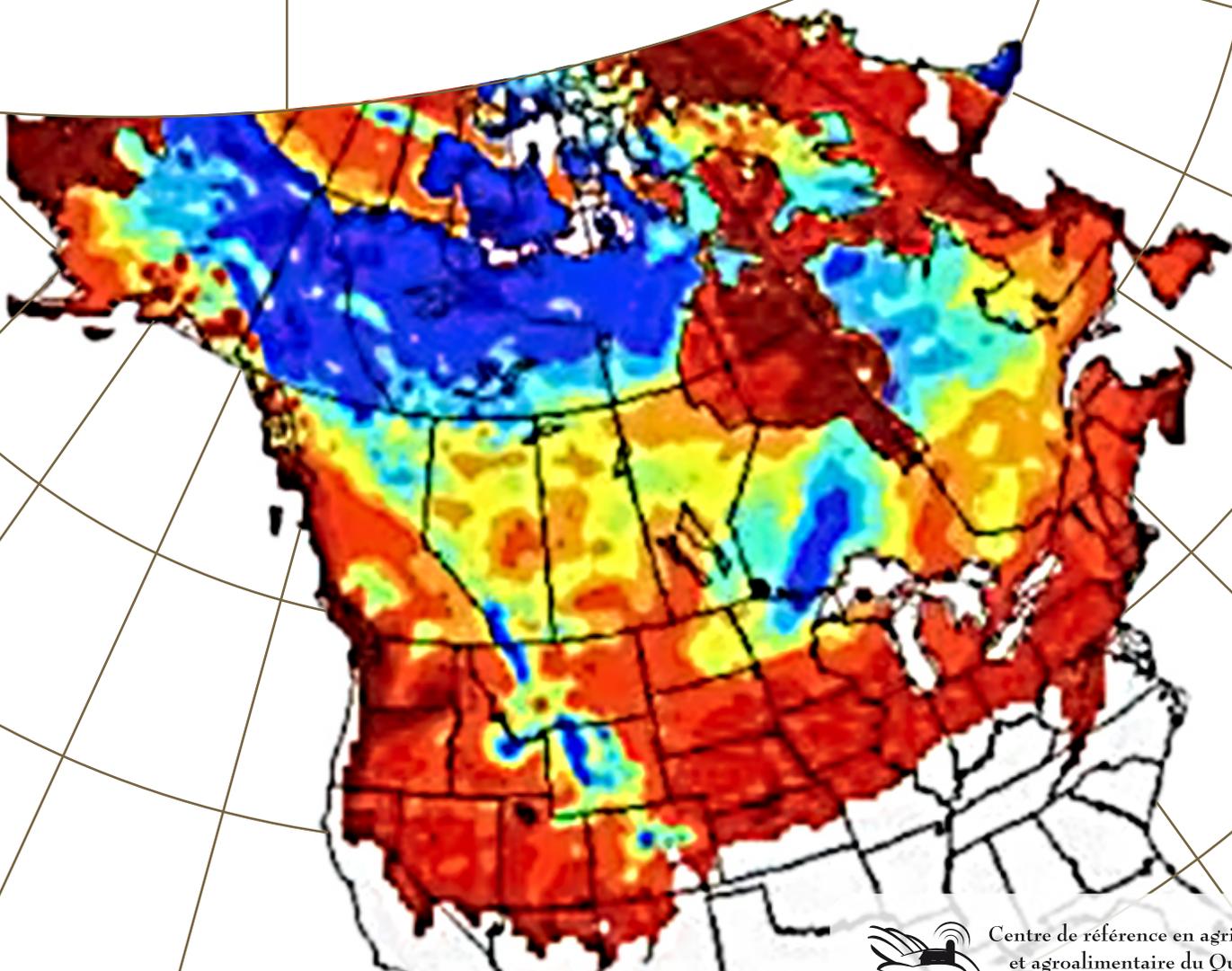


# Interprétation des scénarios de changements climatiques

afin d'améliorer la gestion des risques pour l'agriculture

Marie-Pier Lepage, M.Sc.  
Line Bourdages, M.Sc.  
Gaétan Bourgeois, Ph.D.



Centre de référence en agriculture  
et agroalimentaire du Québec

Commission agrométéorologie

## AVERTISSEMENT

Au moment de sa rédaction, l'information contenue dans ce document était jugée représentative du secteur de l'agrométéorologie au Québec. Son utilisation demeure sous l'entière responsabilité du lecteur. Certains renseignements ayant pu évoluer d'une manière appréciable depuis la rédaction, le lecteur est invité à en vérifier l'exactitude avant de les utiliser et de les mettre en application.

Ce feuillet technique a été réalisé grâce à l'appui financier d'Ouranos en partenariat avec Ressources naturelles Canada.



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## POUR INFORMATION

Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ)

Édifice Delta 1

2875, boulevard Laurier, 9<sup>e</sup> étage

Québec (Québec) G1V 2M2

Téléphone : 418 523-5411

Télécopieur : 418 744-5944

Courriel : [client@craaq.qc.ca](mailto:client@craaq.qc.ca)

Site Internet : [www.craaq.qc.ca](http://www.craaq.qc.ca)

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2011

© Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2011

Publication n° PAGR0102

ISBN 978-2-7649-0235-6

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives Canada, 2011

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2011

### **RÉDACTION**

Marie-Pier Lepage, M.Sc., biologiste, Saint-Jean-sur-Richelieu

Line Bourdages, M.Sc., spécialiste en scénarios climatiques, Ouranos, Montréal

Gaétan Bourgeois, Ph.D., Bioclimatologie et modélisation, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu

### **COLLABORATION ET RÉVISION**

Diane Chaumont, M.Sc., chef de groupe, Scénarios climatiques, Ouranos, Montréal

Patrice Mullier, M.Sc., agent de recherche, La Financière agricole du Québec

Dominique Plouffe, B.Sc., assistante de recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu

Myriam Renaud, B.Sc., agronome, analyste en changement climatiques, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec

### **COORDINATION**

Lyne Lauzon, biologiste, coordonnatrice des publications, CRAAQ, Québec

Denise Bachand, M.Sc., chargée de projets, CRAAQ, Québec

### **ÉDITION**

Danielle Jacques, M.Sc., agronome, CRAAQ, Québec

### **CONCEPTION GRAPHIQUE ET MISE EN PAGE**

Nathalie Nadeau, technicienne en infographie, CRAAQ, Québec

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
Déclaration générale du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur les changements climatiques.....	1
Évolution du climat au Québec au cours du passé récent .....	1
TERMINOLOGIE ASSOCIÉE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....	1
Gaz à effet de serre et aérosols .....	1
Modèle, simulation, projection, prévision ou scénario climatique? .....	2
MODÉLISATION CLIMATIQUE .....	2
Modèles de climat global (MCG) .....	2
Méthodes de mise à l'échelle .....	2
Modèles régionaux de climat (MRC).....	3
Scénarios d'émission d'aérosols et de gaz à effet de serre (SRES) .....	3
SCÉNARIOS CLIMATIQUES.....	4
Choix des indices climatiques et d'un scénario climatique.....	4
Sources d'information disponibles .....	5
Incertitudes sur les changements climatiques.....	6
Un exemple de la quantification de l'incertitude .....	7
CHANGEMENTS CLIMATIQUES ATTENDUS AU QUÉBEC.....	7
IMPACTS POTENTIELS POUR LE SECTEUR AGRICOLE QUÉBÉCOIS.....	8
STRATÉGIES D'ADAPTATION POUR L'AGRICULTURE QUÉBÉCOISE .....	10
RÉFÉRENCES .....	10

## INTRODUCTION

### Déclaration générale du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur les changements climatiques

Tout au long de son histoire, le climat a subi plusieurs changements, et ce, de façon naturelle (GIEC, 2007b). L'activité volcanique et les variations du rayonnement solaire sont des causes naturelles et connues de variations climatiques. Malgré cela, il est peu probable que le réchauffement climatique du siècle dernier soit d'origine naturelle. En effet, l'augmentation de l'activité humaine a de fortes répercussions sur le bilan radiatif de l'atmosphère. Les émissions de gaz à effet de serre provenant de différentes sources, tant naturelles qu'industrielles, participent aux changements de la composition de l'atmosphère, affectant ainsi ses interactions avec les différents types de radiation (solaire, terrestre, etc.). L'effet des changements climatiques se fait ressentir à l'échelle mondiale : hausse des températures moyennes au niveau de l'atmosphère et de l'océan, fonte massive de la neige et de la glace, et élévation du niveau moyen de la mer (GIEC, 2007a). Une multitude de systèmes naturels, physiques et biologiques sont déjà affectés par ces changements, tant au niveau terrestre qu'aquatique.

