



OUR-102

*Développement de scénarios climatiques à
des fins de prévision de la demande
énergétique au Québec pour les besoins de
chauffage et de climatisation*

Étude réalisée par Ouranos

Novembre 2005

Ouranos est un consortium de recherche sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, initiative conjointe du Gouvernement du Québec, d'Hydro-Québec et du Service météorologique du Canada avec la participation des universités Laval et McGill, de l'UQAM et de l'INRS. Valorisation Recherche Québec a collaboré à la mise en place d'Ouranos et à son financement. Les opinions et résultats présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité d'Ouranos et n'engagent pas les organismes précités.

Auteure : Diane Chaumont
Assistante de recherche (Ouranos)

Collaborateur(s) : **Georges Desrochers**
Chercheur (Ouranos / Institut de
recherche d'Hydro-Québec)
Claude DesJarlais
Directeur de l'analyse économique
(Ouranos/Ressources naturelles
Québec)
Philippe Gachon
Coordonnateur scénarios climatiques –
Analyse du Climat (Ouranos /
Environnement Canada)
René Roy
Chargé de projet changements
climatiques (Ouranos / Hydro-Québec)

Requérants : Gaétan Lafrance, INRS-Énergie, Matériaux et
Télécommunications
Claude Desjarlais, Ouranos/Ressources naturelles Québec

Table des matières

INTRODUCTION	Erreur ! Signet non défini.
1. OBJECTIF DES TRAVAUX	4
2. DESCRIPTION DES BESOINS	4
3. MÉTHODOLOGIE	4
3.1 Méthode des deltas	5
3.2 Modèles climatiques et scénarios d'émission de GES retenus	6
3.3 Région de référence	8
3.4 Stations d'observations.....	10
3.5 Indices calculés et sélection des réalisations (optimistes, médianes et pessimistes).....	10
4. DESCRIPTION DES RÉSULTATS	11
4.1 Scénarios climatiques	11
4.2 Degrés-jours de chauffage et de climatisation.....	15
CONCLUSION	18
RÉFÉRENCES	19

Liste des figures

Figure 1 Évolution de la température moyenne mondiale pour les six scénarios indicatifs SRES, dérivée au moyen d'un modèle climatique simple développé en fonction d'un certain nombre de modèles complexes.	7
Figure 2 Grilles des MCG retenus (couleur grise) et région de référence pour le calcul des deltas (couleur rouge). a) CGCM2, b) HadCM3, c) ECHAM4, d) GFDL-R30 et e) CSIRO.	10
Figure 3 Évolution saisonnière des anomalies de températures moyennes de 1975 à 2065 pour les 10 réalisations, par rapport à la période 1961-1990.	12
Figure 4 Moyenne des 10 réalisations des anomalies de température mensuelle selon les deux horizons d'intérêt, par rapport à la période de référence 1961-1990.	14
Figure 5 Cumul mensuel de degrés-jours de climatisation (> 22°C) et de degrés-jours de chauffage (< 18°C) à Montréal et Québec durant la période de référence et les horizons futurs pour les scénarios optimistes, médians et pessimiste.	17

Liste des tableaux

Tableau 1 Avantages et inconvénients de la méthode des deltas.	6
Tableau 2 Modèles de climat globaux et scénarios SRES utilisés lors de l'élaboration des scénarios climatiques.	8
Tableau 3 Stations météorologiques utilisées.	10
Tableau 4 Deltas saisonniers de température moyenne pour les horizons centrés sur 2030 et 2050 dans la région de référence par rapport à la période 1961-1990.	13
Tableau 5 MCG et scénarios d'émission présentant les réalisations optimistes et pessimistes.	15
Tableau 6 Cumul annuel moyen des degrés-jours de climatisation et de chauffage pour les villes de Québec et Montréal calculé sur les séries climatiques centrées sur 2030 et 2050.	15

Introduction

Les preuves scientifiques de l'influence déstabilisatrice de l'homme sur le système climatique continuent de s'accumuler, ce qui accroît la nécessité d'agir pour s'attaquer aux causes de ce phénomène et s'adapter aux impacts inéluctables des changements climatiques à venir. Dans son *Troisième rapport d'évaluation*, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2001), suggère que la plus grande partie du réchauffement observé durant les 50 dernières années est en partie attribuable aux activités humaines, par le biais de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre. Le rapport conclut que l'action de l'homme continuera de modifier la composition de l'atmosphère tout au long du XXI^e siècle et que ce changement pourrait persister pendant plusieurs siècles.

Bien que les outils numériques permettant de générer les scénarios de changements climatiques ne soient pas parfaits et recèlent certaines incertitudes, ils permettent néanmoins d'anticiper les grandes tendances climatiques à venir et ainsi d'identifier les impacts de ces changements dans différents secteurs d'activités afin de planifier des stratégies d'adaptation. Parmi les variables climatologiques considérées dans les changements anticipés, les changements de température simulés par les modèles climatiques sont considérés comme étant les plus « fiables » ou avec un niveau d'incertitude plus bas que d'autres variables comme les précipitations. L'évolution anticipée des températures fait donc l'objet d'un plus large consensus au sein de la communauté scientifique (GIEC, 2001).

Dans le contexte climatique québécois, le changement dans la demande d'énergie nécessaire afin de répondre aux besoins de chauffage et de climatisation est très certainement l'un des impacts les plus directs découlant des changements climatiques. Le réchauffement anticipé de température suggéré par les modèles climatiques pour le Nord-Est du continent nord américain et pour le Québec en particulier devrait en effet se répercuter de façon sensible sur la demande d'énergie compte tenu des caractéristiques saisonnières du climat avec des hivers habituellement longs et rigoureux et des étés courts. Les évaluations préliminaires disponibles montrent que le réchauffement anticipé pourrait réduire significativement la demande énergétique pour le chauffage en hiver alors que la consommation d'énergie pour la climatisation en été augmenterait. En 2004, Ouranos a réalisé une étude pour le compte d'Hydro-Québec sur l'évolution des températures dans le sud du Québec afin de considérer l'effet des changements climatiques sur la demande électrique jusqu'en 2030 (Roy *et al.* 2004). Dans le but d'élargir l'analyse à d'autres sources énergétiques (pétrole et gaz naturel) et de répondre à de nouveaux besoins, une mise à jour de cette analyse a été proposée et un partenariat entre trois organisations a été constitué : ministère canadien des Ressources naturelles, Hydro-Québec et Gaz Métro. L'horizon de la prévision a été allongé jusqu'en 2050 et la modélisation socio-économique dans laquelle seront intégrés les scénarios climatiques sera plus complète en tenant compte, par exemple, du comportement des consommateurs en matière de climatisation. De plus, alors que l'étude antérieure a conduit à la réalisation d'un scénario climatique moyen, nous produirons ici un éventail de scénarios climatiques équiprobables.

