



*Évolution des conditions climatiques au Québec
Développement d'un scénario climatique utilisé à des fins de
prévision de la demande d'électricité au Québec sur l'horizon 2030
Révision 2007*

OUR-126

Étude réalisée pour le compte de l'unité
Prévision de la demande et des Revenus
Direction Planification et efficacité
Hydro-Québec Distribution

Auteurs : **Diane Chaumont** (Ouranos)
Georges Desrochers (IREQ/Ouranos)

Collaborateurs: **Jean-François Angers**
Université de Montréal, Département de
mathématiques et de statistique
Anne Frigon
(Ouranos)
Gunther Pacher
IREQ/Ouranos
René Roy
Hydro-Québec/Ouranos

Représentants du client : **Alexandre Deslauriers**
Lise Lefebvre
Yves Nadeau
Normand Salman

Novembre 2007

Ouranos est un consortium de recherche sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques.
Les opinions et résultats présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité d'Ouranos et n'engagent ni ses membres,
ni ses partenaires.

Table des matières

INTRODUCTION	3
1. DESCRIPTION DES BESOINS.....	4
2. MÉTHODOLOGIE.....	4
2.1 Scénario d'évolution des températures.....	5
2.2 Détermination de l'année du changement de pente.....	8
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	9
3.1 Détermination de l'année du changement de pente.....	9
3.2 Calcul des taux de changement de températures.....	11
3.3 Normales climatiques	13
3.4 Analyse des observations	14
3.5 Comparaison avec les scénarios antérieurs	16
CONCLUSION	17
RÉFÉRENCES	18
GLOSSAIRE	19

Liste des figures

Figure 1 Comparaison de l'évolution des températures de surface observées à l'échelle continentale et globale et des résultats de simulation des modèles climatiques globaux utilisant les forçages naturels et anthropiques. Les moyennes décennales des observations sont présentées pour la période 1906-2005 (ligne noire) par rapport à la moyenne de 1901-1950 et positionnées au centre des décennies. Les lignes pointillées représentent une couverture spatiale inférieure à 50%. La zone bleue montre l'intervalle de 5-95% pour 19 simulations générées par cinq modèles de climat utilisant seulement le forçage naturel dû à l'activité solaire et volcanique. La zone rose montre l'intervalle de 5-95% de 58 simulations générées par 14 modèles de climat utilisant les forçages naturel et anthropique (tiré de GIEC, 2007).	5
Figure 2 Région de référence pour le calcul des anomalies (cadre noir) et maillage du CGCM3-T47 (lignes rouges).	7
Figure 3 Comparaison de l'évolution des températures de deux membres MRCC4.1.1-A2 et de leurs pilotes CGCM3-A2 (membres 4 et 5) sur la région de référence.....	8
Figure 4 Anomalies annuelles (par rapport à la période 1901-1970) des températures dans la région de référence pour les 39 simulations climatiques analysées. La médiane annuelle des simulations est tracée en noir.	9
Figure 5 Résultats sur l'optimisation de la détermination du début de changement de pente.....	10
Figure 6 Médiane annuelle des 39 simulations climatiques (en bleu) superposée aux droites de tendances (en vert). Hypothèse de stationnarité sur 1900-1970; régression des moindres carrés sur 1971-2040.....	11
Figure 7 Diagrammes à moustaches des taux d'augmentation mensuels à l'horizon 2030 pour les 39 simulations climatiques (°C par décennie), applicables à partir de l'année 1971. Le trait vert montre la médiane des deltas mensuels, les échancrures délimitent l'intervalle de confiance de la médiane à 95%, la croix bleue montre la moyenne des deltas mensuels. Les boîtes sont délimitées par les premiers et troisièmes quartiles, la longueur des segments vaut 1,5 fois l'écart interquartile ou les valeurs minimum et maximum. Les astérisques montrent les valeurs supérieures à 1,5 fois l'écart interquartile.....	13
Figure 8 Moyenne annuelle des températures à la station de Dorval et droite de régression sur la période 1971-2005.....	15
Figure 9 Anomalies annuelles par rapport à la période 1901-1970 (en bleu) des températures régionales moyennes de CRU. La droite de régression est tracée en vert (hypothèse de stationnarité sur 1900-1970; régression des moindres carrés sur 1971-2000).	15

Liste des tableaux

Tableau 1 Modèles de climat globaux et scénarios SRES utilisés	6
Tableau 2 Taux d'augmentation mensuel des températures à l'horizon 2030 (°C par décennie), applicable à partir de l'année 1971.	12
Tableau 3 Degrés-jours de chauffe et degrés-jours de climatisation observés et projetés selon trois méthodes de construction de scénarios climatiques.	16

Introduction

En 2007, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) publiait une mise à jour des analyses du système climatique. Ce quatrième rapport affirmait que le réchauffement global des températures est maintenant univoque tel que le démontre l'analyse des observations de températures de l'air et de l'océan, la fonte des neiges et des glaces et la hausse du niveau de la mer (GIEC, 2007). Il devient donc nécessaire d'adapter les systèmes de planification sur les horizons à long terme (ordre des décennies) pour lesquels le climat joue un rôle important. Du côté de la demande énergétique, les évidences de réchauffement des températures proposées par les modèles climatiques nous incitent à considérer ces changements dans les modèles de prévision de la demande énergétique. Un réchauffement des températures réduirait d'une part la demande de chauffage et augmenterait d'autre part la demande de climatisation. Ces changements affecteront sans conteste le profil et le volume de la demande énergétique au Québec dans les prochaines décennies (Lafrance et Desjarlais, 2006).

Le présent rapport fait suite à une collaboration entre Hydro-Québec Distribution et Ouranos, établie en 2004, qui vise à élaborer un scénario de réchauffement utile à la prévision de la demande d'électricité au Québec (Roy *et al.* 2004). L'avancement des connaissances et des outils de projection climatique tenant compte de l'évolution des gaz à effet de serre justifie la mise à jour de la méthode établie antérieurement.

