



OUR - 109

*Changements climatiques
Pour la révision des normes d'efficacité énergétiques
dans les nouveaux bâtiments*

Étude réalisée pour l'Agence de l'efficacité énergétique

Auteure : Marie-France Sottile
Assistante de recherche (Ouranos)

Requérants : Réjean Carrier
Directeur général de l'Agence de l'efficacité énergétique
Douglas Labelle
Ingénieur et chargé de projet

Novembre 2006

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

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	4
LISTE DES FIGURES	2
LISTE DES TABLEAUX	2
INTRODUCTION	3
INTRODUCTION	3
CHAPITRE 1 : MÉTHODOLOGIE	4
1.1 Approche des deltas.....	4
1.2 Modèles de circulation générale (MCG).....	4
1.3 Scénarios d'émission SRES	5
1.4 Résolution.....	5
CHAPITRE 2 : RÉSULTATS	7
2.1 Température	7
2.2 Humidité.....	9
2.3 Nébulosité.....	10
2.4 Densité.....	11
2.5 Enthalpie.....	11
2.6 Vent	11
2.7 Radiation solaire.....	12
2.8 Température du sol.....	12
2.9 Pression atmosphérique.....	12
CONCLUSION	13
RÉFÉRENCES	15
ANNEXE A DESCRIPTION DES SCÉNARIOS SRES UTILISÉS	17
ANNEXE B DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES CWEC	18

Liste des figures

Figure 1: Résolution des MCG et région de référence pour Montréal	6
Figure 2: Changements mensuels de température dans différentes régions du Québec pour l'horizon 2010-2039, par rapport à 1961-90, tels que simulés par 6 MCG-SRES	7
Figure 3: Changements mensuels de l'humidité relative dans différentes régions du Québec pour l'horizon 2010-2039, par rapport à 1961-90, tels que simulés par CGCM3_A2-1	9
Figure 4: Changements mensuels de l'humidité relative à Nitchequon pour l'horizon 2010-2039, par rapport à 1961-90, tels que simulés par 7 modèles-scénarios.	10

Liste des tableaux

Tableau 1 : Modèles de circulation générale et scénarios SRES utilisés dans l'élaboration des futurs climatiques du projet.	5
Tableau 2 : Changements des températures moyennes de la période 2010-2039 par rapport à 1961-90, pour les régions à l'étude avec le scénario médian.	8

Introduction

Dans son *Troisième rapport d'évaluation*, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2001) suggère que le 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 (GES), et que ce changement pourrait persister pendant plusieurs siècles. Ce constat justifie la nécessité de s'attaquer aux causes du phénomène et surtout, de se préparer aux impacts inéluctables qui toucheront l'environnement, les infrastructures et la plupart des activités humaines.

Le but de cette étude, commandée par l'Agence de l'efficacité énergétique, est d'évaluer, pour l'horizon 2010-2039, au Québec en particulier, les changements des paramètres météorologiques qui influencent directement le bilan d'énergie dans les édifices. Ces variables modifiées serviront à mettre à jour les normes de construction régissant l'efficacité énergétique dans les nouveaux bâtiments. Les villes québécoises suivantes sont plus spécifiquement ciblées: Montréal, Mirabel, Ste-Agathe-des-Monts, Gatineau-Ottawa, Sherbrooke, Québec, Rivière-du-Loup, Mont-Joli, Baie Comeau, Sept-Îles, Cap-aux-Meules, Bagotville, Roberval, Val-d'Or, La Grande Rivière, Schefferville, Lac Eon, Nitchequon, Kuujuaq et Kuujuarapik.

Il existe plusieurs outils permettant d'anticiper les grandes tendances du climat. Ouranos a retenu pour cette étude 3 simulateurs de climat, chacun associés à 2 hypothèses d'évolution de gaz à effet de serre. Cette approche fournit un éventail de 6 futurs possibles, du plus optimiste au plus pessimiste parmi lesquels l'Agence a retenu le médian. Au premier chapitre du document ces choix sont justifiés et la méthode pour appliquer les résultats est expliquée.

La température et l'humidité sont des paramètres météorologiques déterminants pour les calculs énergétiques dans les bâtiments. Au deuxième chapitre, nous présentons les résultats de ces variables générées par les modèles pour les régions visées; les autres paramètres moins influents, comme la nébulosité, le vent, ou la pression atmosphérique, ont fait l'objet d'une analyse plus qualitative et globale, à partir de publications et d'avis d'experts.

La science des changements climatiques est en constante évolution. Les données de l'étude sont issues des meilleures connaissances à ce jour, mais pourraient s'avérer différentes dans quelques années. Les modèles de simulation du climat reposent sur des approximations. Le changement climatique peut être noyé dans l'incertitude des modèles, surtout pour un futur rapproché (horizon 2010-2039). En somme, les résultats ne sont pas des prévisions, mais des projections et les conclusions issues de leur utilisation commandent la plus grande prudence.

Chapitre 1 : Méthodologie

1.1 Approche des deltas

Les besoins identifiés pour ce projet ont déterminé les outils et la démarche à privilégier pour produire les scénarios climatiques. Les simulateurs de climat à l'échelle planétaire, aussi appelés modèles de circulation générale (MCG), constituent des moyens reconnus pour estimer les changements climatiques. Toutefois, pour les études à fine échelle, il n'est pas recommandé d'utiliser directement les simulations futures de ces modèles car ils comportent des biais et qu'ils ont une faible résolution spatiale. La méthode dite des «deltas» a été appliquée dans ce cas-ci, car elle remédie en partie aux défauts des MCG.

La méthode des deltas consiste d'abord à évaluer le changement d'une variable dans le futur par rapport au climat actuel: les simulations de la période de référence (1961-1990) sont soustraites de celles de la période 2010-2039. Cette étape élimine en partie les biais systématiques du MCG. Des moyennes mensuelles sur 30 ans sont utilisées (par exemple, la moyenne des hausses de température de 30 mois de janvier). Ce changement est ensuite additionné aux mesures de la variable étudiée (journalières ou horaires), prises durant la période de référence, à une station météo donnée. Les résultats sont ainsi ramenés à une échelle spatio-temporelle plus fine.