Le présent rapport explique la démarche suivie lors de la construction de scénarios climatiques devant être utilisés à des fins de prévision de la demande énergétique au Québec pour les besoins de chauffage et de climatisation. On y présente en premier lieu les variables et les fenêtres temporelles nécessaires comme intrants au modèle de prévision de la demande énergétique. Par la suite, la description de chacune des étapes menant à la construction des scénarios climatiques sera

expliquée. Finalement, une description des scénarios climatiques obtenus en termes de changements de température et de cumul de degrés-jours est donnée.

1. OBJECTIF DES TRAVAUX

L'objectif du présent document est *d'établir des scénarios d'évolution des conditions climatiques centrés sur les années 2030 (2015-2044) et 2050 (2035-2064)* de façon à calculer les degrés-jours de chauffage et de climatisation pour les agglomérations de Montréal et Québec. Le choix des horizons est justifié par la disponibilité de scénarios de prévision de la demande d'énergie pour l'horizon 2026, qu'il était possible d'étendre à l'horizon 2030 et de scénarios démographiques disponibles pour l'horizon 2050 qui fournissaient une base plausible de scénarisation de la demande d'énergie à plus long terme. Les deux plus importantes agglomérations du Québec à savoir les zones urbaines de Montréal et de Québec ont été retenues en raison de leur poids démographique et économique. Dans les faits, le travail consiste à projeter pour chaque jour de l'année des températures moyennes quotidiennes. Celles-ci sont par la suite traduites en degrés-jours de chauffage et de climatisation à partir de seuils de températures spécifiées. Les degrés-jours cumulés moyennés pour les horizons futurs permettront d'anticiper l'évolution de la demande énergétique à des fins de chauffage et de climatisation en regard des divers scénarios d'évolution sociodémographiques et économiques du Québec pour ces mêmes horizons.

2. DESCRIPTION DES BESOINS

Les besoins identifiés pour ce projet ont en partie déterminé la démarche à privilégier pour la construction des scénarios climatiques. Les paramètres qui ont été considérées pour le choix de la méthode sont les suivantes :

1. Variable de base : Températures moyennes quotidiennes ;
2. Variables dérivées: Moyennes mensuelles des degrés-jours cumulés ;
3. Horizons d'intérêt : **2015-2045 et 2035-2065** ;
4. Localisation : Montréal et Québec ;
5. Enveloppe de scénarios climatiques équiprobables.

3. MÉTHODOLOGIE

Les modèles de climat globaux (MCG) constituent les meilleurs outils de base pour construire des scénarios de changements climatiques (GIEC 2001). Toutefois, aux fins d'évaluation des impacts des changements climatiques il n'est pas recommandé d'utiliser les sorties brutes des modèles climatiques globaux, parce qu'ils comportent de trop grand biais et que l'échelle spatiale de ces modèles n'est pas appropriée à l'échelle régionale. Ainsi, on a mis en évidence que les sorties des MCG requerraient une mise à l'échelle spatiale et une correction des biais afin de lier les projections issues des MCG aux impacts régionaux des changements climatiques. Plusieurs

méthodes ont été proposées afin de réduire l'échelle spatiale, mentionnons entre autres, la mise à l'échelle dynamique, la mise à l'échelle statistique et les générateurs stochastiques de climat.

En considérant d'une part, les besoins présentés plus haut et d'autre part le temps et les ressources disponibles, nous avons construit les scénarios climatiques du présent projet avec la méthode dite des «deltas». Cette méthode offre l'avantage d'être relativement rapide et simple à effectuer, ce qui permet d'établir une gamme de scénarios climatiques plausibles à partir d'un ensemble de simulations de modèles climatiques globaux ayant fait l'objet d'une évaluation reconnue par le GIEC. Les informations climatiques nécessaires au modèle de prévisions de la demande énergétique étant des valeurs moyennes mensuelles, cette méthode s'avère tout à fait appropriée.

Notons toutefois que le consortium Ouranos a participé à l'évaluation de méthodes de mise à l'échelle statistique sur l'Est du Canada (Gachon *et al.*, 2005) et exploite également un modèle climatique dynamique à haute résolution spatiale, le Modèle régional canadien du climat (MRCC). Ces outils permettent de construire des scénarios climatiques à plus haute résolution pour les besoins des études d'impact et d'adaptation aux changements climatiques. Au moment de réaliser ce projet, nous ne disposions malheureusement pas de simulations du MRCC validées sur l'horizon de temps souhaité et les besoins de l'étude ne justifiaient pas le recours à une mise à l'échelle statistique.

3.1 Méthode des deltas

Pour la génération des températures futures, la méthode des «deltas» consiste à utiliser la différence moyenne entre la température simulée par un MCG sur une période future de 30 ans et celle simulée par ce même MCG sur la période de référence actuelle (1961-1990). Le delta est ensuite additionné aux données climatiques quotidiennes du mois correspondant tel que mesuré aux stations d'observations d'intérêt durant la période de référence. La température produite dans le scénario s'exprime ainsi mathématiquement :

$$Tscen_{a+\Delta a,m,j} = (TMCG_{future,m} - TMCG_{référence,m}) + Tobservée_{référence,a,m,j}$$

- où $Tscen_{a+\Delta a,m,j}$ est la température quotidienne pour le jour j du mois m de l'année $a+\Delta a$ avec Δa le nombre d'année entre la période future et la période de référence
 $TMCG_{future,m}$ est la moyenne mensuelle de température simulée par un MCG sur un horizon donné et moyennée sur les 30 années de l'horizon
 $TMCG_{référence,m}$ est la moyenne mensuelle de température simulée par un MCG sur la période de référence et moyennée sur les 30 années de cette période
 $Tobservée_{référence,a,m,j}$ est la température quotidienne observée à une station météorologique pour le jour j du mois m de l'an a de la période référence

Les avantages et les faiblesses de la méthode des deltas sont présentés au tableau 1. La capacité de construire plusieurs scénarios basés sur des MCG reconnus par la communauté scientifique constitue sans aucun doute le principal avantage de la méthode des deltas dans le cadre du présent projet. Ceci nous assure de couvrir un éventail de climat futur possible. De plus, la méthode est simple à appliquer et est opérationnelle à Ouranos. Une des faiblesses de la méthode des deltas réside dans l'hypothèse que le biais des MCG calculé durant la période de référence sera conservé dans le futur ce qui peut s'avérer erroné.

Tableau 1 Avantages et inconvénients de la méthode des deltas.

