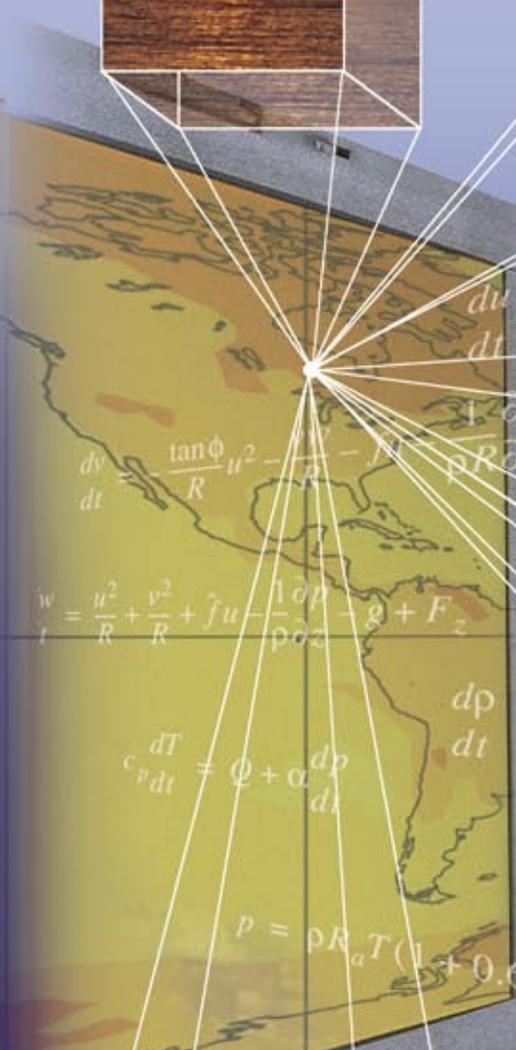


# LE CENTRE CANADIEN DE LA MODÉLISATION ET DE L'ANALYSE CLIMATIQUE

## CCmaC



$\frac{dw}{dt} = \frac{\tan \phi}{R} uv - \frac{uw}{R} + fv - f$   
 $\frac{dw}{dt} = \frac{\tan \phi}{R} u^2 - \frac{v^2}{R} - f$   
 $\frac{dw}{dt} = \frac{u^2 + v^2}{R} + fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g + F_z$   
 $\frac{dT}{c_p dt} = \Phi + \sigma \frac{dp}{dt}$   
 $\frac{dq}{dt} = s(q)$   
 $p = \rho R_a T (1 + 0.61 q)$   
 $\frac{dp}{dt} = -\rho \text{div} \vec{v}; \quad \dot{\vec{r}} = \vec{\Omega} \times \vec{r}$

*À mesure que le climat du Canada change et que les configurations des conditions météorologiques évoluent, les modèles climatiques canadiens sont des phares qui illuminent un avenir incertain.*



Environnement Canada Environment Canada

Canada

## LE CLIMAT DU CANADA CHANGE

Les températures augmentent au Canada, notamment dans l'Arctique, où le pergélisol dégèle et où la couverture de glace de l'océan diminue. Plus au sud, la neige hivernale fond plus tôt, et les glaciers de l'ouest reculent. On s'attend qu'à l'avenir, des changements climatiques encore plus considérables se produiront, dont une augmentation continue des températures, des changements dans les configurations des pluies et des augmentations de certains types de conditions météorologiques dangereuses, comme les fortes pluies printanières et les vagues de chaleur. Parce qu'il est un pays nordique froid, le Canada sera l'un des plus touchés au monde.

Depuis toujours, les climatologues tiennent compte des observations météorologiques passées pour prévoir l'avenir. Toutefois, les scientifiques croient que les futurs changements climatiques seront plus considérables que ceux qui se sont produits depuis mille ans. Bien que le passé puisse encore être un peu garant de l'avenir, les scientifiques tentent maintenant de prédire le climat futur au moyen de simulations complexes par ordinateur à l'aide de modèles climatiques globaux et régionaux.

## UN CENTRE D'EXPERTISE CANADIEN

Le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCmaC) a été créé au début des années 1970 à Environnement Canada, un ministère du gouvernement fédéral. Le Centre a mis l'accent sur la recherche climatique fondamentale et il est rapidement devenu un chef de file dans la nouvelle science de la modélisation du climat et dans l'élaboration de projections scientifiques des futurs changements climatiques.

