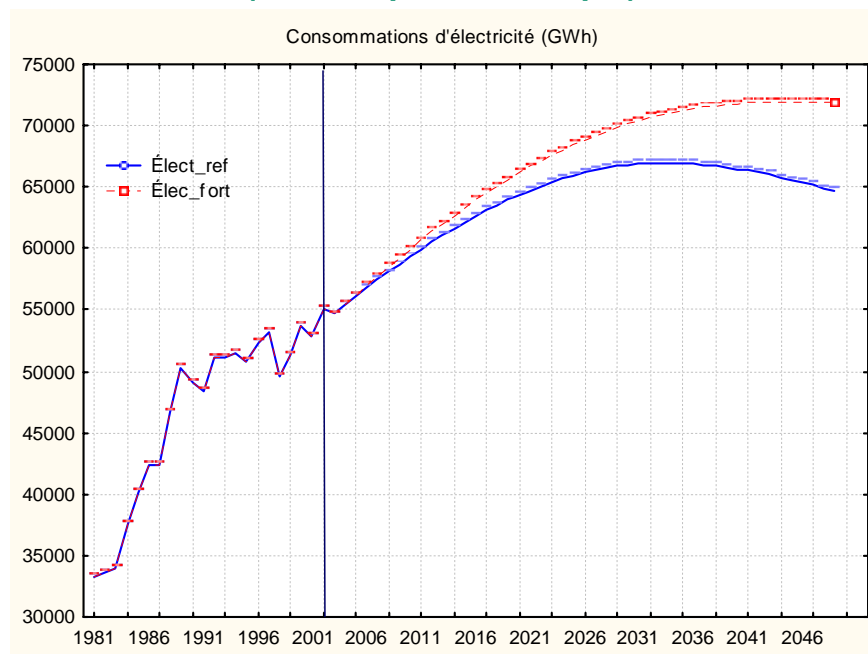
Le prix de l'électricité devrait suivre l'inflation alors que celui des combustibles devrait être supérieur à l'inflation. Clairement, si on se base sur la tendance, l'électricité continuera d'avoir un avantage comparatif par rapport aux combustibles dans les systèmes de chauffage. Avec un taux de diffusion autour de 74% à l'année initiale, le chauffage électrique continuera de gruger la part des

combustibles pour dépasser les 80% à l'horizon 2050. Dans ce scénario avant impact climatique, la diffusion de la thermopompe passe de 4% à 5% environ sur la période.

## 4.2 La prévision de demande avant impact climatique

On assiste à un point d'inflexion dans la croissance de la demande d'électricité vers 2015 environ. C'est ce que montre le graphique 5, cela pour les deux scénarios. Par la suite, la demande électrique se stabilise : vers 2030 pour le scénario de référence, et vers 2040 pour le scénario fort. Pour le scénario de référence, la demande décroît légèrement entre 2040 et 2050.

**Graphique 5 Demande d'électricité Secteur résidentiel (avant impact climatique)**



L'examen de la demande par usage (tableaux 14 et 15) montre des comportements semblables pour les scénarios de référence et fort. La demande de chauffage électrique et de climatisation augmente plus rapidement que pour les autres usages. Par contre dans les deux scénarios, la demande de chauffage par combustible décroît rapidement pour des raisons de substitution tout autant que de gains d'efficacité.

**Tableau 14 Prévion d'énergie par usage résidentiel pour le scénario de référence(Gigajoules)**

	Chauffage <sup>1</sup>	Climatisation	Eau chaude	Piscine	Autre <sup>1</sup>	Total <sup>1</sup>	Combustible <sup>2</sup>
2001	78537	2306	37136	4069	69379	191428	74058
2011	88753	2666	42247	4024	78143	215833	72327
2021	95819	2982	46089	3583	84591	233063	65816
2026	98318	3085	47087	3314	86440	238244	63642
2030	99545	3135	47509	3151	87269	240610	62201
2050	97665	3260	43986	2117	85158	232186	47861

1.- Électrique

2.- Combustible pour la chauffe

**Tableau 15 Prévion de demande par usage résidentiel pour le scénario fort (Gigajoules)**

Scénario E	Chauffage <sup>1</sup>	Climatisation	Eau chaude	Piscine	Autre <sup>1</sup>	Total <sup>1</sup>	Combustible <sup>2</sup>
2001	78537	2306	37136	4069	69379	191428	74058
2011	89816	2698	42754	4072	79079	218418	73194
2021	98683	3071	47466	3690	87119	240028	67782
2026	102235	3208	48963	3446	89884	247736	66177
2030	104479	3291	49863	3308	91594	252535	65284
2050	108820	3633	49010	2358	94884	258705	53328

1.- Électrique

2.- Combustible pour la chauffe

### 4.3 L'impact des changements climatiques

Le climat est, bien évidemment, un paramètre important (graphique 6) de la demande d'énergie dans le secteur résidentiel. La comparaison la demande d'énergie par habitant dans le secteur résidentiel pour les États américains en fonction des degrés-jours de chauffage confirme cette hypothèse. Plus le climat est froid, plus la consommation d'énergie est élevée. Mais cette analyse agrégée ne permet pas de trancher sur l'impact climatique par usage et en particulier de déterminer comment les besoins de chauffage et de climatisation évolueront en fonction de cette évolution. Pour tous les usages, y compris le chauffage et la climatisation, la variation de la consommation est en effet une combinaison de plusieurs facteurs de comportements.

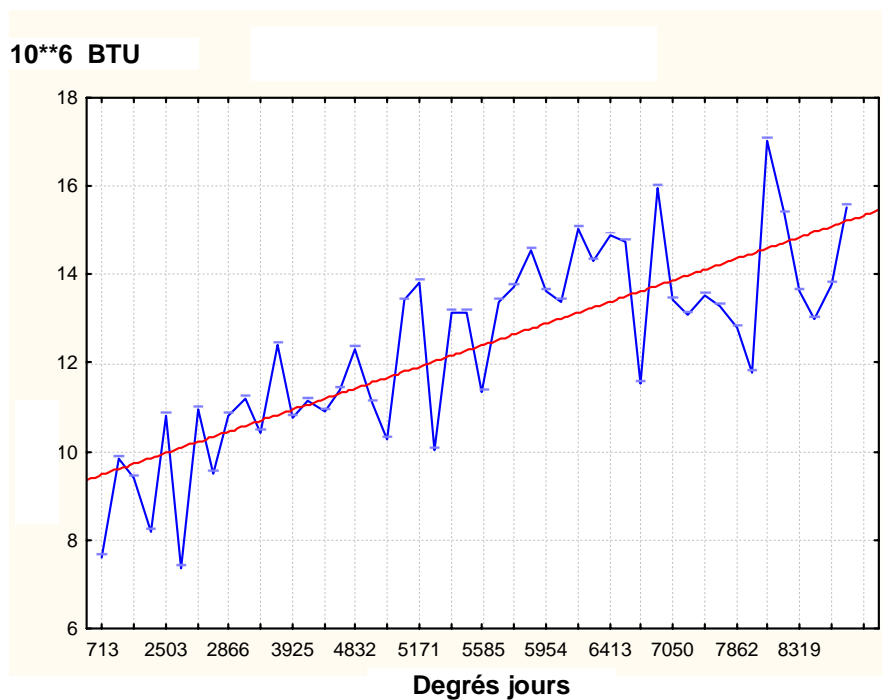
À cette fin nous avons suivi la procédure suivante :

- Les prévisions sont corrigées selon les variations de degrés jours de chauffage et de climatisation dans le futur, cela par rapport à la moyenne historique (trois scénarios climatiques);
- Cette analyse est faite en détail pour les usages *chauffage des locaux* et *climatisation*, et

pour l'électricité et les combustibles;

- Pour la climatisation, deux effets sont calculés : l'impact de la variation des degrés-jours sur les besoins de climatisation, l'impact du changement climatique sur la diffusion des équipements. L'humidité n'a pas été considérée.

### Graphique 6: Comparaison de la consommation d'énergie par habitant par État en fonction des degrés-jours de chauffage



Source: Données de base de 2001, [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

#### 4.3.1 Le chauffage des locaux

Le besoin de chauffage est étroitement lié au nombre de degrés-jours de chauffe. En général, on assume que la relation entre chauffage et variation de degrés-jours est directe (linéaire). Un facteur correcteur est cependant appliqué pour tenir compte des effets croisés de chauffage liés aux appareils ménagers, à l'éclairage ou à d'autres usages. Certains usages comme le chauffage de l'eau, la piscine ou bien l'éclairage extérieur contribuent peu ou pas aux effets croisés.

Avant de calculer l'impact du changement climatique sur le chauffage dans le secteur résidentiel, il faut d'abord estimer un chauffage brut qui est la somme du chauffage net et des effets croisés de chauffage. En saison chaude, il faut également éliminer les usages électriques du bilan annuel, si on

veut avoir un estimé de ce chauffage brut sur une base annuelle.

Les hypothèses de calcul pour estimer le chauffage brut dans le secteur électrique sont présentées dans le tableau 16. Selon nos estimés, le chauffage brut représente environ 70% de la consommation par ménage. C'est cette valeur qui est corrigée selon la variation des degrés-jours.

Pour le chauffage à base de combustible, il faut tenir compte également du facteur « énergie nette », soit environ 40% de la consommation totale par ménage. Il faut bien réaliser qu'il s'agit d'une consommation d'énergie utile, i.e. sans perte de rendement au niveau de l'équipement de chauffage. En appliquant un rendement de combustion et d'efficacité, le facteur global de correction pour les combustibles est 2,25. Il s'agit bien sûr d'une moyenne.

### **Tableau 16 : Facteur pour estimer le chauffage net et brut à partir de combustibles**

(% de la consommation totale)

	Net	Brut
2001	41.0	69.2
2030	41.4	69.6
2050	42.1	70.4

Note : Exprimé en énergie utile

Le tableau 17 montre que l'impact du changement climatique est très significatif sur la demande de chauffage dans le secteur résidentiel, cela dès 2030. Ainsi la demande totale d'énergie pourrait baisser par un facteur de 11 à 15% dans le scénario médian. La demande électrique serait également réduite par un facteur important : de 8,6% à 12,3% dans le scénario médian.

Ces calculs font ressortir deux résultats indirects :

- Pour les combustibles la réduction de demande de combustibles aidera le Québec à réduire ses émissions de GES;
- Pour l'électricité la demande de chauffage nette sera réduite en bas du facteur 40% des besoins totaux, ce qui devrait augmenter son avantage concurrentiel: le coût d'investissement des systèmes électriques est en effet inférieur à celui des combustibles. De plus la réduction importante de la demande de chauffage se traduira par une baisse de la demande hivernale permettant une gestion plus équilibrée du parc de production.

**Tableau 17 : Impact du changement climatique : chauffage résidentiel (Provincial)**

	Chauf Elec (Tj)	Chauf. Comb (Tj)	Impact sur total (%)	Impact Électrique (%)
Scénarios de référence				
2030				
Optimiste	-13936	-8708	-7.5	-5.8
Médian	-20587	-12864	-11.0	-8.6
Pessimiste	-29178	-18232	-15.7	-12.1
2050				
Optimiste	-19824	-9715	-10.5	-8.5
Médian	-28555	-13994	-15.2	-12.3
Pessimiste	-39744	-19476	-21.1	-17.1
Scénario fort				
2030				
Optimiste	-14626	-9139	-7.5	-5.8
Médian	-21607	-13501	-11.0	-8.6
Pessimiste	-30624	-19135	-15.7	-12.1
2050				
Optimiste	-22088	-10824	-10.5	-8.5
Médian	-31817	-15592	-15.2	-12.3
Pessimiste	-44283	-21701	-21.1	-17.1

### 4.3.2 La climatisation

L'impact du changement climatique sur les besoins de climatisation est le somme de deux phénomènes :

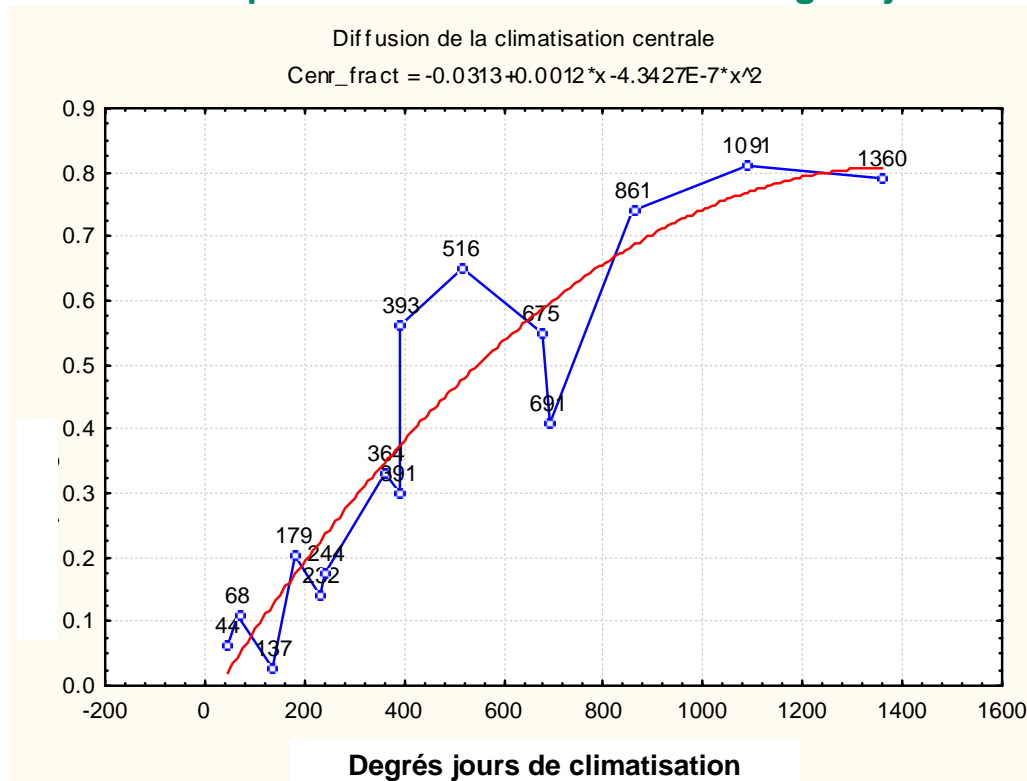
- La réaction des consommateurs face à des variations importantes de chaleur fait augmenter le taux de diffusion des climatiseurs;
- La variation des degrés-jours de climatisation implique une consommation d'énergie accrue.

