



**Changements
climatiques:
comprendre
pour mieux agir!**

ÉTAT DES CONNAISSANCES EN SCIENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : LE CLIMAT CHANGERA-T-IL VRAIMENT AU 21^e SIÈCLE?

Alain Bourque, M. Sc.
Directeur du volet Impacts et Adaptation
Consortium Ouranos
alain.bourque@ec.gc.ca

M. Alain Bourque est directeur du volet Impacts et Adaptation au consortium Ouranos et coordonnateur au Québec du Réseau canadien de recherche sur les impacts climatiques et l'adaptation. Auparavant, il a travaillé comme climatologue et chef de section à la Division des sciences atmosphériques et enjeux environnementaux à Environnement Canada.

ÉTAT DES CONNAISSANCES EN SCIENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES : LE CLIMAT CHANGERA-T-IL VRAIMENT AU 21^e SIÈCLE?

INTRODUCTION

Le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) est l'instance internationale en matière de changements climatiques. Cet organisme, mis en place par les Nations Unies et par l'Organisation Mondiale de la Météorologie, n'a pas comme objectif de promouvoir le sujet des changements climatiques mais bien de quantifier et qualifier l'évolution passée et future du climat et de ses causes. En 2001, cette instance a une fois de plus confirmé ce que la majorité des spécialistes en science du climat signalent depuis déjà plusieurs années : le climat change et ces changements ne peuvent faire autrement que de s'intensifier au cours du 21^e siècle si l'être humain ne change pas sa façon d'exploiter les ressources de la planète.

En fait, nous savons tous que le climat change continuellement. Les vagues de froid et de chaleur, les épisodes de pluie abondante ou de sécheresse de différentes amplitudes font partie de la variabilité naturelle du climat. Depuis le début de son existence, l'être humain a continuellement dû s'adapter à cette variabilité qui se manifeste constamment. L'adaptation à l'évolution du climat est profondément incrustée dans tous les aspects de notre société. Le système de chauffage ou de climatisation maintenant la température intérieure et le taux d'humidité à un niveau désiré, les infrastructures permettant de protéger et transporter les gens et les biens en limitant les impacts du climat, l'exploitation agricole et forestière faite en fonction de la réalité climatique locale, sont des exemples concrets d'adaptation continue au climat et à sa variabilité.

Malheureusement, ces adaptations sont basées sur une hypothèse fondamentale : l'amplitude de la variabilité historique est stable autour d'une moyenne climatologique qui est aussi stable. Or, le GIEC signale que les moyennes climatologiques ne sont plus aussi stables qu'auparavant et qu'elles commencent maintenant à dériver vers un climat significativement plus chaud, plus énergétique. Puisque nos activités d'adaptation sont basées sur le climat du 20^e siècle, les implications de la non validité de cette hypothèse pour le 21^e siècle sont énormes. Il devient donc fondamental de bien comprendre la science des changements climatiques afin de prendre des décisions éclairées pour i) réduire le problème à la source, c'est-à-dire réduire les

émissions de gaz à effet de serre et ii) adapter nos activités socio-économiques et environnementales à une nouvelle réalité climatique qui semble inévitable.

ÉQUILIBRE CLIMATIQUE

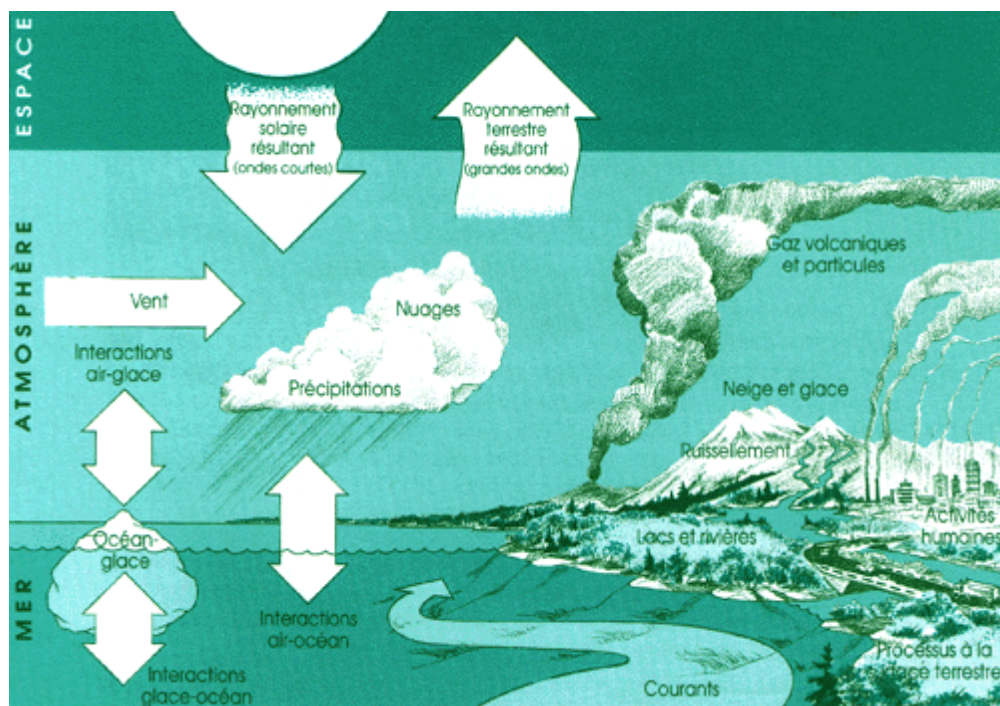
Le soleil est la principale source d'énergie pour la terre. L'atmosphère est le premier des sous-systèmes climatiques à recevoir cette énergie et est quasiment transparente aux ondes courtes émises par le soleil. Le rayonnement solaire atteint donc le sol dans sa presque totalité sous un ciel dégagé. Les nuages et les poussières réfléchissent ou absorbent une grande partie du rayonnement solaire qui les atteint. La surface du globe absorbe le rayonnement qu'elle reçoit et en convertit une partie en chaleur. Comme tous les corps, la surface du globe émet aussi des ondes en fonction de sa température. Puisque le globe a une température beaucoup plus froide que celle du soleil, les ondes retransmises vers la verticale sont beaucoup plus longues, c'est-à-dire dans le spectre infrarouge. Contrairement à ses effets sur les ondes courtes, l'atmosphère n'est pas transparente aux infrarouges. Ainsi, une portion significative de ce rayonnement terrestre est absorbée et convertie en chaleur par certains gaz et par la vapeur d'eau qui composent l'atmosphère. Ce processus naturel est connu sous l'expression «effet de serre».

