

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA DEMANDE D'ÉNERGIE

Rapport élaboré par :

Gaëtan Lafrance¹

Laurent Da Silva²

Claude Desjarlais³

1.- Professeur émérite, INRS-EMT, UQ

2.- Économiste, Ouranos

3.- Directeur de l'analyse économique, Ouranos

Version août 2015

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres.



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

Contributions et remerciements

Cette étude a été rendue possible grâce au soutien de Ressources naturelles Canada et Ouranos. Nous tenons à remercier plus particulièrement Mme Jennifer Ardiel, Analyste de politiques, Direction des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques de Ressources naturelles Canada. Mme Ardiel nous a permis de mieux définir le mandat de cette étude régionale. En tant que responsable de la Plateforme nationale d'adaptation, elle a suivi étroitement le déroulement des travaux et a permis de diffuser les résultats au niveau du Groupe de travail canadien.

Ce travail a été rendu possible grâce à de nombreuses autres collaborations, dont notamment celle de Travis Logan et Isabelle Charron d'Ouranos pour les scénarios de température. Nous avons également apprécié les commentaires de divers experts, dont ceux de Mme Diane Chaumont et M. Alain Bourque d'Ouranos, ainsi que M. Daniel Paré du Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec. Nous remercions finalement Beatriz Osorio pour la révision du rapport.

TABLE DES MATIÈRES

1.	CONTEXTE	1
2.	LES SCÉNARIOS SOCIOÉCONOMIQUES	2
2.1	PERSPECTIVES DÉMOGRAPHIQUES.....	2
2.2	PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES	4
3.	LES SCÉNARIOS DE CROISSANCE DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE	11
3.1	PRÉVISION DE LA DEMANDE AVANT ET APRÈS IMPACT CLIMATIQUE.....	11
3.2	SCÉNARIOS DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES	12
4.	LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL	17
4.1	LES HYPOTHÈSES	17
4.1.1	<i>L'évolution des besoins.....</i>	<i>17</i>
4.1.2	<i>Part de marché des formes d'énergie</i>	<i>18</i>
4.2	LA PRÉVISION DE DEMANDE AVANT IMPACT CLIMATIQUE	19
4.3	L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES	20
4.3.1	<i>Le chauffage des locaux.....</i>	<i>20</i>
4.3.2	<i>La climatisation</i>	<i>21</i>
4.3.3	<i>Les résultats.....</i>	<i>26</i>
5.	LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR TERTIAIRE.....	27
5.1	L'ÉVOLUTION DES ACTIVITÉS.....	27
5.1.1	<i>Gain d'efficacité énergétique.....</i>	<i>29</i>
5.1.2	<i>La climatisation</i>	<i>30</i>
5.2	LA PRÉVISION DE DEMANDE AVANT IMPACT CLIMATIQUE	32
5.3	IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	32
6.	LA PRÉVISION DE DEMANDE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL	34
6.1	L'ÉVOLUTION DES ACTIVITÉS.....	34
6.2	DEMANDE D'ÉNERGIE AVANT IMPACT CLIMATIQUE	37
6.3	IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL.....	37
7.	SECTEUR DES TRANSPORTS.....	40
7.1	L'ÉVOLUTION DES ACTIVITÉS.....	40
7.2	L'IMPACT CLIMATIQUE.....	42

8.	LA COURBE DE CHARGE DANS LE SECTEUR ÉLECTRIQUE.....	49
8.1	LE SECTEUR RÉSIDENTIEL EST PRÉDOMINANT	49
8.2	LE PROFIL DE CHARGE EST MODIFIÉ SURTOUT À CAUSE DU CHAUFFAGE	50
9.	IMPACT GLOBAL ET POINTS SAILLANTS	57
9.1	LA PRÉVISION DE DEMANDE APRÈS IMPACT CLIMATIQUE	57
9.2	MESURES D'ADAPTATION	59
9.3	MÉTHODOLOGIE : FAITS SAILLANTS	61
10.	RÉFÉRENCES SOMMAIRES.....	66
	ANNEXE I : SCÉNARIOS CLIMATIQUES : DONNÉES MENSUELLES.....	67

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1.	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION : NORMALE 1971-2000	14
TABLEAU 2.	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION : 2015-2044 ET RATIO PAR RAPPORT À LA NORMALE 1971-2000	14
TABLEAU 3.	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE ET DE CLIMATISATION : 2035-2064 ET RATIO PAR RAPPORT À LA NORMALE	15
TABLEAU 4.	DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ AVANT IMPACT CLIMATIQUE : SECTEUR RÉSIDENTIEL (PJ).....	20
TABLEAU 5.	DIFFUSION DES APPAREILS DE CLIMATISATION	22
TABLEAU 6.	RÉSULTATS DE LA RÉGRESSION LINÉAIRE MULTIPLE DE LA DIFFUSION DU CLIMATISEUR.....	25
TABLEAU 7.	FACTEUR D'AUGMENTATION DE LA DIFFUSION DES CLIMATISEURS.....	25
TABLEAU 8.	IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : RÉSIDENTIEL	26
TABLEAU 9.	COMPARAISON DE LA CROISSANCE DE LA DEMANDE ÉLECTRIQUE VS. IMPACT DES CC (PJ).....	26
TABLEAU 10.	COMPARAISON DES CONSOMMATIONS UNITAIRES : ÉTATS-UNIS ET QUÉBEC (kWh/Pi ²).....	31
TABLEAU 11.	DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ ET DE COMBUSTIBLE PAR USAGE AVANT IMPACT CLIMATIQUE DANS LE SECTEUR COMMERCIAL (PJ)	32
TABLEAU 12.	IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE SECTEUR COMMERCIAL	33
TABLEAU 13.	CONSOMMATION TOTALE D'ÉNERGIE AVANT IMPACT CLIMATIQUE (PJ)	37
TABLEAU 14.	IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL.....	39
TABLEAU 15.	CONSOMMATION D'ESSENCE (PJ), AVANT IMPACT CLIMATIQUE.....	41
TABLEAU 16.	LA PERTE D'EFFICACITÉ VARIE EN FONCTION DE LA DISTANCE PARCOURUE.....	45
TABLEAU 17.	GAIN D'EFFICACITÉ DES VÉHICULES À ESSENCE (%)	47
TABLEAU 18.	IMPACT CLIMATIQUE DU GAIN D'EFFICACITÉ (PJ)	47
TABLEAU 19.	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE POUR LES 12 JOURS LES PLUS FROIDS : MOYENNE QUÉBEC ET MONTRÉAL SUR 30 ANS.....	52
TABLEAU 20.	VARIATION DES DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE SUR UNE BASE MENSUELLE.....	53
TABLEAU 21.	ÉCART PAR RAPPORT À LA NORMALE : CHAUFFAGE ANNUEL ET 12 JOURS FROIDS.....	53
TABLEAU 22.	ÉCART PAR RAPPORT À LA NORMALE : CLIMATISATION ANNUELLE ET 12 JOURS CHAUDS	55
TABLEAU 23.	DÉCROISSANCE DE LA DEMANDE ÉLECTRIQUE (PJ)	58
TABLEAU 24.	DÉCROISSANCE DE LA DEMANDE ÉLECTRIQUE (%).....	58
TABLEAU 25.	DÉCROISSANCE DE LA DEMANDE DE COMBUSTIBLE (PJ)	58
TABLEAU 26.	ÉCARTS ENTRE LES SCÉNARIOS 10 ^E ET 90 ^E PERCENTILES (%)	64

LISTE DES GRAPHIQUES

GRAPHIQUE 1.	ÉVOLUTION DE LA POPULATION TOTALE SELON LE SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE (A).....	4
GRAPHIQUE 2.	ÉVOLUTION DE LA POPULATION DE 15 ANS ET PLUS.....	6
GRAPHIQUE 3.	ÉVOLUTION DU TAUX D'EMPLOI (EMPLOIS/POPULATION DE 15 ANS ET PLUS).....	8
GRAPHIQUE 4.	ÉVOLUTION DE LA PROPORTION DE LA POPULATION DE 15 ANS ET PLUS, AYANT PLUS DE 75 ANS, ET DU TAUX D'EMPLOI	8
GRAPHIQUE 5.	TAUX DE CROISSANCE ANNUELLE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL.....	9
GRAPHIQUE 6.	ÉVOLUTION DU PIB TOTAL.....	10
GRAPHIQUE 7.	ÉVOLUTION DES MÉNAGES.....	17
GRAPHIQUE 8.	DIFFUSION DES CLIMATISEURS AUX ÉTATS-UNIS ET CANADA.....	23
GRAPHIQUE 9.	ÉVOLUTION DE LA SUPERFICIE DES BÂTIMENTS OCCUPÉE PAR LE SECTEUR TERTIAIRE	28
GRAPHIQUE 10.	ÉVOLUTION DE LA SUPERFICIE DES BÂTIMENTS DU SECTEUR TERTIAIRE PAR HABITANT	29
GRAPHIQUE 11.	ÉVOLUTION DU PIB INDUSTRIEL (MILLIARDS \$ DE 2002)	34
GRAPHIQUE 12.	ÉVOLUTION DE L'INTENSITÉ ÉNERGÉTIQUE ET DE L'INTENSITÉ DE LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ DU SECTEUR INDUSTRIEL (PJ / M\$ DE 2012).....	35
GRAPHIQUE 13.	PART DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LA CONSOMMATION TOTALE D'ÉNERGIE DU SECTEUR INDUSTRIEL	36
GRAPHIQUE 14.	CONSOMMATION D'ESSENCE AVANT IMPACT CLIMATIQUE (PJ)	41
GRAPHIQUE 15.	CONSOMMATION D'ESSENCE PAR HABITANT (GJ/HAB.)	41
GRAPHIQUE 16.	VENTES MENSUELLES DE CARBURANT AU QUÉBEC	43
GRAPHIQUE 17.	VENTES JOURNALIÈRES D'ESSENCE POUR CERTAINS ÉTATS AMÉRICAINS EN FONCTION DES DEGRÉS- JOURS DE CHAUFFAGE (DU DÉBUT NOVEMBRE À LA FIN MARS).....	48
GRAPHIQUE 18.	CONSOMMATION DE CARBURANT VERSUS DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE (US 2001)	48
GRAPHIQUE 19.	INDICE DE CROISSANCE DE LA DEMANDE ET DE LA POINTE ÉLECTRIQUE (1974 = 1).....	50
GRAPHIQUE 20.	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE QUOTIDIENS: MOYENNE DE QUÉBEC ET MONTRÉAL	54
GRAPHIQUE 21.	DEGRÉS-JOURS DE CHAUFFAGE QUOTIDIENS PAR ORDRE DÉCROISSANT : MOYENNE DE QUÉBEC ET MONTRÉAL SUR 30 ANS	55
GRAPHIQUE 22.	DEGRÉS-JOURS DE CLIMATISATION : BASE MENSUELLE.....	56

1. Contexte

Cette étude vise à estimer avec un certain degré de précision les 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. En parallèle, ce projet tente d'élaborer une méthodologie utile pour les divers organismes canadiens intéressés par ce thème. Elle présente également de façon exploratoire diverses stratégies d'adaptation pour les secteurs de consommation et esquisse les perspectives auxquelles fera face chacune des formes d'énergie.

Celle-ci constitue une des études régionales sur la demande d'énergie qui s'insère dans un projet visant à estimer l'impact des changements climatiques dans l'ensemble du Canada. À cette fin, toutes les composantes de ce projet utilisent des données comparables issues des mêmes scénarios d'évolution des températures en tenant compte des spécificités régionales.

L'étude soutenue par Ouranos et Ressources naturelles Canada a fait l'objet d'un suivi du Groupe de travail Énergie de la Plateforme sur l'adaptation de Ressources naturelles Canada. Le groupe de travail était constitué de représentants des gouvernements des provinces et du gouvernement fédéral ainsi que d'entreprises et d'association du secteur de l'énergie.

Cette étude est publique et est disponible sur le site d'Ouranos. Pour un complément d'information sur les impacts et l'adaptation liés aux changements climatiques, veuillez consulter le site adaptation.rncan.gc.ca.

Concernant cette étude, deux présentations sont également disponibles sur Internet. Il s'agit d'une affiche présentée au 6^e Symposium d'Ouranos à Québec le 4 décembre 2014, www.ouranos.ca/fr/symposium/, et une conférence présentée dans les locaux d'Ouranos le 11 mars 2015, www.ouranos.ca.

2. Les scénarios socioéconomiques

Ce chapitre présente successivement les éléments qui ont permis l'élaboration des scénarios socioéconomiques utilisés dans cette analyse de l'impact des changements climatiques (CC) sur la demande d'énergie. Ces éléments comprennent les perspectives d'évolution démographique, celles sur le taux d'emploi et sur la productivité du travail. La combinaison de ces trois éléments permet de produire un scénario de croissance de l'économie dans son ensemble ou encore du produit intérieur brut (PIB). D'autres indicateurs peuvent aussi être dérivés de ces éléments tels que le PIB par habitant et indirectement la capacité de consommation.

2.1 Perspectives démographiques

L'évolution démographique constitue l'un des principaux déterminants de la mise au point des scénarios socioéconomiques à long terme en raison de son rôle dans la croissance de la main-d'œuvre, l'un des principaux facteurs de la production. Celle-ci a aussi un rôle dans le niveau de consommation des ménages de même que dans la composition des dépenses (incluant la consommation énergétique), qui à leur tour influencent la production et la nature des investissements faits par les entreprises et le gouvernement.

Dans cette étude, le scénario démographique retenu provient des *Perspectives démographiques* de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ). Suivant chaque recensement de la population, l'ISQ produit de nouvelles prévisions démographiques sur un horizon de 50 ans. Le dernier rapport¹ présente trois scénarios principaux (A – référence, D – faible et E – fort) à l'horizon 2061 à partir du recensement de la population de 2011. Le scénario démographique retenu aux fins de cette analyse correspond au scénario de référence (A) de l'ISQ dont les principales hypothèses sont les suivantes :

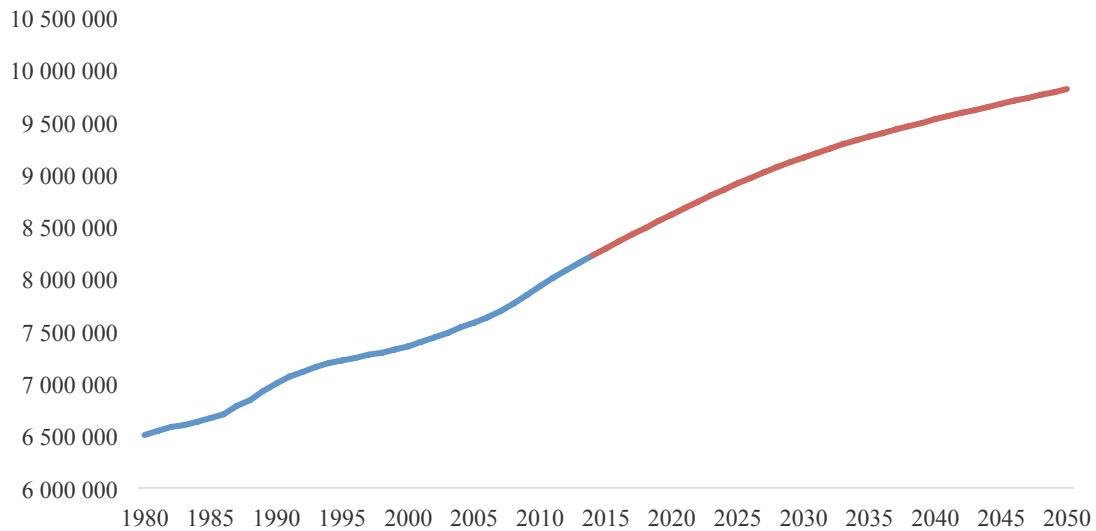
¹ *Perspectives démographiques du Québec et des régions 2011 – 2061, Édition 2014*. Québec : Institut de la statistique du Québec (ISQ). 172 p. Repéré à <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/perspectives/perspectives-2011-2061.pdf>

- **Indice de fécondité :** L'indice de fécondité est fixé à 1,7 enfant par femme. Malgré que le taux ait été rehaussé depuis les dernières projections en raison de la hausse soutenue de la fécondité des dernières années, le taux se situe toujours sous le seuil de 2,1 nécessaire au renouvellement naturel des générations.
- **Mortalité :** L'espérance de vie continuera de progresser autant pour les femmes que pour les hommes de sorte qu'en 2051 l'espérance de vie atteindra 90,1 ans chez les femmes et 87,8 ans chez les hommes.
- **Migration nette :** Selon les objectifs établis par le Ministère de l'Immigration et des Communautés culturelles, l'immigration internationale devrait se situer autour de 50 000 personnes annuellement. En déduisant, l'émigration internationale (6 000 personnes) et la migration nette interprovinciale (-7 500 personnes), l'apport de nouveaux arrivants est fixé à 36 500 personnes annuellement.

En fonction des hypothèses décrites ci-haut, le scénario de référence prévoit une croissance constante de la population jusqu'à l'horizon 2050 tout en affichant un léger ralentissement vers la fin de la période de l'étude. À terme, la population du Québec comptera en 2050 un peu plus de 9,8 millions de personnes, soit 1,6 million de personnes de plus qu'en 2014 (graphique 1). L'évolution naturelle de la population, c'est-à-dire le nombre de naissances moins les décès, restera positive jusqu'en 2034, après quoi l'immigration internationale assurera à elle seule la croissance totale de la population du Québec.

Quant au vieillissement de la population, la tendance observée au courant des dernières années s'amplifiera, si bien que la population de 65 ans et plus passera de 17,1% de la population totale en 2014 (1,4 million) à 27,4 % en 2050 (2,7 millions). Cette transition démographique aura des répercussions significatives sur le bassin de main-d'œuvre disponible, sur les dépenses des consommateurs, sur les dépenses de l'État, notamment en soins de santé, et aussi sur le niveau de croissance économique projeté.

Graphique 1. Évolution de la population totale selon le scénario de référence (A)



2.2 Perspectives économiques

La qualité de la prévision de la croissance de l'économie à long terme passe par une bonne compréhension des déterminants structurels qui la composent. La croissance démographique discutée précédemment constitue le premier intrant de cet exercice de projection. Celle-ci permet de projeter avec un taux de confiance relativement élevé, le bassin de travailleurs qui formeront la main-d'œuvre de demain. Par la suite, en définissant la progression des autres déterminants de l'économie, il est possible de réaliser des projections économiques à long terme.