La période de référence ainsi que celle du futur sont dictées par le GIEC qui établit les standards internationaux pour l'évaluation des changements climatiques. Étant donné que la variabilité du climat d'une année à l'autre est parfois d'une amplitude plus élevée que le signal de changement climatique, le GIEC recommande de filtrer le « bruit » en calculant des moyennes de 30 ans. L'utilisation d'une moyenne évite également de sélectionner une année hors distribution pour représenter le climat normal.

Comme l'approche des deltas est simple et facile à utiliser, elle permet de fournir au projet plusieurs futurs équiprobables (issus de plusieurs MCG). Compte tenu de l'incertitude inhérente aux modèles, la fiabilité des résultats en est augmentée : le vrai futur climat a davantage de chances de se trouver à l'intérieur de la fourchette générée. La production de plusieurs séries futures peut aussi servir à tester la sensibilité des modèles d'impact, soit, dans le cas présent, le modèle simulant la consommation d'énergie des bâtiments. C'est ce qui a été fait. Les changements climatiques pessimistes ou optimistes engendraient, somme toute, un bilan d'énergie assez comparable dans les bâtiments. De plus, le choix de l'une ou l'autre des bornes semblait difficile à justifier d'un point de vue socio-économique; cette démarche a finalement mené à la sélection du climat futur médian.

Le principal inconvénient de la méthode des deltas est de générer une série future qui possède la même variabilité que les observations passées, ce qui est peu probable. Or ce projet n'est pas sensible à cette limitation car il ne requiert pas les extrêmes mais le climat moyen. Une autre faiblesse de la méthode réside dans l'hypothèse que les biais des MCG sont les mêmes dans les simulations du futur que dans celles de la période de référence. Cette supposition n'est pas vérifiable.

1.2 Modèles de circulation générale (MCG)

L'approche des deltas s'appuie sur des simulations reconnues et standardisées par le GIEC qui diffuse les données de MCG via le Centre de Distribution de Données (www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/SRES_TAR/index.html). Les modèles recommandés répondent aux exigences suivantes :

- Être entièrement couplés atmosphère-océan en 3 dimensions;
- 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 (vérification de la stabilité) ;
- Avoir participé au Projet d'intercomparaison des modèles (CMIP) ;
- Avoir une résolution d'au moins 4° en latitude¹.

Pour les études d'impact, le GIEC suggère d'utiliser plusieurs modèles reconnus. Trois MCG accrédités ont été choisis pour le présent projet (voir Tableau 1). La disponibilité des variables requises (ici la température et l'humidité près du sol) a également orienté cette sélection.

1.3 Scénarios d'émission SRES

Les changements climatiques dépendent de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES). Leur progression est surtout reliée à la consommation mondiale de carburant fossile, elle-même tributaire de la croissance économique, démographique et technologique des populations. Les hypothèses entourant les projections invitent à élaborer plusieurs tendances à partir desquelles la concentration résultante de GES dans l'air est estimée, modifiant à son tour le bilan énergétique du système terre-mer-atmosphère dans les MCG.

Nakicenovic et al. (2000) ont élaboré une quarantaine de scénarios de GES dans le *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES), desquels le GIEC (2000) en prescrit 6 pour les fins d'études d'impact. Parmi ceux-ci nous avons utilisé les deux scénarios les plus courants, et, autant que possible, communs aux 3 MCG sélectionnés, pour produire 6 futurs possibles, tel que résumé au tableau 1. L'annexe A décrit les hypothèses socio-démographiques sous-jacentes aux scénarios SRES utilisés, ainsi que leur effet sur la température planétaire moyenne.

Tableau 1 : Modèles de circulation générale et scénarios SRES utilisés dans l'élaboration des futurs climatiques du projet.

MCG	Origine	Résolution (latitude X longitude)	SRES
CGCM3	Canada	3,7° X 3,7°	A2-1 , B1-1
ECHAM4	Allemagne	2,8° X 2,8°	A2 , B2
HadCM3	Royaume-Uni	2,25° X 3,75°	A2-a , B2-a

Les indices « a » ou « 1 » indiquent la première de plusieurs simulations ayant les mêmes conditions de départ. Le scénario B2 n'étant pas disponible pour le modèle canadien, nous avons opté pour B1.

Les scénarios SRES sont appliqués à partir de la fin du 20^e siècle, mais ne commencent à produire un effet distinct sur le climat qu'après le milieu du 21^e siècle. Avant cette période, c'est la spécificité de chaque MCG qui différencie les résultats. Pour la période visée dans ce rapport (2010-2039), les projections des scénarios SRES sont assez semblables. À plus long terme, la famille « A » est plus pessimiste que la famille « B ».

1.4 Résolution

Les MCG voient le système planétaire comme une superposition de couches, découpées en quadrilatères de 2 à 4 degrés de côté (environ 300 km x 300 km). Dans chacune de ces tuiles les processus régissant le climat sont calculés au moins quotidiennement². Pour les études d'impact régionales, le GIEC recommande d'analyser les résultats sur une plus grande surface et sur un plus

¹ Ce dernier critère n'est pas obligatoire, mais fortement recommandé par le GIEC pour les études d'impact régionales.

² Les calculs sont effectués sur le centre des tuiles, aussi appelé point de grille.

long pas de temps que ceux des modèles. Autrement dit, il est indiqué de faire des moyennes temporelles avec les résultats quotidiens et d'utiliser plusieurs tuiles de MCG pour représenter une région.

Les deltas de chacune des régions de l'étude ont été calculés sur une « région de référence », définie par une surface qui touche au moins quatre tuiles des MCG choisis. La valeur associée à chacune des tuiles est considérée dans une moyenne pondérée qui tient compte de proportion de chaque tuile incluse dans la région de référence.

La région de référence reste la même quelque soit la résolution des MCG retenus. Donc, selon le modèle, la région de référence intègre un nombre différent de tuiles. À la figure 1, la région de référence pour Montréal est donnée en exemple sur les grilles des 3 MCG choisis. Le même genre de surface a été déterminé pour toutes les villes à l'étude.

Notez que les deltas calculés sur une zone de référence ont nécessairement une variabilité temporelle plus lissée qu'avec une seule tuile. Par contre, ce procédé ajoute une variabilité spatiale car sur chacune des tuiles la caractérisation de la surface (et la météorologie résultante) est spécifique.