### Évolution du climat au Québec au cours du passé récent

Plusieurs changements du climat québécois ont déjà été observés au cours du passé récent, c'est-à-dire les 30 à 40 dernières années. De façon générale, on observe une augmentation des températures quotidiennes de 0,2 à 0,4 °C par décennie dans le sud du Québec (Yagouti *et al.*, 2008). Cette hausse provoque, entre autres, une augmentation du nombre de degrés-jours cumulés durant une saison et un raccourcissement de la période de gel. Du côté des précipitations, on note un accroissement du nombre de jours de pluie de faible intensité (Vincent et Mekis, 2006). Les quantités de neige ont, quant à elles, augmenté dans le nord du Québec et diminué dans le sud (Brown, 2010). Pour ce qui est de la fréquence des événements météorologiques extrêmes, certains d'entre eux, telles les vagues de chaleur accablante, ont passablement augmenté en nombre tandis que d'autres, comme les nuits de froid intense, ont diminué. Il est difficile de déterminer si ces événements sont dus aux changements climatiques ou à d'autres facteurs, quoique

certaines études portent à croire qu'ils seraient induits par le réchauffement attribuable à l'effet de serre (GIEC, 2007b).

L'objectif principal de ce feuillet technique est, dans un premier temps, de définir certains concepts liés aux changements climatiques, notamment l'interprétation et l'utilisation de scénarios climatiques. Un lien est ensuite établi avec le secteur agricole afin d'obtenir une vision globale des impacts et risques associés à cette problématique.

## TERMINOLOGIE ASSOCIÉE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

### Gaz à effet de serre et aérosols

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux d'origine naturelle ou anthropique (humaine) qui, de par leur nature, interagissent avec le rayonnement infrarouge terrestre. Ces gaz s'accumulent au niveau de l'atmosphère et participent à la conservation de la chaleur de la planète en absorbant le rayonnement infrarouge émis par celle-ci et en le réémettant dans toutes les directions. Le rayonnement atmosphérique dû à l'effet de serre s'ajoute ainsi au rayonnement solaire direct pour réchauffer la surface terrestre. Il existe plusieurs types de GES, mais les plus répandus sont la vapeur d'eau ( $H_2O$ ), les hydrocarbures légers comme le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), l'oxyde nitreux ( $N_2O$ ), le méthane ( $CH_4$ ), l'ozone ( $O_3$ ), les fluorocarbures comme l'hydrofluorocarbure (HFC) et d'autres gaz inertes tel l'hexafluorure de soufre ( $SF_6$ ) (GIEC, 2007a).

Les aérosols sont d'importants facteurs à considérer dans le bilan radiatif de la terre. Également d'origine naturelle ou anthropique, ils sont composés de très fines particules à l'état solide ou liquide qui se retrouvent en suspension dans un milieu gazeux. Leurs sources d'émission sont variées : volcans, embruns marins, combustion et poussières industrielles, émanations agricoles, etc. Ils peuvent influencer le climat de deux façons : directement en diffusant et en absorbant les rayons, et indirectement en servant de point central pour la formation de la vapeur d'eau, modifiant ainsi la dynamique des nuages (GIEC, 2007a).

### Modèle, simulation, projection, prévision ou scénario climatique?

Les termes *modèle*, *simulation*, *projection*, *prévision* ou *scénario climatique* sont très souvent utilisés dans les études de changements climatiques. Les descriptions suivantes, tirées et adaptées du quatrième rapport d'évaluation du GIEC, présentent chacun des termes et permettent de les distinguer (GIEC, 2007a).

#### Modèle et simulation climatiques

Le *modèle climatique* est un outil de représentation numérique du climat, basé sur des équations mathématiques de la dynamique des fluides et de la conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement. Il évoque l'ensemble du système climatique terrestre, qui englobe l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la surface terrestre, la biosphère ainsi que leurs interactions (GIEC, 2007a). Le résultat de l'utilisation du modèle climatique, la *simulation climatique*, est une série de données représentant une grande quantité de variables telles que la température du sol et de l'air, l'humidité et le vent. Les simulations sont produites sur un certain territoire, soit le domaine spatial, allant d'une couverture globale étendue pour les Modèles de climat global à un domaine plus restreint comme le Québec pour les Modèles régionaux de climat. La période simulée peut représenter tant le passé que le futur.

#### Projection et prévision climatiques

Une *projection climatique* représente la réponse du système climatique, telle que simulée par un modèle climatique, à certaines hypothèses posées sur l'évolution future des émissions d'aérosols et de GES. La *prévision climatique*, quant à elle, résulte d'une tentative de décrire l'évolution future réelle du climat.

#### Scénario climatique

Le *scénario climatique* est considéré comme une description plausible du climat futur, et ce, sur la base d'une ou de plusieurs projections climatiques. Lorsque l'information est transmise sous forme de changements climatiques par rapport à une certaine période de référence, on parle alors de *scénario de changements climatiques*. Les scénarios sont typiquement établis afin de déterminer les conséquences potentielles des changements climatiques d'origine humaine (GIEC, 2007a) et constituent une information pouvant être utilisée lors d'études d'impact comme intrant dans un modèle bioclimatique. Par exemple,

lors d'une étude de l'impact d'un climat futur sur la phénologie d'une culture végétale, un scénario climatique peut être utilisé comme intrant dans le modèle phénologique de cette culture.

## MODÉLISATION CLIMATIQUE

### Modèles de climat global (MCG)

Les Modèles de climat global (MCG) sont des modèles climatiques permettant de simuler la réponse du système climatique à la variation de la concentration des GES. Leur résolution spatiale se situe généralement entre 250 et 600 km. Les MCG comprennent environ 30 niveaux verticaux que l'on pourrait virtuellement associer à une série de cubes empilés les uns par-dessus les autres, de la surface de la terre jusqu'à la fin de l'atmosphère, qui renfermeraient des équations et des caractéristiques propres à chacun. Ces cubes réagissent et s'influencent mutuellement de manière à créer virtuellement la dynamique du système climatique. Il existe plusieurs modèles provenant des quatre coins du monde; certains d'entre eux sont énumérés au tableau 1.