Les premiers modèles climatiques étaient uniquement fondés sur le comportement de l'atmosphère. À

l'administration centrale d'Environnement Canada à Toronto, le Centre a étroitement collaboré avec d'autres scientifiques spécialisés dans l'étude des processus physiques qui déterminent les conditions météorologiques et le climat ainsi que dans la mesure détaillée de la température, des précipitations et d'autres éléments météorologiques.

En 1993, le Centre a déménagé à l'Université de Victoria, sur la côte ouest du Canada, afin d'avoir accès à d'autres domaines de compétence nécessaires pour mettre au point des modèles plus complets du système climatique. En travaillant avec les scientifiques de l'Université et de l'Institut fédéral des sciences de la mer, situé tout près, on a créé un modèle climatique plus complexe s'étendant du sommet de l'atmosphère au fond de l'océan. Aujourd'hui, environ 30 scientifiques, employés de soutien et associés en recherche travaillent au Centre et ont accès à l'un des plus puissants superordinateurs au Canada.

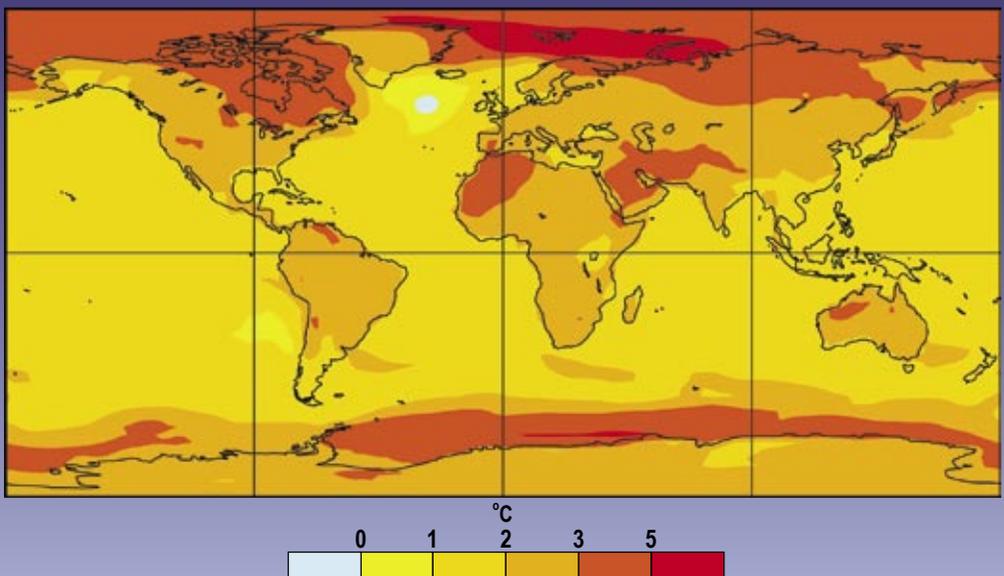
La mise au point d'un modèle climatique global est une activité très spécialisée qui nécessite un investissement à long terme dans les connaissances scientifiques et l'infrastructure informatique. Le Centre canadien est généralement reconnu comme un chef de file international dans ce domaine complexe et il est l'un des rares instituts de ce genre au monde.

Les résultats du modèle climatique canadien, y compris les évaluations scientifiques réalisées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, qui est l'autorité scientifique internationale en la matière, ont été utilisés par les chercheurs du monde entier. Au Canada, le travail du Centre permet de faire la recherche fondamentale et les projections quantitatives nécessaires pour soutenir une grande diversité d'études sur le climat futur et ses conséquences possibles pour notre pays.



## Réchauffement de la planète

Le modèle climatique canadien produit des projections scientifiques des futurs changements climatiques. D'ici le milieu du siècle présent, il est prévu que les températures augmenteront considérablement, notamment dans les régions polaires. *(Température annuelle moyenne de 2041 à 2060, comparée à la période allant de 1971 à 2090, prédite par le modèle MCGG3, scénario SRES A1B).*