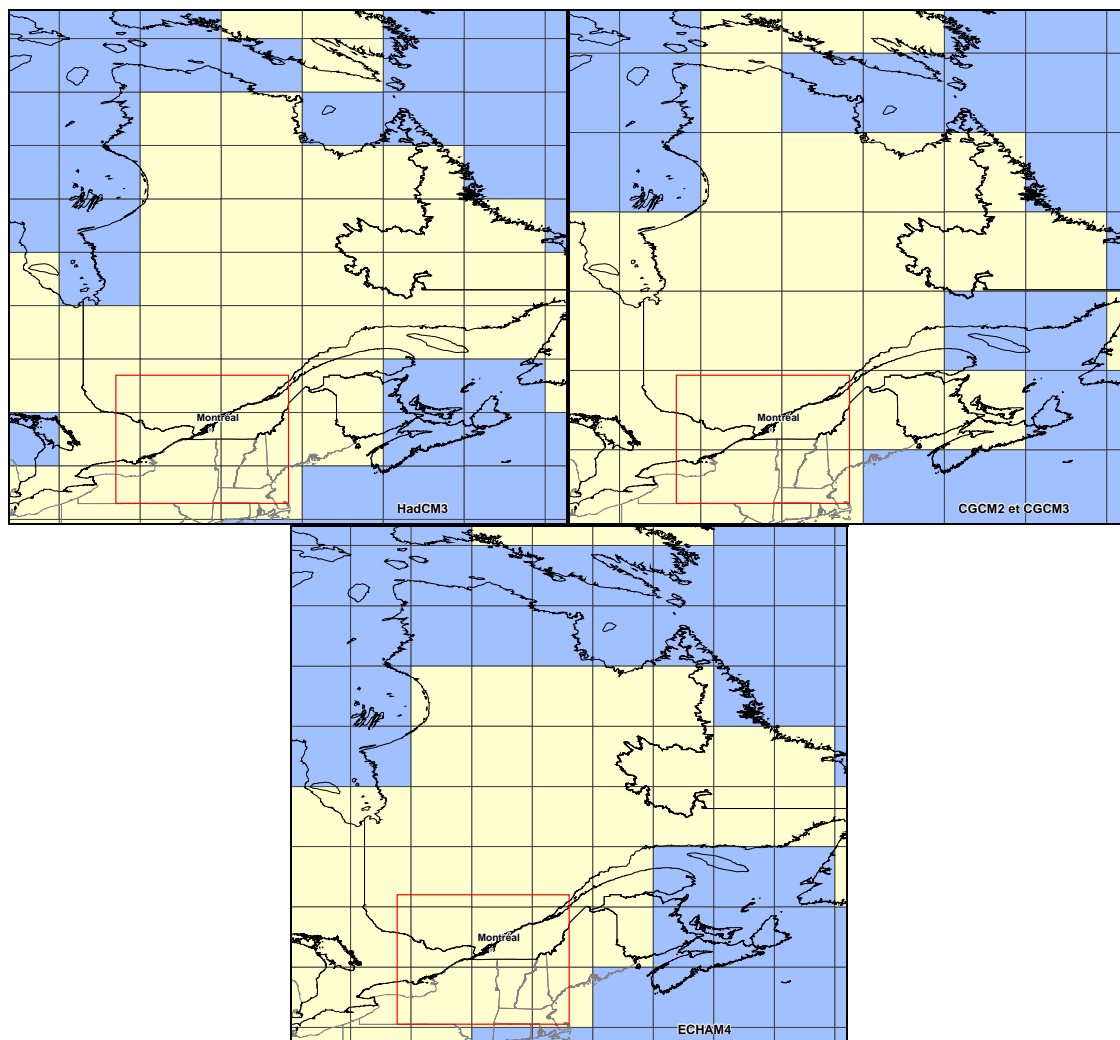


Figure 1: Résolution des MCG et région de référence pour Montréal

Par ailleurs, la figure 1 montre que les contours du Québec sont définis par un masque terre-mer propre à chaque MCG. La climatologie des océans étant très différente de celle du continent, il est nécessaire d'inclure dans les régions de référence surtout des tuiles de « terre » pour représenter les villes. Cette étape est d'autant plus délicate dans le cas d'agglomérations côtières ou insulaires, que les modèles n'ont pas le même masque; par exemple, la Basse Côte-Nord, la Baie James ou les Îles de la Madeleine peuvent se trouver sur une tuile de « mer ».

Chapitre 2 : RÉSULTATS

2.1 Température

Nous avons extrait les températures moyennes mensuelles des 6 réalisations pour chacune des villes à l'étude, sur les 2 périodes de 30 ans (1961-90 et 2010-2039). La figure 2 illustre la différence moyenne de température entre les 2 périodes pour quelques régions. Conformément à la méthode des deltas, ces résultats mensuels ont ensuite été ajoutés aux mesures de températures horaires, fournies par l'Agence de l'efficacité énergétique; ces fichiers reconstituent une année type à partir d'observations météorologiques prises entre 1953 et 2001 (données CWEC, voir Annexe B).