### Méthodes de mise à l'échelle

Les méthodes de réduction d'échelle de données climatiques des MCG sont classées selon deux grandes catégories : dynamique et statistique. La mise à l'échelle dynamique consiste en l'extraction d'informations climatiques à haute résolution à partir des MCG qui sont de plus basse résolution (RCSCC, 2010c). Cette technique, associée aux Modèles régionaux de climat (MRC) qui sont introduits dans la section suivante, permet d'obtenir des résultats sous forme de variables qui sont physiquement cohérentes dans le temps et l'espace, ainsi qu'entre elles-mêmes. La mise à l'échelle statistique, quant à elle, se rapporte au développement quantitatif des relations entre les variables à grande échelle et les variables locales. En d'autres termes, des relations statistiques entre les variables climatiques sont établies et les données climatiques sont par la suite ajustées. Cette méthode, bien que moins coûteuse, est moins utilisée que la précédente, car elle nécessite l'obtention d'une quantité importante de données d'observations régionales au cours du passé récent (Beaumont *et al.*, 2008) et ne produit pas nécessairement des résultats physiquement cohérents.

**TABLEAU 1. LISTE ET ORIGINE DE QUELQUES MODÈLES DE CLIMAT GLOBAL (MCG) DISPONIBLES DANS LE MONDE [TIRÉS DE LA BASE DE DONNÉES MULTIMODÈLE DU TROISIÈME PROJET DE COMPARAISON DES MODÈLES COUPLÉS (CMIP3) DU PROGRAMME MONDIAL DE RECHERCHE SUR LE CLIMAT (PMRC)]**

Noms des modèles	Origine
BCC-CM1	Chine
BCCR-BCM2.0	Norvège
CCSM3	États-Unis
CGCM3.1 (T47) et (T63)	Canada
CNRM-CM3	France
CSIRO-Mk3.0	Australie
ECHAM5/MP1-OM	Allemagne
ECHO-G	Grande-Bretagne et Corée
FGOALS-g1.0	Chine
GFDL-CM2.0; GFDL-CM2.1	États-Unis
GISS-AOM; GISS-EH; GISS-ER	États-Unis
INGV-SXG	Italie
INM-CM3.0	Russie
IPSL-CM4	France
MIROC3.2(medres); MIROC3.2(hires)	Japon
MR1-CGCM2.3.2	Japon
PCM	États-Unis
UKMO-HadCM3; UKMO-HadGEM1	Grande-Bretagne

Source : Meehl et al., 2007

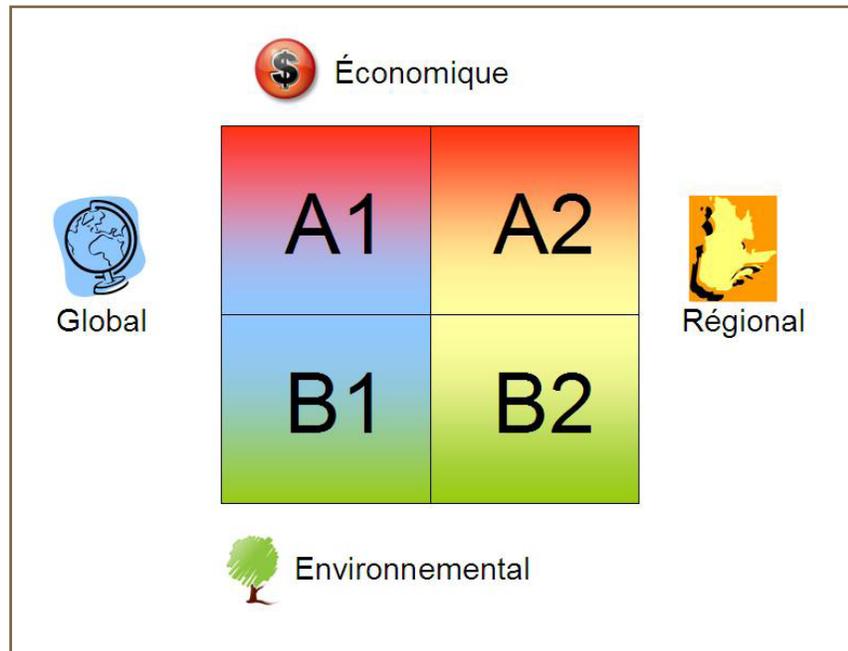
### Modèles régionaux de climat (MRC)

Certaines études requièrent une information climatique à une échelle plus fine que celle fournie par les MCG. On peut alors utiliser les Modèles régionaux de climat (MRC), similaires aux MCG car ils comprennent aussi des niveaux verticaux, mais de plus haute résolution spatiale, généralement autour de 50 km (RCSCCb). La modélisation à une telle résolution est beaucoup plus coûteuse en termes de temps et requiert des ressources informatiques de haute performance. Par conséquent, ce type de modèle est utilisé pour simuler le climat sur un domaine spatial plus restreint, en utilisant les données de MCG comme données aux frontières. Dans ce contexte, le MCG est appelé modèle pilote, car il établit une contrainte aux limites du domaine de simulation du MRC. La résolution accrue des MRC permet une meilleure représentation de certains éléments physiques qui sont de trop petite échelle pour les MCG. À titre d'exemples, il peut s'agir de caractéristiques géographiques comme la topographie et la présence de cours d'eau importants pouvant influencer le climat local, de certains phénomènes de nature météorologique à l'échelle locale, tels que les

précipitations convectives (précipitations de forte intensité, de courte durée et sur une faible extension spatiale) et les îlots de chaleur. C'est en partie pour ces raisons que les scénarios obtenus à partir des MRC sont plus réalistes quand vient le temps de représenter les changements climatiques au niveau local (RCSCCc).

### Scénarios d'émission d'aérosols et de gaz à effet de serre (SRES)

Les concentrations d'aérosols et de GES dans l'atmosphère influencent directement le bilan radiatif de la planète. Il est difficile d'établir un consensus sur leur évolution probable dans le temps étant donné que cette évolution dépend de nombreux facteurs comme l'économie, la démographie humaine, les industries et la technologie. Les chercheurs du GIEC ont donc élaboré une série de scénarios d'émission d'aérosols et de GES, en faisant varier ces différents éléments. Ces scénarios d'émission sont connus sous le sigle « SRES » (*Special Report on Emission Scenarios*, Nakićenović et Swart, 2000) et appartiennent aux quatre grandes catégories illustrées à la figure 1.



**FIGURE 1. REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES QUATRE GRANDES CATÉGORIES DE SCÉNARIOS D'ÉMISSION D'AÉROSOLS ET DE GAZ À EFFET DE SERRE SELON LEUR ASSOCIATION AUX FACTEURS ÉCONOMIQUES OU ENVIRONNEMENTAUX, GLOBAUX OU RÉGIONAUX**

Adaptée de Nakićenović et Swart, 2000

Les scénarios associés à la catégorie A1 sont axés sur une croissance économique rapide et un développement technologique des systèmes énergétiques. On y retrouve également une convergence sociale et culturelle au niveau des différents territoires, diminuant ainsi les différences entre elles. Les scénarios A2 représentent plus particulièrement une croissance économique orientée sur l'autosuffisance locale. Les scénarios B1 s'orientent vers une économie axée sur l'équité et sur une gestion efficace des ressources. Les activités de production y sont de moindre importance. Finalement, la catégorie B2 met l'accent sur des solutions locales et sur la protection de l'environnement. Le développement de nouvelles technologies y est moins rapide. Pour ce qui est de la population humaine, les catégories de scénarios A1 et B1 décrivent une augmentation rapide suivie d'une diminution; pour les catégories A2 et B2, la population augmente de façon plus lente, mais constante (GIEC, 2000). Le choix du scénario d'émission aura donc un effet sur les résultats de l'étude que l'on désire réaliser. Dans certaines études sur l'évolution des GES, on mentionne que les scénarios plus extrêmes (catégories A1 et A2) seraient davantage envisageables que les scénarios plus conservateurs (catégories B1 et B2) (Beaumont *et al.*, 2008).

## SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Les études d'impact requièrent une information précise et souvent simplifiée sur le climat futur anticipé. La présente section décrit brièvement la méthode et les choix reliés à la production de scénarios climatiques.

### Choix des indices climatiques et d'un scénario climatique

Lors de l'élaboration d'un scénario climatique, on peut sélectionner une série de variables en fonction des indices climatiques nécessaires, telles l'intensité des précipitations ou la température du territoire et de la période étudiée. Par exemple, lors d'une étude sur l'impact des changements climatiques sur un ensemble de cultures de la région du Bas-Saint-Laurent à l'horizon 2050, on utilisera des données simulées de la température du sol et des précipitations qui influencent les cultures de cette région en particulier. Dans le cadre d'un projet visant à étudier le changement projeté des précipitations dans un endroit où le relief et la géographie sont complexes, telles les Rocheuses canadiennes ou les côtes maritimes, l'utilisation de MRC sera nécessaire. Pour une étude concernant une variable dont la distribution spatiale est lisse, telle la température dans le sud du Québec,

les MCG pourront aussi être inclus dans la préparation du scénario climatique.

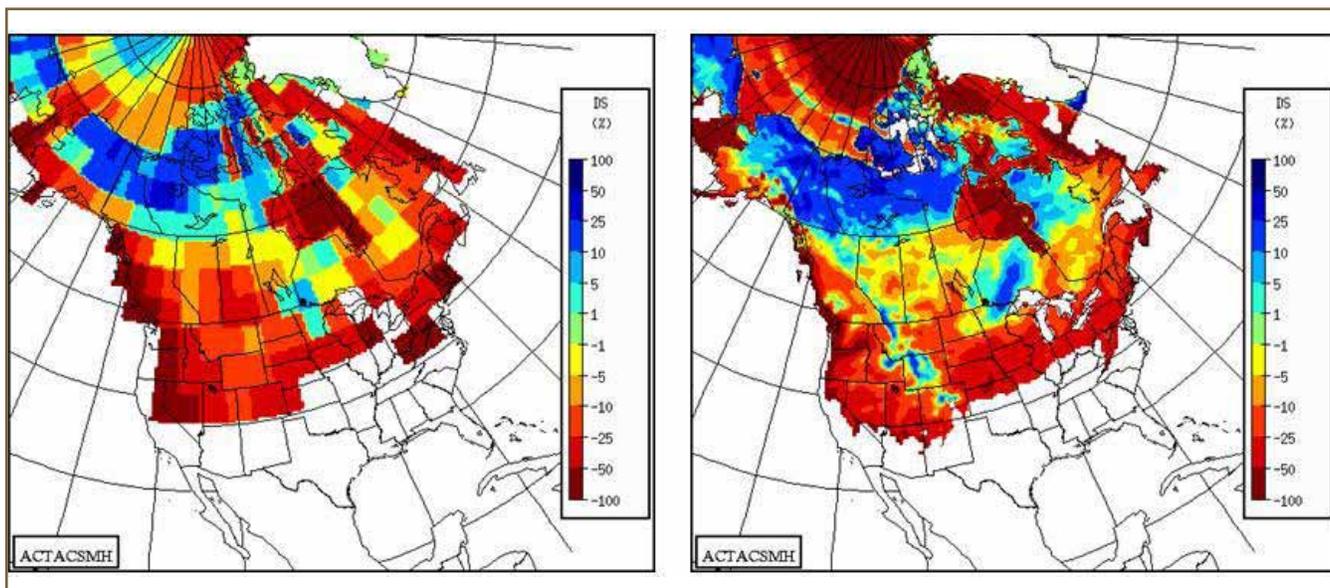
### Sources d'information disponibles

Tel qu'il a été mentionné précédemment, plusieurs modèles climatiques ont été développés à travers le monde : des MCG et MRC couvrant différents domaines spatiaux, allant d'un territoire spécifique dans le cas d'un MRC à la grandeur de la planète dans le cas d'un MCG, et ce, à des résolutions variables. Chacune de ces deux catégories de modèles possède des limites d'utilisation particulières ainsi que des avantages et des inconvénients qui sont importants à considérer dès le départ. Selon les objectifs de l'étude, un ensemble de MCG et/ou de MRC peut être sélectionné. Par ailleurs, les simulations produites par ces modèles dépendent de plusieurs facteurs tels que le scénario d'émission d'aérosols et de GES (SRES) et les conditions initiales. Dans le cas d'un MRC, les simulations dépendent également des données du MCG pilote utilisées comme contrainte aux frontières du domaine. Typiquement, les données de MCG sont plus accessibles et couvrent une plus grande variété de scénarios SRES, donc une plus grande plage d'incertitudes que les MRC, puisqu'un bon nombre de scientifiques élaborent des modèles de ce type à travers le monde et qu'ils représentent l'ensemble de la planète. En revanche, les MCG ont une résolution très grossière (entre 250 et 600 km), ce qui ne permet

malheureusement pas d'inclure des caractéristiques précises sur le milieu; certains phénomènes peuvent ne pas être représentés adéquatement.

Les simulations MRC, quant à elles, sont produites sur une grille à plus haute résolution spatiale. La figure 2 illustre le changement de l'équivalent en eau de la neige représenté par un MCG à une résolution grossière de 350 km (à gauche) et par un MRC à une résolution plus fine de 45 km (à droite). Dans certaines zones, le nord du Québec et le centre-ouest des États-Unis par exemple, les particularités régionales du milieu ne sont pas bien représentées par le MCG, ce qui génère une information dont le niveau de précision est insuffisant.

Les simulations disponibles pour la production de scénarios climatiques sont de plus en plus variées et certains choix s'imposent. Les aspects les plus pertinents à considérer dans le choix des simulations à utiliser pour produire un scénario sont la disponibilité des variables à l'étude, la résolution appropriée pour représenter les phénomènes à l'étude ainsi que la couverture de l'incertitude liée aux changements climatiques. Ce dernier point représente un élément crucial dans la production de scénarios climatiques et est traité dans la section suivante. Par ailleurs, certaines études requièrent des simulations dans lesquelles certains processus spécifiques sont bien représentés. Par exemple, pour une étude sur la fonte



**FIGURE 2. CHANGEMENT RELATIF (%) DE L'ÉQUIVALENT EN EAU DE LA NEIGE (DÉCEMBRE-JANVIER-FÉVRIER) EN 2041-2070 PAR RAPPORT AU PASSÉ RÉCENT 1961-1990 POUR LE SCÉNARIO SRES A2 À UNE RÉOLUTION D'ENVIRON 350 KM (À GAUCHE), PROVENANT DE LA SIMULATION DU MODÈLE CANADIEN DE CLIMAT GLOBAL DE TROISIÈME GÉNÉRATION (MCCG3), ET À UNE RÉOLUTION D'ENVIRON 45 KM (À DROITE), PROVENANT DE LA SIMULATION DU MODÈLE RÉGIONAL CANADIEN DU CLIMAT (MRCC)**

Source : Brown et Mote, 2009

des glaces dans l'Arctique canadien, les simulations sélectionnées devraient démontrer une bonne représentation de la cryosphère dans la région concernée.

### Incertitudes sur les changements climatiques

Il existe plusieurs sources d'incertitude dans le processus de modélisation climatique, que ce soit en lien avec les imperfections des MCG ou des MRC, les scénarios d'émission d'aérosols et de GES ou la variabilité naturelle du climat. Les MCG sont basés sur des équations et des paramètres mathématiques uniques, qui sont choisis par les développeurs pour représenter la physique du système terrestre. Chacun de ces modèles comporte certaines incertitudes, dépendantes des choix effectués et de la limite imposée par la puissance de l'ordinateur.