En l'absence de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4), vapeur d'eau (H_2O) et oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N_2O)), le rayonnement terrestre pénétrant dans l'atmosphère terrestre serait transféré sans absorption vers l'espace. La température moyenne de la terre serait plutôt autour de $-18\text{ }^\circ\text{C}$ en moyenne et non pas de $15\text{ }^\circ\text{C}$ comme analysée depuis plusieurs milliers d'années. Cette température moyenne relativement stable prévaut depuis près des 10 000 dernières années, la terre et le soleil étant en équilibre énergétique. On comprend donc l'importance de conserver la même quantité de gaz à effet de serre dans cette atmosphère où se font les échanges énergétiques déterminants pour la température du globe. L'étude des bulles d'air emprisonnées dans les calottes glaciaires révèle d'ailleurs qu'il y a une forte corrélation à long terme entre les changements de température planétaire et les changements dans la concentration des gaz à effet de serre. L'équilibre énergétique a donc permis à la terre de conserver un climat relativement stable depuis plusieurs milliers d'années et l'effet de serre naturel dans l'atmosphère permet de maintenir une température favorable à la vie et d'atténuer grandement les vastes écarts de température qu'ont tendance à produire les

milieux où le rayonnement est le principal facteur qui détermine la température (comme la lune ou mars).

À cause de l'inclinaison et de la rotation de la terre, de l'orographie (description du relief terrestre) et de la présence de nuages, l'énergie solaire atteignant la planète n'est pas distribuée également. Ceci engendre donc une grande variété d'échanges énergétiques se produisant à différentes échelles dont, entre autres, la formation de systèmes météorologiques permettant de mélanger les masses d'air chaud des régions tropicales à celles des régions polaires, le maintien de courants océaniques permettant le mélange de masses d'eau de caractéristiques différentes, les échanges par conduction entre le sol et l'atmosphère ou par convection dans l'hydrosphère ou dans l'atmosphère. En fait, le système climatique illustré à la figure 1 est un moteur qui vise à redistribuer continuellement l'énergie de façon à uniformiser la température de la planète. Sans jamais réussir à atteindre ce but d'uniformisation globale, ce moteur planétaire ne manipule pas plus d'énergie depuis les 10 000 dernières années. En effet, la terre, étant globalement en équilibre énergétique, rejette autant d'énergie à l'espace qu'elle en reçoit du soleil, et la stabilité relative de la composition de l'atmosphère et de la température moyenne globale illustre cette stabilité (Peixoto et Oort, 1992).

Figure 1 : Les cinq sous-systèmes du système climatique : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la lithosphère et la biosphère (Environnement Canada, 1994).



L'avènement de l'industrialisation, la hausse de la demande en énergie, la croissance démographique et l'utilisation intensive du territoire contribuent à modifier la composition de l'atmosphère. L'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre associé aux activités citées accentuent l'effet de serre naturel, font monter la température moyenne de la surface du globe, augmentent la quantité d'énergie disponible et fragilisent la stabilité énergétique des derniers siècles. Ce réchauffement déclenche une modification graduelle des circulations atmosphériques et des autres sous-systèmes du système climatique et provoque donc des changements climatiques pour l'ensemble des paramètres du climat.

ÉVOLUTION HISTORIQUE DU CLIMAT

La figure 2 illustre l'évolution des températures moyennes mondiales des 140 dernières années, mesurées à l'aide de thermomètres, ainsi que l'évolution des températures moyennes de l'hémisphère nord du dernier millénaire telles qu'inférées par l'analyse de données indirectes. Même en incluant les incertitudes associées aux mesures et analyses, on remarque un réchauffement marqué depuis les 140 dernières années, essentiellement depuis 1910. Le réchauffement est de 0,6 °C à l'échelle globale et de 1,1 °C à l'échelle canadienne (Figure 3). Pour le Québec, aucune tendance significative au réchauffement n'a été enregistrée jusqu'au cours des années 1990. Par contre, depuis environ 1993, le nord du Québec, qui semblait auparavant se refroidir graduellement, vit une importante tendance au réchauffement. Sur le sud, les températures ont été nettement et systématiquement au-dessus des moyennes 1961-1990 au cours des trois dernières années.

Ces tendances et changements sont-ils des manifestations des changements climatiques à l'échelle mondiale, canadienne et québécoise? Sont-ils des manifestations de la variabilité naturelle du climat? Avant de répondre à cette question dans la section qui suit, il est important de regarder l'ensemble des paramètres climatiques, et surtout de comprendre le comportement des tendances globales et régionales.