La méthodologie de projection adoptée découle de la décomposition du niveau de vie (produit intérieur brut (PIB)/habitant) en ses trois principales composantes :

NIVEAU DE VIE

PROFIL
DÉMOGRAPHIQUE

TAUX D'EMPLOI

PRODUCTIVITÉ
DU TRAVAIL

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{PIB} \\ \hline \text{Population totale} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Population 15+} \\ \hline \text{Population totale} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{Emplois} \\ \hline \text{Population 15+} \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline \text{PIB} \\ \hline \text{Emplois} \\ \hline \end{array}$$

Chacune des composantes fait l'objet d'une prévision à l'horizon 2050 à partir de la compréhension des trajectoires passées de ces trois variables et de leurs principaux déterminants.

Cette approche permet de simplifier la projection de la croissance économique, car le taux d'emploi et le profil démographique sont des composantes qui sont relativement stables et qui varient en fonction de déterminants populationnels et sociétaux de long terme (vieillesse de la population, arrivée des femmes sur le marché du travail, etc.). En ce qui a trait à la productivité du travail, les tendances récentes permettent d'entrevoir avec un certain degré de confiance la croissance qui devrait prévaloir dans les années à venir.

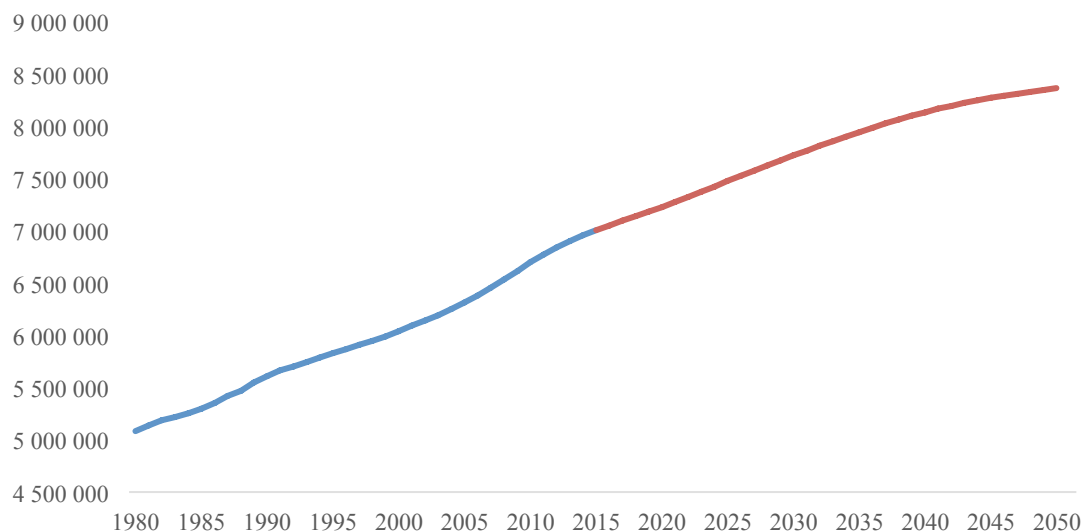
Profil démographique

La première composante est le profil démographique qui est directement tiré des projections démographiques présentées ci-haut. Il est calculé comme étant le rapport entre la population de 15 ans et plus et la population totale. Il donne un aperçu du poids de la population en âge de travailler et, en ce sens, il représente en quelque sorte le bassin de main-d'œuvre disponible pour combler le principal facteur de production de l'économie.

La tendance anticipée du profil démographique illustre bien comment le vieillissement de la population va venir modifier le rapport entre la population de plus de 15 ans et les jeunes (moins de 15 ans). Il est en effet prévu que la proportion de la population de plus de 15 ans augmentera à l'horizon 2050 jusqu'à dépasser les 85%. Cette évolution découle évidemment de la combinaison du vieillissement de la cohorte d'après-guerre dite du baby-boom et d'un taux de natalité qui est sous le seuil de renouvellement naturel des générations depuis plusieurs années déjà.

En termes absolus, la population de 15 ans et plus connaîtra une progression constante d'ici à 2050 (graphique 2). Selon ces prévisions, il est donc anticipé que le bassin de travailleurs potentiels va à la fois s'accroître et être de plus en plus âgé en moyenne. Ces deux phénomènes auront des impacts importants sur l'évolution du taux d'emploi.

Graphique 2. Évolution de la population de 15 ans et plus



Source : ISQ (2014)

Taux d'emploi

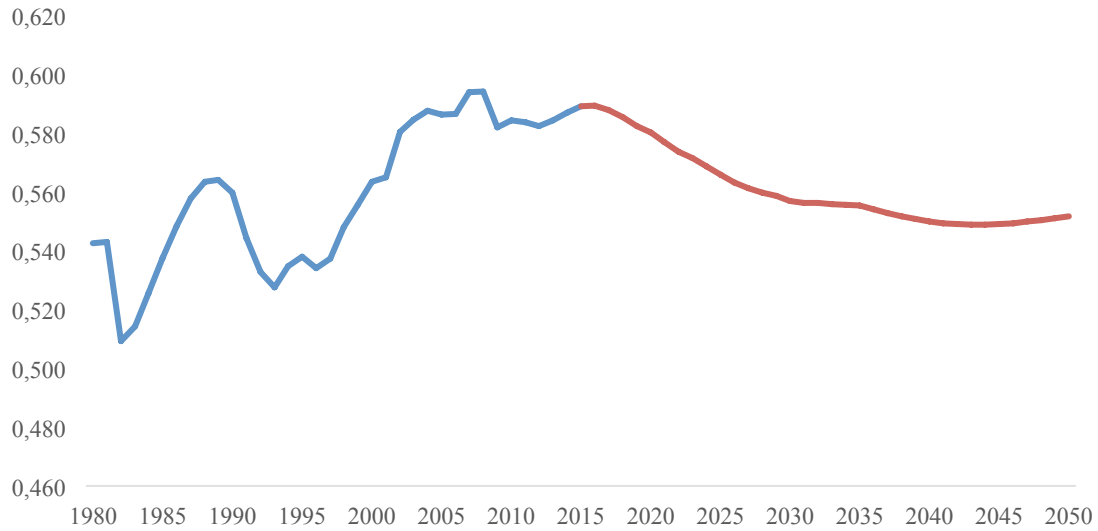
La seconde composante est le taux d'emploi qui est mesuré par le rapport entre le nombre d'emplois et la population en âge de travailler, c'est-à-dire la population âgée de 15 ans et

plus. Le taux d'emploi est généralement assez stable et seuls des changements structurels importants au marché du travail - comme l'arrivée des femmes sur le marché du travail par exemple - ou à la composition de la population viennent impacter significativement le taux d'emploi. Depuis 1980, le taux d'emploi a gravité autour de 55% avec une montée assez significative au courant des années 1990 et une relative stabilité depuis le début des années 2000 à près de 60%.

La combinaison du vieillissement de la population, du prolongement de l'espérance de vie en santé et de l'évolution de l'âge de la retraite suggère que le taux d'activité pour les tranches d'âge supérieures (plus de 55 ans) devrait légèrement augmenter au courant des prochaines années impactant positivement le taux d'emploi (Ministère des Finances du Québec, 2005). Cependant, ce facteur ne sera pas suffisant, à mesure que la population vieillira, pour maintenir le taux d'emploi au même niveau qu'aujourd'hui. Par conséquent, les projections du taux d'emploi indiquent que celui-ci va diminuer progressivement et revenir à un peu plus de 55% en 2050 (graphique 3).

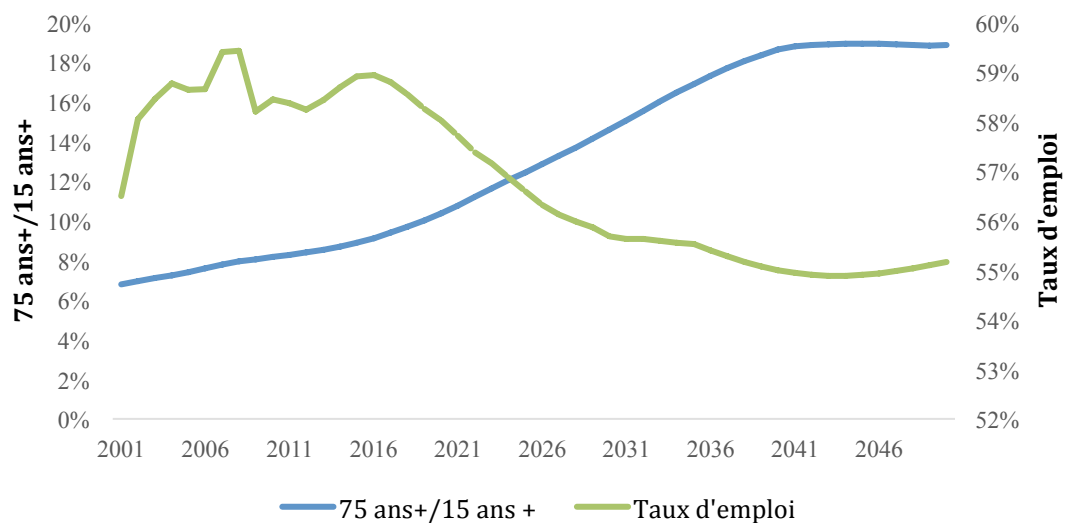
L'évolution de la cohorte de population de plus de 75 ans explique en grande partie la prévision de cette chute du taux d'emploi dans les prévisions à long terme. En effet, malgré que l'âge du début de la retraite continuera vraisemblablement d'augmenter au courant des prochaines décennies, il est raisonnable de croire qu'après 75 ans, la majorité des personnes se seront déjà retirées du marché du travail. Or, comme le démontre le graphique 4, cette portion de la population de 15 ans et plus passera de 8% à 19% entre 2006 et 2050. Et donc, malgré une hausse probable du taux d'activité des tranches d'âge supérieures et un resserrement du marché du travail, baissant du même coup le taux de chômage, le taux d'emploi devrait tout de même diminuer d'environ 4% à l'horizon 2050.

Graphique 3. Évolution du taux d'emploi (emplois/population de 15 ans et plus)



Source : Statistique Canada, Tableau 282-0002

Graphique 4. Évolution de la proportion de la population de 15 ans et plus, ayant plus de 75 ans, et du taux d'emploi

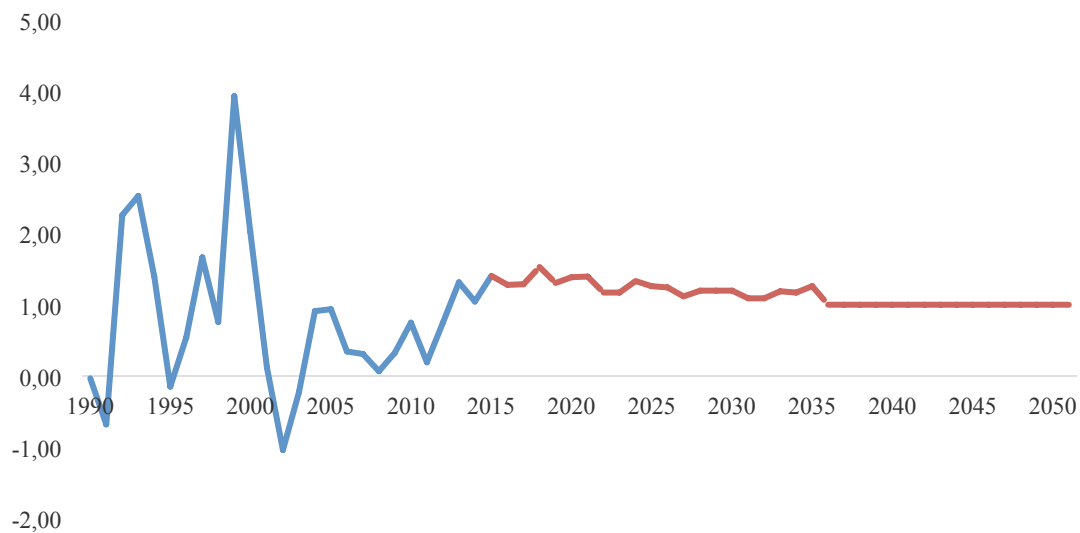


Source : ISQ (2014); Statistique Canada, Tableau 282-0002, 51-0001

Productivité du travail

La dernière composante du niveau de vie est la productivité du travail. Elle est mesurée par le rapport du produit intérieur brut sur le nombre d'emplois total. La productivité du travail est le déterminant du niveau de vie le plus difficile à prévoir ayant connu au courant des 20 dernières années une assez grande volatilité comme en témoigne le graphique 5.

Graphique 5. Taux de croissance annuelle de la productivité du travail



Cependant, en dehors des fluctuations annuelles, la croissance à long terme de la productivité du travail est assez stable; elle se situait en moyenne à 0,81 % par année entre 1990 et 2014. Les projections de croissance de la productivité utilisée dans cette étude proviennent du *Long-Term Economic Forecast* du Conference Board pour l'horizon 2014-2035 (The Conference Board of Canada, 2012). L'organisme prévoit que le taux de croissance de la productivité du travail entre 2014 et 2035 se situera en moyenne autour de 1,25%. Pour l'horizon 2036-2050, le taux de croissance moyen de la productivité a été fixé à 1%, soit la moyenne de la croissance de la productivité du travail entre 1990 et 2036.

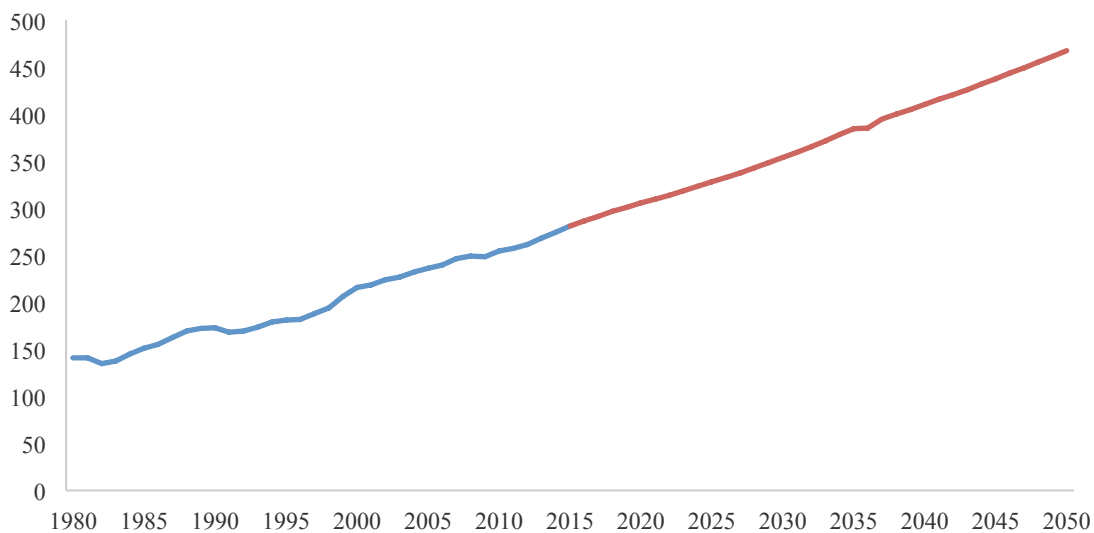
La projection sur l'ensemble de l'horizon est cohérente, quoiqu'un peu plus basse, avec les prévisions du Ministère des Finances du Québec publiées en 2005 qui prévoyait une croissance de la productivité annuelle de 1,3 % en moyenne entre 2005 et 2050 (Ministère des finances du Québec, 2005).

Produit intérieur brut

La projection de la croissance à long terme de l'économie québécoise présenté ici est le résultat des projections des composantes du niveau de vie. Le graphique 6 présente la trajectoire anticipée de l'économie jusqu'à l'horizon 2050.

Selon cette projection, entre 2014 et 2050, le PIB du Québec connaîtra une croissance relativement stable (1,5% en moyenne) qui sera plus forte durant la période allant jusqu'à 2025 et qui diminuera progressivement par la suite tout en restant positive. À terme, le PIB atteindra tout près de 470 milliards en 2050, soit plus de 70% supérieur au PIB de 2014.

Graphique 6. Évolution du PIB total



3. Les scénarios de croissance de la demande d'énergie

La demande d'énergie pour une période donnée est fonction de diverses variables dont la croissance de l'économie, l'offre d'énergie disponible, les technologies en usage, les prix des différentes formes d'énergie et enfin les conditions climatiques. La prévision de la demande d'énergie repose donc sur les prévisions de croissance économique, celle de l'offre d'énergie disponible, l'évolution des technologies anticipées, ainsi que les prix d'énergie futurs.

La demande d'énergie est aussi en partie fonction du climat comme le démontrent les différences entre pays ou régions d'un même pays ayant des conditions économiques similaires, mais des climats contrastés. De même, on observe dans une même région des fluctuations annuelles importantes de la demande en fonction des variations de température.

Pour calculer l'effet des changements climatiques 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 un scénario médian de changements climatiques. La différence est ensuite calculée par rapport à la prévision de demande sans changements climatiques.

3.1 Prévision de la demande avant et après impact climatique

Une fois le cadre méthodologique établi pour la construction du scénario socioéconomique, l'étape suivante consiste à produire les scénarios de demande d'énergie sans changements climatiques pour chacun des quatre secteurs de consommation qui la composent : résidentiel et agricole, commercial et institutionnel, industriel ainsi que transport en climat actuel. Ces scénarios de demande énergétique correspondent à l'évolution tendancielle dans chacun des secteurs sans nouvelles politiques d'efficacité particulières et sans changements ou innovations technologiques majeures.

Pour chacun des quatre secteurs de consommation, on procède ensuite au calcul de l'impact des changements climatiques sur la demande en fonction de leurs caractéristiques propres.