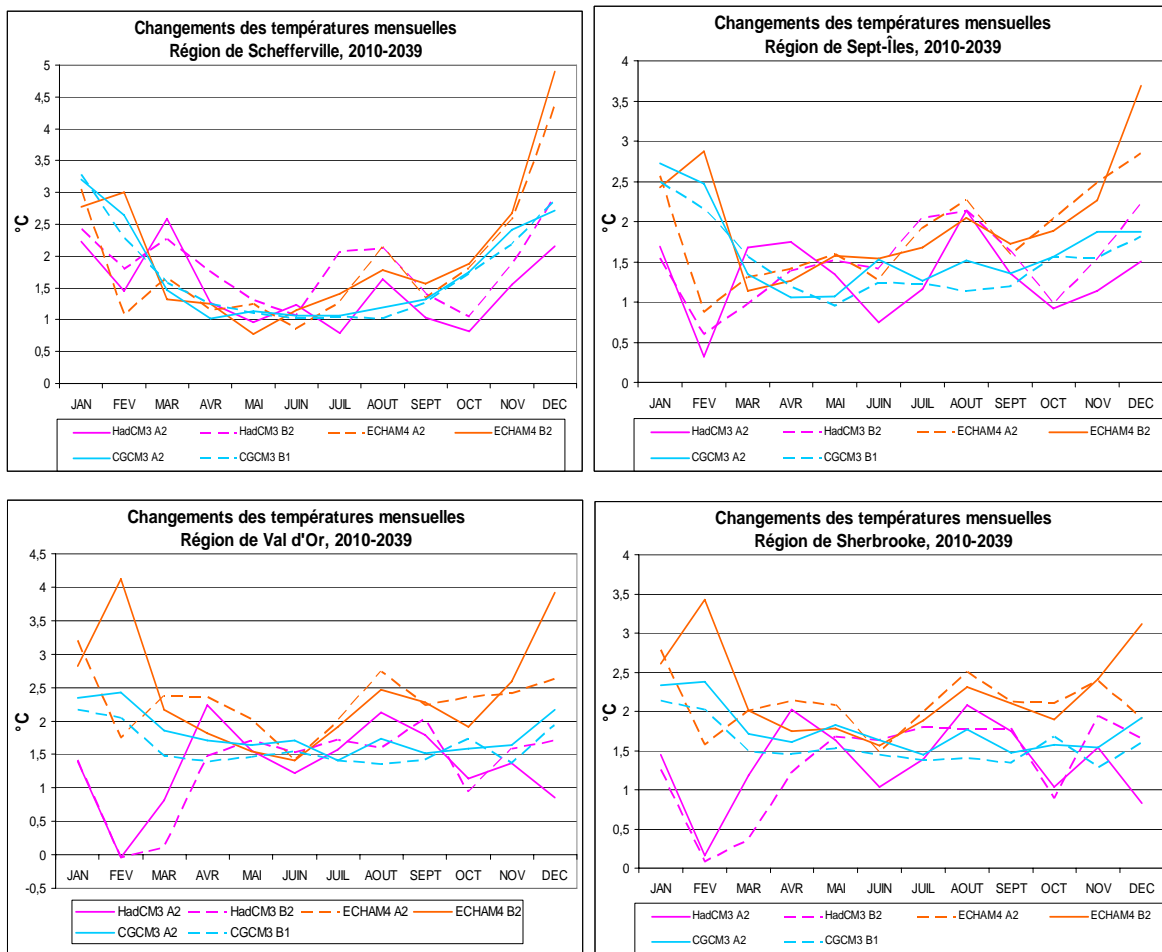


Figure 2: Changements mensuels de température dans différentes régions du Québec pour l'horizon 2010-2039, par rapport à 1961-90, tels que simulés par 6 MCG-SRES

La figure 2 indique que le réchauffement est relativement semblable, d'une région à l'autre, soit de l'ordre de 1,5°C. Cette similitude provient en partie de l'étendue des régions de référence : les mêmes tuiles de MCG servent à qualifier plusieurs villes. Rappelons aussi que la résolution des modèles ne permet pas de distinguer les spécificités régionales. C'est à l'étape d'additionner ce réchauffement aux observations que les climats locaux sont mis en évidence.

Pour l'ensemble des régions, en particulier pour les villes nordiques, l'hiver se réchaufferait davantage. Ce constat appuie les conclusions d'autres études (GIEC, 2001; Ruosteenoja et al., 2003; Barrow et al., 2004). En été, le réchauffement est plus uniforme pour l'ensemble du Québec. Les modèles sont également plus cohérents entre eux durant cette saison, en raison de l'absence du couvert de neige, un paramètre difficile à modéliser qui influence directement et indirectement la température près de la surface. Ainsi, la dispersion des résultats entre les modèles illustre entre autres leurs incertitudes.

À cause de leur capacité calorifique, les océans se réchaufferont de manière plus modérée que les continents (Zwiers et Karin, 1998). Ainsi, les zones côtières connaîtront un réchauffement moins prononcé que l'intérieur des terres. Sur la figure 2, ce phénomène est illustré avec Sept-Îles par rapport à Sherbrooke. Le premier subit des changements moins élevés au printemps et à l'automne que le second.

Les MCG différencient les résultats bien plus que les scénarios SRES. Pour la plupart des régions, ECHAM4 est le modèle le plus pessimiste (le plus grand réchauffement), surtout l'hiver; le plus optimiste est HadCM3. Étant donné tous les types de bâtiments à considérer dans toutes les régions, l'Agence de l'efficacité Énergétique a choisi d'utiliser un seul scénario (le médian) dans ses calculs de consommation d'énergie : CGCM3_A2-1. Le tableau suivant résume les changements de températures appliqués à chacune des régions.

Régions	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	An
Montréal	2,23	2,38	1,79	1,71	1,83	1,63	1,49	1,81	1,47	1,56	1,53	1,88	1,78
Mirabel	2,42	1,41	1,85	1,65	2,20	1,85	1,33	2,06	1,95	1,43	1,12	1,23	1,71
Ottawa	2,09	2,38	1,90	1,87	1,80	1,65	1,56	1,89	1,51	1,55	1,51	1,85	1,80
Québec	2,50	2,42	1,60	1,42	1,62	1,64	1,36	1,69	1,45	1,58	1,66	2,01	1,75
Sherbrooke	2,33	2,38	1,71	1,61	1,82	1,63	1,45	1,77	1,47	1,57	1,54	1,92	1,77
Roberval	2,64	2,47	1,56	1,30	1,42	1,65	1,27	1,63	1,45	1,59	1,78	2,13	1,74
Bagotville	2,91	1,70	1,53	1,28	1,72	1,74	1,38	1,92	2,05	1,58	1,32	1,30	1,70
Rivière-du-Loup Baie-Comeau	2,99	1,80	1,40	1,25	1,50	1,71	1,42	1,85	2,04	1,64	1,46	1,28	1,69
Mont-Joli	2,66	2,50	1,45	1,17	1,29	1,64	1,27	1,60	1,41	1,57	1,79	1,99	1,69
Sept-Îles	2,72	2,47	1,34	1,06	1,07	1,53	1,26	1,51	1,36	1,57	1,88	1,87	1,64
Schefferville	3,20	2,64	1,47	1,01	1,13	1,07	1,06	1,20	1,32	1,75	2,42	2,71	1,75
Nitchequon	3,18	2,70	1,49	1,18	1,07	1,39	1,17	1,40	1,41	1,74	2,06	2,32	1,76
Val d'Or	2,35	2,43	1,86	1,70	1,64	1,71	1,41	1,74	1,52	1,58	1,65	2,17	1,81
Ste-Agathe des Monts	2,44	1,37	1,82	1,60	2,22	1,84	1,33	2,05	1,97	1,42	1,09	1,21	1,70
Cap-aux-Meules	2,11	1,67	1,53	1,39	1,41	1,28	1,35	1,70	1,78	1,54	1,10	1,13	1,50
La Grande Rivière	6,01	2,64	2,10	1,86	1,17	1,27	1,23	1,52	2,08	1,87	1,76	3,18	2,22
Lake Eon	3,70	2,02	1,18	0,95	0,91	1,40	1,33	1,45	1,78	1,85	1,95	1,07	1,63
Kuujuarapik	6,60	2,82	2,13	2,03	1,09	1,10	1,19	1,27	2,00	1,96	2,04	4,00	2,35
Kuujuuaq	4,68	2,60	1,66	1,58	1,28	1,11	1,40	0,85	1,68	2,20	3,03	2,63	2,06