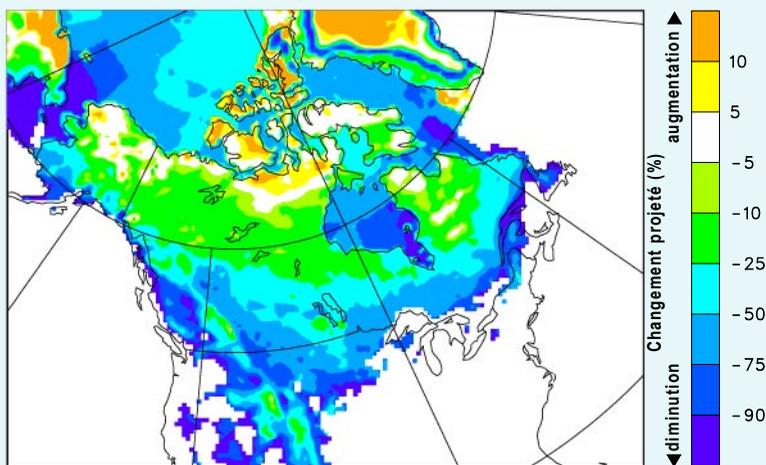




## Aider les Canadiens à se préparer aux changements climatiques

Le modèle climatique global canadien est le fondement des modèles climatiques régionaux, qui peuvent donner des renseignements plus détaillés en fournissant une meilleure orientation pour la planification à long terme dans une grande diversité de secteurs, y compris bon nombre des principales industries canadiennes. Le modèle climatique régional canadien, mis au point par Environnement Canada et l'Université du Québec à Montréal, indique les changements projetés dans la couverture de neige jusqu'au milieu du siècle présent. À mesure que le climat

Diminution de la neige hivernale d'ici les années 2050



se réchauffe, la quantité de neige hivernale pourrait diminuer de 50 % dans une grande partie du sud du Canada et augmenter légèrement dans l'Extrême-Arctique. (Accumulation moyenne de neige hivernale, de décembre à janvier, exprimée en équivalent en eau de neige, de 2041 à 2060, comparativement à la période de 1971 à 1990, simulation du modèle MRCC3.6. Carte dressée par le consortium de recherche OURANOS.

## ORIENTER LES CANADIENS

Le Centre fournit des projections scientifiques des changements climatiques qui guident les Canadiens dans un avenir incertain. Ces prédictions sont utilisées par bon nombre de nos principales industries, y compris l'agriculture, la foresterie et la construction. Les gouvernements et d'autres décideurs trouvent ces renseignements utiles pour la planification à long terme et l'élaboration des politiques. En outre, une grande variété d'autres spécialistes, dont ceux qui s'occupent de la santé, de l'environnement, des écosystèmes naturels et de la planification communautaire, utilisent aussi les résultats du modèle climatique canadien.

## QU'EST-CE QU'UN MODÈLE CLIMATIQUE?

Un modèle climatique est un programme informatique complexe qui utilise des équations mathématiques pour représenter les lois physiques régissant le comportement de l'atmosphère de la Terre, des océans, de la glace de mer et de la surface terrestre ainsi que les processus physiques complexes et intimement liés qui déterminent les conditions météorologiques et le climat.

Le programme informatique simule ces processus sur un maillage qui divise l'atmosphère, les océans et les couches supérieures du sol en plus d'un million de cases tridimensionnelles. Les processus à l'origine des conditions météorologiques sont recréés dans chacune de ces cases, puis intégrés pour produire une image globale. Il en résulte une présentation réaliste des configurations des conditions météorologiques et de la façon dont elles se forment et changent, à des intervalles d'environ 15 minutes. Le climat, qui est la moyenne à long terme des configurations journalières des conditions météorologiques, est recréé en mettant le modèle

à exécution pendant de très longues périodes de temps, en simulant les lents changements du climat passé, puis en le projetant des décennies ou même des siècles dans le futur.

La modélisation du climat nécessite des superordinateurs très perfectionnés; pour simuler une seule année de conditions climatiques, il faut effectuer plus de 100 billions d'opérations mathématiques. Il faut plusieurs mois pour réaliser une simulation type s'étendant sur une période de 100 ans. Les résultats du modèle sont analysés en détail et ventilés en données pouvant être utilisées pour diverses applications.

## NOUVEAUX DÉFIS POUR LE MODÈLE CANADIEN

Au fil du temps, le modèle climatique canadien s'est considérablement amélioré, parce que le système climatique global est mieux connu et que la capacité des ordinateurs a augmenté. Le Centre utilise maintenant son modèle climatique global de la troisième génération pour une grande diversité d'applications, tout en mettant au point un modèle de la quatrième génération.