En bref, on procède de la façon suivante:

1. Une projection du niveau d'activités par secteur est réalisée à partir d'indicateurs globaux liés au scénario socioéconomique;
2. On formule ensuite des hypothèses de gains d'efficacité par usage et d'évolution des parts de marchés des sources d'énergie sur la base des prix relatifs des formes d'énergie et des tendances observées;
3. Une prévision de demande avant impact climatique est calculée par secteur pour chacune des formes d'énergie en utilisant les niveaux d'activités projetés et des coefficients de consommation propres à chacun des secteurs;
4. On calcule l'impact climatique par usage lorsqu'approprié ou quand il est possible de le faire;
5. Enfin, une prévision de demande d'énergie après impact climatique est calculée pour chacun des secteurs et chacune des formes d'énergie.

3.2 Scénarios de changements climatiques

Le climat influence la demande énergétique de plusieurs façons notamment pour le chauffage des espaces d'habitation, mais aussi pour la climatisation. On peut aussi imaginer que l'intensité des vents et l'humidité puissent avoir une influence sur la consommation d'énergie bien que de façon marginale.

Dans le cadre de cette étude sur l'impact des changements climatiques sur la demande d'énergie, seule l'influence des températures a été prise en compte. On s'attend, en effet, à ce que les changements climatiques se traduisent par un réchauffement significatif des températures moyennes et extrêmes tout au long de l'année tant en hiver qu'en été et que ceci ait un impact marqué sur la demande d'énergie au Québec.

Trois variables climatiques sont principalement utilisées pour calculer la demande d'énergie, il s'agit :

- Des degrés-jours de chauffage : ici on retient des seuils de 18°C pour le résidentiel et l'industriel et de 15°C pour le commercial en deçà desquels on considère qu'il est nécessaire de chauffer.
- Des degrés-jours de climatisation : ici à l'inverse les seuils retenus sont de 18°C et 22°C pour le résidentiel et de 13°C pour le commercial au-delà desquels on considère que les consommateurs utiliseront la climatisation.
- De la température moyenne : ici il s'agit de la variation mensuelle par rapport à la normale et de son influence sur l'efficacité des véhicules moteurs.

Les changements dans ces mêmes variables seront utilisés dans le calcul de l'impact des CC sur la demande d'énergie.

Les tableaux 1 à 3 présentent successivement les degrés-jours de chauffage (DJCh) et de climatisation (DJCl) pour les régions de Montréal et Québec pour la période 1971-2000 que l'on peut considérer comme la normale historique ainsi que les scénarios climatiques annuels pour les degrés-jours de chauffage et de climatisation pour les deux horizons : 2030 (moyenne de 2015 à 2044) et 2050 (moyenne de 2035 à 2064). Les valeurs mensuelles pour les deux scénarios sont présentées dans l'annexe 1.

Pour le calcul des degrés-jours pour l'ensemble du Québec, on utilise la moyenne des degrés des régions de Québec et de Montréal. Cette approximation est à l'expérience assez proche de la réalité. Chez Hydro-Québec, par exemple, on utilise beaucoup plus de régions. Mais pour une prévision de très long terme comme dans cette étude, le gain de précision obtenu en ajoutant un plus grand nombre de régions est limité étant donné que la prévision de plusieurs variables comme les consommations unitaires ne sont pas disponibles à ce niveau de détail.

Dans cette étude, on analyse deux horizons : 2030 (moyenne de 2015 à 2044) et 2050 (moyenne de 2035 à 2064). Les simulations climatiques se font avec un pas de temps

journalier et non horaire comme l'exigerait le calcul des degrés-jours dans le domaine du génie.

Tableau 1. Degrés-jours de chauffage et de climatisation : normale 1971-2000

	Montréal	Québec	Moyenne
DJCl >13 ⁰ C	730,6	415,8	573,2
DJCl >18 ⁰ C	224,7	79,0	151,8
DJCl >22 ⁰ C	37,8	5,9	21,8
DJCh <15 ⁰ C	3 778,8	4 545,6	4 162,2
DJCh <18 ⁰ C	4 604,6	5 475,8	5 040,2

Tableau 2. Degrés-jours de chauffage et de climatisation : 2015-2044 et ratio par rapport à la normale 1971-2000

	Montréal	Québec	Moyenne
DJCl >13 ⁰ C	967,1	591,2	779,2
2015-2044/normale	1,32	1,42	1,36
DJCl >18 ⁰ C	377,1	161,8	269,5
2015-2044/normale	1,68	2,05	2,77
DJCl >22 ⁰ C	100,7	24,6	62,7
2015-2044/normale	2,66	4,21	187
DJCh <15 ⁰ C	3 233,6	3 947,6	3 590,6
2015-2044/normale	0,86	0,87	0,86
DJCh <18 ⁰ C	4 014,0	4 819,0	4 416,5
2015-2044/normale	0,87	0,88	0,88

Tableau 3. Degrés-jours de chauffage et de climatisation : 2035-2064 et ratio par rapport à la normale

	Montréal	Québec	Moyenne
DJCl >13 ⁰ C	1107,0	733,3	920,2
2035-2064/normale	1,52	1,76	1,61
DJCl >18 ⁰ C	436,3	238,9	337,6
2035-2064/normale	1,94	3,03	2,22
DJCl >22 ⁰ C	118,5	39,8	79,1
2035-64/normale	3,13	6,79	3,62
DJCh <15 ⁰ C	2980,7	3678,5	3329,6
2035-64/normale	0,79	0,81	0,80
DJCh <18 ⁰ C	3704,9	4508,4	4106,7
2035-2064/normale	0,80	0,82	0,81

Notons en premier lieu que les degrés-jours de chauffage (DJCh inférieurs à 15°C et 18°C) sont largement plus importants que les degrés-jours de climatisation (DJCl supérieurs à 13°C, 18°C et 22°C) soit pour la moyenne du Québec 4 162 DJCh et 5 040 DJCh pour la période 1971-2000 contre à peine 573 DJCl, 171 DJCl et 22 DJCl pour la même période. En deuxième lieu, on doit remarquer que les écarts entre Québec et Montréal sont aussi relativement importants tant pour le chauffage que pour la climatisation l'écart pour la climatisation entre Québec et Montréal étant en terme relatif beaucoup plus grand que celui du chauffage.

En ce qui concerne l'impact des CC sur les degrés-jours de chauffage, on remarque que dès 2030 il y aurait une forte baisse de près de 13% dans les deux régions. Pour les degrés-jours de climatisation, la hausse comme le montre le tableau 2 serait encore plus

importante atteignant même un doublement dans la région de Québec. À l'horizon 2050 comme le montre le tableau 3, les changements seraient du même ordre, mais plus marqués avec un triplement des DJCl supérieur à 18°C.

D'un point de vue méthodologique, on peut poser la question de la pertinence d'utiliser les degrés-jours au-dessus de 22°C calculés sur une base quotidienne. Pour les modèles de simulation de transfert de chaleur, la façon suggérée de calculer les degrés-jours se fait sur une base horaire. Or les modèles météorologiques choisis dans cette étude ont un pas maximum de temps qui se situe au niveau quotidien. Pour les degrés-jours de climatisation en particulier, une telle approche peut causer plusieurs biais significatifs. Par exemple, le rapport des heures où la température est plus élevée que 22°C sur un an est beaucoup plus élevé que le nombre de jours dont la moyenne est en haut de 22°C. Pour la région de Québec en particulier, le problème est particulièrement frappant. Afin de corriger le problème, nous avons choisi d'utiliser les degrés-jours en haut de 18°C. Ce problème sera à nouveau discuté dans les sections sur la climatisation, en particulier pour le secteur résidentiel.

En termes de cohérence ou de résultats attendus, il est intéressant de noter que le climat se réchauffe plus dans la deuxième période de simulation. Ainsi, la baisse annuelle de degrés jours de chauffage (inférieurs à 18°C) serait de 13,9 pendant la période 1985-2030, et de 15,5 pendant la période 2030-2050. La hausse annuelle des degrés de climatisation (supérieurs à 18°C) serait de 2,6 pendant la première période et de 3,4 dans la deuxième période.

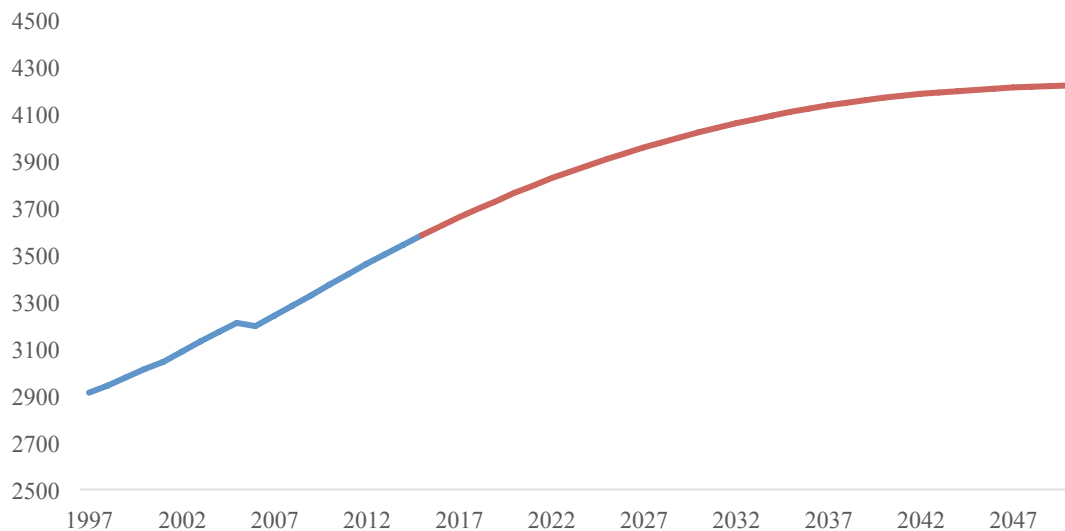
4. La prévision de demande dans le secteur résidentiel

4.1 Les hypothèses

4.1.1 L'évolution des besoins

Les variables démographiques, population et ménage, sont déterminantes dans l'évolution des besoins énergétiques du secteur résidentiel. En premier lieu, la croissance de la population entraîne la croissance des ménages et celle-ci est pratiquement proportionnelle à l'évolution du nombre de logements. Ainsi la tendance à la diminution de personnes par ménage au cours des dernières décennies a permis d'augmenter le nombre de ménages plus rapidement que le nombre de personnes et provoqué une augmentation de la consommation d'espace par personne. En deuxième lieu, le nombre de personnes influence, aussi de façon directe la consommation d'énergie pour plusieurs usages tels que par exemple la quantité d'eau chaude qui est fortement déterminée par les besoins sanitaires des personnes. À cet égard, le scénario de référence utilisé est toujours celui de l'ISQ de 2014. Tel que montré dans le graphique 7, le scénario de référence prévoit que le nombre de ménages commencera à saturer dans les années 2040.

Graphique 7. Évolution des ménages



Source : ISQ (2014)

La composition du stock de logements a aussi une influence significative sur les besoins énergétiques dans la mesure où les logements détachés consomment davantage par unité d'habitation que les logements multiples. En 2010, les unifamiliales représentaient environ 65% du stock, les plex 15% et les multilogements 20%. On prévoit que pour les nouvelles constructions, les unifamiliales conserveront leur part du marché à 65% alors que celle des duplex et triplex diminuerait à 5% et que celle des multilogements augmenterait à 30%. Cependant, comme le nombre de nouvelles constructions sera limité d'ici quelques décennies, ces chiffres ne devraient pas apporter de changement structurel important dans le stock de logements à long terme. On estime cependant que le fait de moins construire de plex et plus de multilogements permettrait une économie de chauffage d'environ 2,5% pour l'ensemble du stock neuf.

Parmi les tendances lourdes observées, il faut signaler la croissance importante des climatiseurs dans la décennie 2000 avec une diffusion qui a augmenté est passée de 22,2% en 2001, à 40,6% en 2010 (Statistique Canada, 2010). Clairement, il y a un effet revenu dans ce nouvel engouement pour les climatiseurs. On reviendra sur ce sujet un peu plus tard dans la section sur l'impact du changement climatique. Il est à noter que pour les piscines, on observe un effet contraire avec une diffusion qui tend à baisser.

Comme ces prévisions se font dans un contexte où aucun nouveau programme ambitieux d'économie d'énergie n'est mis en opération, on ne prévoit que des gains d'efficacité tendanciels. Ce constat s'appuie sur deux phénomènes: a) la surface plus grande des logements neufs par occupant compense pour les normes plus sévères de construction, b) l'ajout limité de nouvelles constructions par rapport au stock existant rend plus onéreuses les mesures d'efficacité puisqu'elles concernent surtout le stock existant. Dans la pratique, cela représente des gains nets d'environ 10% pour le chauffage.

4.1.2 Part de marché des formes d'énergie

La part des formes d'énergie repose en grande partie sur les prix relatifs de ces dernières. Dans cette étude on assume que la hausse du prix de l'électricité devrait suivre l'inflation

alors que celle des combustibles devrait être supérieure à l'inflation sur l'ensemble de la période. Clairement, si on se base sur cette hypothèse l'électricité continuera d'augmenter son avantage comparatif par rapport aux combustibles pour le chauffage. Dans cette optique, avec un taux de diffusion autour de 76% dans l'année initiale (ce qui comprend la biénergie), le chauffage électrique continuera de gruger la part des combustibles pour atteindre les 90% à l'horizon 2050. La substitution de l'électricité au chauffage avec combustible aura des conséquences sur la part de marché de l'électricité pour le chauffe-eau. Alors qu'en 2010, la part de l'électricité pour les chauffe-eau se situait à 91%, elle devrait atteindre près de 96% en 2050.

4.2 La prévision de demande avant impact climatique

Avec les hypothèses précédentes d'augmentation de la population et du revenu par habitant ainsi que des gains tendanciels d'efficacité énergétique, il est prévu que la demande d'électricité dans le secteur résidentiel augmente de 216 PJ en 2010 à 294 PJ en 2050 soit une augmentation d'environ 36%. À l'inverse, la demande pour les combustibles diminuerait de 76 PJ à 37 PJ soit de plus de 50%.

En ce qui concerne la demande d'électricité, on prévoit qu'entre 2010 et 2030 chacune des composantes de la demande dans le secteur résidentiel augmentera avec cependant une forte progression de la demande pour la climatisation de 40% durant cette seule période. Sur la période 2030-2050, la croissance de la demande en chauffage serait moins vive reflétant la croissance plus lente de la population et de l'économie québécoise, alors que la demande pour la climatisation continuerait sa progression.

Tableau 4. Demande d'électricité avant impact climatique : secteur résidentiel (PJ)

	Électricité			Combustibles
	Chauffage net	Climatisation	Total ⁽¹⁾	Chauffage net
2010	97,4	3,1	216,1	75,9
2030	120,2	4,3	270,0	62,6
2050	132,1	5,1	294,2	36,6

(1) Comprend les autres usages : éclairage, équipements ménagers, etc.

4.3 L'impact des changements climatiques

Afin de déterminer l'impact des CC, nous avons suivi la procédure suivante :

1. Les prévisions de demande avant changements climatiques ont été corrigées de façon linéaire par les changements scénarisés de degrés-jours de chauffage et de climatisation dans les deux périodes 2015-2044 et 2045-2064.
2. La correction a été apportée sur les prévisions de demande de chauffage par forme d'énergie soit l'électricité et les combustibles (gaz naturel, mazout et bois). Pour cet usage, on ne suppose pas de modifications dans les parts de marchés par forme d'énergie par rapport à la prévision sans changements climatiques.
3. Pour la climatisation, en plus de la variation des degrés-jours, un deuxième effet a été calculé soit l'impact des changements climatiques sur la diffusion des équipements.

4.3.1 Le chauffage des locaux

Les besoins en chauffage sont étroitement liés au nombre de degrés-jours de chauffe. En général, on assume que la relation entre chauffage et variation de degrés-jours est directement proportionnelle (linéaire).

Les besoins en chauffage bruts sont liés aux pertes thermiques de l'enveloppe du bâtiment et aux entrées et sorties occasionnelles d'air. Ces besoins de chauffage bruts

sont comblés par deux catégories d'apport thermique soit le chauffage proprement dit et le chauffage dû à la production de chaleur des appareils ménagers, de l'éclairage ou d'autres usages aussi appelés effets croisés. Pour une maison unifamiliale « tout électrique » chauffée par système radiant à l'électricité, la part du chauffage net se situe autour de 50%. Pour cette maison tout électrique, le chauffage brut est 71,5% environ. En tenant compte des logements chauffés par les autres sources d'énergie, la part du chauffage net dans la demande totale d'électricité se situe plutôt autour de 44%.

Avant impact climatique, même si la part de l'électricité augmente, ces rapports sont à peu près conservés dans le temps à cause des gains d'efficacité dans le chauffage. Par contre, ils seront modifiés lors du calcul de l'impact climatique. On devine que le changement du rapport *chauffage net/demande totale* aura un impact important sur la demande de pointe et la courbe de charge.

4.3.2 La climatisation

Les changements climatiques influencent les besoins énergétiques en climatisation de deux façons. En premier lieu, à mesure que le climat se réchauffe la diffusion des climatiseurs augmente avec l'installation de climatiseurs dans les résidences n'en étant pas encore dotées. En deuxième lieu, l'augmentation des températures entraîne une consommation d'énergie croissante et proportionnelle à l'augmentation de la température dans les résidences dotées de climatiseurs.

Diffusion des climatiseurs

À l'évidence une augmentation générale des températures, en particulier de la longueur et du nombre des canicules estivales, incite les ménages à envisager l'achat d'un système de climatisation. Il suffit de regarder les taux de diffusion des climatiseurs entre différentes régions du Canada et des États-Unis par rapport aux degrés-jours de climatisation (DJCI) pour se rendre compte que le climatiseur devient un appareil omniprésent et probablement indispensable avec des taux de plus de 97% dans les régions affichant un climat subtropical (voir tableau 5) alors qu'il est beaucoup moins fréquent dans les

régions au climat modéré comme les Maritimes (16,7%) ou la Colombie-Britannique (20,8%).