L'atmosphère étant un fluide fort complexe pouvant générer d'importantes fluctuations climatiques temporaires à l'échelle régionale, les scientifiques s'attendent à trouver des tendances statistiquement significatives à l'échelle globale avant de détecter des signaux statistiquement significatifs à l'échelle régionale. En fait, la nature de l'atmosphère fait en sorte

qu'on s'attend à une élévation relativement graduelle des températures globales, alors que celle au niveau d'une région risque d'être beaucoup plus chaotique. Ceci signifie qu'il est beaucoup plus difficile de confirmer statistiquement les causes de l'élévation marquée des températures au Québec depuis quelques années. Le langage des scientifiques se traduit donc ainsi : les tendances récentes des températures au Québec sont compatibles avec ce que l'on anticipe des changements climatiques mais celles-ci peuvent avoir été causées par une variation naturelle et temporaire du climat. À l'échelle planétaire, il semble désormais très peu probable que l'augmentation observée des températures soit causée par la simple variabilité interne du climat. Un forçage externe est donc en cause.

Figure 2 : Température moyenne pour les 140 dernières années (haut) et le dernier millénaire (bas), incluant les incertitudes attribuables aux méthodes de mesure ou d'analyse (GIEC, 2001).

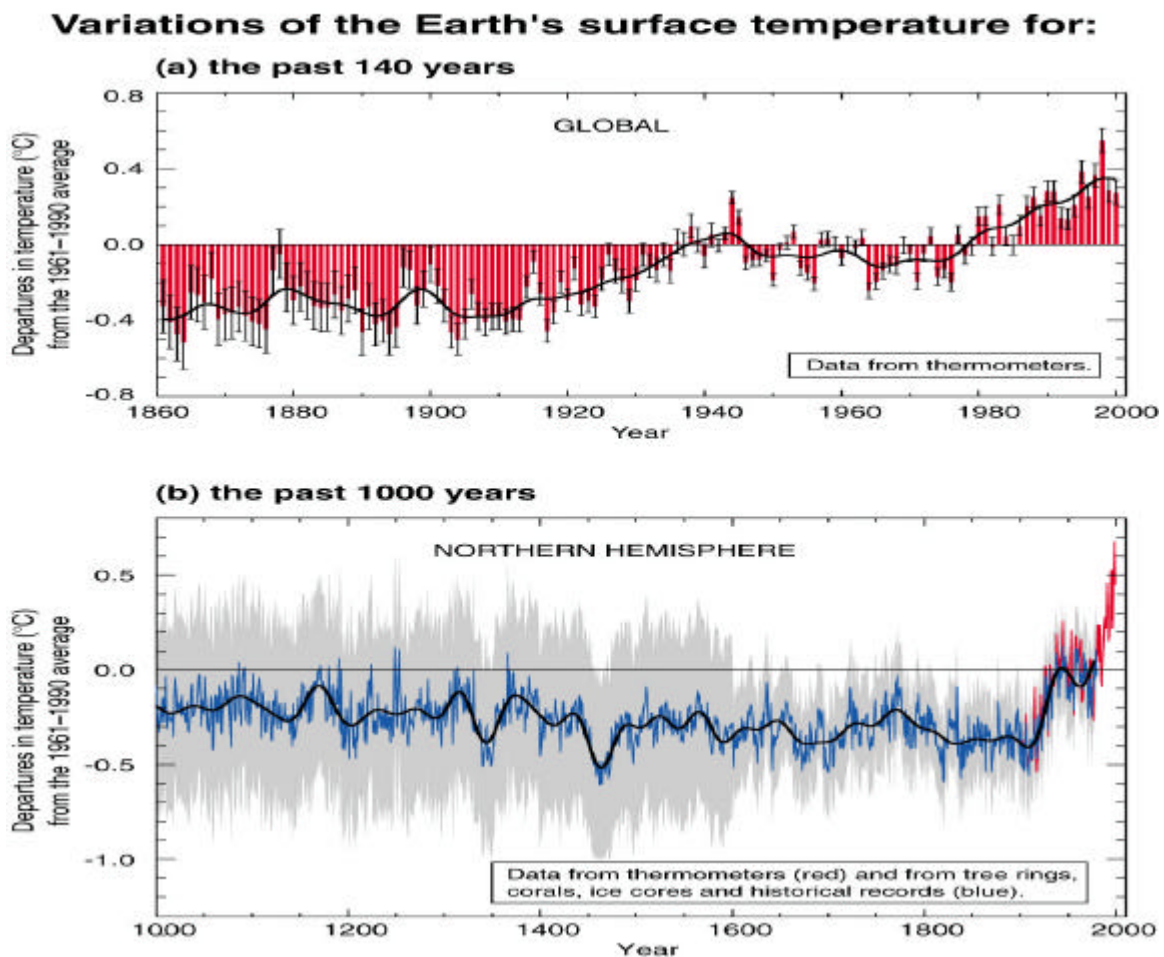
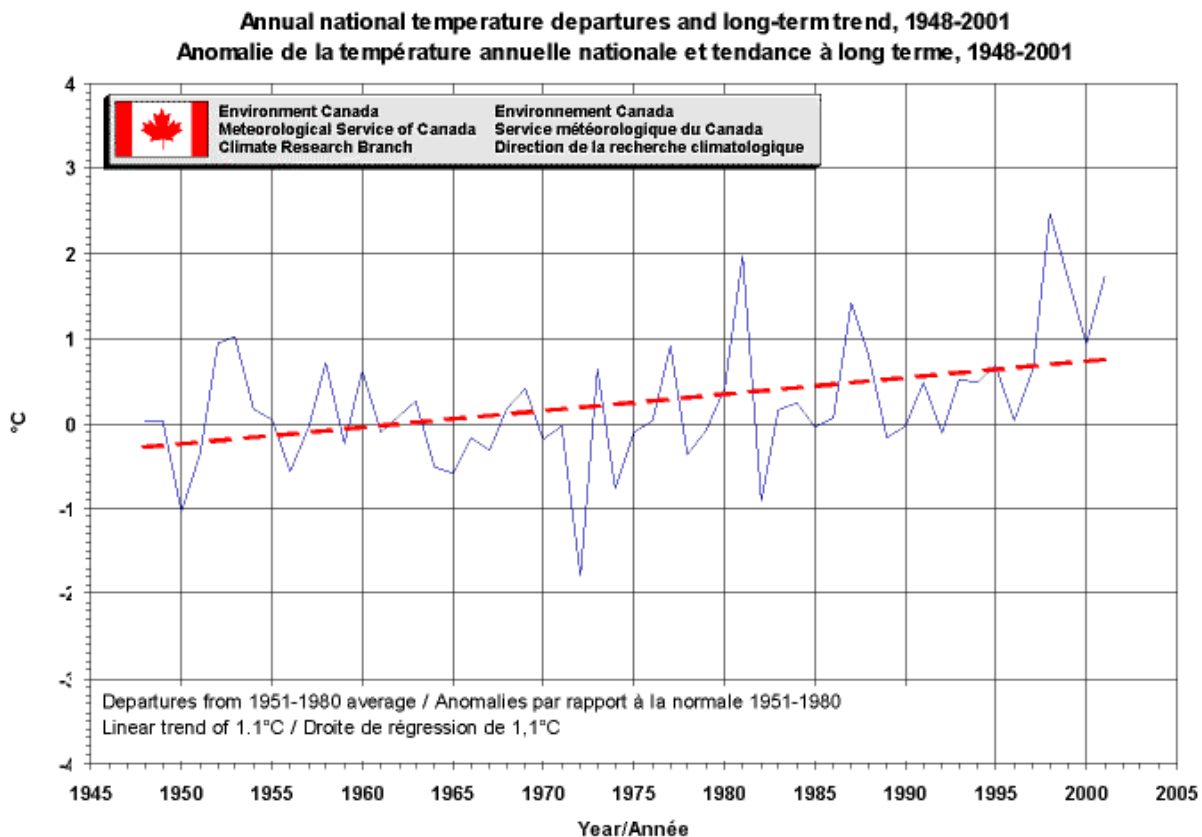