En premier lieu, les objectifs et les besoins de la présente étude seront décrits. Par la suite, la méthodologie retenue pour construire le nouveau scénario climatique probable de l'évolution des températures est détaillée. Viennent ensuite les résultats obtenus en ce qui a trait à l'analyse des simulations et la construction du scénario probable. Finalement, une analyse des observations couvrant le dernier siècle est présentée.

1. DESCRIPTION DES BESOINS

Afin de répondre aux besoins de planification d'Hydro-Québec, l'unité Prévission de la demande et des revenus prévoit la demande d'électricité jusqu'à l'horizon 2030. La prévision de la demande d'électricité est effectuée à conditions climatiques normales et elle nécessite que l'on tienne compte du réchauffement climatique moyen. Pour ce faire, depuis l'année 2000, la prévision de la demande était basée sur la moyenne des conditions climatiques observées des années 1971-2000 ajustées d'un réchauffement des températures commençant à l'année 2001 (la période 1971-2000 étant considérée stationnaire). Dans cette optique, en 2004, Ouranos proposait à Hydro-Québec Distribution d'utiliser un réchauffement de températures découlant des écarts de températures projetés sur le sud du Québec par le modèle de circulation générale anglais de troisième génération HadCM3 alimenté par les scénarios de concentration de gaz à effet de serre A2 et B2.

Depuis 2004, de nouvelles études produites par la communauté scientifique ont permis de raffiner les connaissances en ce qui a trait au lien entre le réchauffement de la température et l'augmentation des concentrations de GES. Une mise à jour des hypothèses sur l'évolution des températures sur le sud du Québec était donc souhaitable afin de tenir compte des connaissances récemment acquises. L'analyse de l'évolution des températures est faite sur une base mensuelle puisque d'une part la demande énergétique varie mensuellement et d'autre part il est reconnu que l'évolution du climat montre aussi des différences selon les mois. Plus précisément, trois aspects de la méthodologie demandaient réflexion :

1. Déterminer le scénario le plus probable de l'évolution des températures mensuelles au Québec.
2. Recommander l'année à partir de laquelle le changement des températures, tel que projeté par les modèles climatiques, doit être appliqué.
3. Recommander la période de référence à considérer pour l'établissement des normales climatiques et de la variabilité naturelle du climat.

2. MÉTHODOLOGIE

Les progrès scientifiques dans le quatrième rapport du GIEC découlent d'un plus grand nombre de données, d'analyses plus sophistiquées et d'une amélioration de la compréhension des processus et de leur modélisation (GIEC, 2007). Ainsi, dans ce rapport, on déduit que les premières manifestations des changements climatiques associés aux activités humaines deviennent évidentes à partir du début des années 1970 pour l'Amérique du Nord. De plus, l'hypothèse d'un réchauffement linéaire semble plausible jusqu'à l'horizon 2030. Extraite de ce rapport, la figure 1 présente l'anomalie de température moyenne décennale observée (trait plein noir sur la figure) par rapport à la période 1901-1950. Cette figure permet également d'associer le réchauffement du climat observé à l'activité anthropogénique. En effet, les simulations climatiques ne reposant que sur des « forçages » naturels (enveloppe bleue) ne permettent pas de reconstituer adéquatement le climat observé au cours des dernières décennies. Si par contre les mêmes modèles de simulation climatique prennent en compte à la fois les « forçages » naturels et anthropogéniques, on arrive à bien reproduire le réchauffement des dernières décennies (enveloppe rose). Il est intéressant de noter que la tendance des observations est généralement située à l'intérieur de l'enveloppe des simulations, ce qui témoigne de l'aptitude des modèles à reproduire le climat récent observé.

Global and Continental Temperature Change

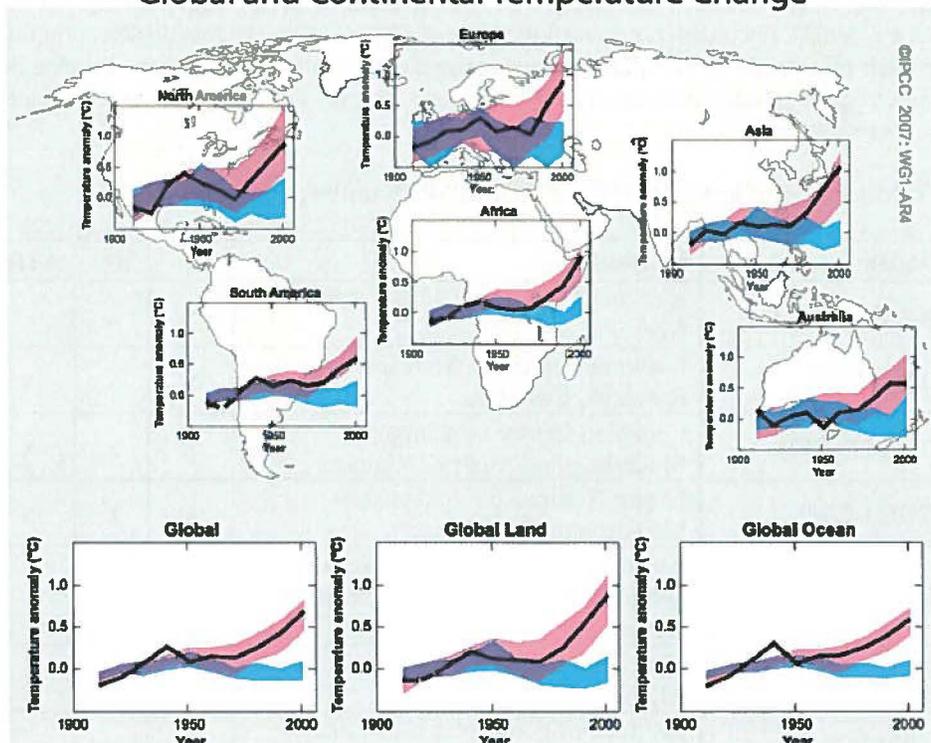


Figure 1 Comparaison de l'évolution des températures de surface observées à l'échelle continentale et globale et des résultats de simulation des modèles climatiques globaux utilisant les forçages naturels et anthropiques. Les moyennes décennales des observations sont présentées pour la période 1906-2005 (ligne noire) par rapport à la moyenne de 1901-1950 et positionnées au centre des décennies. Les lignes pointillées représentent une couverture spatiale inférieure à 50%. La zone bleue montre l'intervalle de 5-95% pour 19 simulations générées par cinq modèles de climat utilisant seulement le forçage naturel dû à l'activité solaire et volcanique. La zone rose montre l'intervalle de 5-95% de 58 simulations générées par 14 modèles de climat utilisant les forçages naturel et anthropique (tiré de GIEC, 2007).