Tel qu'il a été mentionné précédemment, les scénarios d'émission représentent une source d'incertitude. La figure 3 illustre la variabilité de l'incertitude liée au SRES. Les scénarios A1FI, A1T et A1B sont dérivés de la catégorie de scénarios A1. Ils se distinguent par leur orientation technologique : usage intensif de combustibles fossiles (A1FI), sources d'énergie autres que fossiles (A1T) et équilibre entre toutes les sources d'énergie (A1B) (RCSCCa).

La variabilité naturelle du climat constitue également une source d'incertitude. En effet, selon Murphy *et al.* (2009) :

[Traduction]

**Le système climatique, à l'échelle globale et locale, peut varier de façon importante d'une période à une autre, même en l'absence d'une influence anthropique. Cette variabilité dite naturelle du climat sera présente aussi dans le futur et sera superposée aux changements climatiques, ajoutant à l'incertitude des projections climatiques.**

Cette source d'incertitude est liée au caractère chaotique du système climatique et est, par conséquent, irréductible.

L'incertitude sur les changements climatiques représente une information cruciale liée aux scénarios climatiques. Les contributions des différentes sources d'incertitude peuvent être quantifiées en utilisant un ensemble de simulations climatiques. Par exemple, l'incertitude sur l'évolution future des émissions d'aérosols et de GES est quantifiée en utilisant plusieurs simulations ayant été forcées par des scénarios SRES différents. L'incertitude due à cette variabilité

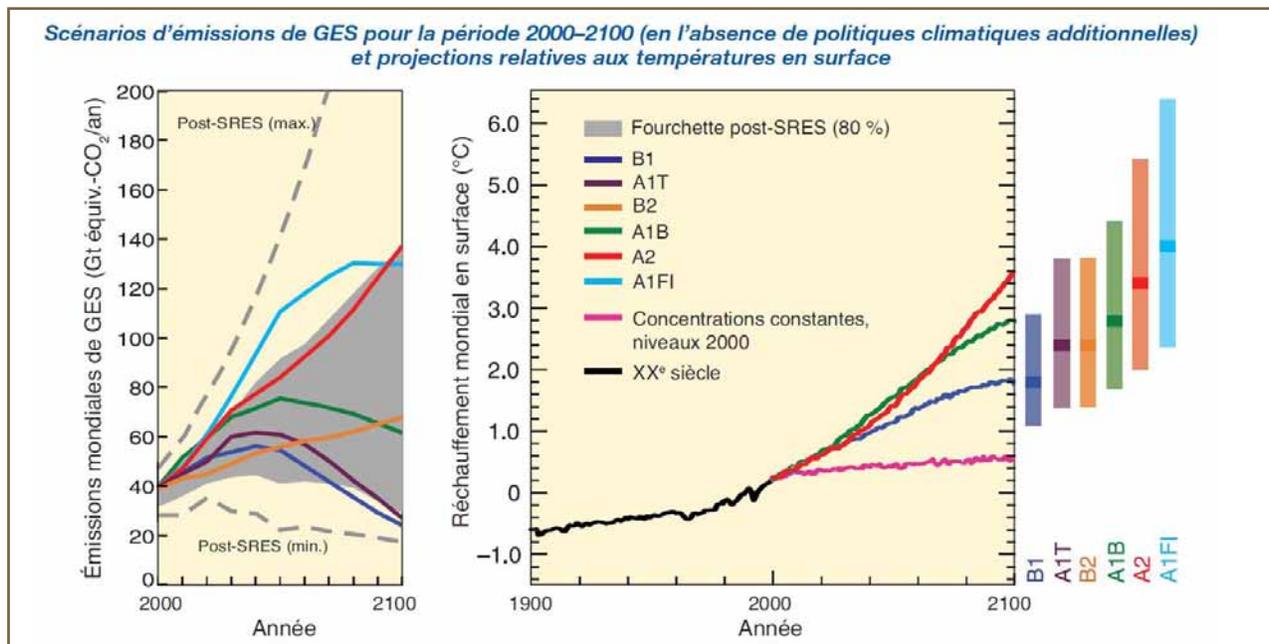


Figure 3. À GAUCHE : ÉMISSIONS MONDIALES DE GES SELON SIX SCÉNARIOS ILLUSTRATIFS DE RÉFÉRENCE ET INTERVALLE AU 80<sup>e</sup> PERCENTILE DES SCÉNARIOS PUBLIÉS DANS LE SRES (POST-SRES, PARTIE OMBRÉE). À DROITE : MOYENNES MONDIALES DU RÉCHAUFFEMENT EN SURFACE, EN PROLONGEMENT DES SIMULATIONS RELATIVES AU XX<sup>e</sup> SIÈCLE. LES BARRES VERTICALES À DROITE PRÉCISENT LA VALEUR LA PLUS PROBABLE (ZONE FONCÉE) ET LA FOURCHETTE PROBABLE CORRESPONDANT AUX SIX SCÉNARIOS DE RÉFÉRENCE DU SRES POUR LA PÉRIODE 2090-2099. TOUS LES ÉCARTS DE TEMPÉRATURE SONT CALCULÉS PAR RAPPORT À 1980-1999

Source : GIEC, 2007a, Figure RiD.5., p.7

peut être déterminée en produisant une série de simulations climatiques à partir du même modèle et scénario SRES, mais en modifiant légèrement les conditions initiales. Les simulations ainsi produites représenteront une série de climats possibles futurs, leurs différences étant dues exclusivement à la variabilité naturelle du climat.

### Un exemple de la quantification de l'incertitude

Un exemple de l'utilisation d'un ensemble de simulations climatiques est présenté à la figure 4 (Ouranos, 2010a). La figure montre l'évolution des anomalies de température et de précipitation en été et en hiver sur le sud du Québec de 1990 à 2080 par rapport à la moyenne de 1900 à 1969, telle que projetée par un ensemble de 130 simulations de MCG. On y présente la médiane d'ensemble (ligne pleine), les 25 et 75<sup>e</sup> percentiles (lignes pointillées) et les 5 et 95<sup>e</sup> percentiles (zone ombragée) qui décrivent la distribution de l'ensemble et donc une quantification de l'incertitude sur le changement climatique projeté. On observe, entre autres, que malgré l'étendue de l'incertitude sur l'importance du changement de température en été dans le sud du Québec, la totalité des simulations utilisées envisagent une augmentation de cette variable. Pour ce qui est de la précipitation en été, la

médiane de l'ensemble suggère une absence de changement. Ici, bien que les simulations climatiques de l'ensemble diffèrent parfois quant à la direction du changement (positif ou négatif), toutes les valeurs de changements projetées par l'ensemble sont faibles. Avec l'évolution des connaissances sur la modélisation climatique, l'information disponible sur le climat futur se précisera. Toutefois, l'incertitude sur les changements climatiques est en partie irréductible. Il est donc important d'apprendre à interpréter l'information liée à ceux-ci et d'en comprendre les implications.