Avantages	Faiblesses
Plusieurs MCG et scénarios d'émissions disponibles et reconnus par la communauté scientifique	Hypothèse que les biais du MCG calculé pour la période 1961-1990 sont les mêmes pour les périodes futures
Méthode simple à appliquer et opérationnelle à Ouranos	Deltas calculés sur une résolution spatiale grossière
Information physiquement cohérente	Variabilité climatique et distribution statistique de la variable considérée restent inchangées (i.e. identiques à période de référence)
Longues simulations disponibles	

3.2 Modèles climatiques et scénarios d'émission de GES retenus

Compte tenu des fortes incertitudes associées à la représentation du climat à l'échelle régionale via un modèle global de climat, le GIEC suggère d'utiliser plusieurs modèles afin d'avoir un éventail plus large des changements possibles. Afin d'explorer le plus possible la plage de changements, il est aussi préférable d'avoir recours à plusieurs scénarios d'évolution de la concentration de gaz à effet de serre (GES). Afin de faciliter et de standardiser la réalisation d'études d'impacts des changements climatiques, le GIEC diffuse les données de MCG via le Centre de Distribution de Données (CDD) (<http://ipcc-ddc.cru.uea.uk>). À partir de ces banques de données, cinq MCG ont été retenus en tenant compte des besoins du présent projet et des critères recommandés par le GIEC pour la sélection des MCG. Ainsi, dans la présente étude, les modèles retenus doivent répondre aux critères suivants :

- Être entièrement couplés atmosphère-océan en 3D ;
- Avoir été publiés dans une revue scientifique faisant l'objet d'un examen par les pairs ;
- Avoir réalisé une simulation de contrôle sur plusieurs siècles (pour des raisons de stabilité) ;
- Avoir participé au Projet d'intercomparaison des modèles (CMIP) ;
- Avoir une résolution d'au moins 4° en latitude.

Les quatre premiers critères ont été proposés dans Parry (2002) et sont des incontournables reconnus par le GIEC. Dans une étude d'impact des changements climatiques, il est aussi fortement recommandé de s'en tenir aux modèles ayant des résolutions fines (http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/sres/gcm_data.html). Puisque l'information que nous recherchons est régionale, le cinquième critère ayant trait à la résolution des modèles a été retenu et nous avons choisi une limite de 4° en latitude afin de conserver un éventail de MCG.

Une fois les MCG choisis, il reste à sélectionner les scénarios d'émissions de GES. Ceux-ci sont fondés essentiellement sur des projections d'utilisation des combustibles fossiles. Celles-ci à leur tour reposent sur l'évolution anticipée des conditions démographiques, économiques et technologiques à venir. À partir des scénarios d'émissions de GES, on calcule les scénarios de concentrations de GES qui modifieront les échanges énergétiques du système Terre-atmosphère.

Pour les fins de ce travail, deux scénarios d'émissions ont été retenus soient les scénarios A2 et B2 du Special Report on Emissions Scenarios (SRES). En 2000, en préparation du Troisième rapport d'évaluation, à la demande du GIEC, un *Special Report on Emissions Scenarios* (Nakicenovic *et al.*, 2000) a été produit permettant de définir une quarantaine de scénarios desquels six scénarios ont été choisis par le GIEC à titre indicatif. La figure 1 présente l'évolution des températures à l'échelle planétaire selon ces six scénarios d'augmentation de concentrations de GES. À titre comparatif, les résultats selon le scénario IS92a sont aussi montrés. Ce dernier qui représente l'évolution, telle que perçue en 1992, des émissions en l'absence de toutes politiques d'atténuation, correspond à un des scénarios qu'utilisaient souvent les spécialistes des répercussions et de la modélisation climatique dans le 2^{ème} rapport du GIEC avant la publication des scénarios d'émissions SRES.

Tel que montré à la figure 1, à partir du milieu du 21^e siècle, la distinction entre les anomalies globales de température moyenne annuelle selon les différents scénarios d'émissions de GES est plus nette. Par contre, avant cette période, ce sont les différences entre les modèles eux-mêmes qui expliquent la plus grande part des variations dans les simulations climatiques. Ceci s'explique facilement dans la mesure où l'évolution des températures au cours des prochaines décennies est déjà largement déterminée par les niveaux actuels des concentrations et que ce n'est qu'à mesure que seront infléchies les trajectoires d'émissions par des politiques ou des changements économiques et technologiques que celles-ci influenceront les températures. Étant donné que les centres de modélisation du climat ont tous au minimum fourni des simulations avec les scénarios d'émissions SRES A2 et B2, nous avons retenu les simulations réalisées avec ces scénarios. Ce choix est avantageux puisqu'il nous permet de représenter de façon équiprobable les simulations des différents modèles recommandés par le GIEC.

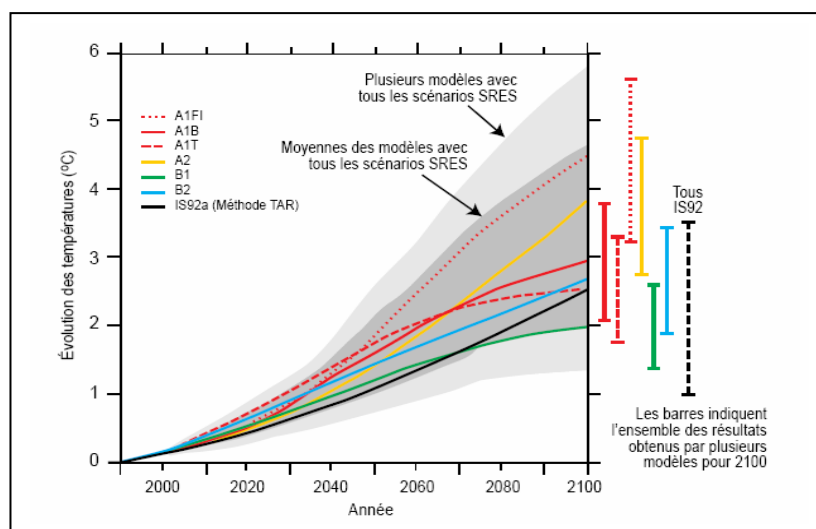


Figure 1 Évolution de la température moyenne mondiale pour les six scénarios indicatifs SRES, dérivée au moyen d'un modèle climatique simple développé en fonction d'un certain nombre de modèles complexes¹.

¹ Source : Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques, Rapport du Groupe de travail I du GIEC, *Contribution du Groupe de travail I au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, page 66.

Le tableau 2 présente les modèles retenus de même que quelques-unes de leurs caractéristiques. Au total, 10 réalisations ont servi à l'élaboration des scénarios climatiques. Il est important de noter qu'à l'exception du modèle ECHAM4, toutes les sorties des MCG ont été extraites du site Internet du CDD mentionné ci-dessus. En raison de problèmes rencontrés dans les sorties du modèle ECHAM4, ce sont les données quotidiennes diffusées via le CERA (Climate and Environmental Retrieving and Archiving) (<http://cera-www.dkrz.de/CERA/index.html>) qui ont été utilisées pour calculer les moyennes mensuelles de ce modèle.

Puisque la plupart des MGC simulent une importante variabilité interdécennale, cela rend difficile la différenciation entre le signal de changement climatique et la variabilité interne des modèles. Afin de filtrer le bruit résultant de cette variabilité, Barrow *et al.*, (2004), GIEC (2001) recommandent d'utiliser des moyennes de 30 ans pour le calcul des deltas. Le modèle de prévision de la demande énergétique étant basé sur des données centrées sur 2030 et 2050, les scénarios climatiques ont été construits sur des périodes de 30 ans aux environs de cette période. En d'autres termes, les deltas de la première période sont moyennés sur les valeurs mensuelles allant de 2015 à 2044 et ceux de la seconde couvrent les années 2035 à 2064.