#### *Diffusion des climatiseurs*

À l'évidence, l'augmentation de température représentée par les degrés-jours de climatisation a une influence sur le taux de diffusion des climatiseurs. On pourrait également penser à d'autres facteurs comme le taux d'humidité. Le tableau 18 montre clairement que l'Ontario a un taux de diffusion des systèmes de climatisation supérieur à celui du Québec : environ 2,3 fois le taux observé au Québec, tout système confondu. Par contre, la Colombie Britannique et les Maritimes ont un taux de diffusion plus faible que celui du Québec, même si le climat est plus clément. Deux raisons peuvent

l'expliquer : a) les canicules sont moins nombreuses, b) les priorités des consommateurs sont différentes.

### Graphique 7: Diffusion des climatiseurs centraux en Amérique du nord en fonction des degrés jours



Source: Données de base de 2001, [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov) et Statistique Canada

L'analyse des taux de diffusion de la climatisation aux États-Unis par région montre également une relation très claire entre le taux de diffusion des climatiseurs et degrés-jours en haut de 18<sup>0</sup> C. Des taux de diffusion globaux qui tournent autour du 95% dans le sud des États-Unis semblent indiquer que le revenu des ménages est un facteur beaucoup moins important que le confort des gens lorsque vient le temps de faire l'achat d'un climatiseur. Et il faut bien reconnaître que le prix des climatiseurs a baissé de façon significative, surtout celui des individuels.

Une autre conclusion ressort de ces chiffres : plus il fait chaud, plus la climatisation centrale est importante par rapport à la climatisation type « fenêtre ». Par contre, il faut être prudent lorsque vient le temps d'utiliser ces comparaisons : la définition peut en effet varier d'une région à l'autre.

D'un point de vue technique, il faut être conscient que la diffusion des systèmes centraux peut

causer un problème au Québec, du fait que le chauffage central est peu présent. Par contre, on a vu apparaître depuis quelques années plusieurs unités individuelles facilement adaptables et peu coûteuses. À plus long terme, on peut donc prévoir que les systèmes de climatisation s'adapteront aux particularités des logements québécois. On peut penser par exemple qu'au lieu d'une diffusion systématique de systèmes centralisés, des systèmes décentralisés pour les pièces les plus importantes seront vendus. Cette façon de faire aura également l'avantage de réduire la consommation d'énergie et le coût d'achat global.

En bref, les hypothèses suivantes de diffusion des climatiseurs dans le résidentiel sont les suivantes :

- À long terme, le taux de diffusion des climatiseurs au Québec épousera la tendance nord-américaine. La relation degrés-jours vs taux de diffusion (voir graphique 7 et tableau 18) retenue est une courbe quadratique; où le calcul du taux de diffusion  $DifQ_t$  au temps  $t$  pour le Québec est basé sur la relation suivante :

$$DifQ_t = DifQ_{e,t} / Dif_{e,t0} * DifQ_{t0}$$

$DifQ_{t0}$  Diffusion observée à  $t0$

$DifQ_{e,t}$  Diffusion estimée au temps  $t$

- La consommation associée à la climatisation est la moyenne observée pour la climatisation centrale versus fenêtre; où la part des systèmes centraux par rapport à la diffusion totale des climatiseurs demeure constante.

Les facteurs de croissance selon les scénarios climatiques sont présentés dans le tableau 19.

### ***Impact de la variation des degrés-jours sur le besoin d'énergie***

Pour estimer l'impact de la variation des degrés-jours sur le besoin d'énergie, nous avons d'abord réparti les climatiseurs en deux régions :

- Région du sud du Québec (degrés jours de Montréal comme indice);
- Le reste du Québec (degrés jours de Québec comme indice);

Par la suite, la variation des degrés-jours par rapport à la normale nous a permis de calculer la variation des besoins d'énergie. Dans le cas de la climatisation, les effets croisés de chauffage n'ont pas été incorporés dans le calcul.

**Tableau 18 Diffusion des appareils de climatisation**

Région	Deg (1)	Central (2)	Indiv(3)	Total (4)
BC	44	4.0	5.0	9.0
Maritimes	68	6.7	0.6	7.3
Prairies	137	6.1	24.1	30.2
Québec	179	8.5	16.9	25.5
New England	232	14.0	44.0	58.0
Ontario	244	13.5	43.7	57.2
Middle Atlantic	364	33.0	43.0	76.0
Pacific	391	30.0	13.0	43.0
East North central	393	56.0	24.0	80.0
West North Central	516	65.0	27.0	92.0
États-Unis	675	55.0	23.0	78.0
Mountain	691	41.0	10.0	51.0
East south central	861	74.0	20.0	94.0
South Atlantic	1091	81.0	14.0	95.0
West south central	1360	79.0	19.0	98.0

Source: *L'équipement ménager*, Statistique Canada, Catalogue no. 64-202, ensemble des logements, Hydro-Québec, US Census

- 1.- Degrés jours de climatisation : + de 18<sup>0</sup> C
- 2.- Diffusion des climatiseurs centraux, pompe à chaleur comprise pour le Québec.
- 3.- Diffusion des climatiseurs individuels
- 4.- Somme de 2 et 3

**Tableau 19 Facteur d'augmentation de la diffusion des climatiseurs**

	Total <sup>1</sup>	Central <sup>1</sup>	Température <sup>2</sup>	Diffusion <sup>2</sup>
2030				
Optimiste	1.40	1.67	71.6	28.4
Médian	1.49	1.84	66.9	33.1
Pessimiste	1.68	2.17	59.5	40.5
2050				
Optimiste	1.54	1.92	64.8	35.2
Médian	1.73	2.26	57.7	42.3
Pessimiste	1.90	2.57	52.6	47.4

- 1.- Pourcentage d'augmentation
- 2.- Contribution des facteurs températures et diffusion

Le tableau 19 présente la contribution respective des paramètres température et taux de diffusion. Bien que la part varie selon le niveau d'augmentation de température, on observe que le taux de diffusion a moins d'impact que l'augmentation de température : facteur 42% vs 58 % en 2050 pour le scénario médian.

**Tableau 20 Impact du changement climatique : climatisation dans le résidentiel**

	Climatisation (Tj)	Impact total (%)	Impact Électrique (%)
Référence			
2030			
Optimiste	10425	3.4	4.3
Médian	13189	4.4	5.5
Pessimiste	19476	6.4	8.1
2050			
Optimiste	15351	5.5	6.6
Médian	23110	8.3	10
Pessimiste	34458	12.3	14.8
Fort			
2030			
Optimiste	10942	3.4	4.3
Médian	13843	4.4	5.5
Pessimiste	20441	6.4	8.1
2050			
Optimiste	17104	5.5	6.6
Médian	25750	8.3	10
Pessimiste	38394	12.3	14.8

### 4.3.3 Les autres usages

En principe le changement climatique aura des impacts sur plusieurs autres usages. Voici une brève réflexion qui tente d'en cerner l'importance.

#### *L'eau chaude*

En moyenne, un chauffe-eau conserve l'eau à une température de 60<sup>0</sup>C. Dans la grande région de Montréal, la température de l'eau venant de l'aqueduc peut être aussi basse que 2<sup>0</sup>C et en été plus près du 20<sup>0</sup>C. En moyenne, la température estimée sur une base annuelle serait autour de 10<sup>0</sup>C. Le changement climatique aura tendance à faire monter légèrement cette moyenne annuelle de température à l'entrée du chauffe-eau. Mais en première analyse, l'impact sera négligeable.

#### *La piscine*

La problématique de la piscine ressemble à celle de la climatisation. D'une part, un accroissement de la saison chaude fait augmenter le taux d'utilisation. De l'autre, plus les canicules sont présentes,

plus les consommateurs auront tendance à s'équiper de piscine.

En principe l'impact climatique devrait être significatif. Mais une analyse de la consommation d'électricité des piscines selon différentes régions canadiennes (G. Lafrance et coll. 2001) n'a pas permis de dégager des tendances claires sur le sujet.

### *Les autres équipements domestiques*

Les habitudes de consommation varient selon les saisons. Par exemple, en été les consommateurs se tiennent à l'extérieur, font la cuisson sur leur BBQ, en profitent pour sortir plutôt que de regarder la télévision, etc. On comprendra cependant qu'estimer un tel impact est complexe et ne peut se faire à partir d'une analyse sommaire de statistiques agrégées.

En résumé, une variation du changement climatique aura un impact sur l'utilisation de la plupart des équipements domestiques. Mais seule une étude détaillée peut permettre d'en estimer l'impact.

### **4.3.4 Impact sur la demande d'énergie**

L'impact du changement climatique sur la demande d'énergie totale et d'électricité est présenté dans le tableau 21. Ce calcul a été fait pour les années 2030 et 2050, pour les scénarios climatiques, optimiste, médian et pessimiste, ainsi que pour les scénarios socio-économiques de référence et fort.

En terme de pourcentage, le résultat par scénario socio-économique est le même dans les deux scénarios. Quelque soit le scénario, l'impact du changement climatique nous indique une baisse de consommation d'énergie qui est proportionnelle aux variations climatiques. Même dans le scénario le plus optimiste, l'augmentation des besoins de climatisation ne suffit pas à compenser la baisse des besoins de chauffage. Dans les faits, l'impact climatique est loin d'être négligeable, surtout si on se réfère aux scénarios pessimistes de changement climatique. Dans certains scénarios, on assiste à une baisse de la demande totale qui se situe à près de 9%. Par contre pour la demande d'électricité la variation à la baisse est moins importante : - 4% dans le pire des cas.

Mais le résultat le plus important de ces calculs est le fait que l'impact en 2030 est beaucoup plus fort que prévu et se compare souvent à l'impact de 2050. Cela s'explique par la conjugaison de plusieurs facteurs dont a) des scénarios forts de changement climatique en 2030, b) des évolutions de l'efficacité qui varient de façon linéaire sur la période 2001-2050.

**Tableau 21 Impact du chauffage et de la climatisation : résidentiel (%)**

Impact%	Sur le total			Sur l'électrique		
	Chauff	Clim	Net	Chauff	Clim	Net
2030						
Optimiste	-7.5	3.4	-4.0	-5.8	4.3	-1.5
Médian	-11.0	4.4	-6.7	-8.6	5.5	-3.1
Pessimiste	-15.7	6.4	-9.2	-12.1	8.1	-4.0
2050						
Optimiste	-10.5	5.5	-5.1	-8.5	6.6	-1.9
Médian	-15.2	8.3	-6.9	-12.3	10.0	-2.3
Pessimiste	-21.1	12.3	-8.8	-17.1	14.8	-2.3

#### 4.3.5 Comparaison avec d'autres études

Au Québec, le MRNF et Hydro-Québec font également des estimés d'impact climatique sur la prévision de demande. À titre de comparaison, l'approche du MRNF est particulièrement intéressante. Pour cet organisme, l'augmentation de demande pour la climatisation dépend également de deux facteurs; le taux de diffusion des climatiseurs et l'intensité d'utilisation (nombre d'heures d'utilisation).

L'idée de base découle de l'examen des taux de diffusion des climatiseurs constatées en 1998 pour huit régions du Québec (représentées par leur ville centre).