Tableau 2 : Changements des températures moyennes de la période 2010-2039 par rapport à 1961-90, pour les régions à l'étude avec le scénario médian.

En complément de cette analyse, le GIEC (2001) annonce que sur les portions terrestres des latitudes moyennes de l'hémisphère nord, la variabilité des températures augmentera l'été et diminuera l'hiver (plus de canicules, moins de froids intenses). La fréquence de ces extrêmes n'est pas encore quantifiée. Notez que la variabilité actuelle du climat est du même ordre de grandeur que le changement climatique anticipé pour l'horizon 2020. Par exemple, l'écart type autour des moyennes mensuelles pour la période 1971-2000 à Mont-Joli varie de 1,1 à 2,5°C (Env.Canada, 2005).

Les études analysées par le GIEC (2001) sont unanimes sur la diminution de l'écart diurne. En effet, dans les simulations et dans les données historiques du 20^e siècle, la température minimale (habituellement mesurée la nuit) augmente plus rapidement que la température maximale (le jour). Cette tendance est plus prononcée sur les continents et là où le couvert de neige/glace se retire (latitudes moyennes et élevées). En effet, les maximums augmentent moins rapidement aux endroits où la surface n'est pas sèche.

2.2 Humidité

Par souci de cohérence avec la température, c'est du modèle CGCM3_A2-1 qu'ont été tirés les changements moyens mensuels d'humidité relative pour le calcul des deltas.

La figure 3 illustre les résultats pour les régions à l'étude. Les résultats sont assez modestes et comparables entre les différents secteurs. Le changement sera très faible l'hiver (moins de 2%). L'augmentation la plus notable se présente l'été dans le sud du Québec (jusqu'à 7%).

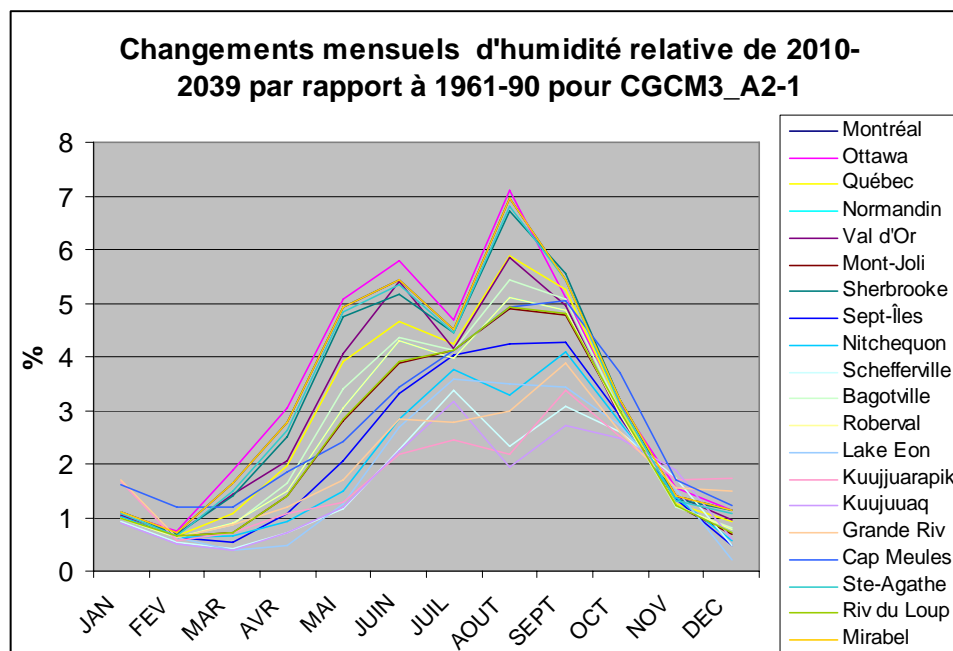


Figure 3: Changements mensuels de l'humidité relative dans différentes régions du Québec pour l'horizon 2010-2039, par rapport à 1961-90, tels que simulés par CGCM3_A2-1

L'humidité relative est un paramètre relié à la température et aux précipitations qui résultent elles-mêmes de processus complexes dans l'atmosphère. Les incertitudes et hypothèses entourant la paramétrisation de l'humidité dans les MCG font en sorte que cette variable est considérée moins fiable que la température. C'est ce qui explique pourquoi il y a très peu d'analyses sur l'humidité

dans la littérature. De plus, le modèle choisi (CGCM3), ne fournit pas directement l'humidité relative. Les sorties d'humidité spécifique ont dues être converties pour les rendre applicables aux fichiers CWEC (voir Annexe B). Cette étape a impliqué certaines approximations qui augmente davantage l'incertitude.

Considérant la part d'erreur, nous concluons que l'humidité relative au Québec sera peu affectée dans un futur rapproché. En fait, les autres MCG disponibles pour cette variable sont encore plus conservateurs sur le changement anticipé, comme l'illustre la figure 4.