Le prochain modèle canadien sera encore plus complet et fournira des résultats plus détaillés et réalistes. Par exemple, le dioxyde de soufre, un polluant atmosphérique courant résultant de la combustion des combustibles fossiles, forme des particules fines (connues sous le nom d'aérosols) qui refroidissent le climat en renvoyant dans l'espace la lumière solaire. L'effet de formation d'aérosols sera incorporé dans le nouveau modèle.

Les recherches avancent aussi en ce qui concerne le cycle global du carbone : l'absorption par les plantes

du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère, son stockage dans les plantes, le sol et l'eau profonde des océans, et son éventuel rejet de nouveau dans l'atmosphère. La modélisation de ces processus permettra aux chercheurs de répondre aux questions concernant le rôle des océans et des forêts dans la réduction de l'accumulation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, et la façon dont les activités humaines peuvent bouleverser l'équilibre naturel du carbone.

## QUE PEUT NOUS APPRENDRE LE MODÈLE CANADIEN?

Le modèle climatique global canadien peut apporter un éclairage à bon nombre de questions d'importance scientifique et sociétale, dont les suivantes :

### 1. Des activités humaines ont-elles déjà changé le climat?

Les modèles climatiques peuvent servir à étudier le passé aussi bien que l'avenir. Le modèle peut être démarré au moyen des conditions climatiques et atmosphériques qui existaient au XIXe siècle, puis avancé jusqu'à la période actuelle afin de reproduire le climat au cours du siècle dernier. Ces expériences permettent aux scientifiques de changer les éléments du modèle et de comparer les résultats avec le climat réel afin de déterminer les causes des changements observés. Ce qui est évident, c'est que les émissions anthropiques de gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone, ont eu un effet considérable sur le climat de la Terre, un effet bien au-delà de ce qui pourrait être attribué à des causes naturelles.

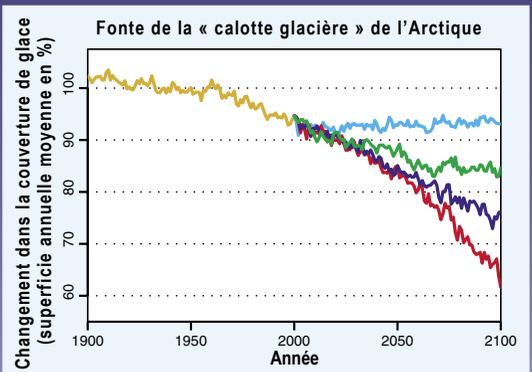
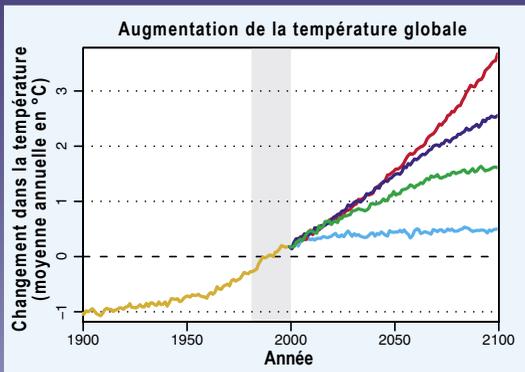
### 2. À quoi le climat ressemblera-t-il à l'avenir?

Les projections modélisées du climat futur sont l'un des principaux défis scientifiques actuels, car non seulement la connaissance du système climatique physique est incomplète, mais il existe beaucoup d'incertitude au sujet des activités humaines futures et de la façon dont ces activités influenceront sur les concentrations futures de gaz à effet de serre. La croissance démographique, le développement économique et les progrès technologiques auront tous d'importantes conséquences sur notre futur climat. Pour tenir compte du « facteur humain », le milieu international de la recherche a mis au point divers scénarios de développement humain potentiel. Les concentrations futures de gaz à effet de serre dans l'atmosphère peuvent être calculées pour chaque scénario, et un modèle climatique peut ensuite être utilisé pour montrer comment le système climatique réagirait. Différents scénarios et différents modèles climatiques produisent chacun différentes interprétations du climat futur, mais ils ont tous certains résultats clés en commun, à savoir que le réchauffement planétaire sera beaucoup plus important que celui que nous avons connu au cours des milles dernières années, que la glace de mer s'amincira, que les quantités de neige diminueront et que le niveau de la mer s'élevaera partout dans le monde.