2.1 Scénario d'évolution des températures

À la lumière de ces résultats, la démarche pour le présent projet consistait à réaliser une analyse semblable des températures moyennes dans le sud du Québec à partir des modèles climatiques globaux (MCGs) alimentés par les scénarios de GES et d'aérosols (SRES) A2, B1 et A1B (Nakinocevic *et al.* 2000). L'utilisation d'un maximum de MCGs constituait le meilleur estimateur de l'évolution de la température moyenne. Ainsi, pour sélectionner les MCGs de la présente étude, nous avons considéré les données de projections de températures de tous les MCGs rendues accessibles à la communauté scientifique par le projet PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) et cautionnées par le GIEC. Les centres de modélisation du climat réalisent également des simulations climatiques où seules les conditions initiales diffèrent (alors que le MCG et le SRES demeurent identiques). Or, certains centres ont fourni les projections de

températures pour un seul membre alors que dans d'autres cas, jusqu'à neuf membres pour un MCG et un même SRES ont été distribués. Dans le but de maintenir une représentation équitable des MCGs, il a été décidé de considérer un seul membre par MCG. Ces critères de sélection nous ont amené à retenir un total de 39 simulations pour construire le scénario climatique. La liste des modèles climatiques globaux retenus de même que les scénarios de GES et d'aérosols associés sont présentés dans le tableau 1

Tableau 1 Modèles de climat globaux et scénarios SRES utilisés

Modèle	Institution	A2	B1	A1B
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research, Norvège	x	x	
CCSM3	National Center for Atmospheric Research, États-Unis	x	x	x
CGCM3 (T47)	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada	x	x	x
CNRM-CM3	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	x	x	x
CSIRO-Mk3.0	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australie	x	x	
ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology, Allemagne	x	x	x
FGOALS-g1.0	Institute of Atmospheric Physics, Chine	x	x	
GFDL-CM2.0	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, États-Unis	x	x	x
GFDL-CM2.1	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, États-Unis	x	x	x
GISS-AOM	Goddard Institute for Space Studies, États-Unis		x	x
INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics, Russie		x	x
IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace, France	x		
MIROC3.2 (hires)	National Institute for Environmental Studies, Japon		x	x
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute, Japon	x	x	x
PCM	National Centre for Atmospheric Research, États-Unis	x		x
UKMO-HadCM3	UK Met. Office, Angleterre		x	
UKMO-HadGEM1	UK Met. Office, Angleterre	x		x

(Source des données : http://www.mad.zmaw.de/IPCC_DDC/html/SRES_AR4/index.html)

Bien que les trois SRES ne soient pas disponibles pour tous les MCGs, une représentation équitable de chacun des scénarios d'émissions est présente : 13 A2, 14 B1 et 12 A1B.

Les MCGs étant de résolutions différentes, une région de référence couvrant le sud du Québec a été définie (figure 2). La région s'étend en latitude de 43.95 à 48.45°N alors qu'en longitude elle couvre le territoire entre 69.2 et 79.2°W. La région a été délimitée ainsi dans le but de couvrir plus d'une maille de MCGs tout en évitant les mailles océaniques. Les valeurs de températures simulées sont pondérées par rapport à la surface de la maille couvrant la région de référence.

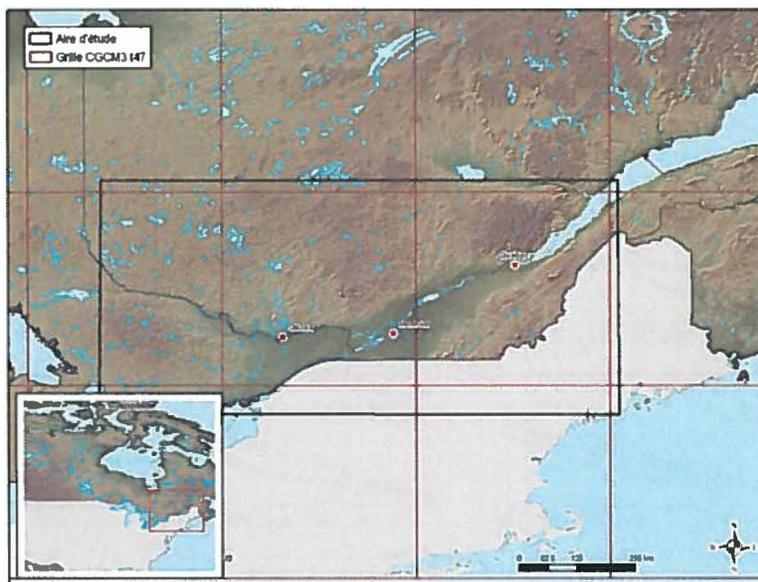


Figure 2 Région de référence pour le calcul des anomalies (cadre noir) et maillage du CGCM3-T47 (lignes rouges).