Tableau 2 Modèles de climat globaux et scénarios SRES utilisés lors de l'élaboration des scénarios climatiques.

MCG	Pays	Résolution (lat X long)	SRES
CGCM2	Canada	3,7° X 3,7°	A2-1 et B2-1
CSIRO-Mk2	Australie	3,2° X 5,6°	A2 et B2
ECHAM4	Allemagne	2,8° X 2,8°	A2 et B2
GFDL-R30	Etats-Unis	2,25° X 3,75°	A2 et B2
HadCM3	Royaume-Uni	2,25° X 3,75°	A2a et B2a

Les indices a et 1 indiquent le premier membre de simulations d'ensemble

3.3 Région de référence

L'information provenant d'un MCG doit être analysée autant que possible sur une région couvrant une surface équivalente à plusieurs points de grille du MCG plutôt que d'un seul point de grille. Les deltas additionnés aux observations ont donc été calculés sur une région couvrant une surface d'au moins quatre points de grille de la résolution moyenne des MCG retenus. C'est ce qu'on appelle la région de référence de calcul de deltas. Le recours à une région de référence offre l'avantage de toujours considérer le même territoire pour le calcul des deltas quelque soit la grille du MCG. De plus, on peut noter que les deltas régionaux offrent une variabilité temporelle plus lissée comparée aux deltas du point de grille le plus près, ce qui peut s'avérer avantageux.

Les grilles des MCG retenus superposées à la région de référence sont présentées à la figure 2. Le poids des valeurs de température de chaque point de grille est pondéré en fonction de la surface qu'il occupe dans la région. On remarque une échancrure dans le coin sud-est de la zone, celle-ci est due à la présence d'un point océanique dans la grille du modèle CSIRO, qui n'a pas été pris en compte.

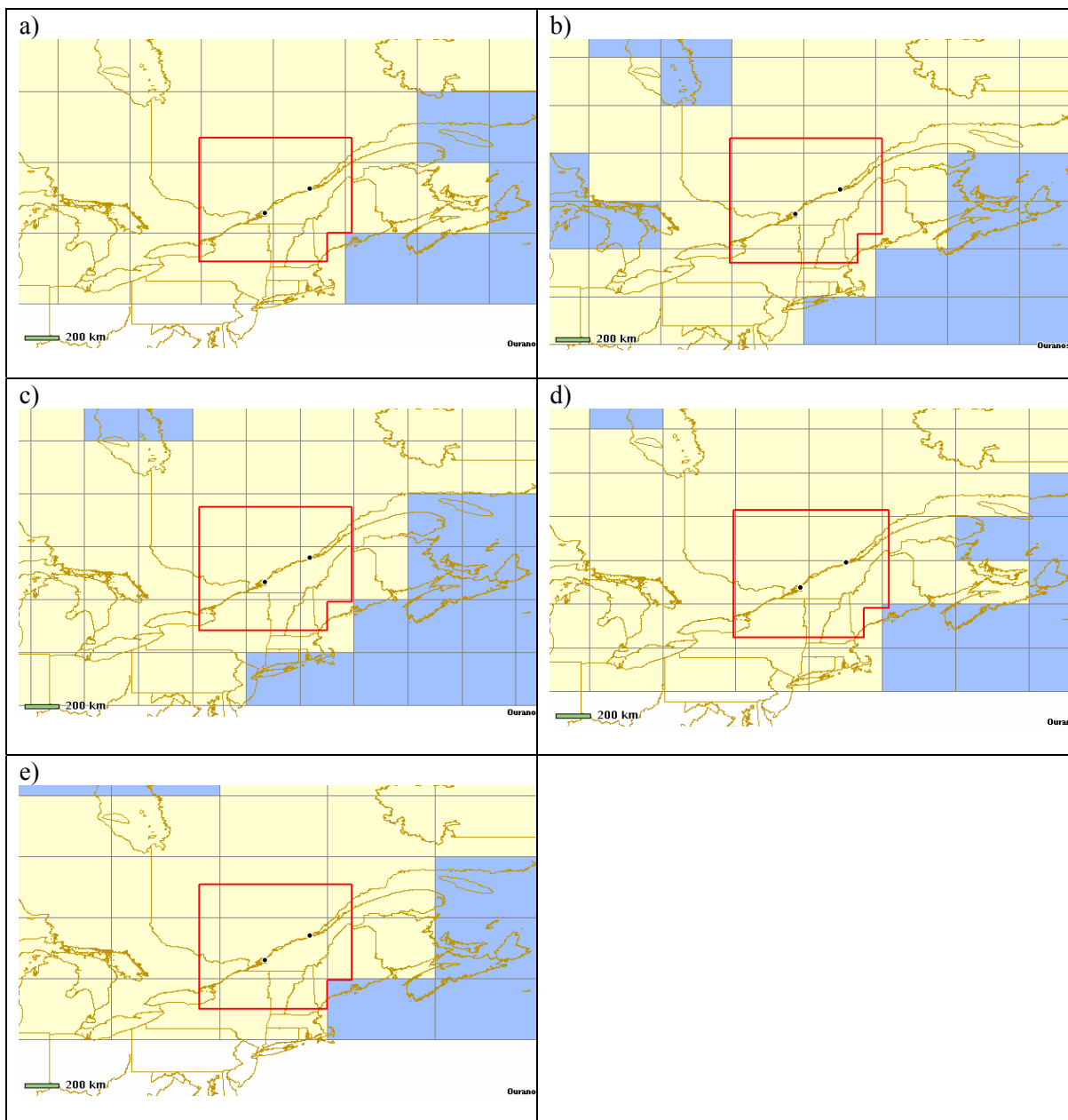


Figure 2 Grilles des MCG retenus (couleur grise) et région de référence pour le calcul des deltas (couleur rouge). a) CGCM2, b) HadCM3, c) ECHAM4, d) GFDL-R30 et e) CSIRO.

3.4 Stations d'observations

Les deltas mensuels de chaque MCG ont été ajoutés aux observations quotidiennes de température moyenne (période 1961-1990) de deux stations météorologiques des archives d'Environnement Canada. Il s'agit des stations présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 Stations météorologiques utilisées.

Station	Numéro d'identification	Latitude	Longitude
Montréal/Pierre Elliot Trudeau Intl A.	7025250	45°28' N	73°45' O
Québec/Jean Lesage Intl A	7016294	46° 48' N	71° 22' O

3.5 Indices calculés et sélection des réalisations (optimistes, médianes et pessimistes)

Deux indices climatiques ont été calculés dans le présent travail, il s'agit du cumul des degrés-jours de chauffage et du cumul des degrés-jours de climatisation. On les définit ainsi :

«Les degrés-jours d'une journée représentent l'écart négatif ou positif, en degrés Celsius, qui sépare la température moyenne d'une valeur de base donnée. Par exemple, les degrés-jours de chauffe sont le nombre de degrés inférieurs à 18°C. Si la température est égale ou supérieure à 18°C, ce nombre sera nul. Les valeurs supérieures ou inférieures à la base de 18°C servent d'habitude à estimer les besoins en chauffage et en climatisation des bâtiments»².