## CHANGEMENTS CLIMATIQUES ATTENDUS AU QUÉBEC

Selon Ouranos, consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, un réchauffement des températures est projeté au Québec à l'horizon 2050, et ce, de manière plus importante durant la saison hivernale qu'en saison estivale (Ouranos, 2010b). La figure 5 présente les températures estimées à partir des observations de la période 1961-1990 ainsi que celles obtenues à l'horizon 2041-2070 sur la base d'une moyenne d'ensemble de

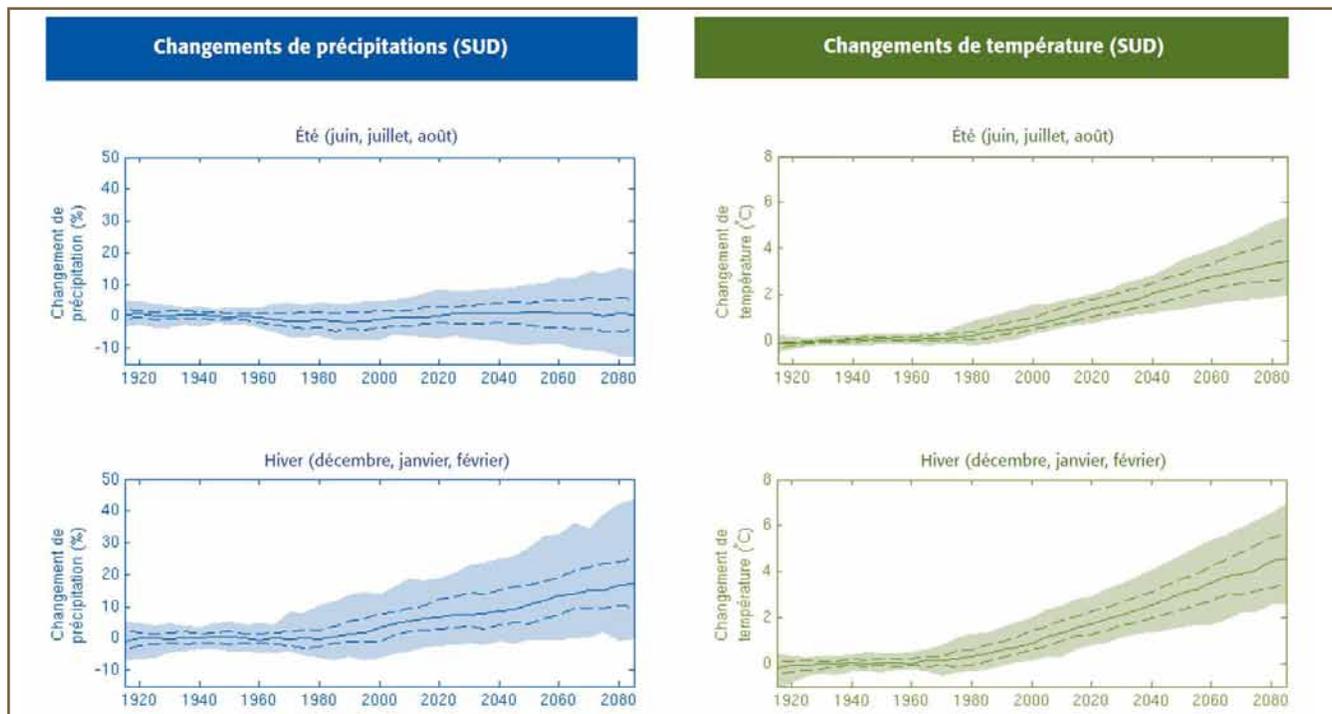


FIGURE 4. ANOMALIES DE LA MOYENNE SAISONNIÈRE DE PRÉCIPITATION (%) ET DE TEMPÉRATURE (°C) DE 1990 À 2080, PAR RAPPORT À LA MOYENNE DE 1900 À 1969 (ÉTÉ ET HIVER, SUD DU QUÉBEC)

Source : Ouranos, 2010a

projections climatiques. Durant l'hiver, on observerait une augmentation de la température moyenne de 2,5 à 3,8 °C dans le sud du Québec et de 4,5 à 6,5 °C dans le nord du Québec. En été par contre, la hausse envisagée avoisinerait 1,9 à 3,0 °C dans le sud et 1,6 à 2,8 °C dans le nord.

Une hausse des précipitations est également attendue sur tout le Québec (Figure 6). En hiver, on assisterait donc à un déplacement des isohyètes (lignes imaginaires reliant des points d'égale pluviosité) vers le nord-ouest. Ceci occasionnerait une accumulation plus importante de neige au sol dans le nord; à l'inverse, une diminution du cumul de neige au sol est prévue au sud. Durant la saison chaude, un surcroît de pluie est projeté au nord, tandis qu'au

sud, il y a absence de changement. L'intensité, la fréquence ainsi que l'ampleur de certains événements climatiques pourraient également se faire ressentir sur l'ensemble du Québec (GIEC, 2007a).

## IMPACTS POTENTIELS POUR LE SECTEUR AGRICOLE QUÉBÉCOIS

Plusieurs études ont été réalisées sur les impacts potentiels des changements climatiques sur la production agricole. En général, les résultats dépendent de la région étudiée, des cultures, de l'importance des événements extrêmes, des changements de température, de concentration de CO<sub>2</sub> et de précipitation.