Dans le modèle logistique résultant (graphique 7),  $P$  représente le taux de diffusion des systèmes de climatisation:

$$P = \alpha / (1 + \beta e^{-dj/\delta})$$

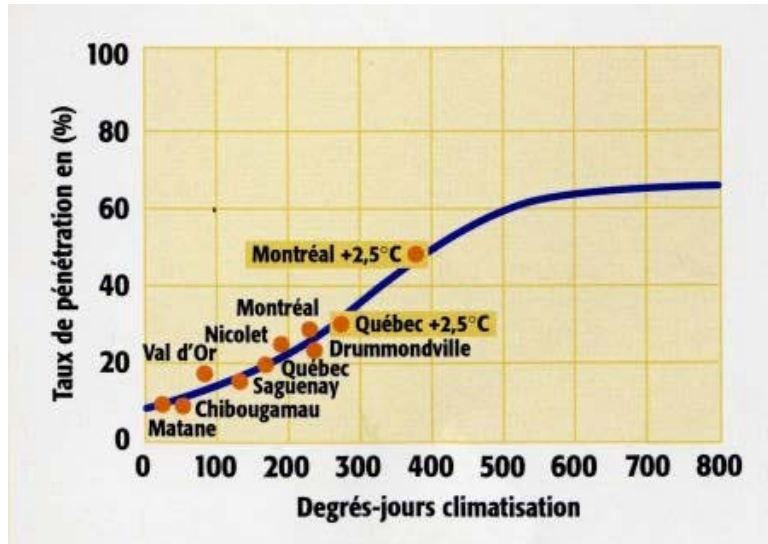
Où

$\alpha$  = maximum de pénétration acceptable

$\beta$  et  $\delta$  sont les paramètres qui minimisent la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et prédites pour huit villes du Québec.

Pour illustrer l'impact du changement climatique, l'équipe du ministère a examiné l'horizon 2100

**Graphique 7: Diffusion des climatiseurs par région au Québec**



Source: Daniel Paré, MRNF 2004

selon les hypothèses suivantes :

- Hausse de 4,0 °C en hiver, 2,5 °C en mi-saison et 2 °C en été.
- Les autres facteurs socio-économiques restent constants (population, PIB, rendements des appareils).

Les hypothèses de réchauffement entraîneraient une augmentation de 133% de la demande de climatisation et une réduction de 14% de la demande de chauffage. Toutefois, comme la climatisation représente beaucoup moins d'énergie que le chauffage, la hausse de 14,8 PJ de la première serait compensée par la baisse de 47,6 PJ du second. Les résultats du MRNF concordent avec les nôtres si l'on considère que leur scénario climatique est semblable à notre scénario optimiste (voir tableau 22).

**Tableau 22 Comparaison avec d'autres études (Résidentiel en GJ)**

	Ch Élec.	Ch Comb	Clim	Impact total	Impact Élec
Scénario de référence : 2030					
Optimiste	-13936	-8708	10425	-12218	-3510
Médian	-20587	-12864	13189	-20261	-7397
Pessimiste	-29178	-18232	19476	-27934	-9702
MRNF (2026)				-11252	-7495

## 5. LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR TERTIAIRE

### 5.1 Les hypothèses

#### *L'évolution des activités*

La consommation d'énergie du secteur tertiaire est directement proportionnelle à la surface de plancher de l'ensemble des bâtiments de ce secteur relativement hétérogène. Celle-ci est elle-même fonction de l'emploi dans ce secteur et du revenu par habitant. Comme ces deux variables connaîtront une croissance importante au cours des prochaines décennies, il va de soi que la demande d'énergie sera également en croissance dans ce secteur pendant une bonne partie des années à venir pour ensuite décroître. Les résultats pour les scénarios de référence et fort, présentés dans le graphique 9, montrent une croissance tendancielle des surfaces des bâtiments jusqu'en 2030 environ.

Comme pour le résidentiel, les modèles d'Hydro-Québec ont été utilisés pour la prévision de base du stock de bâtiments jusqu'en 2026 (voir les références Lafrance et Genois, 2004 ). Pour les besoins de notre étude, les résultats d'Hydro-Québec ont été utilisés pour construire une fonction agrégée du stock pour l'ensemble des bâtiments. Il nous apparaissait non opportun d'utiliser une approche trop désagrégée pour deux raisons : a) l'ampleur du travail dépassait largement le mandat en cours, b) plusieurs des variables explicatives utilisées par Hydro-Québec n'étaient pas disponibles pour le très long terme.

Suite à plusieurs essais, la relation qui nous est apparue la meilleure pour exprimer l'évolution de surfaces de plancher  $S_t$  (en millions de pied carré) pour la période 2003-2050 est la suivante :

$$S_t = (1077.76 - 36.345 * E_t - 8.529 * Rev_t) * Pop * G$$

Où

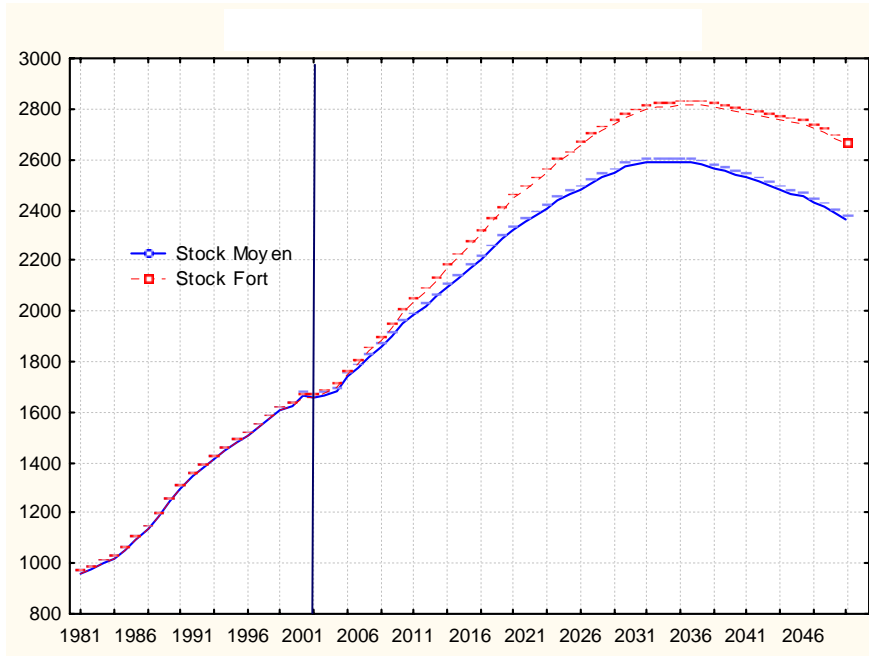
$E_t$  est le nombre d'emplois dans le tertiaire par dollars de PIB total;

$Rev_t$  exprime indirectement le revenu total par le ratio suivant : (PIB total par habitant).

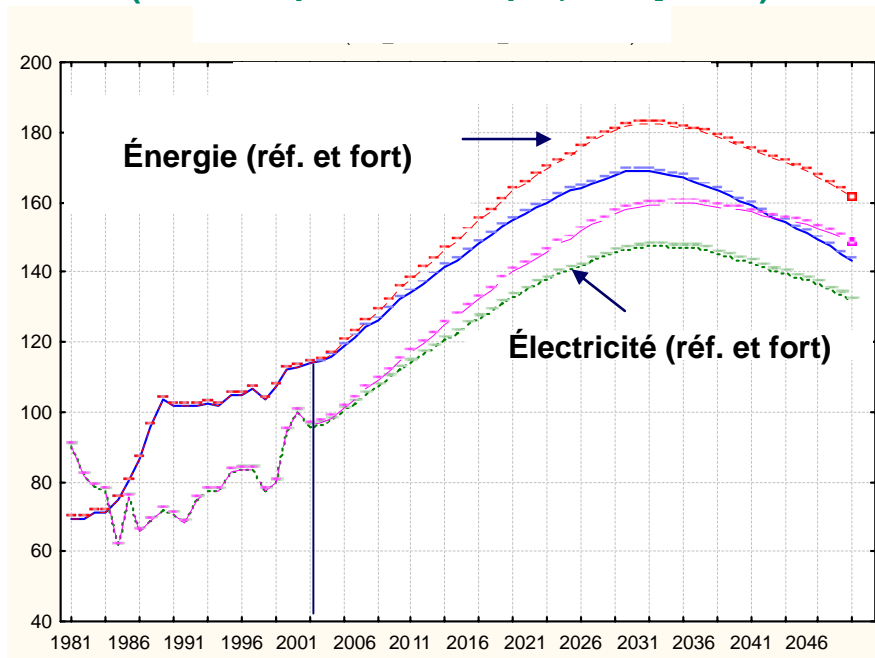
$Pop$  = population (millier)

$G$  = gain de productivité pour les espaces par employé = zéro pour les cas étudiés

**Graphique 9: Évolution du stock de bâtiment  
(Millions de pi carrés)**



**Graphique 10: Demande d'énergie dans le tertiaire  
(Avant impact climatique, Pétajoules)**



### **5.1.1 Gain d'efficacité**

Comme pour le résidentiel, la prévision énergétique se fait sans programme d'économie d'énergie particulier. Par contre, des gains d'efficacité plus importants sont attendus pour les principaux usages. Notamment, une loi californienne impose des gains d'efficacité de l'ordre de 30% sur la climatisation dès 2007. Sur un horizon aussi long que 50 ans, on peut penser que l'ensemble de la climatisation répondra à cette nouvelle norme.

De la même façon, le programme fédéral sur le changement climatique a pour objectif de réduire les besoins de chauffage d'au moins 10% d'ici 2012 dans le bâtiment. Comme il y a place pour d'autres gains d'efficacité, nous avons supposé que le gain d'efficacité dans le chauffage pouvait atteindre 20% en 2050 par rapport à 2001.

Pour ce qui est des autres usages électriques, un gain d'efficacité net de 10% nous semble un minimum. Dans la pratique, cela représente des gains d'efficacité par appareil beaucoup plus important, puisque dans ce secteur l'ajout de nouveaux besoins électriques va se poursuivre.

### **5.1.2 Part de marché des formes d'énergie**

Pour la position concurrentielle électricité/combustible dans le choix des systèmes de chauffage, nous supposons qu'il n'y aura pas de changement majeur. Pour la substitution des systèmes de chauffage, les études d'Hydro-Québec et de l'INRS ont montré qu'un écart pas trop important dans la position concurrentielle électricité/combustible avait amené un équilibre relatif entre les parts de marché de l'électricité versus les combustibles. Cet équilibre s'observe depuis plus d'une décennie, cela malgré une montée significative du prix des combustibles. Pour nos besoins de prévision, nous supposons la même hypothèse.

Cet équilibre électricité/combustible n'exclue pas une compétition du gaz versus mazout. Mais pour nos besoins, ces détails sont de peu d'intérêt. Les rendements des bouilloires sont relativement indépendants des sources de combustibles.

## **5.2 La prévision de demande avant impact climatique**

L'examen du graphique 10 et du tableau 23 montre que la demande d'électricité suit à peu près celle

des combustibles, cela pour les scénarios de référence et fort. L'effet combiné de la décroissance du stock et des gains d'efficacité fait que la demande électrique en 2050 sera plus faible qu'en 2030, voire en 2020.

Le tableau 24 montre par ailleurs que la demande de chauffage électrique et de climatisation vont baisser en importance par rapport aux autres usages électriques. Cette tendance est due à au taux de diffusion accru des équipements électriques et aux gains d'efficacité dans le chauffage et la climatisation.

**Tableau 23 : Demande d'électricité tertiaire selon les scénarios de référence et fort (Tj)**

Horizon	Scénario de référence				Scénario fort			
	Chauffage	Climatisation	Autre	Total	Chauffage	Climatisation	Autre	Total
2001	27081	7082	80278	114440	27033	7069	80137	114239
2011	30874	8022	95333	134230	31679	8232	97820	137732
2021	34898	8998	113015	156911	36807	9490	119198	165495
2026	35837	9201	118966	164004	38367	9850	127366	175583
2030	36327	9293	123070	168690	39123	10009	132543	181675
2050	29001	7032	107125	143158	32696	7928	120775	161400

**Tableau 24 : Part de chaque usage : électricité**

Horizon	Chauffage	Climatisation	Autre
2001	23.66	6.19	70.15
2011	23.00	5.98	71.02
2021	22.24	5.73	72.02
2026	21.85	5.61	72.54
2030	21.53	5.51	72.96
2050	20.26	4.91	74.83

La demande de combustible (tableau 25) croît un peu plus fortement que celle de l'électricité. Mais elle a un comportement semblable après 2030, soit un plafonnement puis une baisse.