Pour les besoins de la présente étude, les seuils de calcul des degrés-jours ont été fixés à 15°C et 18°C pour le chauffage et à 13°C, 18°C et 22°C pour la climatisation. La multiplicité des seuils de climatisation provient des pratiques des établissements du secteur commercial et des tours à bureaux qui démarrent leur climatisation pour certains de leurs espaces intérieurs à des températures nettement inférieures à celles utilisées pour le secteur résidentiel. Pour le chauffage, on fait l'addition pour chaque jour de la différence entre la température moyenne inférieure par rapport aux seuils d'intérêts, alors que pour la climatisation, ce sont les degrés supérieurs aux seuils fixés qui sont cumulés. Ces indices sont calculés sur une base mensuelle.

² Source : http://www.climat.meteo.ec.gc.ca/climate_normals/stnselect_f.html

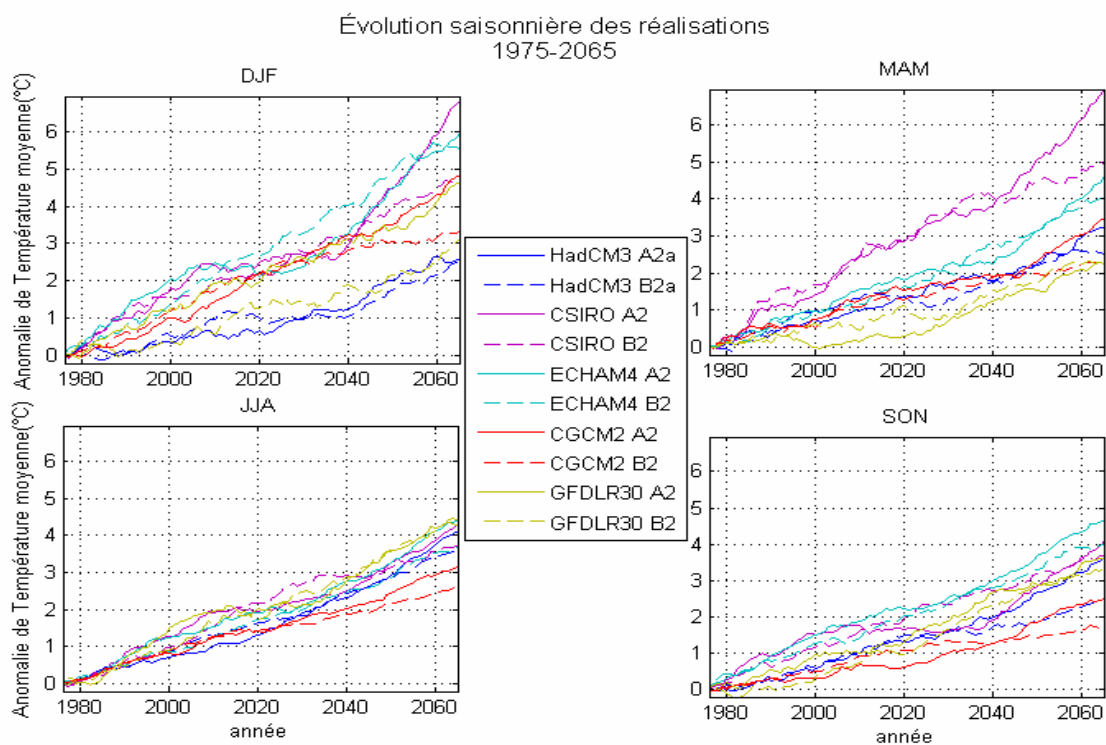
Les résultats des indices servent, entre autres, à identifier les prévisions suggérant un changement de température faible, moyen et fort à partir desquelles les projections de la consommation énergétique pour les besoins de chauffage et de climatisation sont déduites. Les réalisations projetant un changement faible, moyen et fort seront respectivement qualifiées d'optimistes, médianes et pessimistes. Afin d'identifier les réalisations optimistes et pessimistes, nous avons d'abord calculé la somme annuelle des degrés-jours et ce pour chaque horizon et chaque seuil. La réalisation optimiste est celle qui prévoit la plus grande quantité de degrés-jours de chauffage sur une base annuelle alors que la réalisation pessimiste est celle qui en entraîne le moins (évidemment, nous recherchons les changements opposés pour la climatisation). Nous avons choisi de sélectionner des réalisations projetant un faible et fort changement sur la base de la somme des valeurs mensuelles pour un modèle donné et non en sommant les valeurs maximales et minimales de chaque mois parce que cette dernière approche aurait entraîné des amplifications dans le total de degrés-jours. Par exemple, en choisissant les valeurs de degrés-jours de chauffage les plus basses à chaque mois, nous obtenons une sous-estimation sur le total, dans les faits, aucun modèle ne prévoit un réchauffement de cette ampleur. Par contre, pour les valeurs médianes, il est correct d'utiliser les médianes de chaque mois pour caractériser un changement moyen. La médiane mensuelle des cumuls de degrés-jours est en fait la moyenne entre la cinquième et la sixième valeur après que celles-ci aient été triées par ordre croissant.

4. DESCRIPTION DES RÉSULTATS

4.1 Scénarios climatiques

La figure 3 montre l'évolution des anomalies de température moyenne saisonnière de 1975 à 2065 par rapport à la période de référence 1961-1990 obtenue pour les 10 réalisations analysées (5 MCG selon 2 scénarios d'émission). Tel que mentionné précédemment, la différence entre les projections est plus marquée entre les MCG qu'entre les deux scénarios SRES.

Les rapports récents publiant une analyse de scénarios climatiques (GIEC, 2001; Ruosteenoja et al., 2003; Barrow et al., 2004), ont montré que les MCG suggèrent le plus souvent un réchauffement plus important en saison hivernale comparativement à la saison estivale. Seul le modèle HadCM3 projette un réchauffement plus important l'été que l'hiver et ce pour les deux scénarios d'émissions A2 et B2 (fait à noter, nous avons utilisé ici les simulations A2a et B2a du HadCM3).



(décembre-janvier-février, DJF; mars-avril-mai, MAM; juin-juillet-août, JJA et septembre-octobre-novembre, SON)

Figure 3 Évolution saisonnière des anomalies de températures moyennes de 1975 à 2065 pour les 10 réalisations, par rapport à la période 1961-1990.