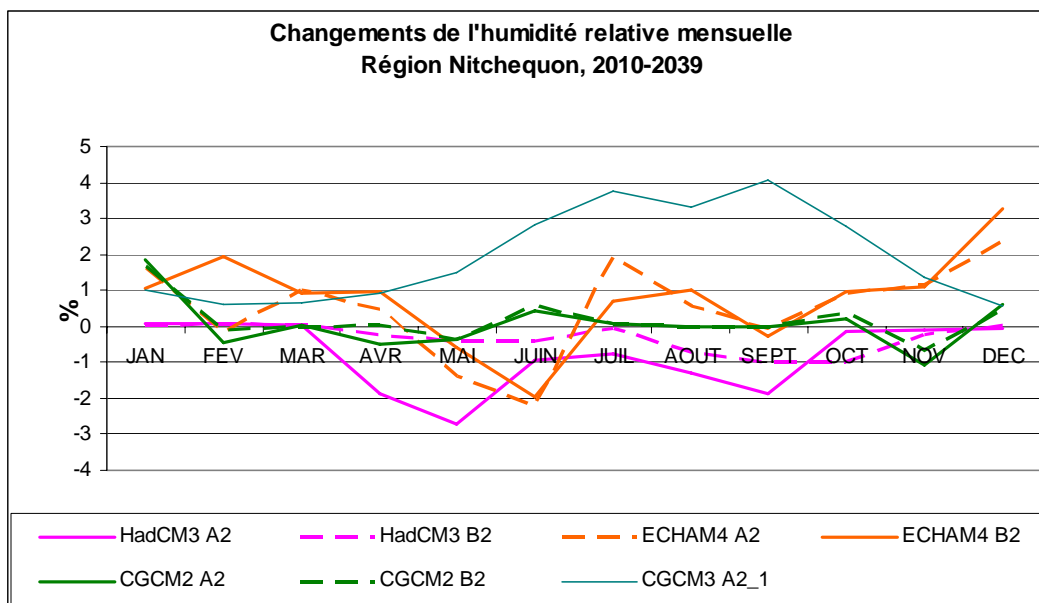


Figure 4: Changements mensuels de l'humidité relative à Nitchequon pour l'horizon 2010-2039, par rapport à 1961-90, tels que simulés par 7 modèles-scénarios.

La littérature existante va dans le même sens : on annonce une très légère augmentation des précipitations pour les années 2020. Cette eau aura tendance à s'évaporer davantage avec l'augmentation prévue de la température (Hall et Manabe, 1999). Comme l'air chaud peut contenir plus de vapeur d'eau, selon le principe de Clausius-Clapeyron, alors l'humidité absolue dans l'air augmentera. Par contre, l'humidité relative sera plutôt constante. En effet, le point de saturation est plus élevé dans l'air chaud (Held et Soden, 2000).

Considérant que les changements anticipés pour la période 2010-2039 sont assez faibles pour l'humidité relative et que l'incidence de ce paramètre dans le calcul de consommation d'énergie du bâtiment est moins importante que celle de la température, l'impact des incertitudes est réduit. De plus, l'augmentation d'humidité la plus significative se produirait l'été, alors que les besoins énergétiques sont marginaux durant cette saison par rapport à ceux d'hiver au Québec.

2.3 Nébulosité

La formation des nuages est un mécanisme complexe faisant intervenir plusieurs paramètres atmosphériques, à diverses altitudes et échelles spatiales. Les nuages font aussi intervenir des processus rétroactifs qui rend leur évolution difficile à prévoir (GIEC, 2001).

Sachant que la formation des nuages est conditionnée par l'humidité relative qui changera peu dans un horizon rapproché (voir section 2.2), il est raisonnable d'anticiper que la quantité de nuages ne

sera pas trop changée non plus. Toutefois, ce constat n'est peut-être pas valide à tous les niveaux de formation des nuages dans l'atmosphère.

Par ailleurs, pour la fin du 21^e siècle, Murphy et Mitchell (1995), Kharin and Zwiers (2000), de même que Brinkop (2001) tirent des modèles une intensification des épisodes convectifs (averses et orages issus de cumulonimbus) dans les régions continentales, l'été. Brinkop ajoute que les événements associés aux nuages de hauteur moyenne seront en décroissance par rapport à la période 1961-90. La somme de ces changements diminuerait la fréquence mais augmenterait la quantité des précipitations, selon Gregory et al. (1997). Dans cette logique, la résultante sur le futur couvert nuageux serait une réduction.

Cependant, la formation des nuages dépend également de la présence de noyaux de condensation/congélation, générés, entre autres, par la pollution anthropique. Étant donné que ces particules sont en progression, il est permis de supposer que la formation des nuages sera favorisée par la présence de ces fines poussières.

En somme, la projection des quantités et des types de nuages dans les MCG recèlent une grande incertitude (Mahlman 1998).

2.4 Densité

Les modèles climatiques actuels ne simulent pas directement ce paramètre. Mais, par déduction, puisque la densité dépend de la masse, celle de l'air diminuera si elle contient davantage d'eau dans le climat futur (l'air sec est plus lourd que l'air humide). La loi des gaz parfaits conduit à la même conclusion : la densité étant inversement proportionnelle à la température, si celle-ci augmente (à pression constante), la densité de l'air diminuera (Wallace et Hobbs, 1977), mais d'une quantité non estimée à ce jour.

2.5 Enthalpie

Cette variable n'est pas fournie directement par les modèles. Toutefois, il est très probable que l'enthalpie augmente dans le futur puisque l'effet de serre causé par les GES causera une augmentation de l'énergie dans le système terre-océan-atmosphère. Le forçage radiatif moyen créé par les GES avec le scénario d'émission A2 au milieu du 21^e siècle est estimé à environ 3 W/m² (GIEC, 2001). Ceci représente environ 1% de l'énergie incidente à la surface du sol. Donc une augmentation assez modeste de l'enthalpie pour les années 2020 est anticipée.

L'augmentation de l'enthalpie peut aussi être démontrée en considérant qu'elle est directement proportionnelle à la température et inversement dépendante de la densité de l'air (Wallace et Hobbs, 1977). Étant donné que la première augmentera et que la seconde diminuera, la résultante sera nécessairement en hausse.