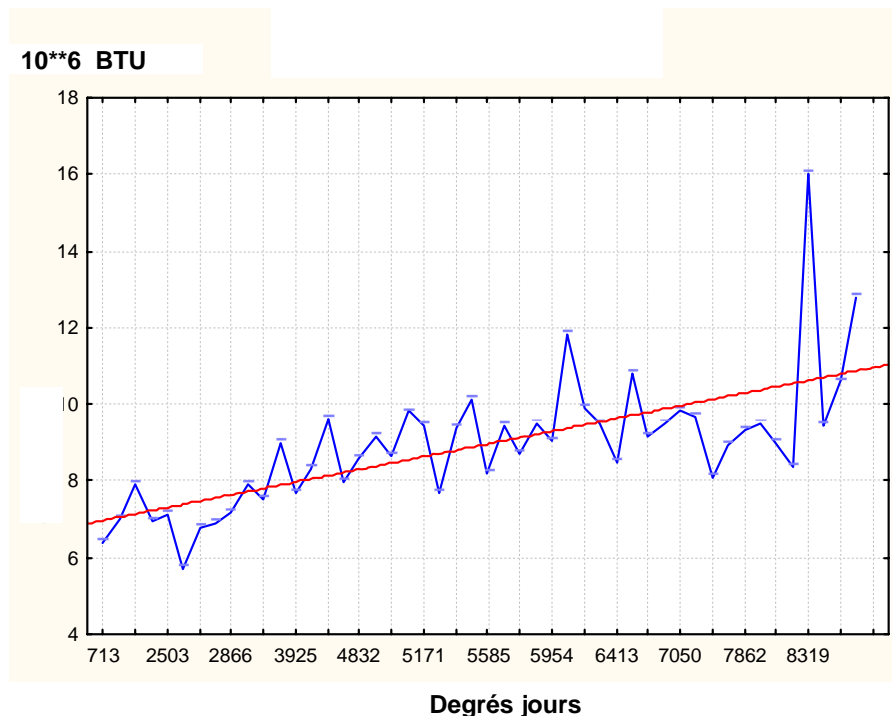
**Tableau 25 : Demande de combustible pour les scénarios de référence et fort (Tj)**

	Scénario de référence			Scénario Fort		
	Chauffage	Autre	Total	Chauffage	Autre	Total
2001	57206	6536	63742	57106	6524	63630
2011	68112	7399	75510	69889	7592	77480
2021	80979	8291	89269	85408	8744	94153
2026	85366	8474	93840	91394	9072	100465
2030	88413	8555	96969	95219	9214	104433
2050	80318	6987	87305	90552	7878	98430

### 5.3 L'impact du changement climatique : secteur tertiaire

Comme dans le secteur résidentiel, la comparaison la demande d'énergie par habitant dans le secteur commercial pour les États américains en fonction des degrés-jours de chauffage confirme que le climat est un paramètre important (graphique 11). Plus ce climat est froid, plus la consommation d'énergie est élevée. Mais l'impact climatique semble moins important que dans le résidentiel. L'analyse par usage confirme cette hypothèse.

**Graphique 11: Comparaison de la consommation d'énergie par habitant par État en fonction des degrés-jours de chauffe**



Source : Construit à partir des données du site [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

#### 5.3.1 L'approche générale

La plupart des édifices commerciaux, du moins ceux qui ont une taille de plus de 2,500 m<sup>2</sup>, sont équipés d'un système central de ventilation et de chauffage. La climatisation est en général présente. Mais dans les édifices, seule une partie de l'édifice est climatisée. Dans certains secteurs, celui des écoles par exemple, il est rare que la climatisation soit utilisée hors des lieux administratifs.

**Tableau 26 Importance du chauffage et de la climatisation**

% de la consommation finale d'électricité

	Climatisation	Chauffage
Hôtellerie	8.5	27.8
Restauration	4.8	12.3
Petit bureau	5.8	25.6
Grand bureau	8.2	25.6
Centre commercial	6.9	17.3
Alimentation	6.9	4.9
Autre com. detail	7.1	15.3
Entrep./com. gros	6.1	23.2
Service automobile	4.8	14.8
Loisir	6.1	28.8
Autre commercial	4.6	23.6
École maternelle, primaire, spécialisée	0.2	42.0
École secondaire, cégep, université	8.3	28.8
Hôpital	5.3	30.0
Autre service santé	4.2	28.5
Lieu de culte	1.0	37.0
Autre institutionnel	4.3	36.7

Source : Sondage G&I 2002, Hydro-Québec et INRS

Comme le taux de pénétration du chauffage électrique varie beaucoup selon la vocation des édifices, cette situation a comme conséquence de présenter un portrait pas mal différent par vocation commerciale pour ce qui est de la consommation par usage (tableau 26).

Par rapport au secteur résidentiel, le calcul de la consommation de chauffage et de climatisation a donc trois caractéristiques différentes qu'il faut considérer:

- Les hypothèses de diffusion des équipements doivent être effectuées par vocation;
- Les températures seuils ne sont pas les mêmes que dans le résidentiel: ainsi pour la climatisation et le chauffage, la température de démarrage est autour 13<sup>0</sup> C et celle du chauffage à environ 15<sup>0</sup> C; pendant un grande période de l'année, les systèmes de climatisation et de chauffage fonctionnent donc simultanément;
- Les changements d'air liés à la ventilation représentent la plus grande partie des besoins de chauffage. Ce fait autorise une approche différente pour les effets croisés de chauffage.

### ***Impact de la variation des degrés-jours sur le besoin d'énergie***

Pour estimer l'impact de la variation des degrés-jours sur le besoin d'énergie, nous avons d'abord réparti la consommation de chauffage et de climatisation en deux régions :

- Région du sud du Québec (degrés jours de Montréal comme indice);
- Le reste du Québec (degrés jours de Québec comme indice);

Par la suite, la variation des degrés-jours par rapport à la normale nous a permis de calculer la variation des besoins d'énergie. Les degrés-jours ont été calculés selon les seuils discutés plutôt. Pour la climatisation en particulier, des hypothèses de taux d'utilisation accru ont été testées pour des vocations spécifiques.

#### **5.3.2 Impact pour le chauffage des locaux**

Première constatation, l'impact du changement climatique sur le chauffage dans le secteur tertiaire est moins important que dans le secteur résidentiel (tableau 27).

Cela s'explique bien sûr par le fait que le chauffage est moins important en terme de pourcentage de la demande totale.

Deuxième observation, l'impact sur la demande électrique est environ trois fois moins fort que sur la demande totale. Ce résultat s'explique par une autre particularité du secteur tertiaire, soit une plus faible diffusion du chauffage électrique que dans le résidentiel.

Troisième observation, l'impact sur la demande de combustible est relativement important pour permettre une réduction substantielle des gaz à effet de serre dans ce secteur.

#### **5.3.3 La climatisation**

Comme dans le résidentiel, l'impact du changement climatique sur les besoins de climatisation est la somme de deux phénomènes :

- La variation des degrés-jours de climatisation implique une consommation d'énergie accrue.
- La demande des consommateurs Face à des variations importantes de chaleur les consommateurs ont tendance à augmenter les espaces climatisés.

**Tableau 27 Impact sur le chauffage (secteur commercial)**

	Électricité Tj	Combustible Tj	Électrique%	Total%
<b>Référence</b>				
<b>2030</b>				
Optimiste	-2708	-8525	-1.8	-4.5
Médian	-4154	-12894	-2.8	-6.9
Pessimiste	-5888	-18599	-3.9	-9.9
<b>2050</b>				
Optimiste	-2963	-11152	-2.5	-6.9
Médian	-4386	-16026	-3.7	-10
Pessimiste	-6154	-23073	-5.2	-14.3
<b>Fort</b>				
<b>2030</b>				
Optimiste	-3359	-9182	-1.8	-4.5
Médian	-5081	-13886	-2.8	-6.9
Pessimiste	-7329	-20030	-3.9	-9.9
<b>2050</b>				
Optimiste	-3732	-12574	-2.5	-6.9
Médian	-5363	-18068	-3.7	-10
Pessimiste	-7721	-26014	-5.2	-14.3

Le calcul des variations de degrés-jours est basé sur la même approche que dans le résidentiel. Par contre pour l'augmentation de l'aire climatisée, l'approche est basée sur une approche différente, ce qui est liée au manque d'information sur l'espace climatisé par type d'édifice. Tous les sondages donnent une idée du taux de diffusion de la climatisation. Mais comme le montre le tableau 28, il n'est pas suffisant d'augmenter le taux de diffusion des climatiseurs de la même façon que dans le secteur résidentiel; il faut également tenir compte de la portion de l'espace climatisé.

Par exemple, même si le taux de diffusion de la climatisation serait en haut de 90% pour les hôpitaux et les édifices à bureaux, on note une grande différence de consommation entre les deux. Ces résultats indiquent que la proportion de l'espace climatisé d'un édifice à bureau est plus grande que dans un hôpital.

Afin d'évaluer l'impact maximal des changements climatiques, nous avons donc construit des scénarios forts qui tiennent compte des hypothèses suivantes :

- Un taux de diffusion maximal à l'horizon 2050 en nous basant sur diverses enquêtes passées (tableau 28);

- Des consommations unitaires dans le secteur de la santé rejoignant en 2050 des édifices à bureau et le statu quo pour les autres vocations d'édifices (éducation comprise),

**Tableau 28 : Hypothèse de consommation unitaire et de diffusion de la climatisation.**

	2002		2050	
	Cons. Unit.	Diffusion	Cons. Unit.	Diffusion
Hôtellerie	1.38	96.0	1.38	96.0
Restauration	1.54	83.3	<b>1.70</b>	<b>91.9</b>
Petit bureau	1.19	69.5	<b>1.69</b>	<b>99.1</b>
Grand bureau	1.55	97.7	1.55	97.7
Centre commercial	1.50	96.5	1.50	96.5
Alimentation	3.57	83.1	<b>3.89</b>	<b>90.8</b>
Autre com. detail	1.06	74.8	<b>1.33</b>	<b>93.5</b>
Entreprise et commerce de gros	1.35	67.2	<b>1.78</b>	<b>88.7</b>
Service automobile	0.66	31.2	<b>1.90</b>	<b>89.1</b>
Loisir	1.34	56.0	1.34	56.0
Autre commercial	1.00	63.6	1.42	90.0
École maternelle, primaire, spécialisée	0.01	44.7	0.01	44.7
École secondaire, cégep, université	1.16	63.8	<b>1.21</b>	<b>66.5</b>
Hôpital	1.08	90.9	<b>1.45</b>	<b>90.9</b>
Autre service santé	0.84	68.7	<b>1.21</b>	<b>75.6</b>
Lieu de culte	0.08	32.4	0.13	55.0
Autre institutionnel	0.87	40.5	<b>1.89</b>	<b>87.8</b>
Moyenne pondérée	1.18	73.0	<b>1.40</b>	<b>85.6</b>

Note les hypothèses modifiées sont en gras.

Le tableau 29 montre que l'impact relatif du changement climatique dans le secteur tertiaire est moins important que dans le résidentiel ce qui est lié à deux facteurs : a) le taux de diffusion est plus grand dans le tertiaire, b) les seuils de calcul pour les degrés-jours sont différents.

**Tableau 29 : Impact sur la climatisation dans le secteur tertiaire**

	Climatisation Tj	Impact sur élect. %	Impact sur total%
Référence			
2030			
Optimiste	3771	2.5	1.5
Médian	4460	3.0	1.8
Pessimiste	6062	4.0	2.5
2050			
Optimiste	4139	3.5	2.0
Médian	5194	4.4	2.5
Pessimiste	6179	5.3	3.0
Fort			
2030			
Optimiste	2990	2.5	1.5
Médian	3671	3.0	1.8
Pessimiste	5254	4.0	2.5
2050			
Optimiste	2908	3.5	2.0
Médian	3911	4.4	2.5
Pessimiste	4846	5.3	3.0

### 5.3.4 Impact sur la demande d'énergie

L'impact du changement climatique sur la demande d'énergie totale et d'électricité est présenté dans le tableau 30. Quelque soit le scénario, l'impact du changement climatique nous indique une baisse de consommation d'énergie qui est proportionnelle aux variations climatiques. Par rapport aux résultats du secteur résidentiel, l'effet net à la baisse sur la demande totale est moins important. Par contre, la demande de combustible baisse de façon très importante. C'est en soi une bonne nouvelle dans la mesure où le Québec s'en trouve favorisé pour sa balance des paiements, et que cette baisse contribue à la réduction des gaz à effet de serre.

Pour l'électricité en particulier, les résultats sont surprenants au premier abord. La hausse de la climatisation vient compenser la baisse du chauffage. Certes la période de climatisation est moins grande que celle du chauffage, mais les hypothèses fortes concernant la diffusion de la climatisation notamment dans le secteur de la santé viennent compenser cet écart.

**Tableau 30 Impact du chauffage et de la climatisation dans le secteur tertiaire (%)**

	Sur le total %		Sur l'électrique %		
	Chauffage	Climatisation	Chauffage	Climatisation	Impact net
2030					
Optimiste	-4.5	1.5	-1.8	2.5	0.71
Médian	-6.9	1.8	-2.8	3.0	0.20
Pessimiste	-9.9	2.5	-3.9	4.0	0.12
2050					
Optimiste	-6.9	2.0	-2.5	3.5	1.00
Médian	-10.0	2.5	-3.7	4.4	0.69
Pessimiste	-14.3	3.0	-5.2	5.3	0.02

### 5.3.5 Comparaison avec d'autres études

Des simulations d'Hydro-Québec pour 2026 viennent confirmer ces scénarios (tableau 30). Il faut savoir cependant que nos hypothèses sont plus fortes pour ce qui est du changement climatique.