Figure 3 : Évolution de la température moyenne canadienne depuis 1948 (Environnement Canada, 2002).



Autre indicateur climatique d'intérêt : la couverture de neige couvrant le globe. En analysant les données satellitaires et de surface, il semble très probable que la durée de cette couverture ait diminué de près de 10 % sur la majorité de l'hémisphère nord depuis les années 1960. À ceci s'ajoutent un retrait généralisé des glaciers non polaires et le fait que la couverture de glace automnale et printanière de l'Océan Arctique semble avoir diminuée de près de 40 %.

Le niveau de la mer s'est globalement accru de 10 à 20 centimètres au cours du 20^e siècle. De plus, les observations océaniques disponibles indiquent un réchauffement des océans mais l'ampleur de celui-ci n'est pas bien connue. Ces deux constatations sont cohérentes puisqu'un réchauffement de l'océan implique une expansion thermique de l'eau et donc un rehaussement du niveau de la mer. En fait, il est incorrect de penser que le rehaussement marin est présentement explicable par la fonte de glaciers, l'expansion thermique étant le principal facteur du rehaussement actuel.

La précipitation est très variable de nature. Elle est aussi parfois très difficile à compiler. Par exemple, une seule journée de température manquante pour une station climatologique a peu d'impact sur la moyenne mensuelle. Par contre, une seule journée de précipitation peut représenter un pourcentage significatif, voire même la totalité des précipitations mensuelles de cette même station. Le cycle de l'eau demeure néanmoins l'une des composantes climatiques des plus fondamentales à la vie. Son suivi est crucial mais les scientifiques doivent considérer les problématiques liées aux mesures de la précipitation pour assurer l'intégrité des analyses.

Ces analyses suggèrent présentement que les précipitations continentales sur l'hémisphère nord ont augmenté de 5 à 10 % depuis l'an 1900. Elles suggèrent aussi une augmentation de 20 à 30 % dans les régions tropicales et une diminution d'ampleur comparable pour la région subtropicale juste au nord. Une fois de plus, ces patrons sont consistants avec ceux anticipés pour les prochaines décennies.

Encore plus variables que les précipitations, les événements climatiques extrêmes font pourtant continuellement les manchettes. Malheureusement pour les médias, les scientifiques et la population en général, la fréquence d'occurrence suit des patrons aux apparences si chaotiques qu'il est très difficile d'obtenir des tendances statistiquement significatives. Pour les décideurs et les scientifiques, la problématique est la suivante : même s'il y a une tendance à l'augmentation (le signal) pour certains types d'extrêmes, la variabilité (le bruit) est tellement forte que les scientifiques ne peuvent affirmer que ce signal en est un valable. Néanmoins, plusieurs travaux indiquent que le signal pourrait devenir statistiquement significatif pour certains types d'extrêmes continentaux comme l'augmentation des événements de pluie abondante sur les États-Unis et pour la diminution dans la fréquence des températures extrêmement froides pour l'ensemble de la planète. De plus, la fréquence, l'amplitude et l'intensité du phénomène El Niño semblent avoir augmenté depuis les 30 dernières années. La fréquence et l'intensité des périodes de sécheresse semblent aussi avoir augmenté dans plusieurs régions d'Afrique et d'Asie.

Par contre, certains aspects du climat ne semblent pas avoir changé. La couverture de glace en Antarctique s'est maintenue. Les climats de plusieurs régions du globe ne se sont pas réchauffés, en particulier au-dessus des océans de l'hémisphère sud, au-dessus de l'Antarctique et dans la portion nord-ouest de l'Atlantique. Des analyses conflictuelles empêchent de conclure sur la fréquence et l'intensité des dépressions tropicales et extra-tropicales et les

analyses de trajectoires sont trop rares pour conclure. Finalement, des analyses spécifiques et très limitées ne peuvent permettre de conclure à une augmentation systématique dans la fréquence des tornades, des éclairs ou de la grêle.