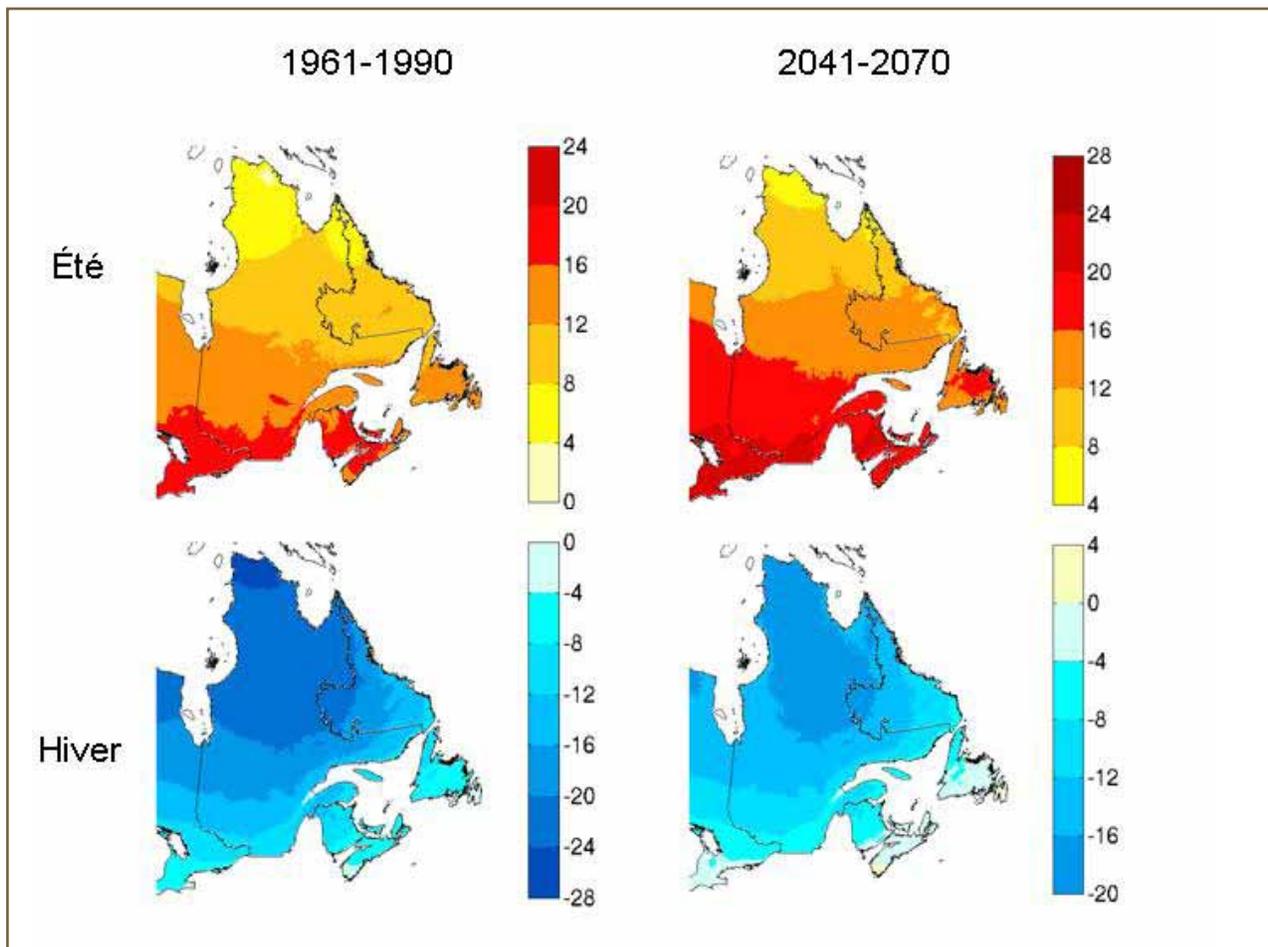
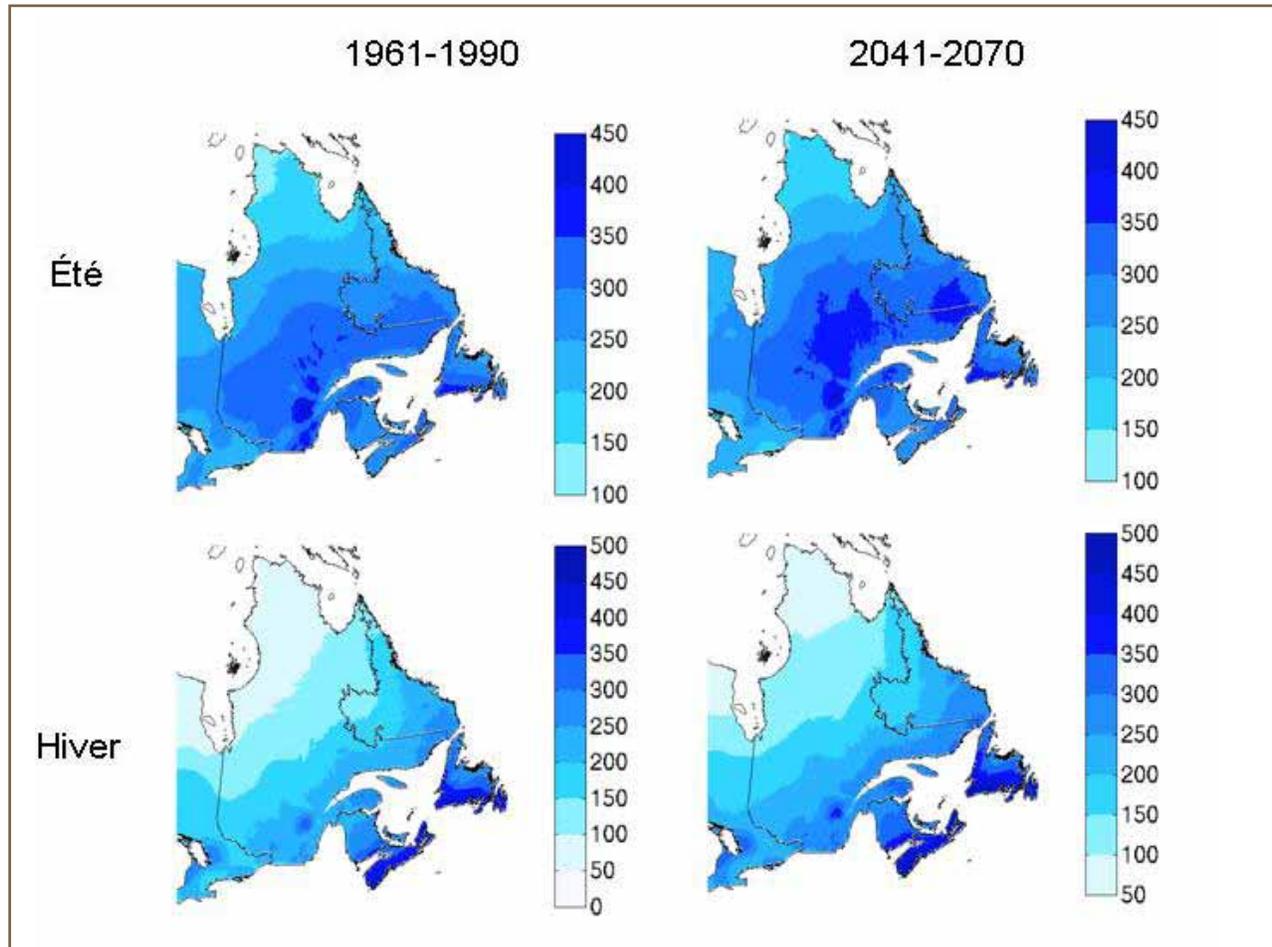


FIGURE 5. TEMPÉRATURES MOYENNES (°C) EN ÉTÉ ET EN HIVER POUR LA PÉRIODE 1961-1990, OBTENUES DU MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU CANADA (RNCAN) (HUTCHINSON ET AL., 2009), ET À L'HORIZON 2041-2070, OBTENUES SELON UN SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES PRODUIT À PARTIR D'UN ENSEMBLE DE 17 SIMULATIONS DU MODÈLE RÉGIONAL CANADIEN DU CLIMAT (MRCC) (de Elía et Côté, 2009)

Source : Ouranos, 2010b



**FIGURE 6. PRÉCIPITATIONS MOYENNES (MM PAR SAISON) EN ÉTÉ ET EN HIVER POUR LA PÉRIODE 1961-1990, OBTENUES DU MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU CANADA (RNCAN) (HUTCHINSON ET AL., 2009), ET À L'HORIZON 2041-2070, OBTENUES SELON UN SCÉNARIO DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES PRODUIT À PARTIR D'UN ENSEMBLE DE 17 SIMULATIONS DU MODÈLE RÉGIONAL CANADIEN DU CLIMAT (MRCC) (de Elia et Côté, 2009)**

Source : Ouranos, 2010b

Les scénarios climatiques révèlent que les conditions climatiques pourraient avantager certaines cultures, mais en désavantager d'autres (Ouranos, 2010b). Une augmentation de la température dans une région donnée pourrait accroître le potentiel agronomique d'une culture requérant une longue saison de croissance (tels le maïs et le soja) ou permettre l'exploitation d'une nouvelle culture, auparavant inadéquate pour les conditions de cette région. À l'opposé, des cultures bien adaptées aux conditions plus fraîches, telles les petites céréales (blé, orge, avoine et seigle), pourraient être désavantagées (Ouranos, 2010b). Dans la plupart des études, on mentionne que la capacité d'acclimatation des végétaux à une concentration de CO<sub>2</sub> ou à des températures plus élevées dépendra essentiellement de la rapidité et de l'intensité

du changement auquel les plantes seront exposées. Des températures extrêmes en saison estivale pourraient occasionner des pertes dans les productions animales, notamment les productions avicoles, qui sont les plus vulnérables.