Tableau 5. Diffusion des appareils de climatisation

Région	DJCI¹	Central	Fenêtre	Total
Colombie-Britannique	44	9,7%	11,1%	20,8%
Maritimes	68	3,5%	13,3%	16,7%
Prairies	137	27,6%	12,4%	39,9%
Québec	151	14,7%	26,1%	40,8%
Ontario	244	58,3%	17,8%	76,1%
New England	441	18,2%	52,7%	70,9%
Middle Atlantic	665	40,5%	43,8%	84,3%
East North Central	731	61,5%	24,0%	85,5%
Pacific	755	34,9%	18,9%	53,8%
West North Central	949	75,3%	18,5%	93,8%
Mountain	1308	60,8%	11,4%	72,2%
East South Central	1564	81,7%	16,9%	98,6%
South Atlantic	1982	82,9%	14,4%	97,3%
West South Central	2477	81,3%	16,4%	97,7%

Source: Statistique Canada – Tableau CANSIM 203-0020 (2009), US Energy Information administration (2013), NOAA (2014), Lafrance (2006)

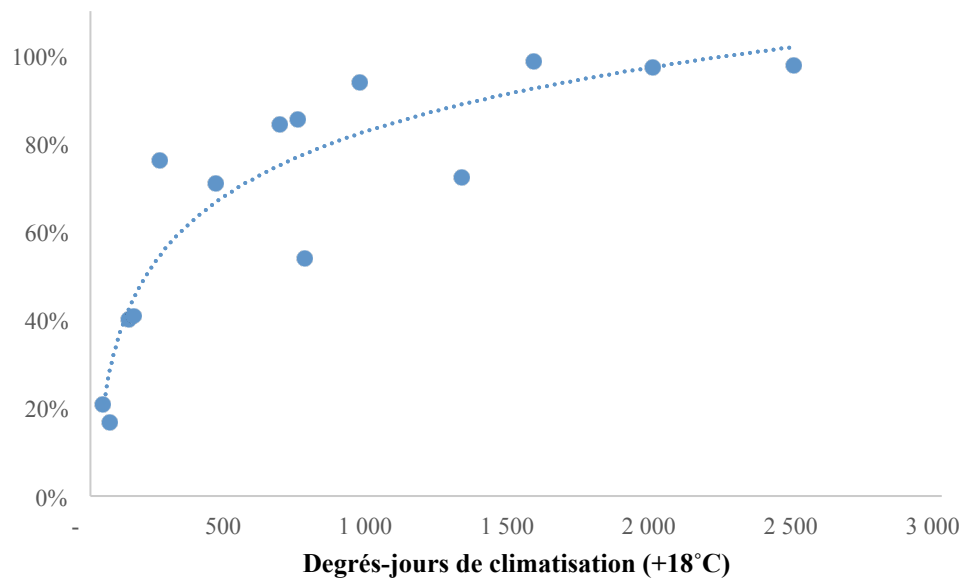
¹Degrés-jours de climatisation : + de 18°C

Ainsi, la Colombie-Britannique présente à la fois le climat avec le moins de degrés-jours de climatisation et un des taux de diffusion les moins élevés. Inversement, la région du West South Central (Arkansas, Louisiane, Oklahoma et Texas) aux États-Unis présente

un climat très chaud et humide et un taux de pénétration du climatiseur presque à saturation (97,7%).²

Comme l'illustre le graphique 8, cette corrélation entre la diffusion et le nombre de degrés-jours de climatisation est très nette. Il est également intéressant de constater que la diffusion en fonction du climat n'est pas linéaire, mais plutôt asymptotique à mesure que l'on s'approche du taux de saturation. Des variations importantes demeurent notamment dans l'East South Central (Alabama, Kentucky, Mississippi, Kentucky) avec 1 564 DJCI annuellement et où la diffusion est plus élevée que dans le West South Central avec tout près de 2 500 DJCI annuellement.

Graphique 8. Diffusion des climatiseurs aux États-Unis et Canada



Il est donc raisonnable de croire qu'au-delà d'une relation directe entre la diffusion du climatiseur et la température, d'autres facteurs peuvent venir moduler cette relation,

² 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 la prudence s'impose, car la définition peut en effet varier d'une région à l'autre.

notamment le prix des climatiseurs, les préférences des individus, le coût de l'électricité et le revenu disponible des ménages.

À cet égard, la progression très rapide de la diffusion du climatiseur de plus de 100% en moins de 15 ans au Québec pourrait donc être davantage attribuable à une chute marquée du prix des climatiseurs combinée à une augmentation des revenus disponibles qu'au réchauffement des températures estivales. Ainsi, la diffusion du climatiseur au Québec a plus que doublé entre 1997 et 2009 passant de 18,9% à plus de 40% en 2009. Pendant la même période, la moyenne des degrés-jours de climatisation n'a augmenté que de 10%³. Quant au PIB par habitant, il a bondi de 22% au courant de ces 13 années d'observation. Finalement, l'indice de prix pour les petits électroménagers qui comprend les climatiseurs a chuté de 13%, rendant d'autant plus accessible la climatisation.

Pour tenter d'isoler ces effets combinés, une analyse économétrique simple de la diffusion du climatiseur au Québec a été réalisée. Les principales hypothèses pour cette analyse sont les suivantes :

- La diffusion du climatiseur est la somme de la climatisation centrale et de la climatisation individuelle (fenêtre).
- L'évolution du climat est mesurée comme étant la moyenne mobile sur 10 ans des degrés-jours de climatisation dépassant 18°C. Par ailleurs, pour prendre en compte l'impact du climat sur la diffusion (et l'effet de saturation), les degrés-jours de climatisation ont subi une transformation en logarithme naturel.
- Le coût relatif de la climatisation est largement fonction du coût des climatiseurs par rapport au revenu personnel. Celui-ci est capturé dans notre analyse par l'utilisation de deux variables que sont le PIB par habitant et l'indice de prix de consommation des petits électroménagers. On fait ici l'hypothèse que le prix des petits électroménagers est un bon indice pour celui des climatiseurs à défaut de disposer d'un indice propre aux

³ Les degrés-jours de climatisation au Québec sont calculés comme la moyenne des degrés-jours de climatisation de Montréal et de Québec.

climatiseurs.

La régression linéaire met en relation le taux de diffusion du climatiseur au Québec pour la période 1997-2009 en fonction des degrés-jours de climatisation, du produit intérieur brut par habitant et de l'indice de prix des petits électroménagers.

Les résultats de la régression sont présentés dans les tableaux 6 et 7. La fonction donne de très bons résultats et explique près de 100% de la variation du taux de diffusion du climatiseur. Tous les coefficients des variables retenues pour l'analyse affichent un signe cohérent avec leur valeur intuitive et sont significatifs à un niveau de 1%. Du côté de l'influence de la température, toute chose étant égale par ailleurs, pour une augmentation de 10% des degrés-jours de climatisation la diffusion du climatiseur devrait progresser d'environ 1,9 %. En ce qui concerne le revenu, pour une augmentation de revenus de 10 000 \$, on obtient une augmentation de taux de diffusion de 13%.

Tableau 6. Résultats de la régression linéaire multiple de la diffusion du climatiseur

Variable	Coefficients	Écart-type
IPC – petits électroménagers	-1,1111	,1360
PIB réel par habitant	,0013	,0005
DJC – moyenne mobile 10 ans	19,1427	5,2360
	$R^2 = 0,997$	N=13

Tableau 7. Facteur d'augmentation de la diffusion des climatiseurs

	Sans CC ¹	Avec CC	Total	Niveau atteint
2030	+ 9,09 %	+ 9,02 %	+ 18,11 %	58,91 %
2050	+ 20,81 %	+ 13,33 %	+ 34,14 %	74,94 %

¹ L'augmentation de la diffusion du climatiseur sans CC est strictement fonction de la hausse du niveau de vie prévue dans le scénario socio-économique. Le prix des climatiseurs est considéré comme constant sur la période 2015-2065 aux fins de l'analyse.

4.3.3 Les résultats

De façon générale, les CC ont un impact significatif sur la demande d'énergie du secteur résidentiel. Ainsi comme le montre le tableau 8, la demande de chauffage pour l'électricité diminuerait de 8,9% en 2030 et de 13,2% en 2050 par rapport à la demande scénarisée sans changements climatiques. Cette diminution ne serait que partiellement compensée par l'augmentation de la climatisation de 2,9% et 4,1% respectivement. En ce qui concerne la demande pour les combustibles, les changements climatiques viendraient accentuer les baisses prévues pour ces formes d'énergies en ajoutant 14,9% et 22,2% de diminution par rapport à leur évolution sans changements climatiques.

Tableau 8. Impact du changement climatique : résidentiel

Impact	Énergie (PJ)				% total		
	Électricité			Comb.	Électricité		Comb.
	Chauf.	Clim.	Total ⁽¹⁾		Chauf.	Clim.	Chauf.
2030	-23,9	8,0	-16,0	-9,3	-8,9	2,9	-14,9
2050	-38,9	12,0	-26,9	-7,9	-13,2	4,1	-22,2

(1) Pour le chauffage électrique, le calcul de pourcentage est pour le chauffage brut, mais en termes absolus, la baisse vaut également pour le chauffage net.

Une analyse plus détaillée par usage (tableau 9) montre que l'augmentation prévue de chauffage est pratiquement annulée par la baisse des degrés-jours de chauffage. En d'autres termes, la part du chauffage dans le profil de charge du résidentiel va diminuer. Par contre, l'impact sur la climatisation est important et permet d'avoir une augmentation nette de la demande d'électricité pour le chauffage et la climatisation.

Tableau 9. Comparaison de la croissance de la demande électrique vs. impact des CC (PJ)

Impact	Croissance de demande			Impact des CC		
	Ch. net	Clim.	Somme	Ch. brut	Clim	Somme
2030	22,8	4,3	27,1	-23,9	8,0	-15,9
2050	34,7	5,1	39,8	-38,9	12,0	-26,9

5. La prévision de demande dans le secteur tertiaire

5.1 L'évolution des activités

Dans le secteur tertiaire qui est composé d'édifices de nature très variée allant des centres commerciaux aux hôpitaux et institutions scolaires en passant par les édifices à bureaux, la consommation d'énergie aux fins de chauffage, de climatisation ainsi que de l'ensemble des usages (éclairage) est directement proportionnelle à la surface de plancher des bâtiments. Par contre, la consommation unitaire d'énergie varie beaucoup selon la vocation des édifices. Pour les besoins de cette étude, seules les relations entre la consommation d'énergie et le climat seront analysées sur une base agrégée. Le scénario d'évolution de la demande d'énergie repose donc sur une projection de croissance de la superficie totale occupée par l'ensemble des activités du secteur tertiaire. Celle-ci est elle-même fonction de l'augmentation de l'activité économique et du nombre d'emplois par unité de PIB. Plus précisément, l'équation pour exprimer l'évolution de la superficie des bâtiments occupés par le secteur tertiaire est la suivante :

$$S_t = 1077.76 - 36.345 * E_t - 8.529 * Rev_h_t$$

où:

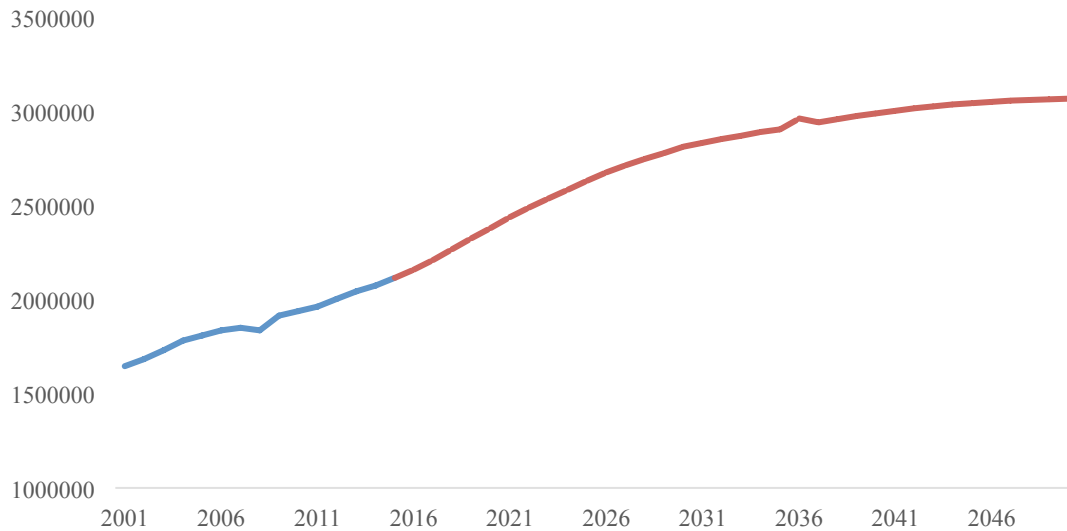
S_t est la surface en millions de pieds carrés;

E_t est le nombre d'emplois totaux par dollars de PIB total;

Rev_h_t exprime indirectement le revenu total par le ratio suivant : PIB total par habitant.

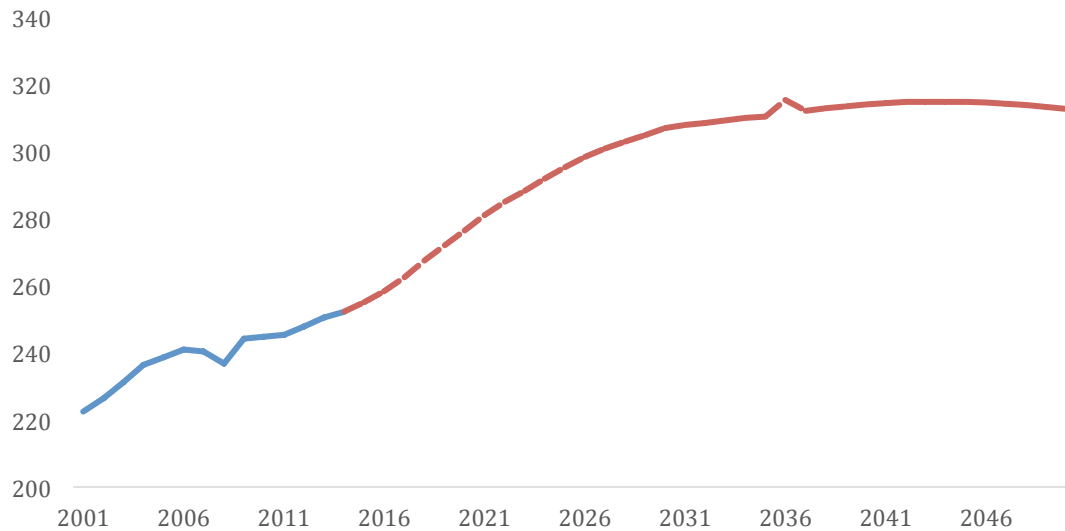
À partir du scénario de croissance qui donne le revenu par habitant et la population ainsi que l'emploi, il est donc possible de produire un scénario de croissance globale des besoins en espace du secteur tertiaire. Selon ce scénario, après un ralentissement du taux de croissance des surfaces dans la décennie 2000, on assisterait à nouveau à une croissance importante du stock de bâtiment entre 2010 et 2030. Par la suite, celui-ci se stabiliserait (graphique 9). La croissance importante entre 2010 et 2030 s'explique principalement par la croissance de l'emploi.

Graphique 9. Évolution de la superficie des bâtiments occupée par le secteur tertiaire



Il faut noter que dans ce scénario, aucune hypothèse de gain de productivité ne vient réduire la croissance des surfaces unitaires par emploi ou par habitant. Par exemple, le graphique 10 montre que la croissance des surfaces unitaires par habitant dans la période 2010 – 2030 est forte et comparable à ce que l'on a connu dans les années 1980. En se basant sur les tendances historiques, la croissance pendant la période 2010 – 2030 peut donc être qualifiée d'optimiste.

Graphique 10. Évolution de la superficie des bâtiments du secteur tertiaire par habitant



5.1.1 Gain d'efficacité énergétique

La consommation totale d'énergie par unité de surface et par forme d'énergie est déduite de la consommation unitaire observée dans les dernières décennies.

Comme pour le résidentiel, les économies d'énergie sont tendanciellées et ne reflètent pas l'adoption de nouvelles politiques ou de programmes particuliers. Les économies d'énergie par forme résultent de deux facteurs : a) une meilleure gestion de la demande, b) la substitution d'une forme d'énergie vers une plus efficace.

En se basant également sur l'expérience des deux dernières décennies, il ne devrait pas y avoir de changement majeur dans la position concurrentielle électricité/combustible des systèmes de chauffage dans ce secteur. Contrairement au résidentiel, la situation actuelle favorise le gaz naturel et non l'électricité. Par contre, le mazout devient de plus en plus marginal par rapport au gaz naturel. Dans ce secteur, on suppose que l'évolution de l'efficacité énergétique est semblable pour le mazout et le gaz naturel.

La combinaison de l'économie tendancielle et de la substitution des formes d'énergie amène à formuler les hypothèses suivantes :

- Gain de 5% d'efficacité par décennie pour le chauffage électrique, mais sans substitution notable;
- Gain de 10% d'efficacité d'ici 2050 pour le gaz et le mazout.

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

5.1.2 La climatisation

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

- L'augmentation des degrés-jours de climatisation qui implique une consommation d'énergie accrue des appareils existants.
- L'augmentation de la proportion des espaces climatisés suite à une demande des consommateurs en réaction à des variations importantes de chaleur.

Le calcul de l'augmentation de la consommation d'énergie en fonction de l'augmentation des degrés-jours de climatisation est basé sur la même approche que dans le résidentiel. Par contre, pour l'augmentation de la diffusion de l'usage de l'air conditionné, l'approche est basée sur une approche différente, en raison du manque d'information sur la proportion de l'espace climatisé par type d'édifice. Les sondages disponibles d'Hydro-Québec ou de Ressources naturelles Canada par exemple, donnent une idée imprécise à la fois du taux de diffusion de la climatisation et de la consommation unitaire par unité de surface. La première raison qui explique cette imprécision c'est qu'il faut également tenir compte de la portion de l'espace climatisé. Par exemple, même si le taux de diffusion de la climatisation est de 100% pour les hôpitaux et les édifices à bureaux, il y a une grande

différence de consommation unitaire entre les deux. Celle-ci est due au fait que la proportion de l'espace climatisé dans un édifice à bureaux est en moyenne plus grande que dans un hôpital.

Dans cette étude, nous proposons les hypothèses suivantes :

- Selon les ventes d'électricité liées à la climatisation, le taux de diffusion serait déjà à 80% en 2010.
- Pour l'an 2050, on retiendrait un taux de diffusion à 86% correspondant au taux observé dans les nouvelles constructions.