**Tableau 31 : Comparaison avec d'autres organismes**

	Chauffage électrique	Chauffage combiné	Climatisation	Impact total	Impact Élec.
Impact dans le scénario de référence					
2030					
Optimiste	-2708	-8525	3771	-7462	1063
Médian	-4154	-12894	4460	-12587	307
Pessimiste	-5888	-18599	6062	-18424	174
2026					
MRNF				-10371	-2293
HQ <sup>1</sup>	-1415	-13579	2325	-12668	910

1.- Simulation de COMMEND avec élasticité de climatisation égale à 1

Une autre façon de vérifier la validité de ces résultats consiste à comparer les consommations par unités de surface pour les usages chauffage et climatisation dans des régions au climat plus chaud. Ainsi, pour l'ensemble des États-Unis la consommation de climatisation par  $\text{pi}^2$  dans le tertiaire se situe à environ 1,9 kWh/ $\text{pi}^2$  en 2002. et baisse à 1,5 kWh/ $\text{pi}^2$  en 2025 en raison des gains d'efficacité. Nos scénarios de long terme donnent des consommations entre 1,42 kWh/ $\text{pi}^2$ , et 1,74 kWh/ $\text{pi}^2$ , soit dans la moyenne des États-Unis<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> En 2025, à cause de nouvelles normes très sévères, les prévisions américaines espèrent baisser la consommation unitaire autour de 1,5 kWh/ $\text{pi}^2$ . Nos hypothèses d'efficacité sont moins fortes

**Tableau 32 Consommation par unité de surface : climatisation (kWh/pi<sup>2</sup>)**

	2002	2025	2030	2050
États-Unis <sup>1</sup>	1,9	1,5		
Optimiste <sup>2</sup>	1.2		1.46	1.42
Médian <sup>2</sup>	1.2		1.55	1.57
Pessimiste <sup>2</sup>	1.2		1.74	1.71

1.- Compilé à partir de *Outlook 2003, table A5*

2.- Scénario de référence

## 6. LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL

### 6.1 Hypothèses

#### 6.1.1 L'évolution des activités

L'évolution des activités dans le secteur industriel est d'abord exprimée en dollars de production. Comme le graphique 12 et le tableau 33 le présentent, le scénario de référence propose peu de changement en termes de croissance par rapport au passé. Par contre, le scénario fort est relativement optimiste, dans le sens que la croissance du PIB industriel est soutenue même à l'horizon 2040-2050, et cela malgré une baisse marquée du nombre de travailleurs. L'explication vient de la productivité accrue par travailleur.

**Tableau 33 : Demande d'énergie dans le secteur industriel (Pj)**

Année	Référence A		Fort E		MDF	
	Total	Électricité	Total	Électricité	Total	Électricité
1981	495	204	495	204	873	204
1991	594	254	594	254	872	254
2001	687	327	681	327	871	327
2011	825	388	837	393	870	377
2021	896	416	934	433	843	392
2026	934	430	992	456	853	392
2030	940	436	1013	470	855	397
2040	968	460	1084	515	875	416
2050	970	470	1128	547	870	422

Par sous secteur, il faut distinguer deux périodes. D'abord jusqu'en 2030 environ, le secteur primaire dans l'industriel et l'industrie lourde dans le manufacturier perdent de l'importance relative dans la production industrielle. Par la suite, on assiste à un espèce d'équilibre entre les sous-secteurs (voir graphique 13).

#### 6.1.2 Gain d'efficacité

Comme pour les autres secteurs, le scénario de demande énergétique ne prévoit aucun programme d'économie d'énergie particulier plus agressif pour rencontrer les objectifs de réduction des GES et constitue un scénario tendanciel, sans intervention. Celui-ci comprend cependant, des gains d'efficacité importants pour les principaux procédés. Rappelons que dans le secteur industriel, les principaux usages électriques par ordre d'importance sont : les moteurs (47%) et l'électrolyse

(33%). Bien que pour les moteurs, les gains sont relativement marginaux (Lafrance et Genois, 1995), pour l'électrolyse et les autres usages électriques les possibilités d'innovation énergétique sont nombreuses (G. Lafrance et Genois, 2004).

Pour les besoins thermiques dans l'industriel, il faut distinguer les besoins de base température (vapeur principalement) de ceux à haute température. De façon générale, les gains d'efficacité s'effectuent par des changements de procédé intensifs en capital. Et bien souvent le procédé de rechange est une électrotechnologie ou une gazotechnologie. Ce type de gain d'efficacité exprimé en termes d'intensité énergétique (consommation par \$ de production) est considéré tendanciel, autant pour l'électricité que pour l'ensemble des formes d'énergie (voir graphique 14), dans la mesure où il provient de l'incorporation des technologies plus efficaces aux nouveaux investissements en capital.

### **6.1.3 Part des formes d'énergie**

Pour la position concurrentielle électricité/combustible dans le choix des systèmes de chauffage, nous supposons qu'il n'y aura pas de changement majeur. Dans ce contexte, il est en effet peu probable que l'électricité vienne déplacer de façon importante les combustibles pour les besoins de chauffe.

## **6.2 La prévision de demande avant impact climatique**

Le graphique 15 et des tableaux 34 et 35 montrent que la demande d'électricité croît un peu plus rapidement que pour la demande totale de 2001 à 2050, cela pour les deux scénarios économiques. Par contre, dans la première moitié de la période, on l'observe l'inverse. En outre, autant la demande d'électricité que celle de combustible ne décroissent pas à long terme, comme nous l'avons observé pour les autres secteurs.

**Tableau 34 : Croissance annuelle de la demande industrielle en %.**

Croissance	Référence A		Fort E	
	Total	Électricité	Total	Électricité
1981 - 2001	1.6	2.4	1.6	2.4
2001-2021	1.3	1.2	1.6	1.4
2001-2030	1.1	1.0	1.4	1.3
2001-2050	0.7	0.7	1.0	1.1
2030-2050	0.2	0.4	0.5	0.8

À titre d'illustration, nous avons calculé l'impact d'un scénario économique plus pessimiste comme celui du ministère des finances (MDF). Dans ce cas, la demande d'énergie tend à se stabiliser vers le milieu de la période et même avant. Le tableau 35 montre par ailleurs, que le ratio de croissance entre la demande d'énergie et celle du PIB industriel tend à diminuer. Cette tendance provient du fait que la part de l'industrie lourde tend à diminuer.

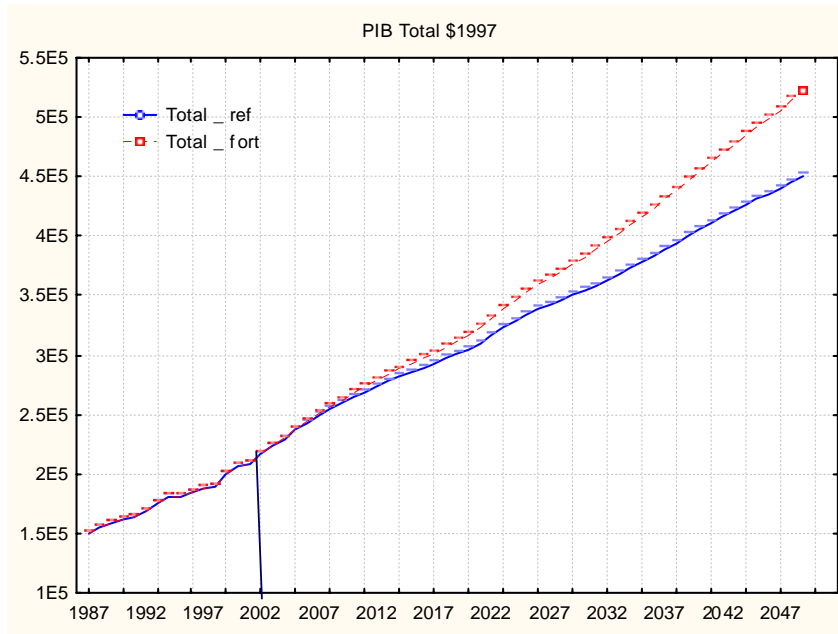
**Tableau 35 Évolution de certains indicateurs**

Année	Intensité (1)	Intensité (2)	Référence A		Fort E	
			E/PIB	T/PIB	E/PIB	T/PIB
1981-2001	-0.5	0.3	1.13	0.78	1.13	0.76
2001-2021	-0.6	-0.8	0.73	0.80	0.76	0.84
2001-2030	-0.7	-0.9	0.60	0.65	0.65	0.71
2001-2050	-0.8	-0.8	0.50	0.47	0.58	0.57
2030-2050	-0.8	-0.6	0.31	0.13	0.47	0.33

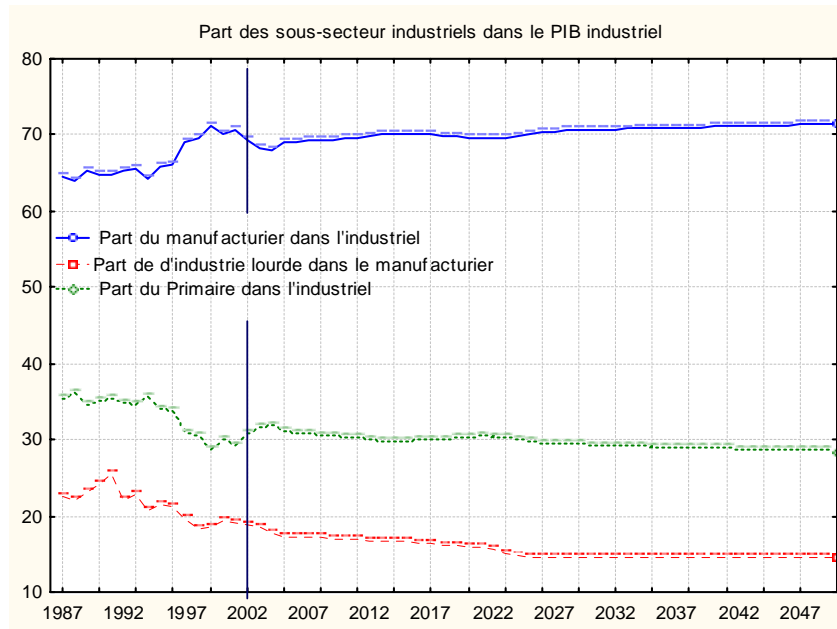
E/PIB = croissance de la demande électrique sur celle du PIB industriel

T/PIB = croissance de la demande énergétique totale sur celle du PIB industriel

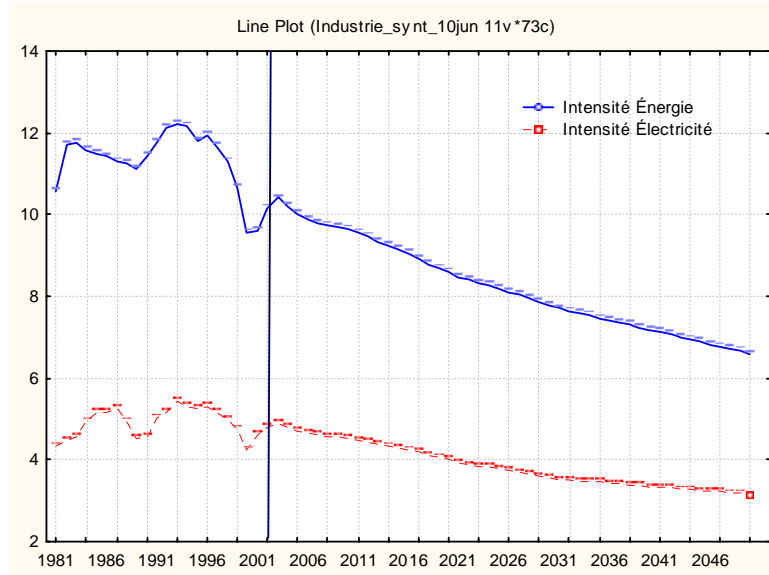
**Graphique 12: Évolution du PIB industriel (\$1997)**



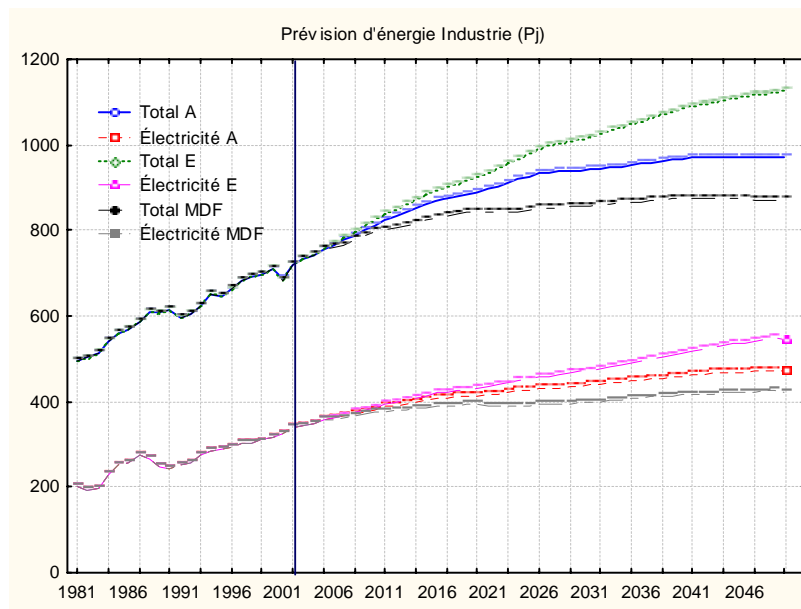
**Graphique 13: Évolution du PIB industriel par sous secteur (%)**



**Graphique 14: Intensité énergétique dans l'industriel (Mj/\$1997)**



**Graphique 15: Demande énergétique dans l'industriel (Avant impact climatique (Pj))**



### **6.3 Impact du changement climatique dans le secteur industriel**

À priori, au Québec, la relation entre niveau de température et consommation d'énergie dans le secteur industriel n'est pas importante. Le secteur industriel est en effet fortement basé sur des industries fortes consommatrices d'énergie peu affectées par le niveau de température ambiante : par exemple, la première transformation des métaux et l'industrie du ciment sont basées sur des températures de l'ordre du millier de degrés.

