

Découvrir
Ouranos

**Climat
les experts
à l'œuvre**



Découvrir Ouranos

En matière de changements climatiques, nous le savons maintenant, un demi-siècle, 50 ans, c'est demain.

Nous sommes encore en mesure de nous adapter à ces changements désormais inévitables. Au-delà de cette période, les possibilités de réagir deviendront de plus en plus restreintes. Les océans continueront de se réchauffer pendant plusieurs siècles même après la stabilisation des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère et de la température planétaire. Le rehaussement du niveau de la mer devrait se poursuivre et s'intensifier, inondant progressivement plusieurs zones côtières du monde.

La littérature scientifique tend à démontrer que le climat est en évolution et que les changements en cause peuvent nous affecter de manière considérable. Les analyses d'impacts profiteront très certainement des avancées importantes réalisées dans le domaine de la modélisation climatique, mais on peut déjà imaginer qu'en déployant les mesures d'adaptation nécessaires en fonction des changements anticipés, on pourrait réduire les risques de catastrophe.

CHANGEMENTS CLIMATIQUES : L'URGENCE DE RÉPONDRE

La température moyenne à l'échelle de la planète s'est réchauffée de 0,6 °C depuis le début du 20^e siècle. Voilà l'un des constats du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale et le Programme des Nations Unies pour l'environnement. Or, il est prévu que ce réchauffement de l'atmosphère, induit par l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, s'accélérera au cours des prochaines 50 années. Par exemple, dans le Nord québécois, les plus récentes estimations des températures moyennes d'hiver à la fin du siècle, vers 2100, les situent à plus de 5 °C supérieures à celles de la période 1961-1990. Dans ce contexte, les questions se font de plus en plus nombreuses. Comment se préparer à ce réchauffement anticipé? Cette estimation

de la moyenne du réchauffement est-elle une information suffisante pour planifier l'adaptation de façon efficace?

Les simulateurs climatiques globaux, à l'échelle mondiale, et régionaux, à l'échelle d'un continent, indiquent que le Québec ne sera pas uniquement affecté sur le plan de la température : les précipitations, les vents, l'englacement et l'enneigement, l'hydrologie des lacs et des rivières, les régimes de tempêtes et la fréquence des événements extrêmes seront aussi modifiés. Ces changements ont des impacts concrets, aussi bien sur l'environnement naturel et bâti que sur les personnes, qui touchent leur sécurité, leur santé et leur bien-être ainsi que sur les activités qui les relient telles que l'économie, le transport, l'énergie, etc.

La priorité, pour le Québec, est donc d'élaborer et de mettre en œuvre une stratégie équilibrée et intégrée. Il importe non seulement d'atténuer le phénomène des

Tendances annuelles de température



Évolution des températures de la planète de 1976 à 2000.



SOURCE: OURANOS

changements climatiques à sa source en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, mais aussi de s'adapter aux changements déjà bien amorcés. Le tout afin de minimiser les impacts négatifs prévisibles, voire de bénéficier d'éventuels avantages.

L'évaluation des impacts et le développement de stratégies d'adaptation requièrent l'analyse de multiples paramètres météorologiques tels le vent, le rayonnement solaire ou l'humidité du sol. Il faut aussi analyser plusieurs caractéristiques de leur distribution dans l'espace et dans le temps. Estimer les conditions climatiques futures dans le but de s'adapter demande un effort considérable de la part de multiples intervenants. De plus, puisque les impacts des changements se produisent souvent à des échelles fines, des centres tels qu'Ouranos doivent travailler au niveau local, à des endroits bien précis où se feront sentir les impacts, par exemple un bassin versant, une côte maritime ou une ville.