Tableau 10. Comparaison des consommations unitaires : États-Unis et Québec (kWh/pi²)

Chauffage	2011	2030	2040
États-Unis (1)	6,24	5,7	4,82
Québec (2)	19,1	16,6	14,1
Climatisation			
États-Unis (1)	2,13	1,73	1,66
Québec (2)	0,95	0,89	0,86

(1) U.S. Energy Information, Outlook 2014, table A5, www.eia.gov

(2) Hypothèse de travail

À titre de comparaison, le tableau 10 donne l'évolution des consommations unitaires pour les États-Unis et l'hypothèse retenue pour le Québec dans cette étude. Bien que les niveaux ne soient pas comparables à cause des conditions climatiques différentes, les variations de consommation unitaire dans le futur permettent de constater que nos hypothèses rejoignent celles du DOE pour les États-Unis avec une réduction de consommation de 10% vs 12% pour le DOE.

5.2 La prévision de demande avant impact climatique

Le tableau 11 présente la prévision de demande pour le secteur commercial et institutionnel, avant impact climatique.

Tableau 11. Demande d'électricité et de combustible par usage avant impact climatique dans le secteur commercial (PJ)

	Électricité				Combustible	
	Chauffage	Climatisation	Autre	Total	Chauffage	Total
2010	28,2	6,7	83,6	118,8	76,3	84,8
2030	36,4	9,0	109,1	154,6	109,6	121,8
2050	36,2	9,1	106,1	151,3	119,6	132,9

Note : Les combustibles n'incluent pas les carburants ni la biomasse.

On remarque que la progression de la demande d'électricité avant changement climatique pour le chauffage et la climatisation se stabilise à partir de 2030 alors que progression de la demande de combustibles pour le chauffage ralentit fortement. Cette quasi-stagnation s'explique par le ralentissement de la croissance combiné aux gains d'efficacité énergétique.

5.3 Impact du changement climatique

Comme on peut le voir au tableau 12, les changements climatiques se traduisent par des diminutions de consommation d'électricité de 5,5 PJ et de 7,9 PJ et par des diminutions de consommation de combustibles de 16,6 PJ et 26,3 PJ en 2030 et 2050 soit des diminutions de 3,6% et 5,3% de la demande totale d'électricité ainsi que 13,6% et 19,8% de la demande de combustible.

Tableau 12. Impact du changement climatique dans le secteur commercial

	Énergie (PJ)			%		
	Électricité		Combustible	Électricité		Combustible
	Chauffage	Climatisation	Chauffage	Chauffage	Climatisation	Chauffage
2030	-5,5	2,7	-16,6	-3,6	1,7	-13,6
2050	-7,9	4,4	-26,3	-5,3	2,9	-19,8

La première constatation est que la diminution de la consommation d'énergie pour le chauffage est beaucoup plus importante pour les combustibles que pour l'électricité ce qui est cohérent avec la prépondérance des premiers dans le chauffage du secteur commercial.

Une deuxième observation est que l'augmentation de la demande aux fins de climatisation est en proportion un peu plus importante dans ce secteur que dans le résidentiel. Normal aussi, car les espaces climatisés et la durée de climatisation sont plus importants dans les édifices commerciaux que dans les logements.

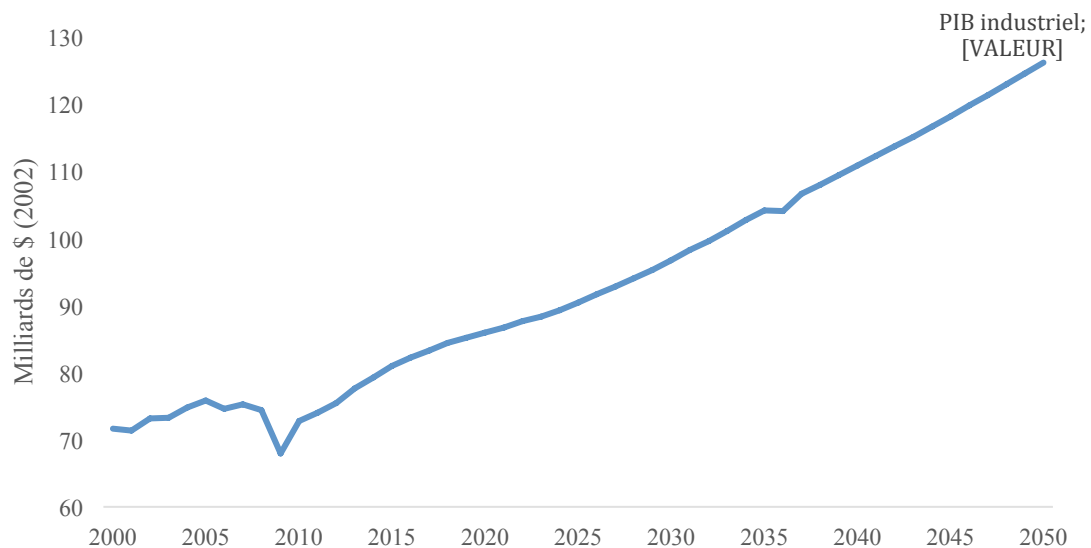
Enfin, l'impact du changement climatique sur le chauffage électrique dans le secteur tertiaire est moins important que dans le secteur résidentiel soit 4 à 5% dans le commercial contre 10 à 13% dans le résidentiel. En rappel, ces résultats sont liés à un facteur principal : le taux de diffusion du chauffage électrique dans le résidentiel est beaucoup plus élevé que dans le commercial.

6. La prévision de demande dans le secteur industriel

6.1 L'évolution des activités

L'évolution des activités dans le secteur industriel est exprimée en dollars de production. La projection du PIB industriel est dérivée de l'évolution globale du PIB total. La part de la production industrielle dans le PIB jusqu'en 2035 provient de l'étude publiée par le Conference Board en 2012 et est ensuite fixée à 27% jusqu'en 2050 (The Conference Board of Canada, 2012). La combinaison de ces hypothèses avec la projection socioéconomique décrite en début de rapport donne une croissance relativement constante dans le temps de l'activité industrielle (voir graphique 11).

Graphique 11. Évolution du PIB industriel (milliards \$ de 2002)



Le calcul de la consommation d'énergie par forme dans le secteur industriel peut ensuite se ramener à l'équation suivante :

$$C_t = \text{PIB Ind}_t * \text{Intensité}_t$$

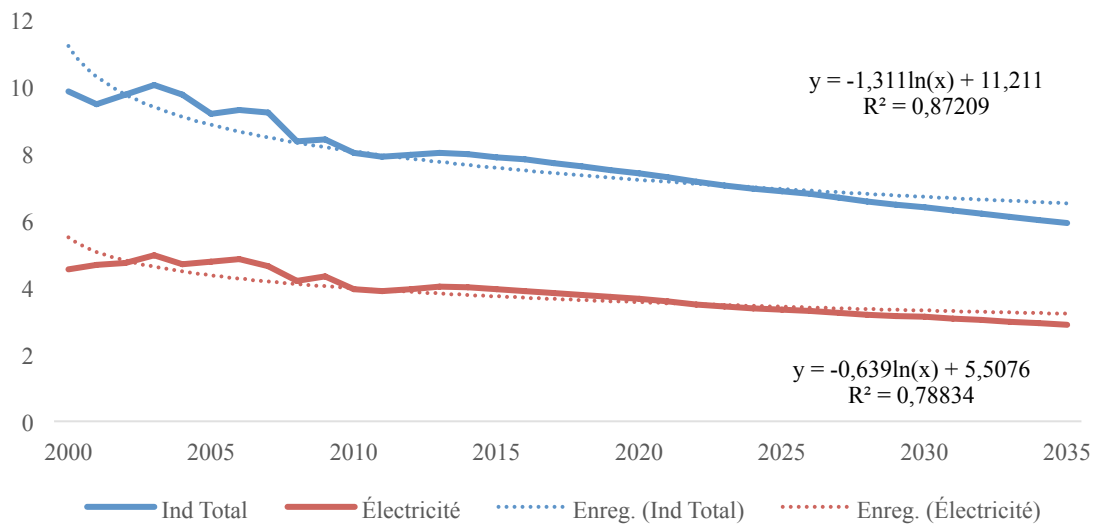
Où

C_t = Consommation d'énergie à l'instant t

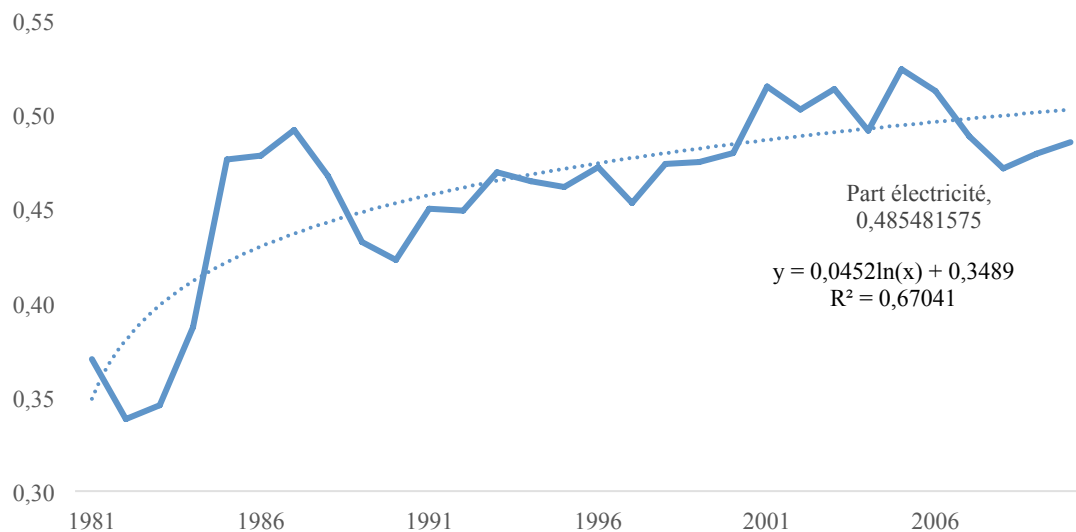
$PIB\ Ind_t$ = PIB industriel à l'instant t

$Intensité_t$ = Intensité énergétique estimée à l'instant t = Consommation énergétique par dollars de production

Graphique 12. Évolution de l'intensité énergétique et de l'intensité de la demande d'électricité du secteur industriel (PJ / M\$ de 2012)



Graphique 13. Part de l'électricité dans la consommation totale d'énergie du secteur industriel



Les intensités énergétiques pour la consommation totale et l'électricité ont été calculées à partir du scénario de référence de l'Office National de l'Énergie (ONE)⁴ pour la période 2000 – 2035. Une extrapolation de type logarithmique a été faite pour la période 2035-2050 (graphique 12). La consommation des combustibles est tout simplement la différence entre la consommation totale et la consommation d'électricité.

Dans l'approche retenue, la part de l'électricité dans la consommation totale industrielle se stabilise autour de 48%. Or l'analyse de la période 1981-2010 montre que l'électrification des procédés tend à croître (graphique 13) bien que de façon plus modérée dans les dernières années.

⁴ Source: National Energy Board, Canada's Energy future, Energy supply and demand projections to 2035, 2011.

6.2 Demande d'énergie avant impact climatique

Le scénario retenu dans cette étude tient compte du déclin très important du secteur industriel pendant la décennie 2000, mais suppose une croissance régulière par la suite. Il est bien sûr difficile de prédire avec confiance l'évolution sur une aussi grande période de la production industrielle. Il faut considérer cet exercice comme visant essentiellement à dégager l'impact des CC sur la demande d'énergie dans un cadre dynamique et non comme une volonté de prédire l'évolution de l'économie à long terme. La demande d'énergie avant impact climatique est présentée dans le tableau 13.

Tableau 13. Consommation totale d'énergie avant impact climatique (PJ)

Étude 2014	2010	2030	2050
Demande totale	618,9	679,0	794,1
Combustible ⁽¹⁾	318,5	352,2	411,3

(1) sans biomasse

6.3 Impact du changement climatique dans le secteur industriel

L'analyse interannuelle des données de ventes mensuelles fournies par Gaz Métro⁵ pour l'étude de 2006 a démontré que celles-ci sont influencées par le contexte climatique dans l'industriel, et ce, même dans le secteur industriel lourd. Cette observation peut laisser entrevoir une relation consommation et degrés-jours pour les autres formes d'énergie dans l'industriel et il est raisonnable de croire qu'il en est de même pour le mazout.

Cependant en ce qui concerne l'électricité, suite à des discussions avec des conseillers d'Hydro-Québec, rien n'indique qu'un tel effet soit important. D'ailleurs, Hydro-Québec estime que le secteur industriel ne contribue que pour 2% environ à la pointe de chauffage.

⁵ Données fournies par Gaz Métro pour l'étude de 2006.

Pour estimer l'impact du changement climatique dans le secteur industriel, la méthodologie utilisée dans l'étude de 2006 a été reprise. En rappel, la méthodologie proposée était la suivante.

L'approche agrégée pour le secteur industriel est donc 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 (en dessous de 18°C). La relation obtenue pour le gaz naturel a été extrapolée pour les besoins de mazout à des fins de chauffage.

Bien que les variations saisonnières soient dues à bien des facteurs autres que les variations de besoins de chauffage, l'exercice 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 ont moins de besoins de conditionnement thermique pour leur utilisation dans la fabrication, etc.

En se basant sur les chiffres des ventes « grand débit », nous avons déterminé les relations suivantes :

- La part des ventes de combustible dans l'industriel susceptible d'être influencée par une variation des degrés-jours est d'environ 17%.
- La variation des besoins, par degrés-jours et par client, se situe autour de 321 400 m³ en équivalent gaz naturel.

L'impact des scénarios climatiques sur la consommation de combustible (gaz et pétrole) est présenté dans le tableau 14. La réduction de la consommation pour les besoins de chauffage est significative. On aurait une baisse de la demande de gaz naturel et de pétrole de l'ordre de 18,3% en 2030 ainsi qu'en 2050.

Tableau 14. Impact du changement climatique dans le secteur industriel.

	Énergie (PJ)	%
2030	-7,3	18,3
2050	-12,8	18,3

Note: Sans la biomasse

7. Secteur des transports

7.1 L'évolution des activités

Dans le transport, l'étude porte essentiellement sur la consommation d'essence. En ce qui concerne le diésel, la consommation des camions lourds dépend surtout du poids et il est donc plus difficile d'identifier un impact quelconque du climat. De plus, bien souvent les camions font le plein en dehors du Québec ce qui vient fausser les données de consommation. Enfin, la consommation des voitures diésel demeure marginale dans l'ensemble des ventes d'essence diesel.

Pour estimer la consommation d'essence, nous nous sommes basés sur les prévisions de l'ONE pour la période 2010 – 2035. Puis nous avons utilisé une courbe de second degré pour faire l'extrapolation pour la période 2035-2050. L'équation utilisée est la suivante :

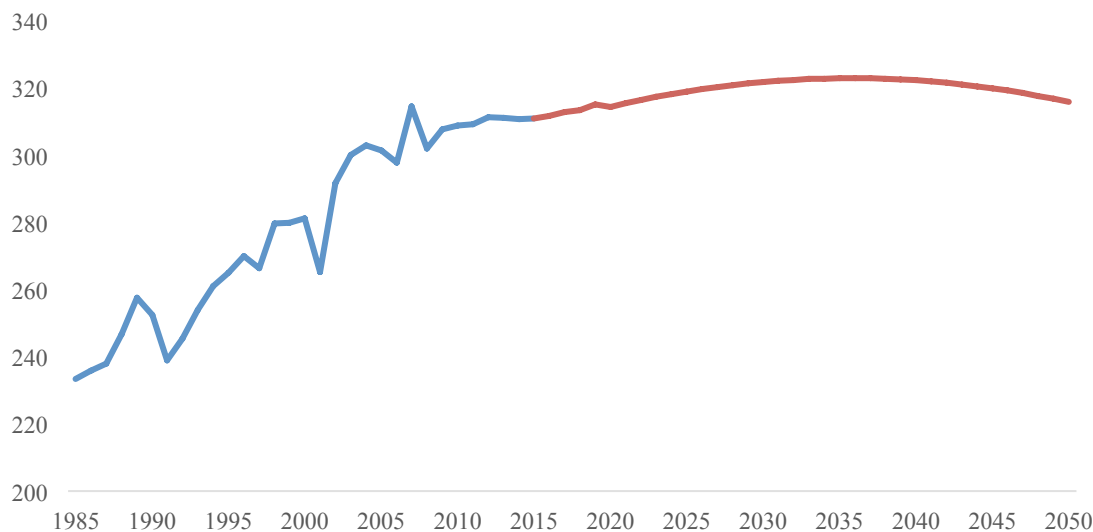
$$C_t = -0,0345 x^2 + 3,5667 x + 230,69$$

Où C_t = consommation d'essence au temps t en millions de Tep et $x = 1$ en 1985. Le graphique 14 et le tableau 15 présentent les résultats de la prévision. Selon cette équation comme le démontre tant dans le tableau que le graphique la consommation totale d'essence atteindrait un sommet à la fin des années 2030. Ce plafonnement serait dû à une amélioration constante de l'efficacité des véhicules ainsi qu'à une croissance de la part de marché des autres formes d'énergie. Ce résultat est cohérent avec l'évolution de la consommation par habitant (graphique 15) qui décroît fortement depuis plusieurs années et qui en raison des nouvelles normes est appelée à maintenir sa décroissance au cours des prochaines décennies pour retrouver un niveau semblable à celui des années 80. Compte tenu des politiques agressives aux États-Unis pour augmenter l'efficacité des véhicules individuels, compte tenu des politiques québécoises qui visent à électrifier les transports, mais aussi de réduire fortement les gaz à effet de serre, ce scénario apparaît relativement conservateur et correspond probablement à une limite supérieure de la consommation de carburant par habitant à long terme. Cette décroissance de la consommation par habitant couplée à une croissance de la population plus lente amène inévitablement le plafonnement prévu.