#### **6.3.1 Approche de Gaz Métro<sup>9</sup>**

Gaz Métro ne fait pas d'étude d'impact du changement climatique sur la demande puisque que son horizon de planification n'est pas aussi long. Par contre, la méthodologie de planification court terme tient compte du paramètre température. Sous cet angle, les travaux de Gaz Métro peuvent être utiles pour nos calculs d'impact du changement climatique, toutes sources confondues. La méthodologie proposée est la suivante.

##### ***Méthodologie***

1. Choisir quelques années chaudes (degrés-jours mensuels) pour les principaux usages, par secteur et par région principale (si existante). Note : le choix du mensuel a pour but de laisser la liberté de choisir la longueur de la période saisonnière.
2. Correction en fonction de la température normale; calcul du différentiel; et calcul de l'impact par degrés-jours de chauffe.
3. L'extrapolation de long terme se base sur les prévisions par usage et par forme d'énergie que nous avons déterminées.

##### ***Usages et secteur***

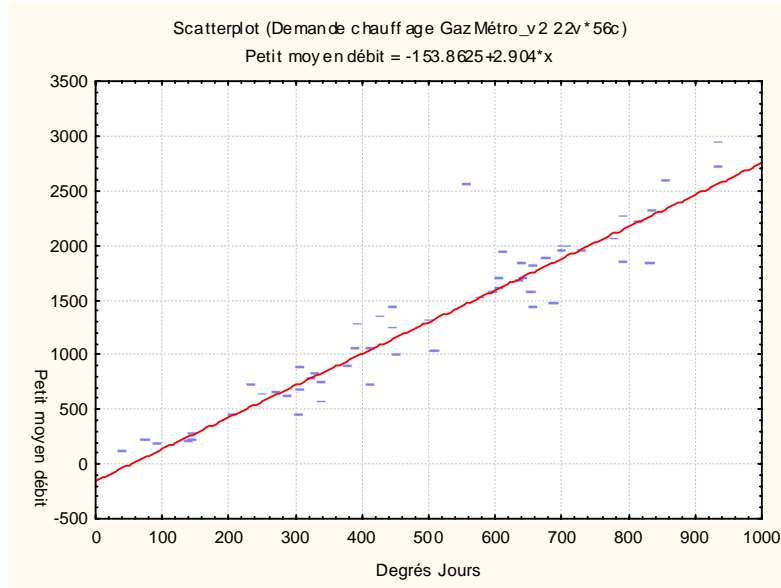
Pour le gaz naturel, le principal usage susceptible d'être influencé par le contexte climatique est bien sûr le chauffage. Par contre, l'analyse de Gaz Métro nous a montré que les choses ne sont pas aussi simples. En analysant la courbe de charge mensuelle d'année en année, il semble que le contexte climatique influe sur les habitudes des gens, même dans le secteur industriel lourd (voir graphiques 16 et 17).

---

<sup>9</sup> Explication lors de la réunion du 2 février 2005 chez Gaz Métro.

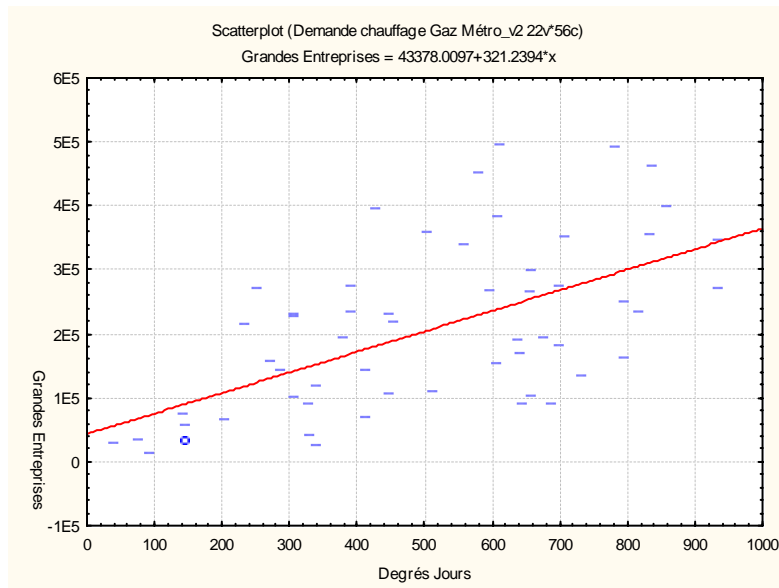
## Graphique 16: Ventes de gaz naturel

### Petit débit versus degrés-jours



## Graphique 17: Ventes de gaz naturel

### Grand débit versus degrés-jours



Cette observation peut laisser entrevoir une relation consommation et degrés-jours pour les autres formes d'énergie dans l'industriel, dont l'électricité. Mais suite à des discussions avec les conseillers d'Hydro-Québec rien n'indique un tel effet. Le cas du mazout a été traité avec les mêmes facteurs de correction que pour le gaz naturel. Cette façon de faire nous évite d'analyser la substitution gaz-mazout et n'amène pas de grandes erreurs de calcul.

### **6.3.2 Extrapolation pour le secteur industriel**

L'approche agrégée pour le secteur industriel est simple. Elle s'appuie sur les variations saisonnières de ventes de gaz naturel. Pour le gaz naturel, nous avons obtenu une estimation des ventes relatives au chauffage pour la période 1998 à 2004. En divisant ces ventes par clients, nous avons ensuite tenté d'établir une relation de ces ventes avec les degrés-jours de chauffage (au dessus de 18° C).

Bien que conscient que les variations saisonnières soient dues à bien des facteurs autres que les variations de besoins de chauffage, l'exercice nous a permis d'établir un impact plus général de la variation de température. On peut penser par exemple qu'une année plus clémente influence également le comportement au travail. La manutention des produits à l'extérieur est plus facile. Les matières premières causent moins de demande de chauffage, etc.

En se basant sur les chiffres de Gaz Métropolitain, nous avons donc défini les hypothèses suivantes :

- La part des ventes de gaz naturel susceptible d'être influencée par une variation des degrés-jours est environ 17%;
- Ce facteur est appliqué à l'ensemble des combustibles, y compris la biomasse;
- La variation des besoins, par degrés-jours et par client, se situe autour de 321,400 m<sup>3</sup> en équivalent gaz naturel.
- Comme série de données de base, nous avons utilisé les ventes « grand débit ».

L'impact des scénarios climatiques est présenté dans les tableaux 36 et 37. En termes de consommation de combustibles, l'impact serait du même ordre de grandeur que ce que nous avons calculé pour le secteur tertiaire.

Ce genre de calcul n'a pas été fait pour la consommation d'électricité. En première analyse, l'effet

climatique sera moins important que pour les combustibles pour les raisons suivantes. Les deux premiers usages par ordre d'importance sont les moteurs (près de 50%) et l'électrolyse (33%). L'électricité est également utilisée pour toutes sortes de procédés, mais rarement pour des usages chauffage. Finalement le chauffage des locaux et la climatisation sont peu important par rapport à la consommation des procédés dans le secteur industriel québécois. Bref, la plupart des usages industriels sont peu dépendants de climat environnant.

**Tableau 36 : Baisse de la consommation (Pj)**

	Optimiste	Médian	Pessimiste
2030			
Référence	6.4	9.5	13.4
Fort	6.9	10.2	14.5
2050			
Référence	9.3	13.3	18.6
Fort	10.8	15.5	21.6

**Tableau 37 : Importance de la baisse sur les ventes de combustibles (%)**

(Idem quelque soit le scénario)

	Optimiste	Médian	Pessimiste
2030			
	-1.3	-1.9	-2.7
2050			
	-1.9	-2.7	-3.7

### 6.3.3 Impact du changement climatique : sous secteurs

Dans ce premier exercice pour estimer l'impact du changement climatique, nous n'avons pas toute l'information nécessaire pour appliquer l'approche *bottom-up* dans tous les secteurs. Pour le secteur industriel, par exemple, il aurait été utile d'analyser les industries fortes consommatrices d'énergie. Pour le cas des pâtes et papiers, notamment, il est clair qu'une hausse de la température aura un effet sur la croissance des essences d'arbre, ce qui devrait occasionner des changements structurels au niveau de la production et du transport. Une fois complétées les études détaillées sur le sujet, il sera toujours possible d'ajouter ces impacts.

## **7. LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR DES TRANSPORTS**

Pour cette section le modèle MEDEE-Québec<sup>10</sup> a été utilisé pour faire un scénario de référence et un scénario fort pour l'horizon 2051. Ces scénarios correspondent à nos hypothèses démographiques et économiques. Il faut préciser également que ces scénarios sont conservateurs pour ce qui des gains d'efficacité. Comme nous l'avons expliqué plus tôt, nous nous en sommes tenus à des scénarios tendanciels, sans choc pétrolier majeur, l'objectif étant de construire des scénarios forts en termes de consommation d'énergie.

Les résultats détaillés, ainsi que les hypothèses sous-jacentes, peuvent être consultés dans une note technique particulière (B. Boudreau, 2005). Cette section ne trace que les principaux éléments de cette simulation.

### **7.1 Hypothèses**

#### **7.1.1 L'évolution des activités**

L'évolution des activités dans le secteur des transports est exprimée en passagers-kilomètre et tonnes-kilomètre. Comme la population continue d'augmenter et que la croissance économique demeure positive, du moins pour les décennies à venir, il est donc normal qu'un scénario tendanciel indique une croissance des déplacements des personnes. C'est ce que les tableaux 38 à 41 démontrent. À noter, le trafic urbain augmente moins rapidement que le trafic total.

Un scénario plus écologique laisserait plus de place au transport en commun et ferait baisser les déplacements. On pourrait penser également à simuler des changements structurels comme la montée de l'importance des communications.

Par ailleurs, les tableaux 42 et 43 montrent une hausse du transport de marchandise importante, surtout en ce qui concerne le routier et le ferroviaire. Ce résultat reflète bien la croissance économique simulée dans nos scénarios. Il ne faut pas oublier qu'à long terme, le Québec reste un gros producteur industriel et que les exportations restent importantes.

#### **Tableau 38 : Déplacements personnes en milieu urbain**

(Millions de passagers-kilomètres scénario référence)

Impact du changement climatique sur la demande d'énergie

	Transport en commun	Autobus scolaire	Automobile conducteur	Automobile passager	Non motorisés	Total
2001	3 500	1 602	44 402	11 643	2 380	63 527
2031	3 828	1 319	52 892	13 512	2 628	74 180
2026	3 827	1 338	52 727	13 386	2 634	73 913
2051	3 688	1 170	51 979	13 159	2 467	72 463

**Tableau 39 : Déplacements des personnes pour l'ensemble du trafic au Québec**

(Millions de passagers-kilomètres, scénario référence)

	Transport en commun urbain	Autobus scolaire	Autobus interurbain	Auto	Train	Avion	Non motorisés	Total
2001	3 500	1 602	1 231	78 902	474	14 041	2 380	102 130
2026	3 827	1 338	1 815	101 133	717	22 407	2 634	133 872
2031	3 828	1 319	1 864	102 825	739	23 082	2 628	136 286
2051	3 688	1 170	1 999	105 285	797	25 113	2 467	140 518

**Tableau 40 : Déplacements personnes en milieu urbain**

(Millions de passagers-kilomètres, Scénario fort)

	Transport en commun	Autobus scolaire	Auto conducteur	Auto passager	Non motorisés	Total
2001	3 500	1 602	44 402	11 643	2 380	63 527
2031	4 016	1 482	54 611	14 033	2 751	76 894
2026	4 075	1 498	55 684	14 350	2 772	78 378
2051	4 169	1 499	58 420	14 797	2 722	81 607

**Tableau 41 : Déplacements des personnes : Ensemble du trafic au Québec**

(Millions de passagers-kilomètres, scénario fort)

	Transport en commun,urbain	Autobus scolaire	Autobus interurbain	Auto	Train	Avion	Non motorisés	Total
2001	3,500	1,602	1,231	78,902	474	14,041	2,380	102,130
2026	4 016	1 482	1 871	104 908	743	23 012	2 751	138 793
2031	4 075	1 498	1 954	108 366	778	24 123	2 772	143 565
2051	4 169	1 499	2 231	118 130	892	27 967	2 722	157 610

<sup>10</sup> Les résultats de cette section ont été rendus possibles grâce à l'intervention de l'équipe du MRNF, et en particulier de Mme Brigitte Boudreau.