Le Consortium Ouranos a contribué au développement du Modèle régional canadien du climat (MRCC; Caya et Laprise, 1999). Les Modèles régionaux de climat (MRCs), basés sur les principes physiques de conservation de l'énergie, de la masse et du mouvement, génèrent des séries temporelles de variables physiquement cohérentes entre elles; cette approche est communément désignée par mise à l'échelle dynamique (par opposition à la mise à l'échelle statistique). Développés sur les mêmes principes physiques que les MCGs, les MRCs se concentrent sur une région du globe, ce qui leur permet de produire des simulations à plus haute résolution (i.e., de l'ordre de 45 km de résolution par rapport aux MCGs qui ont quelques centaines de km de résolution). De façon générale, la majorité des études d'impact à Ouranos sont effectuées sur l'horizon 2050 (i.e., la période 2041-2070). Nous avons cependant produit quelques simulations régionales en continu de 1961 à 2100 et deux d'entre elles étaient disponibles au moment de préparer cette étude. Ces deux simulations ont été effectuées avec le MRCC_v4.1.1 (Music et Caya, 2007; Plummer et al. 2006) à une résolution horizontale de 45 km, sur un domaine régional centré sur le Québec et couvrant environ 5050 km par 4000 km (domaine dénommé QC); ces simulations régionales ont été pilotées à leurs frontières par les membres 4 et 5 du modèle CGCM3 (Scinocca et McFarlane, 2004), suivant le scénario SRES A2.

Les projections de température obtenues par MRCC_v4.1.1 et par CGCM3 (i.e., son pilote) sur la région de référence sont présentées à la figure 3 et montrent que le modèle régional suit généralement le comportement de son pilote. Ceci s'explique par la faible sensibilité spatiale de la température mensuelle moyenne sur cette région. Ainsi, pour les besoins de cette étude, la

résolution plus grossière du MCG semble suffisante, mais il en serait autrement pour des échelles temporelles plus fines, pour des variables telles que la précipitation, pour l'analyse d'extrêmes, pour des régions plus accidentées, etc.

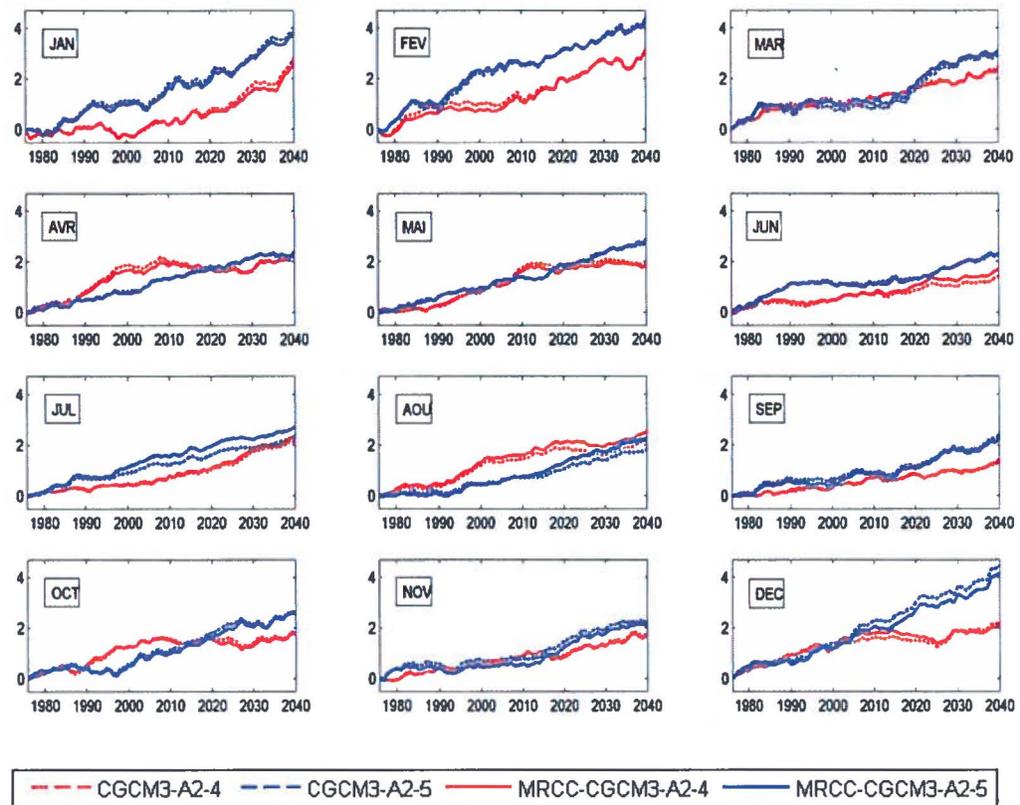


Figure 3 Comparaison de l'évolution des températures de deux membres MRCC4.1.1-A2 et de leurs pilotes CGCM3-A2 (membres 4 et 5) sur la région de référence.

2.2 Détermination de l'année du changement de pente

Bien que, sur le plan de la science du climat, la détermination précise du début des changements climatiques soit impossible, il a été nécessaire de fixer le point de rupture de l'évolution des températures pour la présente étude. La détermination du point de rupture a été fixée en premier lieu à partir d'une analyse visuelle des simulations climatiques de l'ensemble de 39 simulations de MCGs. Par la suite, une optimisation basée sur un critère statistique a été effectuée. Deux droites de régression ont été posées sur la médiane des séries temporelles de températures annuelles simulées, la première étant de tendance nulle (i.e., partie stationnaire) alors que la seconde comporte une pente associée au début du réchauffement climatique. Le R^2 des deux droites est calculé sur la médiane des températures annuelles simulées. En déplaçant le point de rupture sur chacune des

années de 1960 à 2000, on détermine l'année du changement de pente lorsque le R^2 maximum est atteint (la statistique R^2 représente la portion de variation expliquée par la régression).

3. Résultats et discussion

3.1 Détermination de l'année du changement de pente

La figure 4 présente l'évolution des températures annuelles des 39 simulations listées dans le tableau 1 desquelles on a soustrait la moyenne climatique calculée sur la période 1901-1970. La médiane annuelle des simulations est tracée en noir. Nous pouvons discerner visuellement que la courbe de la médiane demeure stationnaire jusqu'au début des années 1970 pour augmenter selon une pente linéaire par la suite. La variabilité naturelle du climat rend imperceptible la détection de ce signal lorsque l'on considère une seule simulation. Pour la même raison, la détermination du point de rupture ne peut reposer uniquement sur les observations aux stations.