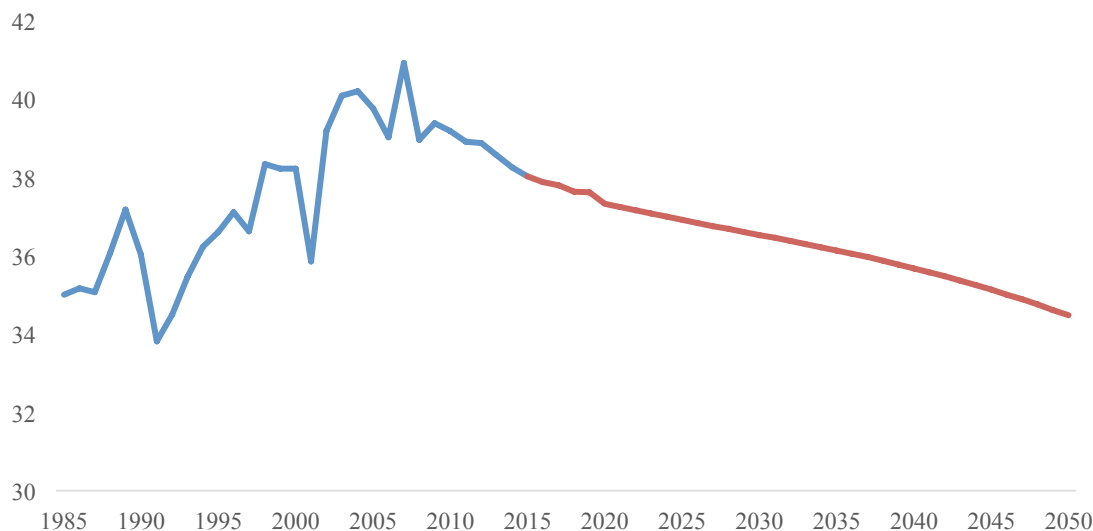
Tableau 15. Consommation d'essence (PJ), avant impact climatique

	2010	2030	2050
Consommation	309	322	316

Graphique 14. Consommation d'essence avant impact climatique (PJ)



Graphique 15. Consommation d'essence par habitant (GJ/hab.)



7.2 L'impact climatique

La demande d'essence 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.

Comme explications probables, on peut penser que l'hiver n'invite pas à 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.

Par contre, 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.

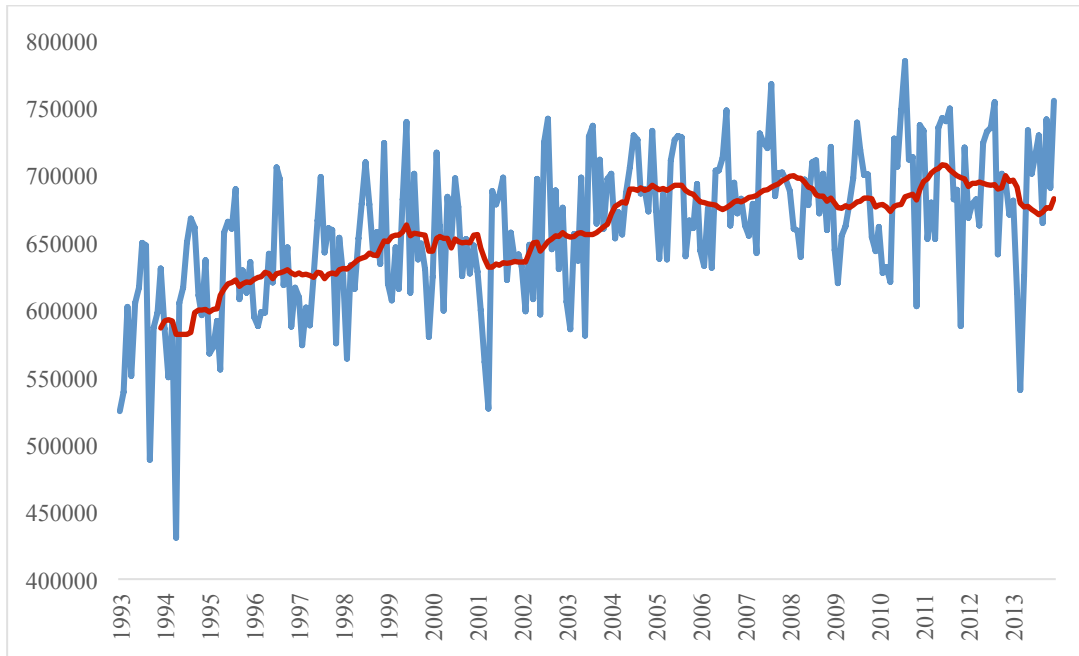
Le graphique 16 montre le comportement mensuel des consommateurs québécois d'essence. Comme on peut le constater, cette demande varie selon les saisons : on consomme plus l'été que l'hiver. Bien que cette demande augmente d'année en année, on observe également que l'évolution est irrégulière : d'une 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 les graphiques 17 et 18 le montrent également, il ne semble pas y avoir de relation simple entre les degrés-jours d'un État américain et les ventes journalières d'essence par habitant.

En résumé, pour pouvoir trouver une relation entre degrés-jours et consommation d'essence, il faudrait construire un modèle beaucoup plus sophistiqué qui tient compte de plusieurs variables : revenus des ménages, importance du transport en commun, temps moyen pour aller au travail, etc. Par exemple, dans le graphique 17, la consommation la

plus faible par habitant est celle de l'État de New York, ce qui reflète en partie l'importance du transport en commun et du transport actif dans la région métropolitaine de New York.

Graphique 16. Ventes mensuelles de carburant au Québec



Source: Ministère des Ressources Naturelles, Québec

Comme l'analyse de corrélation consommation versus degrés-jours n'est pas concluante, cette étude sur l'impact des changements climatiques a plutôt retenu pour ses calculs une hypothèse fondée sur les différences techniques d'efficacité des véhicules entre l'hiver et l'été.

L'étude la plus sérieuse trouvée sur le sujet semble être celle du Oak Ridge National Laboratory⁶. Les auteurs ont comparé 660 voitures conventionnelles et 14 hybrides dans des conditions hivernales et estivales. Pour les voitures conventionnelles, la perte d'efficacité à une température de 20°F (-6,6°C) serait de l'ordre de 12%. Pour les hybrides, la perte d'efficacité se situe entre 31 et 34%. Sans détailler les raisons qui expliquent ces pertes d'efficacité, l'étude donne toutefois les principales causes de perte d'efficacité par temps plus froids :

- La performance plus faible des batteries;
- L'inertie thermique du moteur et des huiles (temps pour les réchauffer);
- La performance réduite du moteur à cause de l'air plus froid;
- La friction plus forte pour le moteur et les transmissions;
- Le roulement des pneus d'hiver est moins bon : de l'ordre de 7% selon un test personnel sur une hybride;
- La friction accrue sur la neige ou la glace;
- Certains équipements électriques de chauffage augmentent la consommation: siège chauffant, dégivreur électrique, etc.
- La densité de l'essence varie en fonction de la température;
- Le *drag* est plus important par temps froid à cause de l'air plus dense.

Comme on peut le constater, le nombre de variables à considérer est important et exigerait une expérience exhaustive, ce qui n'a pas été fait dans l'étude d'Oak Ridge.

C'est sans compter que plus la distance parcourue est courte, plus la perte d'efficacité est importante. C'est ce que le tableau 16 montre pour diverses catégories de voitures.

⁶ <http://www.fueleconomy.gov/feg/coldweather.shtml>

Tableau 16. La perte d'efficacité varie en fonction de la distance parcourue

Type de véhicule	1 mile	3 miles
Petite auto à essence	34%	17%
Intermédiaire à essence	38%	16%
Petite auto au diesel	32%	12%
Intermédiaire au diesel	43%	18%

Note : Ces tests ont été effectués pour une température de +10°C.

Source : http://www.theaa.com/motoring_advice/news/aa-fuel-for-thought-increased-cost-of-winter-motoring.html, février 2010.

Pour sa part, la revue Scientific American⁷ a fait un test sur plusieurs véhicules selon les températures. L'organisme a observé que la consommation sur route était 22% plus élevée que la cote d'efficacité calculée en laboratoire pour des températures équivalentes. L'étude conclue que la perte d'efficacité du moteur est également due à la densité de l'air plus élevée par temps froid: 16% pour une température de 0°F en comparaison de 80°F. En soi, ça cause une perte d'efficacité de 7%. Pour un trajet de moins de 10 minutes, dans des conditions froides et enneigées, les auteurs en arrivent à la conclusion que la perte d'efficacité totale par rapport à la cote théorique pourrait atteindre 50%.

Algorithme retenu

Comme l'étude qui nous semble la plus appropriée est celle du Oakridge National Laboratory (ORNL) le calcul de l'impact des changements climatiques s'est basé sur la méthode suivante :

⁷ <http://www.scientificamerican.com/article/why-is-the-fuel-economy-o/>

1. Faire une courbe linéaire basée sur l'étude de l'ORNL : perte de 12% à -6,6°C, point initial à 25°C.
2. Calculer la perte d'efficacité pour les températures normales pour les mois froids au Québec.
3. Calculer la perte d'efficacité pour les températures dans le scénario climatique de référence pour les mois froids au Québec.
4. Évaluer l'impact.

Bien qu'il faudrait également calculer un correctif pour les journées enneigées, l'absence de données n'a pas permis de réaliser cette opération. Comme prévu, les gains d'efficacité dus à la hausse de température sont plus élevés en hiver qu'en été (tableau 17) soit entre 0,9 et 1,3% entre janvier et mars contre 0,5 à 0,7 % de juillet à septembre à l'horizon 2030 et entre 1,3 % et 1,9 % de janvier à mars contre 1,0 % de juillet à septembre à l'horizon 2050. Globalement, les gains d'efficacité sur une base annuelle restent faibles avec 0,83 % à l'horizon 2030 et 1,26 % à l'horizon 2050. Si en plus, on considère que la hausse de température fera fonctionner plus le climatiseur et que les comportements des consommateurs peuvent changer, cette hausse d'efficacité pourrait bien être annulée, voire inversée.

En ne retenant que l'impact du gain d'efficacité (tableau 18), on peut conclure que le secteur des transports a une influence relative plus faible que les autres secteurs sur la baisse de consommation d'énergie avec des baisses de 4,1 PJ et 4,7 PJ sur les horizons 2030 et 2050 contre par exemple 25 PJ et 35 PJ pour les mêmes horizons pour le secteur résidentiel.

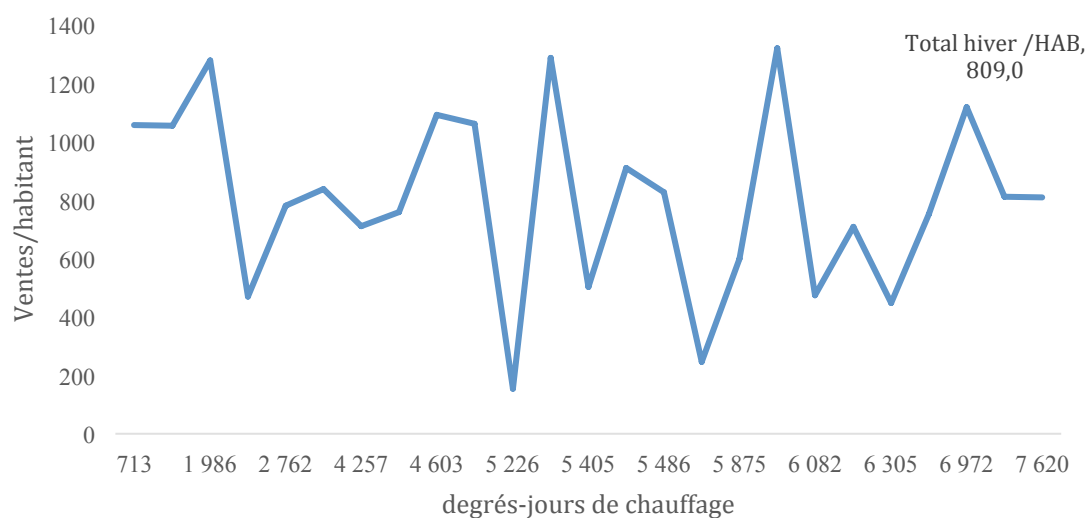
Tableau 17. Gain d'efficacité des véhicules à essence (%)

	2030	2050
Janvier	1,367	1,908
Février	0,929	1,314
Mars	1,050	1,334
Avril	0,910	1,315
Mai	0,463	0,999
Juin	0,948	0,909
Juillet	0,674	1,030
Août	0,477	1,034
Septembre	0,462	1,063
Octobre	0,803	1,298
Novembre	0,701	1,257
Décembre	1,282	1,493
Annuel	0,829	1,237

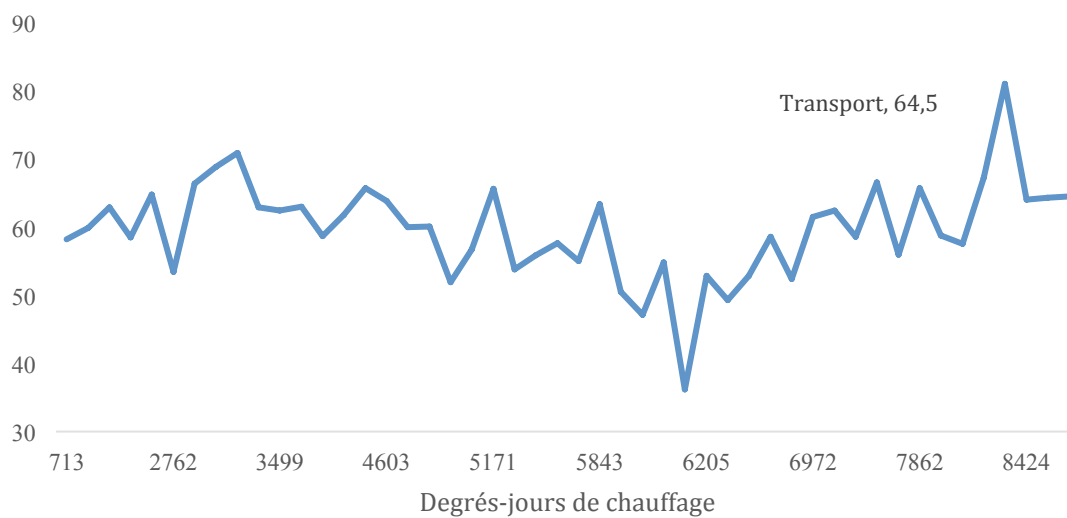
Tableau 18. Impact climatique du gain d'efficacité (PJ)

2030	4,1
2050	4,7

Graphique 17. Ventes journalières d'essence pour certains États américains en fonction des degrés-jours de chauffage (du début novembre à la fin mars)



Graphique 18. Consommation de carburant versus degrés-jours de chauffage (US 2001)



8. La courbe de charge dans le secteur électrique

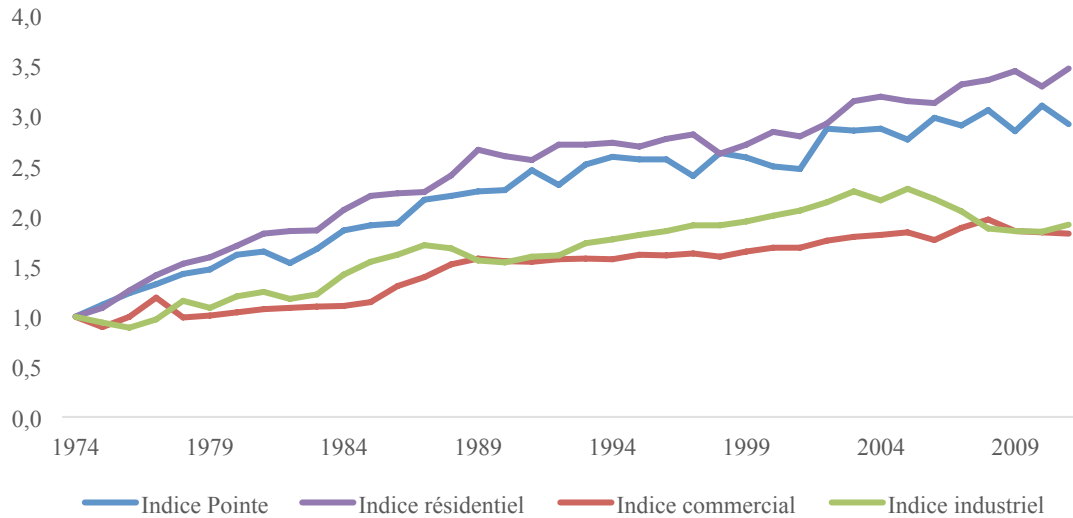
8.1 Le secteur résidentiel est prédominant

Pour les services publics de production, transport et distribution d'électricité, le défi de la fourniture est de fournir des quantités d'énergie au moment précis où se manifeste le besoin. Ceci est particulièrement vrai dans le secteur résidentiel où la demande varie considérablement en fonction de la saison et de l'heure. En particulier, au Québec où le secteur résidentiel est très largement chauffé à l'électricité la pointe de la demande constitue une préoccupation importante de la société d'État. Au Québec, la demande de pointe est définie comme étant les 12 jours les plus froids de l'année, soit environ 300 heures par an.

La comparaison historique de la croissance de la demande d'électricité (TWh) avec la croissance de la pointe de l'année (MW) montre que la pointe d'hiver est surtout liée à la demande du secteur résidentiel. Le graphique 19 montre en effet que pendant la période de forte croissance du chauffage électrique dans les secteurs résidentiel et commercial (période 1974 à 1990 environ), la pointe a crû rapidement. Avec la fin du programme d'énergie excédentaire en 1988, la position concurrentielle de l'électricité dans le secteur commercial s'est détériorée, ce qui s'est traduit par une stabilisation relative de la part du chauffage électrique. De plus, la croissance de la pointe est aussi moins forte depuis 1990 en raison d'un ralentissement de la croissance dans le secteur résidentiel ayant pour cause une croissance démographique moins importante ce qui se traduit par moins de mise en chantier de nouveaux logements et une substitution vers le chauffage électrique est plus faible.

Le graphique 19 montre aussi que la demande d'électricité dans le secteur industriel est peu corrélée avec la demande de pointe ce qui est cohérent avec la nature même de l'usage de l'électricité dans les divers procédés industriels qui est plus uniforme à travers l'année. Comme preuve, il suffit d'observer la décroissance de la demande industrielle dans la décennie 2000, alors que la pointe continue de croître.