## Connaître les conséquences de nos actes

L'activité humaine influera considérablement sur le futur climat de la Terre. Le modèle climatique canadien peut servir à démontrer l'effet de différentes voies de développement humain. Les résultats varient entre un réchauffement additionnel de 4 °C si la croissance démographique future est rapide et si la technologie change lentement, et un réchauffement de 1,5 °C seulement si nous adoptons rapidement une économie globale « verte », si la croissance démographique est faible et si nous utilisons des sources d'énergie propre. Nous devons nous attendre à un réchauffement d'un demi-degré de plus causé par les gaz à effet de serre que nous avons déjà rejetés (Modèle MCGG3).



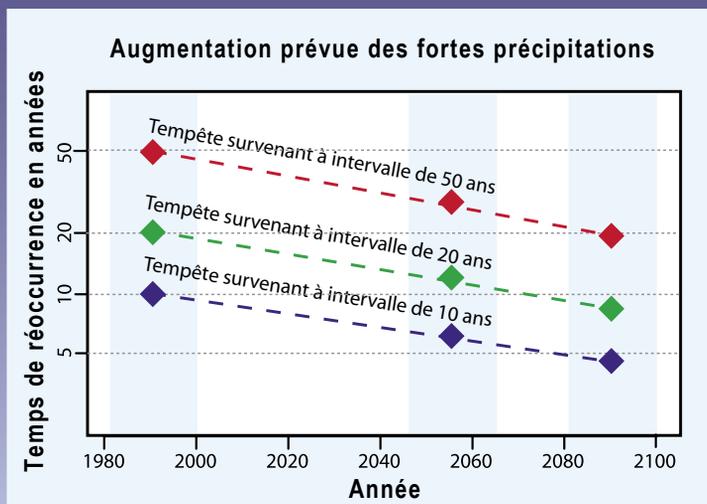
- Croissance future rapide, changement technologique lent (scénario SRES A2)
- Avenir mixte d'utilisation d'énergie « verte » et de combustibles fossiles (scénario SRES A1B)
- Un monde futur « vert » et utilisation d'énergie propre (scénario SRES B1)
- Changement futur déjà entrepris
- Reproduction du changement passé par le modèle (20C3M)





## Conditions météorologiques dangereuses à l'horizon

Au Canada, certains types de conditions météorologiques dangereuses, comme les fortes chutes de pluie et les vagues de chaleur, augmenteront probablement. Les fortes tempêtes de pluie soudaines, qui peuvent donner lieu à d'importantes inondations, sont particulièrement préoccupantes. Selon les projections du modèle canadien, une très forte tempête de pluie, qui se produit normalement une fois seulement tous les 20 ans, pourrait avoir lieu tous les 14 ans d'ici les années 2050 et tous les 7 ans d'ici 2100. (*extrêmes de précipitations pendant 24 heures pour l'Amérique du Nord entre 25° et 65° de latitude Nord, Modèle MCGG3, scénario SRES A1B*)



### UN APERÇU DU FUTUR CLIMAT DU CANADA

Pour le siècle à venir, le modèle climatique canadien indique que les régions de la Terre le plus au nord connaîtront le plus important réchauffement, et qu'il en résultera des conséquences potentiellement graves pour les collectivités et les écosystèmes de l'Arctique. D'importants changements climatiques sont aussi prévus dans les Prairies, les côtes est et ouest, et le bassin des Grands Lacs. Beaucoup de localités et d'industries vulnérables au climat, dont la foresterie, l'agriculture, le transport maritime, les pêcheries, et l'exploitation pétrolière et gazière, seront profondément touchées. Tout comme chaque région du pays est touchée d'une certaine façon par les

caprices des conditions météorologiques actuelles, nous serons tous perturbés par l'évolution de notre climat.

L'ampleur et le rythme du changement prévus pour le XXI<sup>e</sup> siècle exerceront une pression énorme sur notre environnement, notre infrastructure et notre tissu social. La modélisation du climat peut nous aider à éviter d'aggraver la situation en donnant un aperçu de l'avenir. En définitive, cette science comparativement nouvelle, sous la direction de groupes comme le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse du climat, devrait nous aider à atteindre le point où des décisions susceptibles d'avoir des conséquences pour notre monde seront prises par des personnes qui ont examiné les résultats du modèle et « vu » les conséquences.

### POUR DE PLUS AMPLES RENSEIGNEMENTS :

**Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique**  
Environnement Canada

Case postale 1700, Université de Victoria

Victoria (Colombie-Britannique)

Canada V8W 2Y2

**Site Web : [www.cccma.bc.ec.gc.ca](http://www.cccma.bc.ec.gc.ca)**