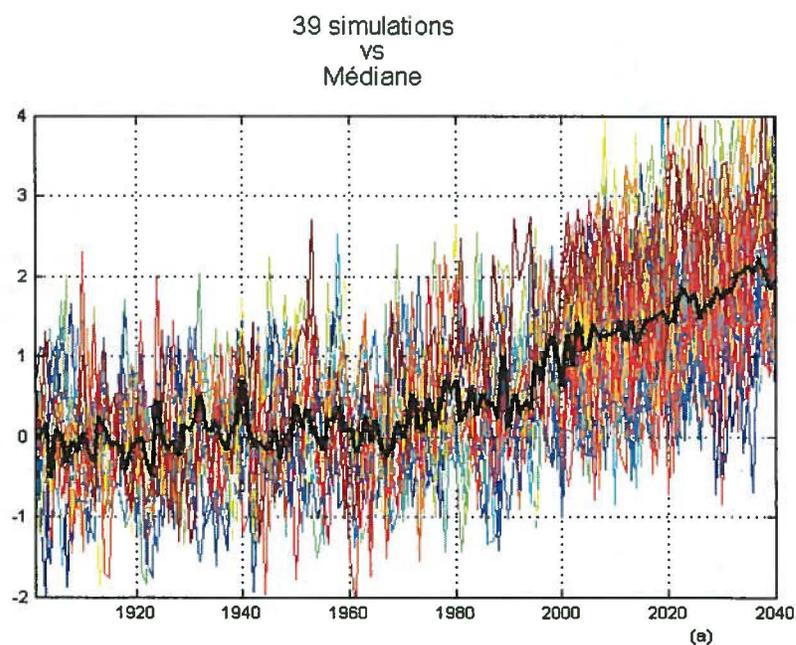


Figure 4 Anomalies annuelles (par rapport à la période 1901-1970) des températures dans la région de référence pour les 39 simulations climatiques analysées. La médiane annuelle des simulations est tracée en noir.

Bien que visuellement le changement d'un régime stationnaire à un régime linéaire croissant semble se situer vers les années 1970, nous avons effectué une optimisation dans le but d'obtenir une valeur plus robuste du moment du changement de régime. Pour chaque année *an* débutant en 1960 et se terminant en 2000, nous avons déterminé une droite de régression horizontale sur l'intervalle [1901,

$an]$ et une autre droite de régression sur l'intervalle $[an+1, 2040]$. On détermine l'année an du changement de pente lorsque le R^2 maximum est atteint (la statistique R^2 représente la portion de variation expliquée par la régression). La figure 5 reproduit les valeurs de R^2 de la régression pour chaque année. Nous pouvons constater que les valeurs maximales se situent dans l'intervalle [1966, 1971]. L'optimisation appuie donc l'hypothèse préalable de changement de pente aux alentours de 1970.

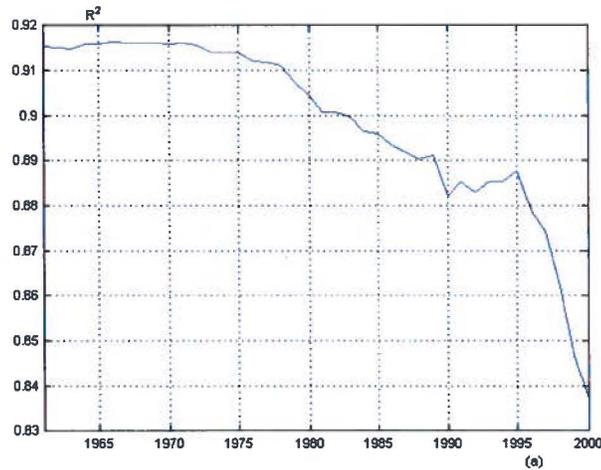


Figure 5 Résultats sur l'optimisation de la détermination du début de changement de pente.

La figure 6 présente la médiane des 39 simulations climatiques sur laquelle sont superposées les deux droites de régression posant comme hypothèse une stationnarité des températures sur la période 1900-1970 et un régime linéaire croissant sur la période de 1971 à 2040. Visuellement, les hypothèses posées apparaissent adéquates.

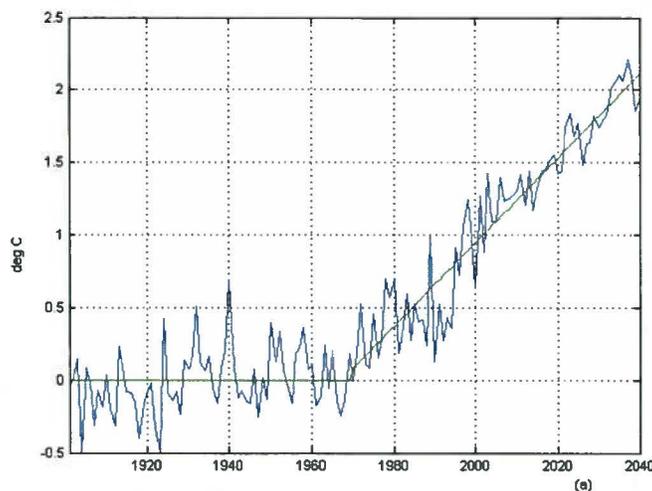


Figure 6 Médiane annuelle des 39 simulations climatiques (en bleu) superposée aux droites de tendances (en vert). Hypothèse de stationnarité sur 1900-1970; régression des moindres carrés sur 1971-2040.

3.2 Calcul des taux de changement de températures

Tel que mentionné précédemment, un des objectifs de l'étude est de construire un scénario probable d'évolution des températures jusqu'à l'horizon 2030. Toutefois, afin d'assurer une projection temporelle plus cohérente, nous avons analysé les projections climatiques jusqu'en 2040. Avant 2040, nous trouvons que l'évolution des températures annuelles de la région de référence n'est pas différenciée par le scénario d'émissions de GES et aérosols, ainsi, toutes les simulations sont confondues et un poids égal leur est attribué. Les scénarios d'émissions étant présents dans des proportions semblables (tableau 1), ce choix est d'autant plus justifié.