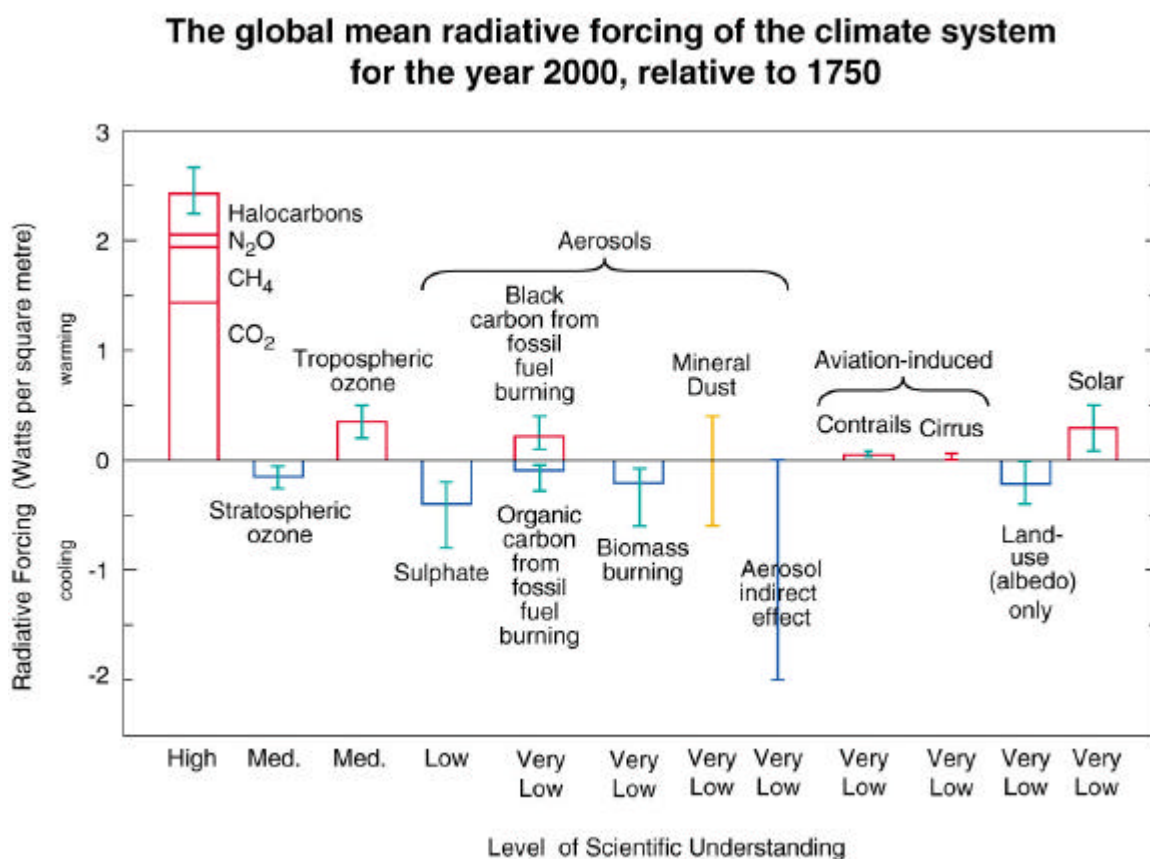
L'ordre de présentation des tendances pour différentes variables n'est pas aléatoire; il représente le niveau croissant d'incertitude. Les températures mondiales montrent une tendance statistiquement significative et indéniable alors que les tendances pour les extrêmes de précipitation à l'échelle régionale sont rarement statistiquement significatives.

LIENS ENTRE LES GAZ À EFFET DE SERRE ET L'ÉVOLUTION RÉCENTE DU CLIMAT

La concentration de certains gaz de l'atmosphère, en particulier des gaz à effet de serre, a clairement augmenté depuis le dernier siècle. Les augmentations suivant une courbe exponentielle sont respectivement de 31 %, 151 % et 17 % pour le CO₂, le CH₄ et le N₂O respectivement. À première vue, ces courbes sont globalement consistantes avec le taux d'industrialisation planétaire et le taux de combustion de combustible fossile. L'hypothèse la plus simple pour expliquer l'évolution récente des variables climatiques consiste donc à dire que l'augmentation des gaz cités plus hauts équivaut à amplifier l'effet de serre naturel. Évidemment, il ne suffit pas de constater un changement dans la composition de l'atmosphère et un changement dans l'évolution récente des variables climatiques pour lier les deux! En fait, il est bien documenté que certains autres paramètres, comme le rayonnement solaire et les poussières atmosphériques, affectent l'évolution du climat. Néanmoins, en examinant l'évolution de divers forçages radiatifs depuis l'industrialisation (Figure 4), on constate que seule l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre peut expliquer la tendance marquée au réchauffement des températures planétaires. De plus, en utilisant des simulateurs climatiques, on a pu constater que les variations du rayonnement solaire expliquent en grande partie les variations de température du début du siècle et que le changement de composition de l'atmosphère explique maintenant la plus grande partie des variations après le milieu du siècle (Wigley, 1999). Autrement dit, bien que des facteurs comme les variations du rayonnement solaire, les cendres volcaniques et les courants océaniques expliquent et continueront d'expliquer une grande partie de la variabilité naturelle du climat planétaire, l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre explique une grande partie de la tendance au réchauffement présentée à la figure 2.

Le scepticisme autour de la problématique des changements climatiques est surtout associé à ce dernier paragraphe. Les tendances de température sont claires, l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre est claire, mais la démonstration du lien entre ces deux constatations demeure inévitablement une démonstration jugée trop théorique par certains. En fait, plusieurs comparent, à titre illustratif, la difficulté de lier les émissions non naturelles de gaz à effet de serre et les changements du climat à long terme à la difficulté de lier la consommation de cigarettes à la fréquence de cancer du poumon. Néanmoins, les spécialistes du climat ne doutent plus des changements; ils tentent plutôt de déterminer l'ampleur des changements à venir! Naturellement, la récente tendance médiatique à vouloir montrer « les deux côtés de la médaille » n'a rien pour aider les scientifiques à informer la population sur l'état des connaissances.