**Tableau 42 : Évolution des tonnes-kilomètres transportées**

Scénario de référence selon le mode de transport 2001- 2051, (en millions de tonnes.)

	2001	2026	2031	2051
Routier	35,1	60,7	64,1	81,1
Ferroviaire	37,1	54,6	57,4	71,1
Aérien	0,2	0,3	0,3	0,4
Maritime	120,7	141,2	144,4	158,3
TOTAL	193,2	256,8	266,3	311,0

**Tableau 43 Évolution des tonnes-kilomètres transportées**

Scénario fort selon le mode de transport 2001-2051 (en millions de tonnes)

	2001	2026	2031	2051
Routier	35,1	63,7	68,5	92,7
Ferroviaire	37,1	57,7	61,8	81,9
Aérien	0,2	,3	,3	,5
Maritime	120,7	144,	147,9	164,7
TOTAL	193,2	265,6	278,9	339,8

### 7.1.2 Gain d'efficacité

Dans le secteur des transports, l'impact d'une variation du prix du pétrole peut s'observer au niveau de trois paramètres : a) l'efficacité des voitures, b) la substitution intermodale, c) le comportement des consommateurs en termes de distance parcourue. Comme nous avons choisi un contexte énergétique tendanciel, sans turbulence majeure au niveau de l'approvisionnement pétrolier, tous ces facteurs ne sont pas modifiés de façon importante.

**Tableau 44 Évolution de l'efficacité des voitures neuves (2001-2051)**

	En indice <sup>1</sup>			
	2001	2026	2031	2051
Sous compacte (moins de 1000 kg)	100.0	93.5	92.2	86.9
Compacte (1000-1271 kg)	100.0	92.1	90.4	83.9
Intermédiaire (1272-1544 kg)	100.0	91.1	89.2	81.7
Standard (1545 kg et plus)	100.0	94.1	92.9	88.1

Comme pour les autres secteurs, la prévision énergétique se fait sans programme d'économie d'énergie particulier et reflète un scénario tendanciel, sans intervention. Ainsi, des gains d'efficacité modestes sont attendus pour les véhicules neufs. Dans un scénario inspiré des projections DOE, les gains d'efficacité moyens sont de l'ordre 12 à 18 % sur 50 ans. À titre d'illustration, le passage à des hybrides ou à des véhicules efficaces pourrait représenter des économies de plus de 40%.

### **7.1.3 Part des formes d'énergie**

Même dans un scénario de prix élevé du pétrole, il est généralement admis que le tout électrique et le véhicule à hydrogène auront un impact mineur pour la période qui nous concerne y compris là où le prix de l'électricité sera avantageux, comme au Québec. Le véhicule de transition sera un hybride (thermique – accumulateur) ou un véhicule équipé d'un moteur thermique efficace. Compte tenu du changement climatique, les carburants verts (éthanol et biodiesel en premier lieu), poussés par les politiques gouvernementales, gagneront en importance.

Bien que l'impact des prix de chaque combustible soit simulé dans MEDEE-Québec, nous n'avons retenu que deux formes d'énergie pour publication dans cette étude soit l'électricité et les carburants.

## **7.2 La prévision de demande avant impact climatique**

Les tableaux 45 et 46 montrent que la demande d'énergie croît moins rapidement après 2031. Mais cette croissance est positive quelque soit le scénario. La demande d'électricité croît peu à cause de nos hypothèses conservatrices pour le véhicule électrique. Par ailleurs, les tableaux 45 et 46 montrent que la consommation, liée au transport de marchandises, augmente plus rapidement que celle liée au transport de personnes. Cette conclusion est cohérente avec nos scénarios démographiques et économiques.

**Tableau 45 Consommation d'énergie du secteur des transports selon les différentes formes d'énergies utilisées (2001-2051), en Pétajoules**

	2001	2026	2031	2051
Référence				
Électricité	1.1	2.1	2.1	2.1
Combustible	452.2	575.4	585.3	625.1
TOTAL	453.3	577.5	587.4	627.1
Fort				
Électricité	1.1	2.2	2.2	2.3
Combustible	452.2	596.9	617.4	703.7
TOTAL	453.3	599.1	619.6	706.0

**Tableau 46 Répartition de la croissance de la consommation d'énergie (2001-2051) par motif de transport selon le scénario de référence (Pj)**

	2001	2026	2031	2051
Transport de personnes	277.2	324.8	324.0	311.3
en milieu urbain	205.5	233.0	231.6	218.3
en milieu interurbain	71.6	91.8	92.4	93.
Transport de marchandises	156.4	224.2	233.9	283.5
Carburants utilisés hors-route	19.7	28.5	29.4	32.3
TOTAL	453.3	577.5	587.4	627.1

**Tableau 47 Répartition de la croissance de la consommation d'énergie (2001-2051) par motif de transport selon le scénario fort (Pj).**

	2001	2026	2031	2051
Transport de personnes	277.2	334.9	340.3	348.9
en milieu urbain	205.5	241.0	244.1	245.7
en milieu interurbain	71.6	93.9	96.2	103.2
Transport de marchandises	156.4	233.4	247.5	319.8
Carburants utilisés hors-route	19.7	30.3	31.8	37.3
TOTAL	453.3	599.1	619.6	706

### 7.3 Impact climatique dans le secteur des transports

Pour estimer l'impact possible du changement climatique sur la demande d'énergie dans le transport, deux sources de données ont été analysées :

- a) Les ventes historiques d'essence et de diesel au Québec pour la période 1990 - 2003;

- b) Les consommations de carburant léger dans le transport par état et région aux États-Unis pour l'année 2001.

Dans la pratique, nous avons jugé que l'approche agrégée ne pouvait être très utile pour estimer le comportement saisonnier des consommateurs de kérosène ou de mazout lourd. La vente de carburant dans le transport aérien et maritime est en effet soumise à des variables qui débordent du contexte local : taux de change, taxe locale, politique de la firme, etc. Le changement climatique aura probablement un impact, mais son estimation exige une étude plus large. Par ailleurs, il est utile de rappeler que bon an mal an la demande d'énergie du routier représente plus de 80% de la demande totale du transport<sup>11</sup>.

### 7.3.1 Les ventes d'essence et de diesel au Québec

Le graphique 18 montre le comportement mensuel des consommateurs québécois d'essence et de diesel. Comme on peut le constater, cette demande varie selon les saisons : on consomme plus l'été que l'hiver. Bien que cette demande augmente d'année en année, on observe également que l'évolution est irrégulière : d'une année à l'autre, on peut observer une baisse pour certains mois de l'année, puis une hausse l'année suivante. De là notre questionnement sur la relation de cette consommation avec les degrés-jours. Malheureusement, la corrélation entre les degrés-jours de chauffage et les ventes de carburant léger n'est pas significative, du moins pour cette série de données.

Comme essais supplémentaires, nous avons examiné les mois d'hiver exclusivement, puis la demande par habitant. Encore là, rien ne nous indique que la variation des degrés jours a un quelconque effet sur les ventes de carburant.

Finalement, nous avons testé les données de ventes annuelles par habitant (graphique 16). Les résultats montrent une certaine relation entre degrés-jours et ventes de carburant.

- Plus il fait froid, moins les gens consomment d'énergie. Ça semble conforme au graphique sur les consommations mensuelles.

En se basant sur la relation linéaire qui en découle, une baisse des degrés jours par un facteur 18% (scénario médian pour 2050) ferait augmenter la demande d'essence par un facteur de 6,5%

---

<sup>11</sup> Source : MRNF, *L'énergie au Québec, publication annuelle*.

environ.

Comme explications probables, on peut penser que l'hiver n'est pas invitant pour la promenade. Plus la saison froide sera courte, plus les gens se déplaceront. Il faut savoir également que les besoins de climatisation augmenteront dans la voiture, ce qui peut expliquer en partie cette consommation globale.

Par ailleurs, les véhicules sont moins efficaces sur des routes enneigées. Cela vient donc compenser en partie la variation de comportement des consommateurs. On peut penser également qu'un hiver plus doux permet de réduire les consommations de carburant pour les équipements de déneigement. Mais pour estimer cet impact, il faudrait se pencher sur l'évolution des précipitations et connaître un peu mieux les dépenses de l'industrie sur le sujet pour lesquelles nous ne disposons pas des données.

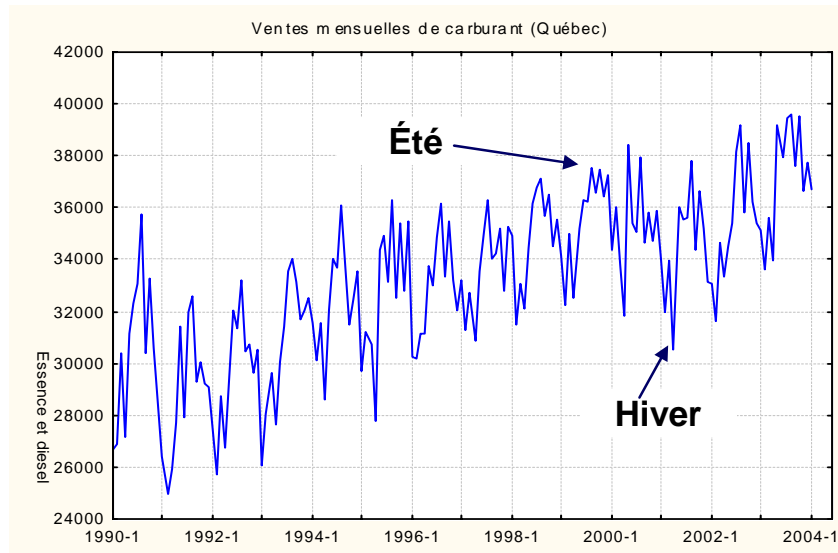
Mais comme notre relation n'est pas très significative, il est difficile de conclure que la variation des degrés-jours aura un impact dans le sens indiqué, c'est-à-dire une augmentation de la consommation d'essence. Pour valider cette hypothèse, nous avons examiné une deuxième approche.

### **7.3.2 Ventes de carburant léger par État et région aux États-Unis**

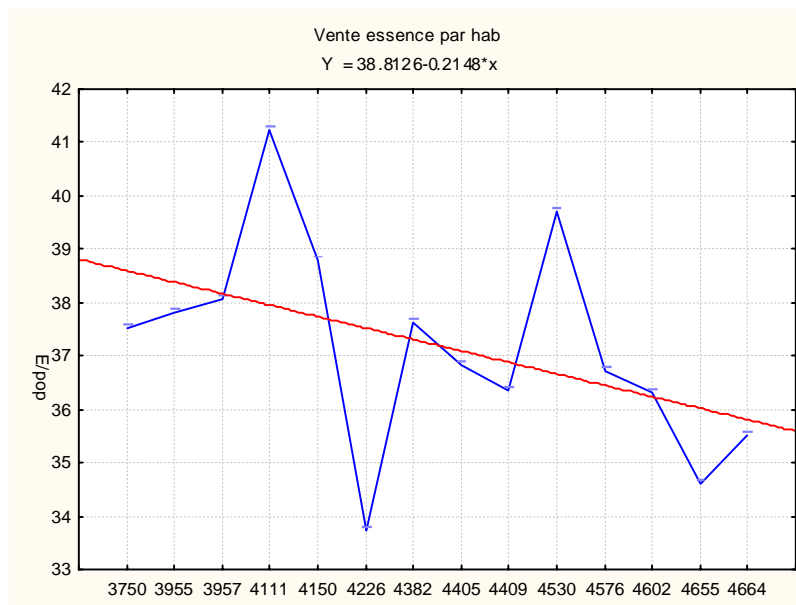
Contrairement à ce qui est observé pour les secteurs résidentiel et commercial (graphiques 6 et 11), la comparaison des consommations d'essence par habitant pour les États américains ne donne aucun indice de variation en fonction des degrés-jours (graphique 20).