Graphique 19. Indice de croissance de la demande et de la pointe électrique (1974 = 1)



Cette comparaison historique agrégée montre qu’une analyse de l’impact climatique sur le dans le secteur résidentiel donne une bonne idée de l’impact sur la pointe. Le changement de profil de la courbe de charge sera également fortement influencé par les variations de demande dans le secteur résidentiel.

8.2 Le profil de charge est modifié surtout à cause du chauffage

En supposant une relation linéaire entre degrés-jours de chauffage et chauffage brut, sans considérer les effets croisés de chauffage, une simple analyse des écarts par rapport à la normale des degrés-jours de chauffage (tableaux 19, 20 et 21, ainsi que les graphiques 20 et 21) nous permet de tirer plusieurs conclusions.

- L’analyse des 12 jours les plus froids (tableau 19) confirme que la baisse annuelle des degrés jours baisse plus rapidement dans la période 2030-2050, que dans la période 1985-2030
- Une analyse mensuelle (tableau 20) permet de constater que les degrés-jours baissent moins par rapport à la normale dans les mois froids que pour l’ensemble de

l'année.

- La baisse du chauffage est déjà importante pendant la période 2010 – 2030 ce qui montre que le changement climatique est déjà une réalité. Les mesures d'adaptation doivent donc être entreprises dès maintenant.
- L'analyse sur une base quotidienne donne des résultats comparables à une analyse mensuelle. En termes méthodologiques, cela démontre que l'on peut s'accommoder de données mensuelles.

Pour la pointe d'hiver, on obtient les conclusions suivantes :

- En terme de pourcentage, la baisse du chauffage est plus élevée sur une base annuelle que pendant les 12 jours les plus froids d'hiver (tableau 21). Pour l'horizon 2030, la baisse annuelle est de l'ordre de 12,5%, mais pour les jours les plus froids, la baisse est de 9,3%. Le changement climatique aura donc plus d'impact en mi-saison sur la courbe de charge. Comme résultat final, la courbe de demande de chauffage aura tendance à être plus pointue.
- Vu sous un autre angle, la saison de chauffage aura tendance à être plus courte; par contre, la saison clémente sera plus longue.
- Pour le réseau d'Hydro-Québec, on peut en déduire que la gestion de pointe reste la même : si la demande en énergie baisse de près de 20 %, la demande de pointe ne baissera que de 15 % environ pour certains mois froids.

Tableau 19. Degrés-jours de chauffage pour les 12 jours les plus froids : moyenne Québec et Montréal sur 30 ans

Jours	Pointe normale	Pointe 2030	Pointe 2050
1	32,6	29,5	27,4
2	32,0	29,2	27,2
3	31,7	29,0	27,2
4	31,6	28,7	27,0
5	31,5	28,6	26,9
6	31,5	28,6	26,7
7	31,4	28,6	26,7
8	31,4	28,6	26,6
9	31,2	28,4	26,6
10	31,2	28,1	26,6
11	31,2	28,1	26,5
12	31,2	27,9	26,5
Total	378,5	343,4	321,8

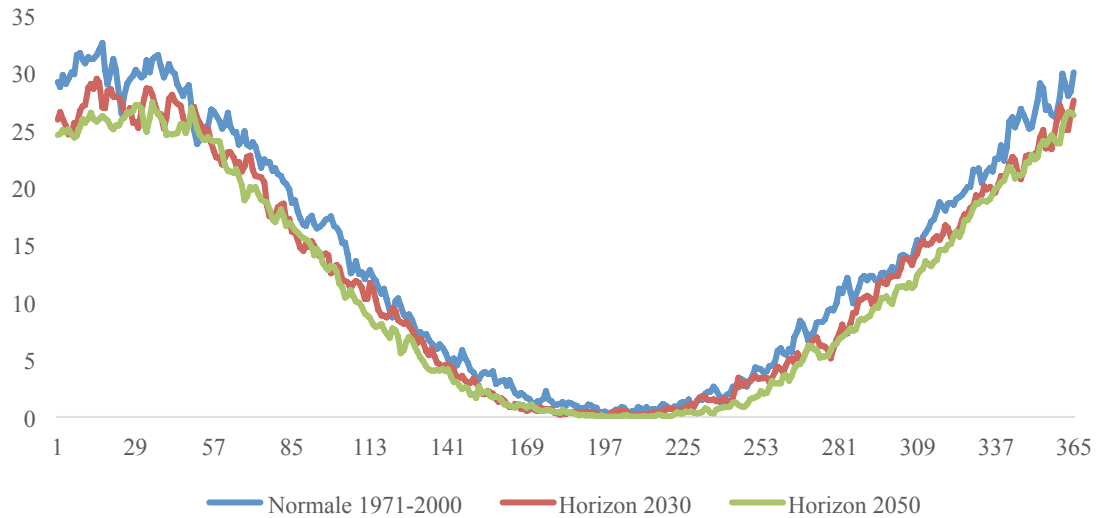
Tableau 20. Variation des degrés-jours de chauffage sur une base mensuelle

Mois	Degrés-jours de chauffage			Écart par rapport à la normale (%)	
	Normale	2030	2050	2030	2050
Janvier	933,1	835,8	797,3	10,4	14,6
Février	797,4	736,8	704,8	7,6	11,6
Mars	680,4	603,0	582,2	11,4	14,4
Avril	423,8	356,9	327,3	15,8	22,8
Mai	203,6	171,9	138,5	15,6	32,0
Juin	69,1	32,6	34,0	52,8	50,7
Juillet	22,5	9,5	4,1	57,6	81,9
Août	42,7	32,7	13,0	23,5	69,6
Septembre	159,4	128,8	94,4	19,2	40,8
Octobre	354,5	294,0	256,7	17,1	27,6
Novembre	543,0	492,2	451,9	9,3	16,8
Décembre	810,6	717,8	702,5	11,4	13,3
Annuel	5040,2	4412,1	4106,7	12,5	18,5

Tableau 21. Écart par rapport à la normale : chauffage annuel et 12 jours froids

Écart	Horizon 2030	Horizon 2050
Jours froids	0,907	0,850
Annuel	0,875	0,815

Graphique 20. Degrés-jours de chauffage quotidiens: moyenne de Québec et Montréal



Si les degrés-jours de climatisation augmentent considérablement aux horizons 2030 et 2050 par rapport à la normale comme on peut le voir dans le tableau 22, contrairement au chauffage, la période de climatisation pour sa part n'est pas modifiée significativement commençant vers la fin du quatrième mois et se terminant au cours du 10e mois (voir graphique 22).

Dans ces circonstances, la climatisation ne devrait pas modifier sensiblement la gestion de la demande électrique pour deux raisons :

- la pointe d'été est beaucoup moins importante que celle de l'hiver : les facilités de production en réserve sont plus importantes l'été que l'hiver.
- l'écart entre les douze jours les plus chauds et les degrés-jours annuels (tableau 22) est moins prononcé que dans le cas du chauffage.

Graphique 21. Degrés-jours de chauffage quotidiens par ordre décroissant : moyenne de Québec et Montréal sur 30 ans

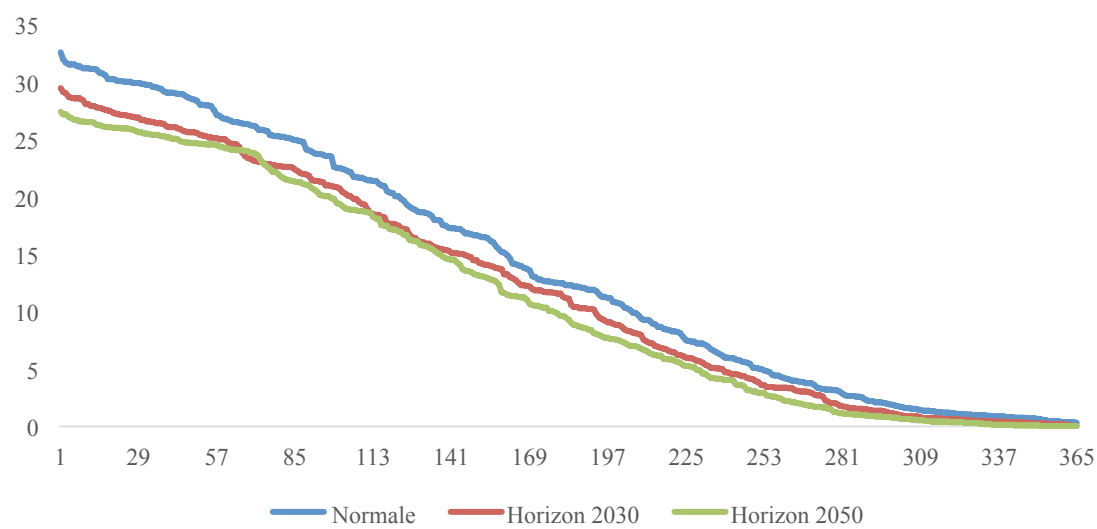
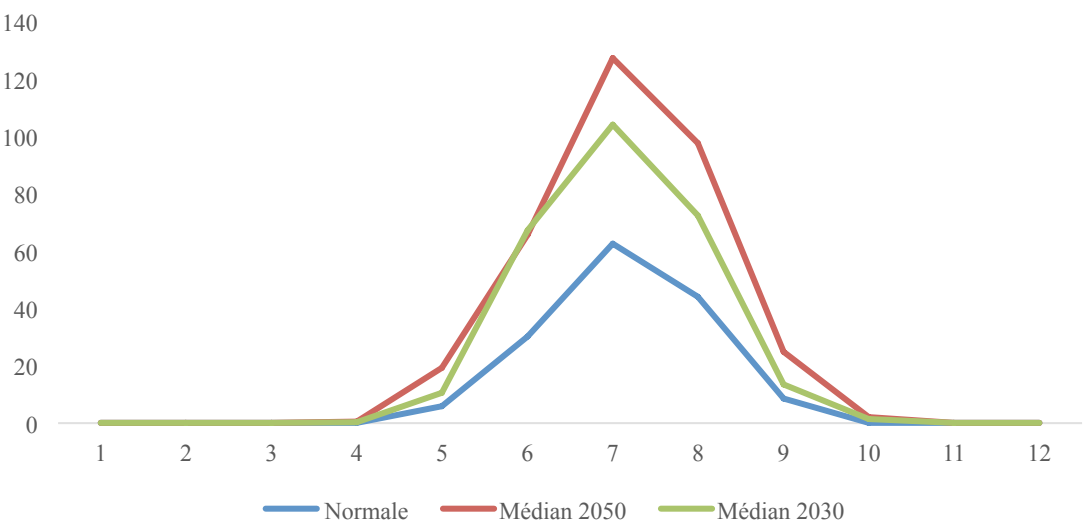


Tableau 22. Écart par rapport à la normale : climatisation annuelle et 12 jours chauds

Écart	Horizon 2030	Horizon 2050
Jours chauds	1,557	1,975
Annuel	1,775	2,224

Graphique 22. Degrés-jours de climatisation : base mensuelle



9. Impact global et points saillants

9.1 La prévision de demande après impact climatique

L'étude a permis de calculer un impact climatique pour quatre secteurs de consommation : résidentiel, commercial, industriel et transport. Dans l'ensemble les résultats indiquent des modifications significatives de la demande d'énergie dans chaque secteur. Pour le secteur des transports, cependant, les résultats sont plus imprécis étant donné que les données agrégées de ventes de carburant n'ont pas permis d'établir une corrélation directe avec la température et on a dû recourir à un calcul plus théorique.

Globalement, en faisant la somme des impacts pour lesquels les résultats sont significatifs (tableaux 23 et 24), il en ressort que le réchauffement des températures aurait d'abord 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. Pour ce qui est de l'électricité, en raison de cet effet combiné d'une hausse des besoins en climatisation et de la baisse des besoins de chauffage l'impact sur la demande sera moins prononcé que celui sur les combustibles. En effet dans le cas des combustibles la hausse de la demande pour la climatisation ne vient pas corriger la diminution de la consommation pour le chauffage. Au net on observe ainsi en 2030 un facteur 2 entre l'impact des changements climatiques sur la demande de combustible et l'impact sur la demande d'électricité. Indirectement, et c'est une bonne nouvelle, cet impact plus marqué sur la demande de combustible signifie que les émissions de gaz à effet de serre seront d'autant réduits.

Pour l'électricité, l'impact est très important dans le secteur résidentiel, en particulier pour le chauffage des locaux (voir tableau 24). Précisons que dans le secteur résidentiel, le chauffage des locaux est de loin l'usage le plus important au Québec et que la forme d'énergie prédominante pour cet usage est l'électricité. D'ici 2050, l'impact des changements climatiques annulerait la croissance de demande du chauffage électrique sur une base absolue.

Tableau 23. Décroissance de la demande électrique (PJ)

	Chauffage		Climatisation		Total électrique	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Commercial	-5,5	-8,0	2,7	4,4	-2,8	-3,5
Résidentiel	-23,9	-38,9	8,0	12,11	-16,0	-26,9
Total	-29,4	-46,9	10,7	16,4	-18,8	-30,5

Tableau 24. Décroissance de la demande électrique (%)

	Chauffage		Climatisation		Total électrique	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Commercial	-3,6	-5,3	1,7	2,9	-1,9	-2,4
Résidentiel	-8,9	-13,2	2,9	4,1	-6,0	-9,1

Tableau 25. Décroissance de la demande de combustible (PJ)

	2030	2050
Transport	-4,1	-4,7
Industriel	-7,3	-12,8
Commercial	-16,6	-26,3
Résidentiel	-9,3	-7,9
Total	-37,3	-51,7

Note : Pour le transport, seule la demande d'essence a été considérée, ce qui représente environ les deux tiers de la demande de carburant. La biomasse n'est pas considérée.

Pour la climatisation, l'impact en terme relatif est également plus important dans le secteur résidentiel que dans le secteur commercial. Ça s'explique en grande partie parce que dans le secteur résidentiel, le réchauffement des températures entraîne à la fois une utilisation accrue des climatiseurs et une croissance importante de leur diffusion alors que la diffusion de la climatisation dans le secteur commercial est déjà pratiquement complétée. Par contre, en termes absolus, on a montré que l'impact des changements climatiques sur la climatisation est plus important dans le commercial, parce que les espaces climatisés sont plus grands.

Cet impact plus important des CC pour le secteur résidentiel que dans le secteur commercial se vérifie aussi au niveau de la demande totale d'électricité (tableau 24). Pour le secteur résidentiel, la baisse de la demande d'électricité pourrait atteindre 9,1% en 2050 (2,4% pour le commercial). On peut donc en déduire que l'impact sur la pointe et le profil de charge sera surtout causé par le secteur résidentiel.

Pour les combustibles (tableau 25), l'impact le plus important se situe dans le secteur commercial avec des réductions de consommation de 16,6 et 26,3 PJ aux deux horizons de 2030 et 2050. Ce résultat découle de l'hypothèse que le gaz naturel demeure la forme d'énergie la plus utilisée pour le chauffage dans ce secteur à l'inverse du secteur résidentiel où les combustibles deviennent marginaux par rapport à l'électricité.

Comme prévu, l'impact des CC dans le secteur industriel est moins important pour la simple raison que le chauffage des locaux qui est le principal usage où se font sentir les changements climatiques n'est pas un usage aussi important que la chaleur exigée pour les procédés. L'impact dans le secteur des transports serait marginal.

9.2 Mesures d'adaptation

Dans le domaine du changement climatique, les mauvaises nouvelles sont en générales plus nombreuses que les bonnes et le Québec aura également son lot d'impacts négatifs avec lesquels il devra composer. Mais en ce qui concerne la demande d'énergie, l'impact des changements climatiques signifie au net une baisse de la consommation et donc une baisse du coût énergétique du moins au cours des prochaines décennies.

La demande de combustibles et de gaz naturel en particulier diminuera significativement dans les secteurs commercial et industriel par rapport à l'évolution prévisible sans changements climatiques. Ou encore, la croissance inévitable de la consommation de combustibles qui accompagnera la croissance démographique et économique sera moindre en raison des changements climatiques. Pour le Québec, cette situation est positive à deux niveaux : a) les émissions de gaz à effet de serre seront réduites d'autant, b) la balance des paiements sera améliorée étant donné que ces combustibles proviendront de l'extérieur de la province.

Même si l'évolution prévue est positive, des mesures d'adaptation sont cependant justifiées notamment pour les distributeurs de produits pétroliers et de gaz naturel et plus particulièrement Gaz Métro qui devra affiner sa prévision de demande pour ne pas se retrouver en surplus.

En ce qui concerne l'électricité, l'impact important des CC dans le secteur résidentiel en particulier causera un changement significatif du profil de charge et plusieurs mesures d'adaptation doivent être envisagées. Hydro-Québec se doit de maintenir la variable « changement climatique » dans ses prévisions de demande de long terme et dans sa planification des équipements de pointe.

L'augmentation des besoins en climatisation peut quant à elle être modérée par des programmes d'économie d'énergie qui permettent de réduire les apports de chaleur dans les bâtiments et l'usage de systèmes de climatisation plus efficaces. À ce titre, plusieurs mesures méritent d'être étudiées tant dans le choix des matériaux constituant l'enveloppe du bâtiment que dans l'architecture et l'aménagement paysager. Pour ce qui est des systèmes de climatisation, l'adoption de normes de performance plus élevées devrait être facilitée par l'évolution des technologies dans le monde et notamment chez nos voisins d'Amérique du Nord qui seront confrontés à des problèmes de plus grande ampleur que les nôtres.

Pour le secteur des transports, bien que la méthodologie mérite d'être améliorée, l'impact sur la demande de carburant semble faible. Ici aussi, aucune mesure d'adaptation ne ressort de cette analyse.

En résumé, les mesures d'adaptation liées aux changements climatiques touchent en premier lieu les producteurs et les distributeurs d'énergie qui auront à s'ajuster à des diminutions importantes des besoins en chauffage et en ce qui concerne Hydro-Québec une augmentation soutenue des besoins en climatisation. À cet égard, en, Hydro-Québec tout particulièrement doit prendre garde de conserver un bon système de planification tant pour la demande de base que pour la demande de pointe à long terme qui inclut la variable climatique. Cependant pour ce qui est de la climatisation l'ensemble des partenaires du milieu du bâtiment sera appelé à contribuer afin de minimiser le cout supplémentaire que les changements climatiques imposeront à la société québécoise.