Figure 4 : Forçages radiatifs induits par différents facteurs en l'an 2000, relatif à l'ère préindustrielle (GIEC, 2001).



INCERTITUDE ENTOURANT LES SCÉNARIOS DU FUTUR

Idéalement, la reproduction d'une problématique en laboratoire est l'une des façons les plus efficaces pour comprendre les processus et prévoir des conséquences. À cause de sa complexité, l'expérience en temps réel que l'être humain mène présentement sur le système climatique ne peut être reproduite en laboratoire. Les scientifiques ont donc réussi, il y a plus de 40 ans, à contourner ce problème en inventant de puissants outils informatiques appelés simulateurs climatiques.

Au cours des années, les scientifiques de tous les pays ont développé et validé des milliers d'équations mathématiques représentant tous les processus climatiques et les ont rassemblées à l'intérieur de programmes informatiques constituant les simulateurs climatiques. En assignant, entre autres, des valeurs initiales pour le climat de départ de l'expérience, une description de l'orographie, du positionnement des océans et des continents et de l'évolution des forçages radiatifs, un super ordinateur peut simuler l'évolution des variables climatiques telles que définies par le programme informatique. Ces simulateurs du climat, hautement sophistiqués, sont capables de reproduire les grands patrons climatiques historiques et sont, en fait, à l'origine des premiers avertissements de la venue de changements climatiques, il y a plus de 20 ans! Ceux qui doutent de la capacité des simulateurs climatiques en se basant sur les erreurs occasionnelles dans les prévisions météorologiques (qui sont en partie générées par des simulateurs météorologiques similaires aux simulateurs climatiques) doivent se raviser. Les simulateurs météorologiques ont comme objectif de prévoir précisément l'évolution temporelle et spatiale des paramètres climatiques. Les simulateurs climatiques visent plutôt à prévoir le comportement moyen et la gamme des possibilités de ces paramètres sans avoir à prévoir précisément l'occurrence des phénomènes. Autrement dit, les simulateurs météorologiques s'attaquent directement à la variabilité naturelle du climat au quotidien alors que les simulateurs climatiques cernent le problème dans une perspective statistique en analysant des données sur des blocs de plus de 20 ans de données. Alors qu'un simulateur météorologique veut déterminer rien de moins que l'intensité, la durée, le début et la fin de chacune des tempêtes de pluie, le simulateur climatique se contente de simuler la distribution de la fréquence et de l'intensité de l'ensemble des tempêtes de pluie pendant une période de 20 ans ou plus, ce qui simplifie l'ampleur de la tâche sans toutefois négliger l'importance de la variabilité naturelle du climat.

Jumelés à l'étude des observations historiques, ces simulateurs constituent le meilleur outil disponible pour comprendre les processus climatiques et anticiper les changements à venir.

L'utilisation d'un simulateur climatique dans un cadre prévisionnel nécessite que l'on détermine préalablement l'évolution anticipée de différents paramètres comme la composition de l'atmosphère. Puisque la prévision à long terme du comportement humain est un domaine fort complexe, les centres de recherche exploitant des simulateurs climatiques utilisent généralement une gamme de scénarios d'émission de gaz à effet de serre reflétant eux-mêmes des scénarios socio-économiques allant du scénario dit optimiste à un scénario dit pessimiste. En fait, cette façon de faire permet d'offrir une gamme de solutions reflétant les incertitudes associées à la prévision climatique : i) différents simulateurs ont généralement différentes solutions quant à l'ampleur du phénomène, ii) le comportement des populations, des économies et des gouvernements est difficile à prévoir, iii) le climat est variable de nature et iv) plusieurs composantes du système climatique sont encore mal comprises. À la lecture de résultats de simulateurs climatiques, il faut aussi se rappeler que les conditions climatiques d'une localité sont essentiellement déterminées par deux composantes, soit par la circulation atmosphérique continentale (dépressions et anticyclones) et par les effets locaux ou régionaux (montagne voisine, lacs et rivières). Or, les simulateurs climatiques globaux présentement utilisés reproduisent principalement la circulation atmosphérique continentale et devront être raffinés à l'aide des simulateurs climatiques régionaux, présentement en développement, afin de réduire les incertitudes liées aux prévisions locales. On doit donc se souvenir que plus notre besoin en scénarios climatiques est local, plus les incertitudes sont élevées.

CE QUI NOUS ATTEND AU 21^e SIÈCLE

Puisque les gaz à effet de serre ont généralement un temps de résidence dans l'atmosphère de plus de 15 ans, le doublement des concentrations atmosphériques semble pratiquement inévitable d'ici la fin du siècle puisque les scénarios allant de +90 % à +250 % sont anticipés, et ce, même en supposant la réalisation du protocole de Kyoto! Selon les estimés présentement disponibles, une utilisation maximisée du territoire afin de séquestrer le carbone pourrait permettre de diminuer légèrement cette augmentation.