Alors que la détermination du point de rupture est basée sur les tendances annuelles, la construction des scénarios d'évolution de température (pente de changement) est faite sur une base mensuelle. Bien que l'évolution de certains mois soit peu différenciée, il nous apparaît important d'établir ces évolutions selon les mois de l'année, notamment en raison de différences significatives entre les mois d'hiver et le reste de l'année.

Pour chacun des 12 mois de l'année et pour chacune des 39 simulations couvrant la période 1901-2040, une série temporelle de températures est formée. Cette série est ensuite corrigée en soustrayant la moyenne de température sur l'intervalle 1901-1970 (période stationnaire) calculée pour le mois considéré. Nous obtenons donc une série correspondant à l'anomalie (par rapport à la moyenne 1901-1970) sur l'intervalle 1901-2040 de chacun des 12 mois pour les 39 simulations. La série de changement de température retenue pour un mois donné est obtenue à partir de la médiane des 39 séries d'écart de températures par rapport à la moyenne 1901-1970.

Usuellement, le changement de température à l'horizon 2030 est obtenu en calculant la moyenne de l'anomalie dans l'intervalle [2016 2045] de la médiane d'un ensemble de simulations (ex. Roy et *al.* 2004, Chaumont, 2005). Nous avons plutôt utilisé une technique similaire au calcul du changement de pente décrite plus haut. Pour cela, nous avons calculé la droite de régression des moindres carrés sur la médiane dans l'intervalle 1971-2040. Le changement de température à l'horizon 2030 est alors défini comme la valeur de la droite de régression à l'année 2030. Cette technique de calcul utilise pleinement l'hypothèse de linéarité sur l'intervalle 1971-2040. Dans cet exercice, la borne supérieure ne peut pas être augmentée au-delà de l'année 2040 car les 39 simulations sont composées de trois scénarios d'émissions de GES qui produisent une tendance différente au delà de 2040.

Selon la méthode décrite précédemment, nos calculs permettent d'établir le taux d'augmentation mensuel des températures à l'horizon 2030, applicable à partir de 1971. Ces taux, exprimés en °C par décennie, sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 Taux d'augmentation mensuel des températures à l'horizon 2030 (°C par décennie), applicable à partir de l'année 1971.

Mois	Taux d'augmentation des températures (°C par décennie)
Janvier	0,45
Février	0,36
Mars	0,27
Avril	0,28
Mai	0,26
Juin	0,23
Juillet	0,26
Août	0,27
Septembre	0,28
Octobre	0,25
Novembre	0,28
Décembre	0,39

Afin de connaître la dispersion mensuelle des températures projetées par chacun des MCGs, nous avons calculé la droite de régression sur chacune des 39 simulations individuellement. Ceci nous permet d'estimer les incertitudes dans les pentes calculées sur une base mensuelle. Les diagrammes à moustaches mensuels présentés dans la figure 7 permettent d'illustrer les taux d'augmentation mensuels des températures et leur écart interquartile. On remarque une saisonnalité dans les pentes calculées, les valeurs des mois de décembre et janvier étant plus élevées alors que les 10 autres mois sont regroupés. Sur le plan de la dispersion des résultats à l'intérieur des mois, on note en général une plus grande dispersion durant l'hiver. Des valeurs très éloignées de l'ensemble ressortent pour les mois de février et mars, période de changement de saison et de fonte de la couverture neigeuse.

Variabilité mensuelle du taux d'augmentation
des 39 simulations

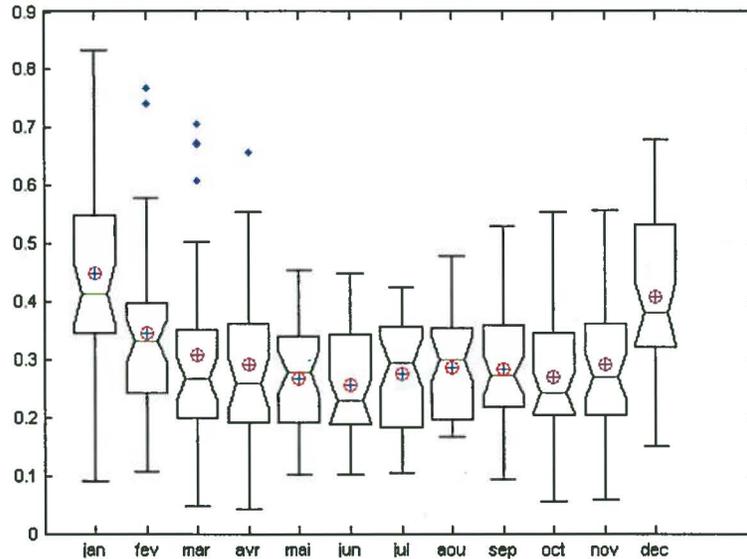


Figure 7 Diagrammes à moustaches des taux d'augmentation mensuels à l'horizon 2030 pour les 39 simulations climatiques (°C par décennie), applicables à partir de l'année 1971. Le trait vert montre la médiane des deltas mensuels, les échancrures délimitent l'intervalle de confiance de la médiane à 95%, la croix bleue montre la moyenne des deltas mensuels. Les boîtes sont délimitées par les premiers et troisièmes quartiles, la longueur des segments vaut 1,5 fois l'écart interquartile ou les valeurs minimum et maximum. Les astérisques montrent les valeurs supérieures à 1,5 fois l'écart interquartile.

3.3 Normales climatiques

Depuis l'année 2000, l'unité de Prévion de la demande et des Revenus d'Hydro-Québec Distribution basait sa prévision sur les conditions climatiques observées de la période 1971-2000. Puisqu'il est préférable de mettre en valeur le maximum d'informations climatologiques, il a été décidé de tenir compte de l'ensemble des observations de température de la période 1971-2006. Toutefois, tel que mentionné précédemment, le GIEC montrait dans son 4^{ième} rapport que le climat en Amérique du Nord ne pouvait être considéré stationnaire sur l'ensemble de cette période (figure 1). Pour le sud du Québec, le point de rupture a été fixé à 1971 sur la base des résultats décrits précédemment à la rubrique 3.1. Ainsi, l'établissement de la normale climatique d'une année donnée est obtenu en prenant les conditions climatiques observées de la période 1971-2006 auxquelles le réchauffement causé par les émissions anthropiques de GES est appliqué à partir de 1971. Pour ce faire, le scénario médian de l'évolution des températures sert de facteur de correction.