2.6 Vent

Les changements de la circulation générale seront perceptibles seulement à l'horizon 2080 (GIEC, 2001). Toutefois Zwiers et Kharin (1998 et 2000) avancent que les latitudes moyennes connaîtront au milieu du 21^e siècle une modeste diminution des vents moyens en raison de la diminution du gradient de température entre les pôles et l'équateur. Pour les vents locaux, qui ne peuvent être caractérisés par les MCG, Carnell et Senior (1996 et 1998) déduisent une augmentation des événements violents, due au dégagement de chaleur latente contenue dans l'humidité (en hausse). Cette énergie favoriserait la formation de dépressions profondes (tempêtes l'hiver et pluies intenses l'été), au détriment des systèmes de faible intensité. Lambert (2001) a trouvé pour l'hémisphère

nord une diminution globale du nombre de dépressions, mais une augmentation de leur intensité. Ce qui laisse supposer que les vents à l'échelle locale et régionale seront plus forts lors du passage des cyclones, mais plus calmes le reste du temps (Knippertz et al., 2000).

Quant à la direction des vents, Lambert (2001) n'a pu déceler aucun changement dans les trajectoires des tempêtes, alors que Carnell et al. (1996) ont trouvé une dérive vers le nord pour le nord-est de l'Amérique.

2.7 Radiation solaire

Les premiers résultats des MCG montrent une faible augmentation (moins de 10 W/m²) du flux incident d'énergie à la surface de la terre l'été et l'automne, pour l'horizon 2010-2039. Ce constat suggère que les modèles simulent une diminution du couvert nuageux. Les résultats pour l'hiver et le printemps n'indiquent aucune différence significative par rapport au niveau actuel. Toutes les régions du Québec montrent la même tendance, et du même ordre de grandeur.

2.8 Température du sol

En toute logique, puisque la température de l'air augmente, celle du sol augmentera aussi, et ce pour toutes les régions étudiées dans ce rapport. Les résultats préliminaires des MCG montrent une hausse plus prononcée l'hiver et l'été par rapport au printemps et à l'automne.

Gregory et al. (1997), annoncent que les événements de pluie modérée seront moins fréquents. Par la hausse des températures et, conséquemment, de l'évaporation de l'eau dans le sol, une augmentation des sécheresses (fréquence et intensité) est anticipée pour les régions continentales. L'augmentation de la température du sol devient alors d'autant plus vraisemblable (Wetherald et Manabe, 1999).

2.9 Pression atmosphérique

La pression est une variable reliée à la masse de l'air. Comme il est attendu que cette dernière diminue (hausse de l'humidité absolue), une diminution de la pression au sol est prévue. C'est ce que les résultats préliminaires des MCG tendent à montrer. La baisse de pression se manifesterait davantage l'hiver et l'été, à cause de l'intensification des tempêtes, selon Sinclair et Watterson (1999). Les changements, quoique faibles, seraient plus évidents dans les régions nordiques. Les connaissances actuelles ne permettent pas de quantifier ce changement.

Conclusion

Les scénarios climatiques développés dans le cadre de cette étude proviennent de 6 réalisations construites à partir de trois MCG associés à deux scénarios d'émissions SRES pour la période 2010-2039. Les réalisations fournissent un spectre de futurs plausibles, parmi lesquels un futur médian a été sélectionné pour la température et l'humidité. Les changements moyens mensuels de ces 2 variables par rapport au climat actuel (1961-90) sont ajoutés aux données horaires mesurées à une vingtaine de stations météorologiques au Québec, sous la forme de fichiers CWEC.

Il apparaît que toutes les régions connaîtront un réchauffement plus important l'hiver. Le nord sera plus touché alors que les régions maritimes verront des changements plus modestes. Les modèles fournissent des réponses semblables l'été pour toutes les régions.

Les projections montrent peu de changements pour l'humidité relative dans un proche avenir, surtout dans les régions nordiques. L'été, dans le sud du Québec, une légère augmentation est anticipée (moins de 8%). Compte tenu de l'incertitude sur ce paramètre dans les modèles, il est plus prudent d'annoncer que l'humidité relative sera assez comparable au niveau actuel dans les années 2020.

Les autres paramètres utiles dans le simulateur énergétique du bâtiment de l'Agence de l'efficacité énergétique ne peuvent qu'être évalués qualitativement à partir de la littérature et des experts en climat:

- La nébulosité diminuera faiblement.
- La densité de l'air diminuera proportionnellement à l'augmentation de l'humidité absolue.
- L'enthalpie augmentera légèrement, en relation avec le surplus d'énergie retenue par les gaz à effet de serre et la hausse de la quantité de vapeur d'eau.
- L'intensité du vent moyen diminuera un peu ; lors du passage de dépressions, il sera plus intense. La direction des vents ne changera pas significativement dans un proche avenir.
- La radiation solaire augmentera l'été et l'automne de moins de 10 W/m².
- La température du sol augmentera, surtout aux endroits secs.
- La pression atmosphérique au sol diminuera en raison de la hausse de l'humidité de l'air. Les régions nordiques seraient plus touchées.