En ce qui concerne les températures mondiales, une augmentation de 1,4 à 5,7 °C de la température moyenne de la surface du globe par rapport aux normales 1961-1990 est anticipée. Bien que généralement graduelles au niveau mondial, les tendances au réchauffement ne seront pas nécessairement graduelles au niveau des régions. La nature chaotique de l'atmosphère fait en sorte que ce sont souvent des augmentations par palier irrégulier à l'échelle régionale qui s'additionnent pour générer une augmentation graduelle à l'échelle planétaire. Les changements de température, qui entraîneront des changements dans l'ensemble des sous-systèmes du système climatique, n'auront pas la même ampleur sur l'ensemble du globe. Les régions continentales se réchaufferont davantage que les régions océaniques et on anticipe un réchauffement plus marqué durant toute l'année dans les hautes latitudes, ainsi qu'un réchauffement plus accentué en hiver aux latitudes moyennes à élevées. Le Canada serait en fait l'un des pays les plus affectés avec une température moyenne annuelle augmentant de 5 à 10 °C (un scénario climatique particulier est présenté à la figure 5). Le tableau 1 présente les scénarios climatiques probables pour l'ensemble du territoire du Québec.

Évidemment, il n'y aura pas que la température qui sera affectée. Le régime de précipitation, l'accumulation de neige et de glace, le niveau de la mer, l'intensité et la trajectoire des tempêtes réagiront à de nouveaux forçages climatiques. Il est jugé fort probable que les moyennes de précipitations ainsi que la variabilité annuelle vont augmenter suivant des patrons difficiles à détecter au cours de la première moitié du siècle. Le niveau de la mer devrait continuer de monter pour atteindre de +8 à +88 centimètres d'ici 2100. Naturellement, on anticipe une dégringolade de la couverture de neige et de glace ainsi que du volume des glaciers, sauf pour l'Antarctique où l'augmentation des précipitations devrait le faire grossir.

Figure 5 : Changement projeté de températures hivernales entre 1985 et 2090 considérant les effets combinés des augmentations prévues de gaz à effet de serre et d'aérosol de sulfate, selon le Modèle Couplé de la Circulation Générale n° 1 d'Environnement Canada.

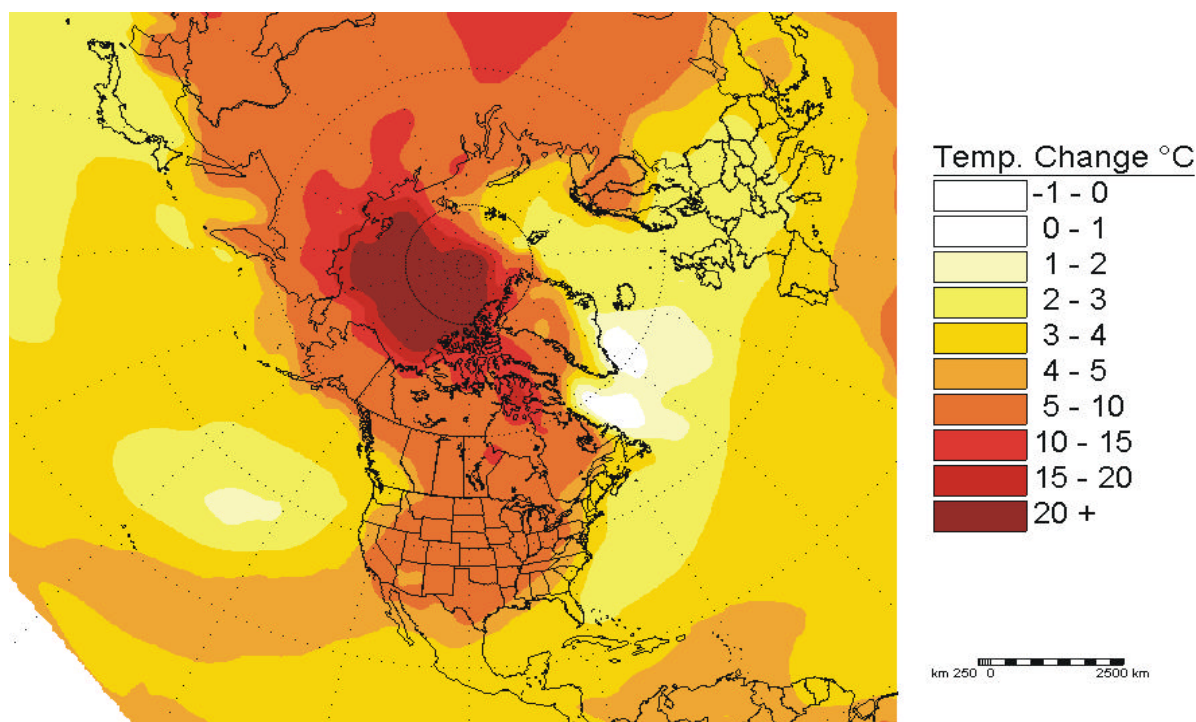


Tableau 1 : Scénarios climatiques pour le Québec (Anomalies 2080/2100 - 1960/1990).

	Sud du Québec			Nord du Québec		
	Scénario optimiste	Scénario moyen	Scénario pessimiste	Scénario optimiste	Scénario moyen	Scénario pessimiste
Été (juin à août)	+1,5 0 %	+2 à +3 0 à +5 %	+4,5 à +5 0 à +10 %	+1 à +1,5 0 à +5 %	+2 à +3 +5 à +10 %	+4 à +4,5 +10 à +20 %
Hiver (déc. à fév.)	+2 +10 %	+3 à +4 +10 à +20 %	+6 à +7 +25 à +35 %	+2 à +3 +5 à +15 %	+4 à +5 +10 à +25 %	+7 à +9 +20 à +40 %