9.3 Méthodologie : faits saillants

Par rapport à l'étude de 2006, ce travail a permis d'évoluer dans nos choix méthodologiques, mais aussi de mieux comprendre les limites de ce genre d'analyse.

Parmi les évolutions méthodologiques, nous avons amélioré notre approche pour l'estimation de la diffusion de la climatisation dans le secteur résidentiel. On s'est aperçu, notamment, que la diffusion est fortement influencée par le revenu des ménages et le prix du climatiseur. Autrement dit, le recours accru à la climatisation continue sa progression même sans effet climatique.

Pour le chauffage des locaux, on a raffiné l'impact des changements climatiques en fonction des effets croisés de chauffage dus aux équipements électriques. Comme conséquence, l'impact estimé sur le chauffage dans le résidentiel en particulier est relativement plus important dans l'étude 2014 que dans celle de 2006.

L'étude, a aussi estimé l'impact sur la demande de pointe le profil de charge dans le secteur électrique. Il s'agit d'une première tentative qui mérite d'être améliorée dans le futur.

Bien que l'impact des changements climatiques apparaisse faible dans le secteur des transports, l'étude propose une piste d'analyse intéressante pour le futur. Contrairement aux autres secteurs, il apparaît qu'il faut baser l'analyse sur le comportement routier des véhicules en fonction des conditions climatiques. Non seulement il faut analyser l'impact des variations de température sur l'efficacité des véhicules, mais également il faudrait examiner les conditions de neige et l'impact des conditions climatiques sur la consommation du véhicule.

Pour avoir une meilleure estimation de la corrélation entre profil de charge et variation des degrés-jours (chauffage et climatisation), il faudrait compléter nos agrégées par des modèles de régression. Il faut avoir accès aux ventes d'électricité par secteur de façon détaillée. Compte tenu de la confidentialité de ces données, aucune analyse ne peut se faire sans la collaboration d'Hydro-Québec.

La marge d'incertitude

Les résultats dépendent en bonne partie des hypothèses retenues pour les différentes variables socioéconomiques notamment dans la prévision de la demande totale d'énergie sans l'impact des changements climatiques. Par exemple, le scénario de référence démographique fourni par l'ISQ en 2014 correspond en fait au scénario fort utilisé dans l'étude 2006. Sans surprise la demande d'énergie est en conséquence plus forte dans l'étude 2014 notamment pour le résidentiel et le commercial. Pour ces raisons, l'analyse ne prétend donc pas offrir une prévision exacte de la demande future, mais plutôt un cadre cohérent d'analyse.

Ainsi, les conclusions restent valables en termes relatifs et permettent d'apprécier les conséquences des changements qui pourraient survenir dans l'une ou l'autre variable. Les travaux de l'étude 2014 permettent de comprendre que le modèle climatique cause un problème d'arrimage avec les simulations de type *end-uses* pour estimer l'impact sur le chauffage et la climatisation. Alors que pour les modèles de simulation de transfert de chaleur, la façon usuelle de calculer les degrés-jours se fait sur une base horaire le modèle climatique utilisé dans cette étude utilise un pas maximum de temps quotidien. Pour les

degrés-jours de climatisation en particulier, une telle approche peut causer un important biais. Par exemple, le rapport des heures où la température est plus élevée que 22°C sur un an est beaucoup plus élevé que le nombre de jours dont la moyenne est en haut de 22°C. Pour voir l'ampleur du problème, il faudrait d'abord tester une simulation climatique horaire qui calcule les degrés-jours pour différents seuils de température.

Par ailleurs, le calcul d'impact basé sur une approche linéaire nous semble limité en particulier pour la climatisation. Selon la méthodologie utilisée, l'augmentation des degrés-jours de climatisation entraîne une consommation d'énergie croissante et proportionnelle à l'augmentation de la température dans les résidences dotées de climatiseurs. D'une part, le modèle climatique ne donne pas les degrés-jours calculés sur une base horaire, de l'autre on ne connaît pas bien le seuil de température où les consommateurs font partir leur climatiseur. Par exemple, on peut penser que le climatiseur fonctionnera pour une journée ensoleillée, sans vent, à 24°C, pour une maison enclavée en ville, sans arbre. Mais toujours pour une température de 24°C, pour une journée nuageuse, pour une maison ombragée, on peut aussi penser que le climatiseur ne fonctionnera pas beaucoup. Finalement on peut aussi penser que le climatiseur sera plus sollicité lors des périodes prolongées de canicule. Bref, ces exemples montrent que la méthode utilisée pour calculer l'impact des CC sur la climatisation mérite d'être perfectionnée.

L'impact du scénario climatique

Tel que noté dans les paragraphes précédents, le choix du scénario climatique influe sur les résultats finaux. Pour cet exercice, nous n'avons retenu qu'un seul scénario. Par contre, nous avons examiné la variabilité des degrés-jours pour les scénarios 10^e et 90^e percentiles.

Tableau 26. Écarts entre les scénarios 10^e et 90^e percentiles (%)

	2030	2050
T moyenne	26,7	18,6
DJCI > 13	30,2	23,7
DJCI > 18	62,2	49,1
DJCh < 15	-11,8	-11,7
DJCh < 18	-10,9	-10,7

Le tableau 26 permet de constater que la variabilité des degrés de chauffage par rapport au scénario médian que ce soit pour 2030 ou 2050 est de l'ordre de plus ou moins 5,5%. Dans le cas du chauffage, le scénario médian donne donc une bonne estimation de l'impact des CC.

Par contre, pour la climatisation, on retrouve le problème que l'on a noté à plusieurs reprises dans ce texte que le choix du seuil influence beaucoup le résultat.

Extrapolation au reste du Canada

Même au niveau régional, il n'est pas facile de faire cette analyse sans des données détaillées sur les ventes d'énergie par secteur. Statistique Canada ne fournit que des données agrégées par province et souvent qu'au niveau mensuel. Sans la collaboration des producteurs et les distributeurs d'énergie, l'étude demeure limitée.

Pour le secteur de l'électricité en particulier, il faut avoir une fine connaissance des profils de charge autant saisonniers, que mensuels et quotidiens, cela par catégorie de consommateur. Par exemple, dans le secteur résidentiel, au minimum il faut avoir les ventes pour les consommateurs qui se chauffent à l'électricité, versus ceux qui n'ont pas le chauffage électrique. Or ces données ne sont pas diffusées à l'externe de l'entreprise.

En conclusion, le défi de faire une telle étude pour l'ensemble du Canada ne relève pas tellement de la méthodologie utilisée, mais plutôt de la participation directe des principaux producteurs et distributeurs d'énergie. D'une part les données détaillées des ventes d'énergie sont confidentielles, de l'autre les modèles d'analyse sont complexes et limités aux analystes de ces compagnies d'énergie. Pour le profil de charge dans le secteur électrique, par exemple, une analyse sérieuse de l'impact des CC est impossible sans la contribution des compagnies électriques.

10. Références sommaires

- ISQ. (2014). *Perspectives démographiques du Québec et des régions 2011 – 2061, Édition 2014*. Québec : Institut de la statistique du Québec (ISQ). 172 p. Repéré à <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/perspectives/perspectives-2011-2061.pdf>
- Lafrance, G., Da Silva, L. et Desjarlais, C. (2015). *Impact des changements climatiques sur la demande d'énergie au Québec*, Ouranos.ca.
- Lafrance, G., Da Silva, L. et Desjarlais, C. (2014, Décembre). *Impact des changements climatiques sur la demande d'énergie au Québec*. Communication présentée au 6^e Symposium d'Ouranos, Ville de Québec, Québec. Résumé repéré à http://www.ouranos.ca/fr/symposium/documents/38_GLafrance.pdf
- Lafrance, G., Da Silva, L. et Desjarlais, C. (2014, Octobre). *Climate Change : Impact on the Québec Energy Demand*. Communication présentée au Réunion du Groupe de travail en Énergie de la Plateforme d'adaptation de Ressources Naturelles Canada.
- Lafrance, G. et Desjarlais, C. (2006). *Impact socio-économique du changement climatique. La demande d'énergie* (Rapport scientifique final pour Ouranos). Repéré à http://www.ouranos.ca/media/publication/9_Rapport_Lafrance_energie_2006.pdf
- Ministère des finances du Québec (2005). *Impact des changement démographiques sur l'économie, le marché du travail et les finances publiques du Québec*, Document de recherche. Repéré à www.finances.gouv.qc.ca/documents/Autres/fr/Impacts_demographiques2005.pdf.
- National Energy Board (2011). *Canada's Energy Future: Energy Supply and Demand Projections to 2035*. Calgary, Alberta : National Energy Board. 87 p. Repéré à <https://www.neb-one.gc.ca/nrg/ntgrtd/fttr/2013/2013nrgftr-eng.pdf>
- Statistique Canada (2010) *Tableau 203-0020 - Enquête sur les dépenses des ménages (EDM), équipement ménager à la date de l'interview, selon les provinces, territoires et certaines régions métropolitaines, annuel*, CANSIM (base de données).
- The Conference Board of Canada. (2012). *Canadian Outlook Long-Term Economic Forecast : 2012*. Ottawa: The Conference Board of Canada. XX p.
- U.S. Energy Information, Outlook 2014, table A5, www.eia.gov

Annexe I : Scénarios climatiques : données mensuelles

Tableau A1 : Degrés-jours de plus de 13°C : Région de Montréal

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Février	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Mars	0,1	0,3	0,4		0,0	0,00	0,0	1,2
Avril	5,5	11,2	13,4		4,4	7,52	6,6	17,2
Mai	54	91,8	108,9		55,9	114,91	76,0	117,9
Juin	154	201,8	222,3		156,0	154,49	228,4	223,5
Juillet	242,5	306,1	341		236,8	294,99	293,9	299,4
Août	198,5	267,9	293,9		198,2	224,59	241,4	277,5
Septembre	76	114,9	136,6		71,4	98,30	94,7	135,3
Octobre	12,8	21,8	30,6		7,6	3,17	24,9	30,1
Novembre	0,3	1,1	2		0,2	0,00	1,0	3,5
Décembre	0	0	0		0,0	0,00	0,0	1,4
Annuel	743,6	1016,8	1149,2		730,6	898,0	967,1	1107,0
Écart normale		1,37	1,53			1,23	1,32	1,52

Tableau A2 : Degrés-jours de plus de 22°C : Région de Montréal

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Février	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Mars	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Avril	0	0,1	0,2		0,0	0,00	0,0	0,0
Mai	0,1	4,3	2,9		0,9	9,22	2,3	5,4
Juin	1,2	17,9	19,9		7,5	2,06	24,2	23,0
Juillet	22,3	53,1	104		17,3	47,35	42,7	46,6
Août	12,8	38,4	79,9		10,4	16,71	28,7	38,1
Septembre	2,6	6,4	12,9		1,7	11,37	2,8	5,1
Octobre	0	0	0,2		0,0	0,00	0,0	0,0
Novembre	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Décembre	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Annuel	46,2	120,3	220,1		37,8	86,7	100,7	118,5
Écart normale		2,61	3,65			2,29	2,66	3,13

Tableau A3 : Degrés-jours de moins de 15°C : Région de Montréal

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	785,9	696	636		796,6	698,2	698,2	676,7
Février	674	608,6	574,9		675,0	610,5	610,5	593,3
Mars	540,5	479,2	467,4		546,1	466,7	466,7	458,5
Avril	282,5	229,2	214,1		287,0	226,5	226,5	174,3
Mai	94,3	54,2	42,3		88,2	64,9	64,9	41,4
Juin	13,2	5,3	3,7		12,2	4,1	4,1	4,0
Juillet	0,9	0	0		0,8	0,0	0,0	0,0
Août	4,9	1	0,6		3,6	2,3	2,3	0,5
Septembre	58,5	32,5	23		60,2	41,4	41,4	25,3
Octobre	212,9	172,9	145,8		224,5	170,3	170,3	132,8
Novembre	402,5	353	326,6		411,1	361,6	361,6	307,2
Décembre	680,9	623,7	610,9		673,6	587,1	587,1	566,8
Annuel	3751	3255,5	3045,2		3778,8	3233,6	3233,6	2980,7
Écart normale		0,87	0,81			0,86	0,86	0,79

Tableau A4 : Degrés-jours de moins de 18°C : Région de Montréal

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	678,9	789	729		889,6	768,4	791,2	769,7
Février	758,7	693,4	659,7		759,8	644,9	695,3	677,3
Mars	633,5	572,1	560,3		639,1	472,2	559,7	551,0
Avril	370,6	315,1	299,2		375,4	267,7	314,0	258,7
Mai	167,4	113,6	95,7		160,2	112,1	130,2	90,7
Juin	44,7	23,6	17,5		42,9	35,2	16,7	17,8
Juillet	9,2	2,2	0,7		8,5	6,5	2,0	1,7
Août	25,5	7,7	4,6		22,9	11,5	15,4	4,6
Septembre	120,1	80,3	63,2		123,3	93,6	95,2	62,7
Octobre	301,5	257,9	227,3		315,2	308,9	254,0	214,8
Novembre	492,5	442,7	416,1		501,0	468,5	451,3	396,5
Décembre	773,9	716,6	703,8		766,6	741,8	680,1	659,3
Annuel	4576,6	4014	3777		4604,6	3931,2	4014	3704,9
Écart normale		0,88	0,83			0,85	0,87	0,80

Tableau A5 : Degrés-jours de plus de 13°C : Région de Québec

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Février	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Mars	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Avril	1,1	2,7	13,4		0,5	0,32	0,7	1,0
Mai	26,5	50,7	62,9		20,6	48,05	31,6	44,0
Juin	107,8	152,2	172,1		87,1	80,47	148,9	146,3
Juillet	188,2	251,2	286,1		154,8	225,18	205,5	257,2
Août	144,9	213,1	238,9		121,4	152,33	152,9	202,4
Septembre	40,1	68,8	86,3		30,0	42,09	43,6	72,5
Octobre	3,9	7,7	12,2		1,4	0,02	7,6	9,9
Novembre	0	0,1	0,2		0,0	0,00	0,3	0,1
Décembre	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Annuel	512,4	746,3	862,1		415,8	548,4	591,2	733,3
Écart normale		1,40	1,68			1,32	1,42	1,76

Tableau A6 : Degrés-jours de plus de 22°C : Région de Québec

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Février	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Mars	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Avril	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Mai	0,2	1,1	1,8		0,1	0,00	0,6	0,2
Juin	2,1	7	10,6		1,1	0,00	5,8	5,6
Juillet	8,8	25,5	41,3		3,4	16,91	10,8	25,3
Août	3,5	16,2	24,3		1,2	4,02	7,2	7,4
Septembre	0,4	1,8	2,9		0,1	3,96	0,2	1,2
Octobre	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Novembre	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Décembre	0	0	0		0,0	0,00	0,0	0,0
Annuel	15	51,6	80,9		5,9	24,9	24,6	39,8
Écart normale		3,44	5,39			4,25	4,21	6,79

Tableau A7 : Degrés-jours de moins de 15°C : Région de Québec

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	852,1	762,4	702,5		883,6	727,60	787,4	731,8
Février	735,7	670,5	636,9		750,3	590,75	693,5	648,4
Mars	609,1	547,8	536		628,8	498,38	553,4	520,4
Avril	353,2	297,5	281,4		382,3	273,34	309,7	306,0
Mai	143,6	92,3	75,5		161,0	123,21	132,1	110,0
Juin	26,3	11,7	7,8		39,3	28,45	15,9	15,2
Juillet	4	0,6	0,1		7,2	5,15	2,4	0,5
Août	12,1	2,6	1,5		19,5	6,03	15,0	3,9
Septembre	95,6	58,6	43,7		115,8	90,91	88,7	63,4
Octobre	264,8	222,6	192,3		301,3	293,77	243,6	208,8
Novembre	467,7	417,6	391		494,9	467,82	443,3	417,2
Décembre	747,9	690,3	677,5		761,6	686,61	662,4	652,7
Annuel	4312,2	3774,4	3546		4545,6	3792,0	3947,6	3678,5
Écart normale		0,88	0,82			0,83	0,87	0,81

Tableau A8 : Degrés-jours de moins de 18°C : Région de Québec

	Étude 2006				Étude 2014			
	Normale	Médian	Médian		Normale	Médian	Médian	Médian
	1961-1990	2030	2050		1971-2000	2010	2030	2050
Janvier	945,1	855,4	795,5		976,6	820,6	880,4	824,8
Février	820,4	755,3	721,7		835,1	674,7	778,3	732,4
Mars	702,1	640,8	629		721,8	591,4	646,4	613,4
Avril	442,9	386,5	370,2		472,1	363,3	399,7	395,9
Mai	227,3	166,3	145,1		247,0	200,9	213,7	186,3
Juin	74,5	43,7	33,7		95,3	89,5	48,5	50,3
Juillet	23,8	7,3	3,4		36,5	18,7	17,1	6,5
Août	48	18,2	11,6		62,6	41,1	49,9	21,4
Septembre	171,1	123,2	101,3		195,5	168,9	162,5	126,0
Octobre	356,9	313,2	281,1		393,9	386,8	333,9	298,6
Novembre	557,7	507,6	481,1		584,9	557,8	533,2	507,2
Décembre	840,9	783,2	770,4		854,6	779,6	755,4	745,7
Annuel	5210,6	4600,6	4343,9		5475,8	4693,3	4819,0	4508,4
Écart normale		0,88	0,83			0,86	0,88	0,82

Tableau A9 Degrés-jours de plus de 18°C : Région de Montréal et Québec

	Montréal				Québec		
	Normale	2030	2050		Normale	2030	2050
Janvier	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
Mars	0,0	0,0	0,2		0,0	0,0	0,0
Avril	0,3	0,5	1,1		0,0	0,0	0,0
Mai	9,8	16,3	32,0		1,9	4,8	6,5
Juin	44,9	94,0	90,1		15,7	40,6	41,3
Juillet	90,2	140,9	146,1		34,8	67,2	108,6
Août	65,3	101,5	127,1		23,0	43,4	68,2
Septembre	13,8	21,1	36,0		3,6	5,7	13,6
Octobre	0,4	2,7	3,7		0,0	0,1	0,7
Novembre	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0
Décembre	0,0	0,0	0,1		0,0	0,0	0,0
Annuel	224,7	377,1	436,3		79,0	161,8	238,9
Écart normale		1,7	1,9			2,0	3,0