En conclusion, il a été décidé de ne pas retenir d'hypothèse d'impact climatique pour le secteur des transports. Seule une étude plus détaillée, motif par motif, pourrait nous donner un aperçu plus juste.

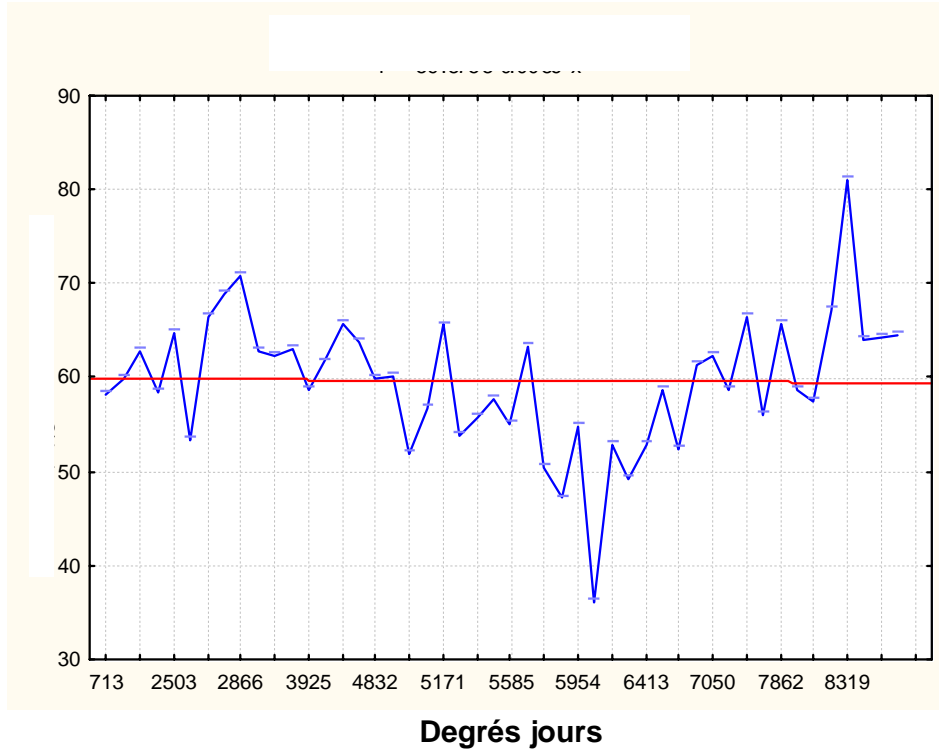
**Graphique 18: Ventes mensuelles d'essence et diesel (Pj/hab) Période (1990-2003)**



**Graphique 19: Ventes annuelles d'essence et diesel (Pj/hab) Période (1990-2003)**



### Graphique 20 : Consommation d'essence par habitant vs degrés-jours États Américains MBtu/hab



Source: Données de base de 2001, [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

## 8. IMPACT GLOBAL ET POINTS SAILLANTS

### 8.1 La prévision de demande avant impact climatique

Dans les deux scénarios présentés dans le tableau 48, on note que la demande d'énergie augmente rapidement pendant la période 2001-2030, puis tend à se stabiliser. Cette croissance soutenue pendant la première période est due principalement à la croissance industrielle, et par ricochet à celle du transport. Il est assez intéressant de noter que la part de l'électricité baisse dans le temps, ce qui est explicable en partie par la montée en importance du transport.

**Tableau 48 : Demande d'énergie totale selon les scénarios de référence et fort(Pj)**

	Référence			Fort		
	Électricité	Combustible	Total	Electricité	Combustible	Total
Résidentiel						
2001	191	74	265	191	74	265
2030	241	62	303	253	65	318
2050	232	48	280	259	53	312
Tertiaire						
2001	114	64	178	114	64	178
2030	169	97	266	182	104	286
2050	143	87	230	161	98	260
Industriel						
2001	204	291	495	204	291	495
2030	436	504	940	470	543	1013
2050	470	500	970	547	581	1128
Transport						
2001	1	452	453	1	452	453
2030	2	585	587	2	617	620
2050	2	625	627	2	704	706
Total						
2001	511	881	1392	511	881	1392
2030	847	1248	2096	906	1330	2237
2050	847	1260	2108	969	1436	2406

À priori, ces résultats peuvent présenter une croissance trop forte tant pour la demande totale que pour les combustibles. Mais, il convient de rappeler que nos scénarios sont tendanciels, que la croissance économique est optimiste et que finalement le contexte énergétique reste le même soit sans cassure.

## 8.2 La prévision de demande après impact climatique

Nos travaux ont permis de calculer un impact climatique pour trois secteurs de consommation : résidentiel, commercial et industriel. Pour le secteur des transports, les données agrégées se sont avérées insuffisantes pour estimer un impact significatif. Par contre, il semble que la consommation pourrait augmenter dans ce secteur si la température augmente. Dans le secteur industriel, nous avons estimé l'impact du changement climatique sur la demande de combustible. Par contre, les impacts structurels sur les procédés ont été négligés faute d'études détaillées.

**Tableau 49 Décroissance de la demande (Pj)**

	Optimiste	Médian	Pessimiste
Référence			
Combustible			
2030	-17.2	-25.7	-36.8
2050	-20.9	-30.0	-42.5
Électrique			
2030	-2.4	-7.1	-9.5
2050	-3.3	-4.6	-5.3
Fort			
Combustible			
2030	-18.3	-27.4	-39.2
2050	-23.4	-33.6	-47.7
Électrique			
2030	-4.1	-9.2	-12.3
2050	-5.8	-7.5	-8.8

En faisant la somme des impacts pour lesquels les résultats sont significatifs il en ressort que le réchauffement des températures aurait deux effets directs et opposés sur la demande d'énergie en fonction des saisons : des besoins de chauffage moindres en hiver et des besoins de climatisation accrus en été. En second lieu on peut également tirer la conclusion que la demande de combustible diminuera plus fortement que celle de l'électricité. Le facteur de différence joue de 6 à 8 selon les scénarios en 2050. C'est considérable. Indirectement, et c'est une bonne nouvelle, les gaz à effet de serre seront d'autant réduits.

L'effet net (tableau 50) sur la demande reste relativement faible : réduction de 2 à 3% selon les scénarios.

**Tableau 50 Impact sur la demande (%)**

	Optimiste	Médian	Pessimiste
Référence			
2030	-2.3	-2.6	-2.2
2050	-2.9	-2.7	-2.3
Fort			
2030	-2.5	-2.7	-2.3
2050	-3.0	-2.9	-2.3

### 8.3 Impact économique

Dans le domaine du changement climatique, les mauvaises nouvelles sont en générales plus nombreuses que les bonnes et le Québec aura également son lot de désagréments. Mais en ce qui concerne la réduction de la demande, il s'agit d'une baisse du coût énergétique qui vient compenser en partie les effets néfastes attendus. Globalement, en se référant au prix moyen de l'électricité et du gaz naturel par secteur (tableau 51), l'impact global se traduirait dans le scénario médian par une réduction annuelle de plus de 200 millions dollars en dollars constants pour les consommateurs québécois (voir tableaux 52 et 53). La nouvelle est d'autant meilleure que pour l'essentiel, cette baisse de facture énergétique touche surtout la balance des paiements étant largement constituée par l'achat de combustibles à l'extérieur du Québec. En fait la réduction de la facture sera probablement plus importante si on considère que l'évolution du prix des combustibles risque fort d'être supérieure à l'inflation.

### 8.4 Stratégies d'adaptation et perspectives

La réduction du chauffage ne nécessite en soi aucune adaptation particulière. Par contre, l'augmentation de la climatisation pourrait être atténuée par des programmes d'économie d'énergie ou par des actions simples, qui résulteraient en une diminution des apports de chaleur dans les résidences et les bâtiments. Comme la durée de vie des habitations dépasse souvent 50 ans, il serait important de concevoir celles-ci en fonction de l'impact appréhendé des changements climatiques et si requis de l'installation éventuelle de systèmes de climatisation les plus efficaces possible.

La demande d'énergie est un domaine où le niveau des connaissances est relativement avancé en raison des importantes préoccupations relatives à la sécurité énergétique et où la modélisation est largement satisfaisante. Il pourrait cependant être utile de mieux connaître les impacts que

pourraient avoir une fréquence accrue des événements climatiques extrêmes sur le comportement des réseaux et d'étudier les conséquences de divers scénarios climatiques alternatifs.

**Tableau 51 : Prix du gaz et de l'électricité (cent par kWh en \$2003 sans taxe)**

	Prix du gaz	Prix de l'électricité
Résidentiel	0.0569	0.061
Commercial	0.0405	0.065
Industriel	0.0316	0.038

**Tableau 52 Impact économique (scénario de référence)**

Référence	Elec	Optimiste			Gaz	Optimiste			Tot	Optimiste		
		Médian	Pessimiste			Médian	Pessimiste			Optimiste	Médian	Pessimiste
Résidentiel	2030	-59	-125	-164	2030	-138	-203	-288	2030	-197	-329	-453
	2050	-76	-92	-90	2050	-154	-221	-308	2050	-229	-313	-397
Commercial	2030	19	6	3	2030	-96	-145	-209	2030	-77	-139	-206
	2050	21	15	0	2050	-125	-180	-259	2050	-104	-166	-259
Industriel	2030	0	0	0	2030	-56	-83	-118	2030	-56	-83	-118
	2050	0	0	0	2050	-82	-117	-163	2050	-82	-117	-163
Total	2030	-40	-120	-161	2030	-290	-432	-615	2030	-330	-552	-776
	2050	-55	-78	-89	2050	-361	-518	-731	2050	-415	-596	-820

Prix en dollars 2003 sans taxe

**Tableau 53 Impact économique (scénario fort)**

Fort	Électricité	Optimiste			Pessimiste			Gaz	Optimiste			Pessimiste		
		2030	Médian	2050	2030	Médian	2050		2030	Médian	2050	2030	Médian	2050
Résidentiel	2030	-62	-132	-173	2030	-144	-213	-302	2030	-207	-345	-475		
	2050	-84	-103	-100	2050	-171	-246	-343	2050	-256	-349	-443		
Commercial	2030	-7	-25	-37	2030	-103	-156	-225	2030	-110	-182	-263		
	2050	-15	-26	-52	2050	-141	-203	-292	2050	-156	-229	-344		
Industriel	2030	0	0	0	2030	-61	-90	-127	2030	-61	-90	-127		
	2050	0	0	0	2050	-95	-136	-190	2050	-95	-136	-190		
Total	2030	-69	-157	-210	2030	-308	-459	-655	2030	-377	-616	-865		
	2050	-99	-129	-152	2050	-407	-586	-825	2050	-507	-715	-977		

Impact économique par secteur

Prix en dollars 2003 sans taxe

	Référence	Optimiste	Médian	Pessimiste	Fort	Optimiste	Médian	Pessimiste
Résidentiel	2030	-197	-329	-453	2030.0	-207	-345	-475
	2050	-229	-313	-397	2050.0	-256	-349	-443
Commercial	2030	-77	-139	-206	2030.0	-110	-182	-263
	2050	-104	-166	-259	2050.0	-156	-229	-344
Industriel	2030	-56	-83	-118	2030.0	-61	-90	-127
	2050	-82	-117	-163	2050.0	-95	-136	-190
Total	2030	-330	-552	-776	2030.0	-377	-616	-865
	2050	-415	-596	-820	2050.0	-507	-715	-977

## 9. RÉFÉRENCES

Hydro-Québec, Préviation de la demande et des revenus, Division Planification et efficience, prévisions périodiques.

G. Lafrance, J. Genois, *Mise à jour du modèle COMMEND*, rapport synthèse, Hydro-Québec, décembre 2004.

G. Lafrance, J. Genois, *Innovations technologiques : horizon 2028*, Rapport de recherche, Hydro-Québec, septembre 2004.

G. Lafrance, J. Genois, M. Lemay, *Protocole de Kyoto : Le cas du secteur résidentiel au Canada?* Revue Vertigo, numéro spécial, juin 2004.

G. Lafrance, Stéphane Germain, Christiane Jacques (INRS), J.F. Bilodeau (RNCan) *Analyse ACD dans le secteur résidentiel au Canada : sondage 1997*, Ressources Naturelles Canada, Secteur Efficacité, avril 2001.

Institut de la statistique du Québec, Préviation démographique (exercice 2003), [www.isq.qc.ca](http://www.isq.qc.ca)

Ministère de Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF), Préviation de demande, rapports périodiques.

Ministère des finances, Impacts des changements démographiques sur l'économie, le marché du travail et les finances du Québec, Document de recherche, février 2005.

Documentation sur projet Ouranos, [www.ouranos.ca](http://www.ouranos.ca)

Daniel Paré, Ministère de Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) (2004), Impact de l'accroissement des températures sur la demande québécoise d'énergie pour les bâtiments, Colloque Ouranos, juin 2004.