Références

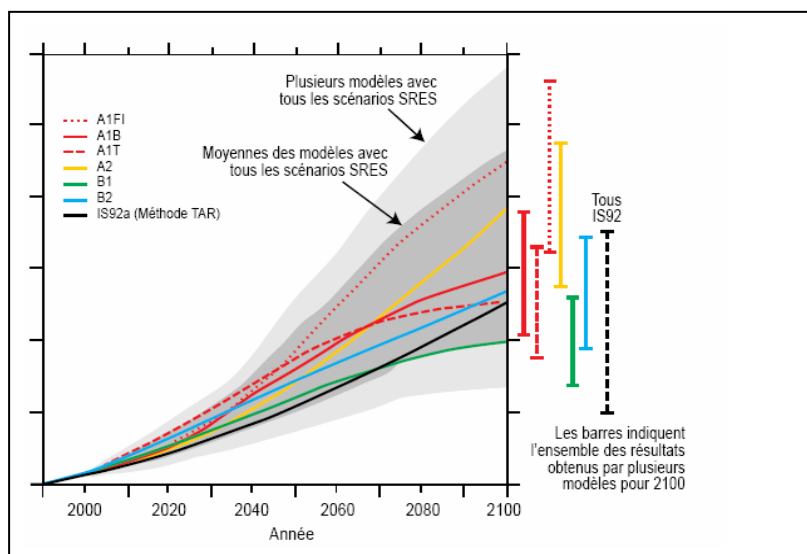
- Barrow, E., Maxwell, B. et Gachon, P. (Eds), 2004. La variabilité et le changement climatique au Canada: Le passé, le present et le future, DSCA Series d'évaluation scientifique no 2, Service météorologique du Canada, Environnement Canada, Toronto, Ontario, 114 p.
- Brinkop, S., 2001: Change of convective activity and extreme events in a transient climate change simulation, DLR-Institut fuer Physik der Atmosphaere, Report No. 142.
- Carnell, R.E. and C.A. Senior, 1998. Changes in mid-latitude variability due to increasing greenhouse gases and sulphate aerosols. *Clim. Dyn.*, 14, pp.369-383.
- Carnell, R.E., C.A. Senior et J.F.B. Mitchell, 1996: An assessment of measures of storminess: simulated changes in Northern Hemisphere winter due to increasing CO₂. *Clim. Dyn.*, 12, 467-476.
- Environment Canada – Atmospheric Environment Service and National Research Council of Canada, 2006. Canadian Weather Energy and Engineering Data Sets and Canadian Weather for Energy Calculations, Updated user's manual. Revised version. 10p.
- Environnement Canada, 2005, Archives climatiques nationales, Normales climatiques 1971-2000. <http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/index.html>
- 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. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, N.Y., É.-U., 881p.
- GIEC, 2000. Rapport spécial du Groupe de travail III, Scénarios d'émissions, Résumé à l'intention des décideurs. OMM, PNUE, Préparé par N.Nakicénovic, O.Davidson, G.Davis, A. Grubler, T. Emilio et al. 27p.
- Gregory, J.M., J.F.B. Mitchell et A.J. Brady, 1997: Summer drought in Northern midlatitudes in a time-dependent CO₂ climate experiment. *J. Climate*, 10, 662-686.
- Hall, A. and S. Manabe, 1999: The role of water vapor feedback in unperturbed climate variability and global warming. *J. Clim.*, 12, 2327-2346.
- Held, I.M. and B.J. Soden, 2000: Water vapor feedback and global warming. *Ann. Rev. Energy Env.*, 25, 441-475.
- Kharin, V. V., et F. W. Zwiers, 2000: Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulation with a coupled atmosphere-ocean GCM. *Journal of Climate*, vo.113, no.21, 3760-3788.
- Knippertz, P., U. Ulbrich et P. Speth, 2000: Changing cyclones and surface wind speeds over the North Atlantic and Europe in a transient GHG experiment. *Clim. Res.*, 15, 109-122.

- Lambert, S.J. and G.J. Boer, 2001: CMIP1 evaluation and intercomparison of coupled climate models. *Clim. Dyn.*, 17, 83-106.
- Mahlman, J.D., 1998, Science and nonscience concerning human caused climate warming. *Annu. Rev. Energy Environn*, vol. 23, pp.83-105.
- Murphy, J.M. and J.F.B. Mitchell, 1995: Transient response of the Hadley Centre coupled ocean-atmosphere model to increasing carbon dioxide. Part II: spatial and temporal structure of response. *J. Climate*, 8, 57-80.
- 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.
- 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.
- Sinclair, M.R. and I.G. Watterson, 1999: Objective assessment of extratropical weather systems in simulated climates. *J. Climate*, 12, 3467-3485.
- Wallace, J.M. et P.V. Hobbs, Atmospheric Science – An introductory survey. Academic Press, University of Washington, 1977. 467p.
- Wetherald, R. T. et S. Manabe, 1999: Detectability of summer dryness caused by greenhouse warming. *Climatic Change*, 43, 495-511.
- Zwiers, F.W. et V. V. Kharin, 1998: Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO2-doubling. *J. Climate*, vol.11, no.9, 2200-2222.

Annexe A Description des scénarios SRES utilisés

Source: GIEC, 2000

- La famille **A2** décrit un monde très hétérogène. Le thème sous-jacent est l'autosuffisance et la préservation des identités locales. Les schémas de fécondité entre régions convergent très lentement, avec pour résultat un accroissement continu de la population mondiale. Le développement économique a une orientation principalement régionale ; la croissance économique par habitant et l'évolution technologique sont plus fragmentées et plus lentes que dans les autres familles de scénarios.
- Les scénarios **B1** décrivent un monde convergent avec la population mondiale culminant au milieu du siècle et déclinant ensuite avec des changements rapides dans les structures économiques : vers une économie de services et d'information, avec des réductions dans l'intensité de consommation et l'introduction de technologies propres et environnementales, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.
- Le canevas **B2** décrit un monde où l'accent est mis sur des solutions locales pour l'économie, la société et l'environnement. La population mondiale s'accroît de manière continue mais à un rythme plus faible que dans A2 ; il y a des niveaux intermédiaires de développement économique et l'évolution technologique est moins rapide et plus diverse que dans la famille B1. Les scénarios sont également orientés vers la protection de l'environnement et l'équité sociale.



Source : Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques, Rapport du Groupe de travail I du GIEC

Évolution de la température moyenne mondiale pour les familles de scénarios SRES.

Annexe B Données météorologiques CWEC

Les fichiers de données météorologiques fournis par l'Agence de l'Efficacité Énergétique pour les différentes régions à l'étude sont générés par le Canadian Weather for Energy Calculations (CWEC), un organisme impliquant le Service d'Environnement Atmosphérique d'Environnement Canada, le Conseil de Recherche National du Canada et l'Université de Waterloo (Ontario).

Les fichiers CWEC rassemblent les données horaires d'une année type. Cette dernière est constituée à partir de séries historiques longues d'au moins 30 ans tirées de la 2^e moitié du 20^e siècle. Des critères statistiques servent à sélectionner les 12 mois les plus représentatifs de la moyenne de 30 ans. Une pondération spécifique a été appliquée aux variables servant à la comparaison comme le rayonnement solaire, les températures maximale et minimale, le point de rosée et la vitesse du vent. Les principales agglomérations canadiennes ont été ainsi caractérisées.

Ces fichiers « composites » ne contiennent aucune donnée manquante. Ils fournissent jusqu'à 21 paramètres météorologiques différents. Ils sont construits et standardisés dans un format convenant à diverses applications : transport, agriculture, qualité de l'air, design de structures, etc.

Dans la présente étude, les données de températures et d'humidité ont été extraites des fichiers CWEC. Les changements climatiques modélisés ont été additionnés à ces paramètres. Des fichiers en format FWT ont ensuite été constitués et expédiés à l'Agence de l'efficacité Énergétique pour convenir au logiciel HOT2000-BD qui simule la consommation d'énergie dans divers bâtiments.