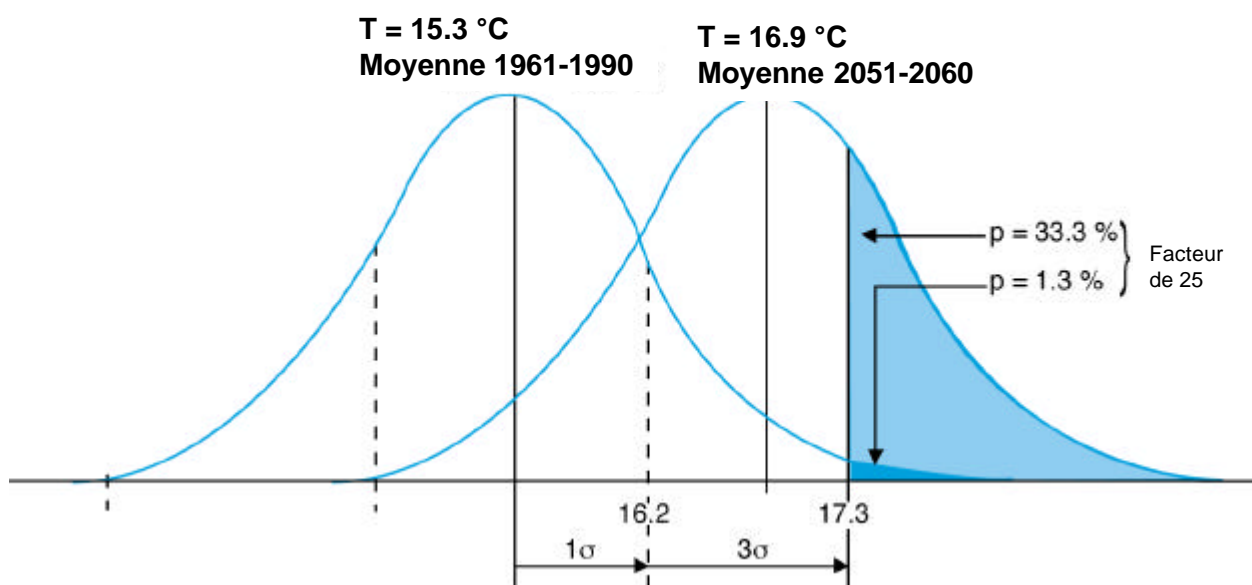
Source : Adaptation des graphiques de WWF

L'impact du changement des moyennes climatiques prend son importance lorsqu'on y ajoute la variabilité naturelle du climat. Bien que les changements dans l'évolution de la variabilité autour d'une moyenne en changement soient généralement plus difficiles à prévoir, on anticipe déjà des

changements dans le comportement de certains types d'événements. D'un point de vue purement statistique et sachant que les statistiques d'extrêmes d'une région sont présentement établies en fonction des événements à s'y être produits historiquement, tout changement aux conditions climatiques moyennes induit nécessairement une augmentation dans la fréquence de certains extrêmes. La figure 6, par exemple, montre clairement comment une hausse des températures quotidiennes moyennes apportera une hausse dans le nombre de journées avec des températures maximales considérées « très chaudes ». Les plus récents travaux montrent donc que les jours de chaleur accablante, les événements de précipitation intense et les sécheresses devraient augmenter en fréquence, en intensité et en durée pour les régions continentales. Les vagues de froid devraient par contre diminuer alors que d'autres phénomènes, comme les tempêtes de verglas ou le phénomène El Niño, nécessitent la combinaison de facteurs trop particuliers ou encore mal compris pour pouvoir se prononcer.

Finalement, la possibilité de voir le système climatique devenir instable est de plus en plus explorée. Par exemple, les simulateurs de climat, qui prévoient déjà un affaiblissement de la circulation océanique dans l'Atlantique nord, laissent entrevoir qu'un arrêt complet de celle-ci est possible. Un tel scénario, qui est présentement généré par certains simulateurs mais seulement après l'an 2100, provoquerait des modifications climatiques majeures irréversibles.

Figure 6 : Effet d'un changement de températures moyennes sur la fréquence d'extrêmes.



CONCLUSION

Une grande partie de nos activités socio-économiques et environnementales sur la Terre se sont développées en tenant compte de la réalité climatique régionale. Or, sans pouvoir encore confirmer leurs prévisions hors de tout doute, voilà que les scientifiques du climat signalent aux habitants de cette planète que des changements climatiques majeurs sont commencés et s'amplifieront au cours des prochaines années. En considérant l'inertie qu'accumule le système climatique, il appert que nos activités devront maintenant s'adapter sur deux nouveaux tableaux : i) en réduisant de façon drastique les émissions de gaz à effet de serre et ii) en considérant de nouvelles statistiques climatiques, avec comme hypothèse qu'un scénario sous un doublement de CO₂ est de plus en plus incontournable. Ces adaptations sont sérieuses, mais les implications de ne rien faire le sont encore plus et la science des changements climatiques devra être à la base de ces adaptations.

RÉFÉRENCES

ENVIRONNEMENT CANADA. 1994. *Sommaire du changement climatique : Modélisation du système climatique de la terre*. Service de l'Environnement Atmosphérique. ISBN : 0662602072. 20 pages. Disponible à http://www1.tor.ec.gc.ca/apac/climate/ccsci_f.cfm.

ENVIRONNEMENT CANADA. 2002. *Suivi du climat au Canada*.. Disponible à <http://www.tor.ec.gc.ca/ccrm/bulletin/>.

GIEC. 2001. *CLIMATE CHANGE 2001 : The scientific basis : contribution of working group 1 to the third assessment report of the inter-gouvernemental panel on climate change*. Edité par J.T. Houghton et autres. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.

HULME, M. 1999. *WWF Global/Regional/National Scenarios*, Disponible à <http://www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/wwfscenarios.html>.

PEIXOTO, J. P. et A. H. OORT. 1992. *Physics of climate*. AIP Press. 520 pages.

WIGLEY, T. 1999. *The science of climate change - Global and U.S. Perspectives*. NCAR. Pew Center on Global Climate Change. 48 pages. Disponible à <http://www.pewclimate.org>.

Site Internet du Centre Canadien de Modélisation et d'Analyse du Climat (CCMAC). 2002. Disponible à <http://www.ccmma.bc.ec.gc.ca/>.