La différence entre les modèles permet de mesurer une partie des incertitudes liées aux changements de températures suggérés dans notre région d'intérêt. Ainsi, les écarts entre les modèles sont plus élevés l'hiver que l'été, par conséquent l'incertitude associée aux changements de température est plus importante durant l'hiver. Par ailleurs, comme le suggère le rapport de l'IPCC (2001), les différences entre les modèles (donc l'incertitude associée à l'ampleur du changement) augmentent avec le temps, et vers la fin du 21^e siècle, lorsque la différence entre les scénarios d'émissions de GES est la plus forte, les différences entre les modèles sont du même ordre de grandeur que les différences entre les réponses aux divers scénarios SRES (cf Ruosteenoja et *al.*, 2003). À titre indicatif, les deltas saisonniers des réalisations les plus optimistes, médianes et pessimistes sont donnés dans le tableau 4 pour les horizons centrés sur 2030 et 2050. Durant les trois mois d'été, les températures des 10 réalisations sont contenues dans une fourchette de 0,9°C pour le premier horizon et de 1,9°C pour le second alors que durant les mois d'hiver, la fourchette est de 2,3°C et 2,9°C, respectivement. Notons toutefois que ces valeurs servent strictement à donner un aperçu de l'amplitude des changements de température projetés. En effet, tel qu'expliqué précédemment (section 3.5), les réalisations optimistes, médianes et pessimistes sélectionnées pour l'analyse de la demande énergétique sont basées sur le résultat final de l'indice d'intérêt soit le cumul des degrés-jours pour chacune des villes calculé selon des seuils précis.

Tableau 4 Deltas saisonniers de température moyenne pour les horizons centrés sur 2030 et 2050 dans la région de référence par rapport à la période 1961-1990.

	Horizon 2015-2045			Horizon 2035-2065		
	optimiste	médian	pessimiste	optimiste	médian	pessimiste
Été (JJA)	1.6 °C	2.0°C	2.5°C	2.1°C	3.1°C	4.0°C
Hiver (DJF)	1.0°C	2.6°C	3.3°C	1.7°C	3.5°C	4.6°C

Le cumul de degrés-jours de chauffage et de climatisation étant fortement variable selon le mois, il peut s'avérer utile d'évaluer l'évolution des changements à l'échelle mensuelle. Bien que la médiane plutôt que la moyenne soit utilisée pour la sélection des scénarios afin d'éviter de donner un poids excessif aux modèles simulant des changements d'ampleur extrêmes (i.e. les plus élevés ou les plus faibles), la figure 4 permet à titre indicatif d'évaluer la moyenne des anomalies sur les 10 réalisations tenant compte des 5 MCGs et des 2 scénarios d'émissions SRES (A2 et B2), et ce pour chaque horizon. On peut noter que les hausses de températures les plus importantes se situent en janvier et les plus faibles en juin et en octobre. Bien que plus faibles que celles de l'hiver, les anomalies estivales sont plus importantes que celles du printemps et de l'automne.

Roy *et al.* (2004) ont récemment développé un scénario climatique moyen pour le sud du Québec sur l'horizon 2030 dans le but d'analyser l'évolution de la demande électrique. Leurs résultats se situent très près de la moyenne des scénarios réalisés dans la présente étude. Alors que l'étude antérieure projetait un changement de la température annuelle moyenne de 0,31°C/décennie, nous obtenons une évolution moyenne de 0,35°C/décennie, les deux pentes étant calculées sur la même période. L'écart entre les deux tendances peut s'expliquer par la région de référence qui différait légèrement entre les deux études de même que la sélection des modèles. En effet, afin de générer un scénario moyen, Roy *et al.* (2004) ont choisi cinq réalisations du même MCG (en l'occurrence HadCM3) alors que dix réalisations de cinq MCGs différents ont été sélectionnées ici afin de tracer une fourchette de scénarios allant du changement le plus faible au changement le plus important.

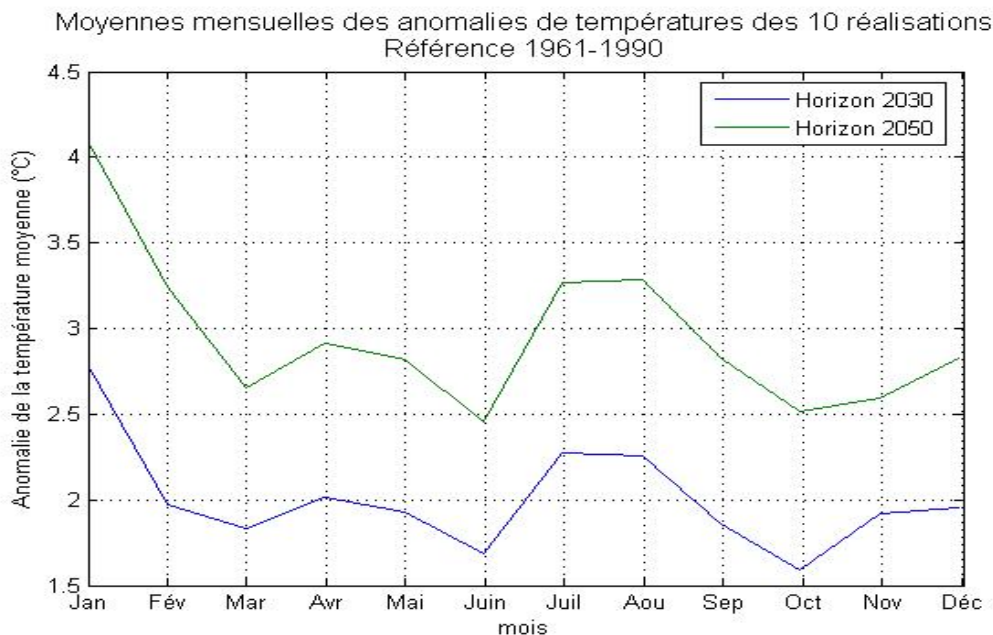


Figure 4 Moyenne des 10 réalisations des anomalies de température mensuelle selon les deux horizons d'intérêt, par rapport à la période de référence 1961-1990.

Le tableau 5 présente les MCG et les scénarios d'émissions correspondant aux projections optimistes et pessimistes pour chaque indice et horizon nécessaires au modèle de prévision de la demande énergétique. Les modèles sélectionnés pour les réalisations médianes ne sont pas montrés puisque, tel qu'expliqué à la section 3.5, les valeurs médianes sont des moyennes entre les cinquième et sixième réalisations triées par ordre croissant et ce pour chaque mois. Ainsi, la réalisation médiane ne provient pas forcément toujours du même modèle d'un mois à l'autre.

Tel que suggéré dans le tableau 5, c'est surtout le MCG et non le scénario d'émissions qui fait qu'une réalisation est optimiste ou pessimiste sur les horizons temporels analysés. Ceci confirme l'importance d'utiliser un large éventail de modèles lors de la réalisation d'étude d'impact des changements climatiques afin de s'assurer de couvrir un ensemble de situations équiprobables, d'autant plus que dans les horizons rapprochés, la différence entre les réponses aux divers scénarios SRES est peu importante (surtout entre A2 et B2). Dans notre cas, les deux MCG couvrant le spectre des réalisations optimistes sont les modèles HadCM3 pour le chauffage et CGCM2 pour la climatisation tous deux utilisant le scénario B2. Ceci est cohérent avec la figure 3 qui montre que le HadCM3 prévoit peu de réchauffement hivernal comparativement aux autres modèles alors que le CGCM2 est parmi les modèles dont l'ampleur des changements de température en été est parmi les plus faibles. Les deux modèles offrant les réalisations les plus pessimistes sont le CSIRO et le GFDLR30 avec le scénario B2 pour l'horizon centré sur 2030 et le scénario A2 pour l'horizon centré sur 2050. Le CSIRO est parmi les modèles dont l'ampleur des changements de température est le plus élevé durant les saisons requérant du chauffage, alors que le GFDLR30 devient le modèle le plus chaud en saison estivale à partir de 2040 (figure 3).