3.4 Analyse des observations

Afin de s'assurer que les décisions prises sur le point de rupture soient cohérentes avec les données observées, une analyse a été réalisée sur deux produits climatiques du climat observé. La première analyse porte sur les observations quotidiennes de températures moyennes à la station de Dorval (mesurées et archivées par Environnement Canada) alors que la seconde repose sur les données de températures mensuelles interpolées sur une grille (0,5x0,5° global latitude-longitude) par le CRU (Climatic Research Unit; Mitchell et Jones, 2005, version TS 2.1).

La figure 8 met en graphique la série annuelle de la température observée à la station Dorval ainsi que la droite de régression calculée sur la fenêtre 1971-2005. Puisque les observations de la station de Dorval ne couvrent pas toute la période utilisée comme référence pour le calcul des anomalies des MCGs, l'analyse des données de la station est faite sur les moyennes annuelles et non sur les anomalies. La pente de la droite de régression des observations est de 0,46°C par décennie ce qui est de beaucoup supérieur à la pente de 0,29°C par décennie obtenue par l'analyse de la médiane des 39 simulations climatiques. Ceci peut s'expliquer par un ensemble de facteurs. Mentionnons entre autres 1) le fait que la régression est calculée uniquement sur la fenêtre [1971, 2005] pour la station Dorval (par rapport à [1971, 2040] avec les MCGs), 2) les observations aux stations contiennent une représentation plus locale du climat (comparativement aux MCGs) et 3) le climat étant naturellement variable dans le temps, la séquence temporelle des données observées représentent une seule réalisation climatique ce qui n'est pas le cas avec un ensemble de simulations. Il est intéressant de noter que l'hypothèse du point de rupture dans l'évolution des températures semble adéquate, soit autour de 1970.

Bien que toujours empreintes de la variabilité temporelle du climat, les observations interpolées régionalement par le CRU à partir d'un ensemble de stations offrent la possibilité d'éliminer les effets locaux. Ces données sont aussi riches de par la longue période couverte (1900-2000). Une analyse des données de la température moyenne (i.e., $(t_{\min}+t_{\max})/2$) sur la région de référence retenue pour la construction du scénario climatique (voir fig. 2) est présentée. La figure 9 superpose les anomalies de températures annuelles du CRU avec les droites de régression reposant sur l'hypothèse d'une stationnarité de 1900 à 1970 et une tendance linéaire de 1971 à 2000. La pente estimée sur la seconde période est de 0,32°C par décennie, ce qui se rapproche de la valeur basée sur les 39 simulations climatiques (i.e., 0,29°C par décennie). La série plus longue permet de constater la tendance à la baisse des températures observées sur les décennies 1950-1970.

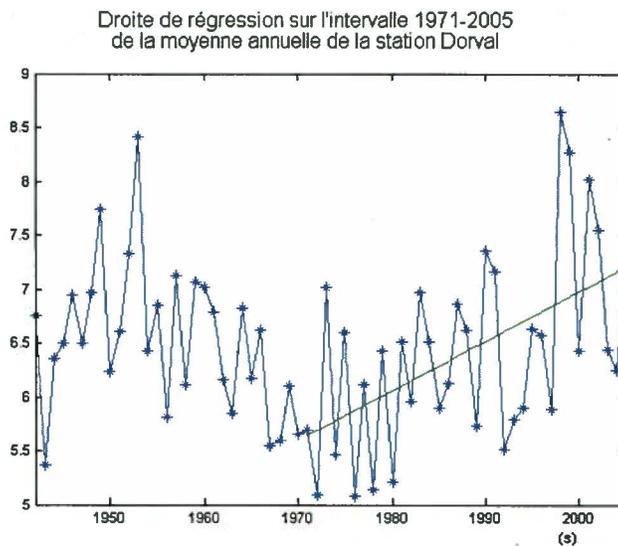


Figure 8 Moyenne annuelle des températures à la station de Dorval et droite de régression sur la période 1971-2005.

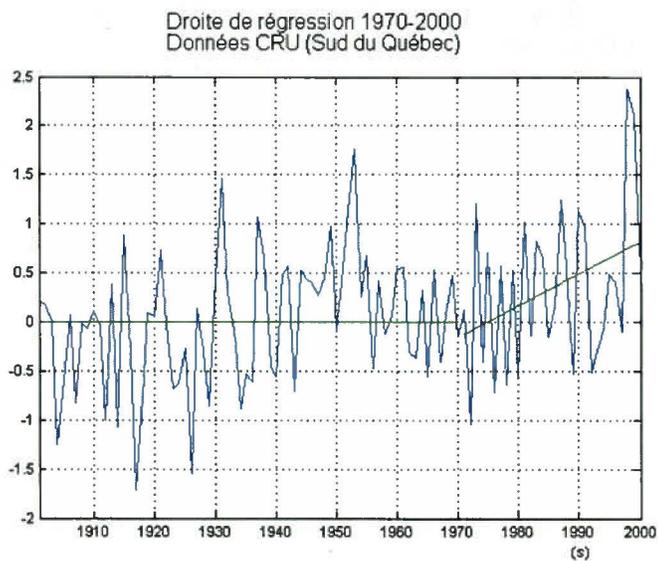


Figure 9 Anomalies annuelles par rapport à la période 1901-1970 (en bleu) des températures régionales moyennes de CRU. La droite de régression est tracée en vert (hypothèse de stationnarité sur 1900-1970; régression des moindres carrés sur 1971-2000).