Toujours selon les scénarios projetés, les changements en termes de précipitation estivale sont incertains. Toutefois, un surcroît d'évapotranspiration dû à une hausse des températures, jumelé à un manque d'eau sous forme de pluie, pourrait occasionner un stress hydrique. Il est difficile de prévoir si ce phénomène sera problématique au Québec, étant donné la présence à la fois de terres irriguées et non irriguées. La modification du drainage et l'amélioration de la structure du sol sont des solutions envisageables afin

de contrer les éventuels problèmes de manque d'eau. Une augmentation de la fréquence des événements extrêmes, comme les longues périodes sans pluie et les inondations, aura possiblement des conséquences substantielles sur les apports en eau et la productivité des végétaux, ainsi que sur l'érosion des sols. De plus, de nombreux bioagresseurs, tels les insectes ravageurs et les agents pathogènes, seront possiblement affectés par les conditions climatiques, ce qui pourrait occasionner l'établissement d'une espèce exotique en territoire québécois.

## STRATÉGIES D'ADAPTATION POUR L'AGRICULTURE QUÉBÉCOISE

Déjà, plusieurs stratégies sont envisagées afin de contrer les impacts négatifs des changements climatiques pour le secteur agricole.

Pour ce qui est des productions végétales, la sélection d'un cultivar bien adapté constitue un choix judicieux. En effet, la sélection d'hybrides ou de cultivars à cumuls thermiques (exemples : unités thermiques maïs, degrés-jours) plus élevés que ceux recommandés sur les cartes actuelles aidera à contrer les problèmes éventuels causés par les températures élevées. La diversification des espèces exploitées demeure un moyen efficace pour réduire l'ampleur des pertes agricoles (Ouranos, 2010b). Afin d'obtenir le meilleur rendement possible, une gestion et une planification adaptées s'imposent. Les producteurs peuvent ajuster les périodes de semis et de récolte selon les conditions climatiques actuelles et projetées, en se servant des outils disponibles comme les modèles bioclimatiques (Bourgeois *et al.*, 2004). Ils peuvent également atténuer et prévenir les dommages causés par les ravageurs en demeurant informés par l'intermédiaire des bulletins ou des cartes mis à leur disposition par les intervenants du secteur agricole. Il est alors très important que ces intervenants mettent régulièrement à jour leurs publications en ce qui concerne l'information climatique et les risques associés.

Du côté des productions animales, les éleveurs devront se tenir aux aguets lors d'épisodes de chaleur extrême et modifier au besoin l'environnement des animaux à l'intérieur des bâtiments afin de diminuer les risques associés.

Avec les outils qui sont à leur disposition et l'implication constante des intervenants du secteur agricole, les producteurs pourront prendre des décisions à court, moyen et long terme en fonction de l'évolution plus ou moins rapide du climat.

## RÉFÉRENCES

### Documents

Beaumont, L.J., L. Hughes et A.J. Pitman. 2008. *Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important?* Ecology Letter 11: 1135-1146.

Bourgeois, G., A. Bourque et G. Deaudelin. 2004. *Modelling the impact of climate change on disease incidence: A bioclimatic challenge.* Canadian Journal of Plant Pathology 26: 284-290.

Brown, R.D. et P.W. Mote. 2009. *The response of northern hemisphere snow cover to a changing climate.* Journal of Climate 22: 2124-2145.

Brown, R.D. 2010. *Analysis of snow cover variability and change in Quebec, 1948-2005.* Hydrological Processes 24: 1929-1954.

de Elía, R. et H. Côté. 2009. *Sensitivity study of CRCM-simulated climate change projections over North America*, 2nd Lund Regional-scale Climate Modelling Workshop: 21st Century Challenges in Regional-scale Climate Modelling, May 4-8, Lund (Sweden), [http://www.baltex-research.eu/RCM2009/Material/RCM2009\\_Proceedings\\_print.pdf](http://www.baltex-research.eu/RCM2009/Material/RCM2009_Proceedings_print.pdf) (document PDF consulté le 2 janvier 2010).

GIEC. 2007a. *Bilan 2007 des changements climatiques.* Contribution des Groupes de travail I, II et III au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Équipe de rédaction principale sous la direction de Pachauri, R.K. et A. Reisinger). GIEC, Genève, Suisse. 103 p.

GIEC. 2007b. *Changements climatiques 2007 - Les éléments scientifiques.* Contribution du Groupe de travail I au Quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller [eds.]). Cambridge University Press, Cambridge, Royaume Uni et New York, NY, États-Unis. 80 p.

GIEC. 2000. *Rapport spécial sur les scénarios d'émission*. Résumé à l'intention des décideurs. Rapport spécial du Groupe de travail III du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Basé sur un projet rédigé par : Nakićenović, N., O. Davidson, G. Davis, A. Grübler, T. Kram, E. Lebre La Rovere, B. Metz, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, A. Sankovski, P. Shukla, R. Swart, R. Watson et Z. Dadi. 27 p.

Hutchinson, M.F., D.W. McKenney, K. Lawrence, J.H. Pedlar, R.F. Hopkinson, E. Milewska et P. Papadopol. 2009. *Development and testing of Canada-wide interpolated spatial models of daily minimum-maximum temperature and precipitation for 1961-2003*. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48: 725-741.

Meehl, G.A., C. Covey, T. Delworth, M. Latif, B. McAvaney, J.F.B. Mitchell, R.J. Stouffer et K.E. Taylor. 2007. *The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research*. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88: 1383-1394.

Murphy, J.M., D.M.H. Sexton, G.J. Jenkins, B.B.B. Booth, C.C. Brown, R.T. Clark, M. Collins, G.R. Harris, E.J. Kendon, R.A. Betts, S.J. Brown, K.A. Humphrey, M.P. McCarthy, R.E. McDonald, A. Stephens, C. Wallace, R. Warren, R. Wilby et R.A. Wood. 2009. *UK Climate Projections Science Report: Climate Change Projections*. Exeter, UK. Meteorological Office Hadley Centre. 192 p.

Nakićenović, N. et R. Swart. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios : A special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. 612 p.

Ouranos. 2010a. *Élaborer un plan d'adaptation aux changements climatiques*. Guide destiné au milieu municipal québécois. Rédaction : C. Larrivée, V. Moffet, P. Robitaille, P. Blais, M. Marceau, C. Dupuis, C. Desjarlais et A. Bourque. Ouranos, Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, Montréal (Québec). 48 p.

Ouranos. 2010b. *Savoir s'adapter aux changements climatiques*. Rédaction : C. Desjarlais, M. Allard, D. Bélanger, A. Blondlot, A. Bouffard, A. Bourque, D. Chaumont, P. Gosselin, D. Houle, C. Larrivée, N. Lease, A.T. Pham, R. Roy, J.-P. Savard, R. Turcotte et C. Villeneuve. Ouranos, Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques, Montréal (Québec). 128 p.

Vincent, L.A. et É. Mekis. 2006. *Changes in daily and extreme temperature and precipitation indices for Canada over the twentieth century*. *Atmosphere Ocean* 44: 177-193.

Yagouti, A., G. Boulet, L.A. Vincent, L. Vescovi et É. Mekis. 2008. *Observed changes in daily temperature and precipitation indices for Southern Quebec, 1960-2005*. *Atmosphere Ocean* 46: 243-256.

#### Sites Internet

Agri-Réseau. *Réseau d'avertissements phytosanitaires*. <http://www.agrireseau.qc.ca/rap/> (consulté le 31 octobre 2010).

RCSCCa. *Données sur les émissions*. Réseau canadien des scénarios de changements climatiques. <http://cccsn.ca/?page=emissions-info> (consulté le 19 décembre 2010).

RCSCCb. *Modèles climatiques régionaux*. Réseau canadien des scénarios de changements climatiques. <http://cccsn.ca/?page=downscaling> (consulté le 31 octobre 2010).

RCSCCc. *Réduction d'échelle*. Réseau canadien des scénarios de changements climatiques. <http://cccsn.ca/?page=downscaling> (consulté le 31 octobre 2010).