Tableau 5 MCG et scénarios d'émission présentant les réalisations optimistes et pessimistes.

	Réalisation optimiste		Réalisation pessimiste	
	Horizon 2015-2045	Horizon 2035-2065	Horizon 2015-2045	Horizon 2035-2065
Chauffage 15°C	HadCM3 B2a	HadCM3 B2a	CSIRO B2	CSIRO A2
Chauffage 18°C	HadCM3 B2a	HadCM3 B2a	CSIRO B2	CSIRO A2
Climatisation 13°C	CGCM2 B2	CGCM2 B2	CSIRO B2	CSIRO A2
Climatisation 18°C	CGCM2 B2	CGCM2 B2	CSIRO B2	GFDLR30 A2
Climatisation 22°C	CGCM2 B2	CGCM2 B2	CSIRO B2 * GFDLR30 B2	GFDLR30 A2

*Le CSIRO B2 est la réalisation la plus pessimiste pour la ville de Montréal alors que pour la ville de Québec, on obtient le GFDLR30 B2.

4.2 Degrés-jours de chauffage et de climatisation

Une synthèse des résultats des cumuls de degrés-jours de chauffage et de climatisation est présentée dans le tableau 6. Les moyennes annuelles projetées pour un seuil supérieur à 22°C de même que celles pour le seuil inférieur à 18°C sont mises en parallèle avec les valeurs calculées sur les observations durant la période de référence 1961-1990, et ce dans les deux villes concernées. Les résultats montrés selon ces seuils, qui sont ceux utilisés le plus souvent pour le secteur résidentiel au Québec, permettent d'évaluer les changements potentiels des degrés-jours de chauffage et de climatisation pour les particuliers.

Il est clair qu'en valeurs absolues, l'écart entre les degrés-jours cumulés durant la période de référence et ceux des horizons futurs est beaucoup plus grand pour les degrés-jours de chauffage que ceux pour la climatisation. Ainsi, le gain en degrés-jours de climatisation causé par le réchauffement estival est loin de compenser la perte en degrés-jours de chauffage qu'entraîne le réchauffement hivernal. D'ailleurs, pour les deux villes, il semble que la demande énergétique pour la climatisation demeurera très faible comparativement à celle pour le chauffage. De plus, on note que l'écart entre les deux indices continue de s'accroître dans le temps : pour l'horizon centré sur l'année 2030 on obtient une perte absolue de 488°C pour le scénario médian à Montréal, alors qu'en 2050, la réduction absolue est de 677°C. À Québec, toujours pour un scénario médian, la perte absolue passe de 573°C à 800°C en seulement 20 ans.

Tableau 6 Cumul annuel moyen des degrés-jours de climatisation et de chauffage pour les villes de Québec et Montréal calculé sur les séries climatiques centrées sur 2030 et 2050.

		Degrés-jours >22 °C		Degrés-jours <18 °C	
<i>Montréal</i>					
1961-1990		46.2		4576.6	
2015-2045	Optimiste	103.2	(57) *	4195.8	(-380.8)
	Médian	120.3	(74.1)	4014.5	(-562.1)

	pessimiste	153.7	(107,5)	3779.3	(-797.3)
2035-2065	Optimiste	129.3	(83.1)	4021.5	(-555.1)
	Médian	168.7	(122.6)	3777	(-799.6)
	pessimiste	220.1	(173.9)	3463.8	(-1112.8)
<i>Québec</i>					
1961-1990		15		5210.6	
2015-2045	Optimiste	42.2	(27.2)	4784.8	(-425.8)
	Médian	51.5	(36.5)	4600.6	(-610)
	pessimiste	72	(57)	4345.5	(-865.1)
2035-2065	Optimiste	57	(42)	4594.8	(-615.8)
	Médian	80.8	(65.8)	4343.8	(-866.8)
	pessimiste	118.9	(103.9)	4011.9	(-1198.7)

*La différence entre les valeurs projetées et les valeurs durant la période de référence est donnée entre parenthèses.

Compte tenu des conditions climatiques nordiques de notre région d'intérêt, la durée de la saison durant laquelle le chauffage est nécessaire est beaucoup plus longue que celle où les besoins de climatiser se font sentir. Les moyennes mensuelles de degrés-jours de climatisation pour le secteur résidentiel nous montrent que durant la période de référence, les besoins se situent surtout en juillet et août à Montréal (juillet seulement à Québec, figure 5). Dans l'avenir, la demande de début de saison pourrait être plus hâtive (juin), par contre, en fin de saison, on ne voit pas un important déplacement à Montréal alors qu'à Québec, la saison de climatisation s'étire jusqu'au mois d'août en climat futur. Toutefois, dans cette dernière ville, les valeurs de degrés-jours de climatisation demeurent très faibles. Du côté de la demande énergétique pour le chauffage, la diminution se situe surtout de janvier à mai. Durant l'automne, les changements sont moins importants comparés à ceux de l'hiver et du printemps.