3.5 Comparaison avec les scénarios antérieurs

Depuis 2004, le consortium Ouranos a réalisé trois scénarios climatiques servant de base à l'analyse de l'évolution de la demande énergétique au Québec : 1) Roy *et al.* (2004) réalisaient un premier scénario pour Hydro-Québec Distribution dont l'objectif est de prévoir la demande d'électricité, 2) Chaumont (2005) proposait des scénarios d'évolution des températures servant d'intrant à l'évaluation de la demande énergétique future (pétrole, gaz naturel et électricité) réalisée par Lafrance et Desjarlais (2006) et 3) le présent exercice a pour but de mettre à jour le scénario de prévision de la demande d'électricité proposé en 2004. Vu l'avancement des connaissances dans l'évolution du climat, l'amélioration des outils de simulation climatique et le nombre croissant de simulations climatiques disponibles, les trois scénarios élaborés diffèrent et il importe de comparer des indicateurs issus de chacun des scénarios. Les degrés-jours de chauffage et de climatisation projetés sur l'horizon 2030 par chacun des scénarios sont présentés dans le tableau 3 pour Montréal et Québec. Pour les deux indicateurs (degrés-jours de chauffage et degrés-jours de climatisation), le scénario proposé aujourd'hui se situe entre les deux scénarios précédents : le scénario développé en 2004 est plus frais que l'actuel alors que celui de 2005 est plus chaud.

Tableau 3 Degrés-jours de chauffe et degrés-jours de climatisation observés et projetés selon trois méthodes de construction de scénarios climatiques.

<i>Horizon</i>		Degrés-jours <18°C		Degrés-jours >22°C	
		<i>Montréal</i>	<i>Québec</i>	<i>Montréal</i>	<i>Québec</i>
1961-1990	Observé	4555	5175	46	17
2030	Méthode 2007	4075 (-10,5) ²	4692 (-9,3)	91 (97,8)	38 (123,5)
	Roy <i>et al.</i> 2004	4229 (-7,2)	4839 (-6,5)	81 (76,1)	34 (100,0)
	Chaumont 2005 ¹	4014 (-11,9)	4600 (-11,1)	120 (160,9)	51 (200,0)

- 1 Les degrés-jours sont calculés sur la base du scénario médian proposé dans Chaumont (2005).
- 2 Les changements en % par rapport à 1961-1990 sont donnés entre parenthèses.

Conclusion

Rappelons les trois objectifs de l'étude :

1. Déterminer le scénario le plus probable de l'évolution des températures mensuelles au Québec.
2. Recommander l'année à partir de laquelle le changement des températures, tel que projeté par les modèles climatiques, doit être appliqué.
3. Recommander la période de référence à considérer pour l'établissement des normales climatiques et de la variabilité naturelle du climat

L'analyse régionale de 39 simulations de modèles climatiques globaux (MCGs) nous a permis de répondre aux deux premiers objectifs. Ces résultats permettent par la suite de mettre à profit l'ensemble des données de demande électrique que possède l'unité Prévission de la demande et des Revenus d'Hydro-Québec. Les recommandations sont les suivantes :

1. Utiliser les pentes mensuelles de réchauffement de températures du tableau 2.
2. Le réchauffement des températures doit être appliqué à partir de 1971
3. Utiliser la période de référence 1971-2006 pour l'établissement de la normale climatique

Bien que ces recommandations ne puissent reposer seulement sur la tendance des températures observées, l'analyse de ces dernières supporte les recommandations.

Des améliorations par rapport à la procédure recommandée en 2004 ont été réalisées : 1) un plus grand ensemble de simulations climatiques a été retenu pour la construction du scénario fourni ici ce qui rend l'exercice plus robuste, 2) le point de rupture recommandé passe de 2001 à 1971 et 3) la période de référence climatique retenue valorise au maximum l'information climatologique notamment sur la variabilité naturelle du climat.

Les pentes fournies dans le présent exercice diffèrent selon le mois. Toutefois, les pentes étant regroupées en deux groupes distincts, il pourrait être profitable de considérer une division en deux saisons dans un prochain exercice. Ce regroupement est cohérent avec la physique du climat et est étroitement lié aux processus de surface. Pour la variable qui nous intéresse plus particulièrement, l'existence du lien étroit entre la température de l'air et le changement du couvert de neige est bien connue (à travers la rétroaction neige-albédo). De plus, vu la sensibilité du profil horaire prévu de la demande à la variabilité naturelle du climat, il serait pertinent, dans une prochaine étape, d'apprécier l'évolution possible des variations inter et intra-annuelles du climat.

Références

- Caya, D. et R. Laprise (1999). A semi-implicit semi-lagrangian regional climate model: The Canadian RCM, *Mon. Wea. Rev.*, 127(3), 341-362.
- Chaumont, D. (2005). Développement de scénarios climatiques à des fins de prévision de la demande énergétique au Québec pour les besoins de chauffage et de climatisation, Rapport Ouranos (Our05-102), 18 p.
- GIEC (2007). Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 18 p.
- Lafrance, G. et C. Desjarlais (2006). Impact socio-économique du changement climatique, la demande d'énergie, Rapport de recherche, 79 p.
- Mitchell T. D. and P. D. Jones (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology* 25, 693-712.
- Music, B. et D. Caya (2007). Music, B., et Caya, D. (2007). Evaluation of the Hydrological Cycle over the Mississippi River Basin as Simulated by the Canadian RCM (CRCM). *J. Hydrometeo.*, In Press
- 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.
- Plummer, D.A., D. Caya, A. Frigon, H. Côté, M. Giguère, D. Paquin, S. Biner, R. Harvey, and R. de Elia, (2006). Climate and Climate Change over North America as Simulated by the Canadian RCM. *J. Clim.*, vol.19(13), 3112-3132.
- 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 Ouranos, 81 pp.
- Scinocca, J. F., et McFarlane, N. A. (2004). The Variability of Modeled Tropical Precipitation. *J. Atmos. Sc.*, 61(16), 1993-2015

Glossaire

CRU Climate Research Unit

GES Gaz à effet de serre

GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

MCG Modèle de climat global

MRC Modèle régional de climat

PCMDI Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison

SRES Special Report on Emissions Scenarios