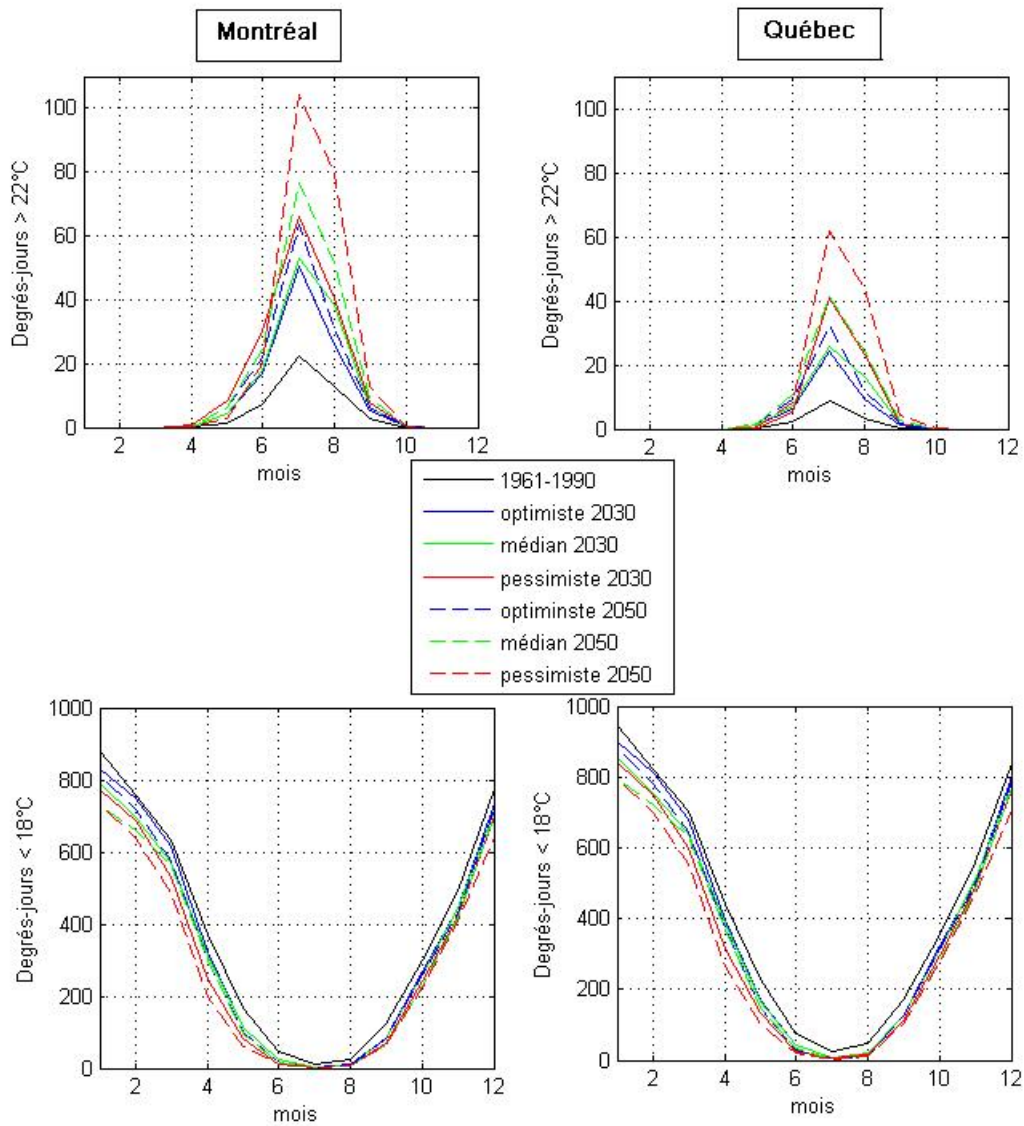


Figure 5 Cumul mensuel de degrés-jours de climatisation ($> 22^{\circ}\text{C}$) et de degrés-jours de chauffage ($< 18^{\circ}\text{C}$) à Montréal et Québec durant la période de référence et les horizons futurs pour les scénarios optimistes, médians et pessimiste.

Conclusion

Les scénarios climatiques développés dans le cadre de cette étude sur la demande énergétique ont été réalisés à partir de dix réalisations construites à partir de cinq MCG selon deux scénarios d'émissions SRES (A2 et B2, les plus largement utilisés), sur le sud du Québec. Ces scénarios climatiques ont servi à l'élaboration de séries de températures moyennes futures pour les villes de Québec et Montréal à partir d'une méthode simple utilisant les anomalies mensuelles des MCG (méthode des deltas), dont les valeurs ont ensuite été utilisées afin de projeter la demande énergétique en termes de degrés-jours de chauffage et de climatisation pour des horizons centrés sur les années 2030 et 2050. Les scénarios climatiques développés ont permis de couvrir un spectre de conditions climatiques plausibles équiprobables, permettant d'envisager les impacts des changements de température d'amplitude très variables. Dans notre région à l'étude, les modèles prévoient le plus souvent un réchauffement plus important l'hiver comparativement à l'été. Toutefois, ce réchauffement est associé à une plus grande incertitude compte tenu de la plus grande différence entre les simulations des modèles durant la saison hivernale.

En résumé, le réchauffement hivernal entraîne une importante baisse du cumul de degrés-jours de chauffage par rapport à la période de référence 1961-1990. Les augmentations dans les degrés-jours de climatisation demeurent faibles, bien qu'une tendance à la hausse soit présente. Cependant, à la lumière de ces résultats, l'ampleur des changements anticipés dans la demande énergétique selon ces deux types de besoin est loin d'être négligeable et ce malgré les horizons temporels relativement rapprochés considérés.

Il sera intéressant de mettre en parallèle des simulations du MRCC, ou d'autres scénarios climatiques construits à partir d'autres méthodes de mise à l'échelle (i.e. statistique), celles-ci étant sans doute mieux adaptées à l'échelle spatiale considérée. Toutefois, tel que mentionné, il est essentiel de couvrir un large spectre de simulations climatiques probables, compte tenu des larges différences entre les différentes simulations des MCGs.

Références

- Barrow, E., Maxwell, B. et Gachon, P. (Eds), 2004. La variabilité et le changement climatique au Canada: Le passé, le présent et le futur, DSCA Series d'évaluation scientifique no 2, Service météorologique du Canada, Environnement Canada, Toronto, Ontario, 114 p.
- Gachon, P., St-Hilaire, A., Ouarda, T., Nguyen, V.T., Lin C., Milton, J., Chaumont, D., Goldstein, J., Hessami, M., Nguyen, T.D., Selva, F., Nadeau, M., Roy, P., Parishkura, D., Major, N., Choux, M. et Bourque, A., 2005. A first evaluation of the strength and weakness of statistical downscaling methods for simulating extremes over various regions of eastern Canada. Sub-component, Climate Change Action Fund (CCAF), Environment Canada, Final report, Montréal, Québec, Canada, 209 pp.
- GIEC, 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K. et Johnson, C.A.(dir.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, N.Y., É.-U., 881p.
- GIEC-TGICIA, 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Version 1. Préparé par Carter, T.R., Hulme, M. et Lal, M., Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 69 pp.
- Mearns, L.O., Hulme, M., Carter, T.R., Lal, M., Leemans, R. and Whetton, P.H., 2001. Climate scenario development. In : Climate Change 2001 : The Scientific Basis, Chapitre 13. Contribution du Groupe de travail I au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 741-768.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H.-H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N. et Dadi, Z., 2000. Emissions Scenarios. Rapport spécial du Groupe de Travail III du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, 599 p.
- Parry, M., 2002. Scenarios for climate impact and adaptation assessment. *Global Environmental Change*, **12**, 149-153.
- Roy, R., Desrochers, G., Pacher, G., Ménard, É., Chaumont, D., Murdoch, T., Gachon, P., Frigon, A., Côté, H. et Chartier, I., 2004. Évolution des conditions climatiques au Québec. Développement d'un scénario climatique utilisé à des fins de prévision de la demande électrique au Québec sur l'horizon 2030, Rapport 1, 81 pp.
- Ruosteenoja, K., Carter, T.R., Jylhä, K. et Tuomenvirta, H., 2003. Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. Finnish Environment Institute, Tummavuoren Kirjapaino, Vantaa, No 644, 83 pp.