LA RÉPONSE D'OURANOS

Dieu du ciel, fils de Gaïa (la terre), le terrible Ouranos de la mythologie grecque prête aujourd'hui son nom à un regroupement de scientifiques réunis pour étudier des changements climatiques de plus en plus apparents et même inquiétants. Modèle original pour l'évaluation des impacts de ces changements sur l'environnement et la société, le consortium Ouranos rassemble en un seul lieu une centaine de scientifiques et

de spécialistes. D'envergure internationale, il est au cœur de nombreux partenariats (*encadré ci-dessous*) par l'intermédiaire desquels s'ajoutent plus de 150 chercheurs. Tous sont réunis autour d'un objectif commun : l'avancement des connaissances liées aux enjeux des changements climatiques au Québec et au Canada, et aux moyens de s'y adapter. La stratégie d'Ouranos consiste à coupler les sciences du climat à d'autres sciences, telles >

Ouranos s'intéresse de près à toutes les sources d'émission de gaz à effet de serre (GES), dont les bassins hydroélectriques : la rivière Eastmain dans le Nord québécois est au cœur du projet de la Baie James.

Le réseau Ouranos

La création d'Ouranos est due à l'initiative et à l'implication du gouvernement du Québec, d'Hydro-Québec et du Service météorologique du Canada.

Actuellement, huit ministères du gouvernement du Québec, Hydro-Québec, un ministère fédéral et quatre institutions universitaires sont membres d'Ouranos.

Tout récemment, deux autres organismes ont resserré leurs liens avec Ouranos en tant que membres affiliés : Manitoba-Hydro et l'École de technologie supérieure.

Pour la réalisation de sa programmation scientifique, Ouranos collabore entre autres :

- au Québec, avec les universités de Montréal et de Sherbrooke, l'École de technologie supérieure, les membres du réseau de l'Université du Québec à Rimouski, à Chicoutimi et au Témiscamingue, l'Institut national de santé publique
- au Canada, avec l'Université du Manitoba, le Pacific Climate Impacts Consortium (Colombie-Britannique)
- à l'international, avec MétéoFrance, NARCCAP (North American Regional Climate Change Assessment Program) aux États-Unis

Le consortium Ouranos

Ouranos se penche sur la question complexe de l'évaluation des effets des changements climatiques sur notre environnement, tant social que naturel, évaluation indispensable au développement de stratégies d'adaptation adéquates; pour cela, la meilleure projection possible du climat futur est requise.

Son rôle est d'informer les décideurs sur l'évolution du climat et de les conseiller pour déterminer, évaluer, promouvoir et mettre en œuvre des stratégies d'adaptation locales et régionales appropriées.

Plus spécifiquement :

- Ouranos met à la disposition de l'ensemble du Canada sa production des projections de changements climatiques régionales à l'aide de plusieurs modèles, dont le Modèle régional canadien du climat (MRCC);
- Ouranos agit en soutien aux nombreux centres de recherche et universités, organismes publics ou privés, en mettant à leur disposition les meilleurs données et scénarios climatiques en fonction de leurs besoins particuliers;
- Sur le plan des études d'impacts et d'adaptation, Ouranos joue un rôle de catalyseur en réunissant chercheurs, utilisateurs et décideurs dans la définition des projets d'étude au bénéfice de ses membres ou d'autres organismes provinciaux ou nationaux, et participe activement à leur réalisation;
- Ouranos favorise l'essor de la recherche sur les sujets prioritaires pour ses études d'impact et adaptation, et joue un rôle important en matière de sensibilisation des décideurs et du grand public;
- Ouranos contribue à accroître le rayonnement international de la recherche québécoise et canadienne dans le domaine des changements climatiques.


la biologie, la foresterie, les sciences de l'eau, la sociologie ou les sciences de la santé, à cette fin.

Dès sa création, Ouranos a été pensé comme un organisme permettant d'intégrer l'ensemble des disciplines pour aider les décideurs dans leurs choix stratégiques. La participation, au sein du consortium, d'Hydro-Québec et de plusieurs ministères du gouvernement du Québec responsables des ressources naturelles, de l'agriculture, de la sécurité publique ou de la santé assure un lien direct entre les priorités de recherche ou d'analyse et les besoins des décideurs. Ceux-ci, en effet, sont en ligne directe avec les conséquences positives et négatives des changements appréhendés.

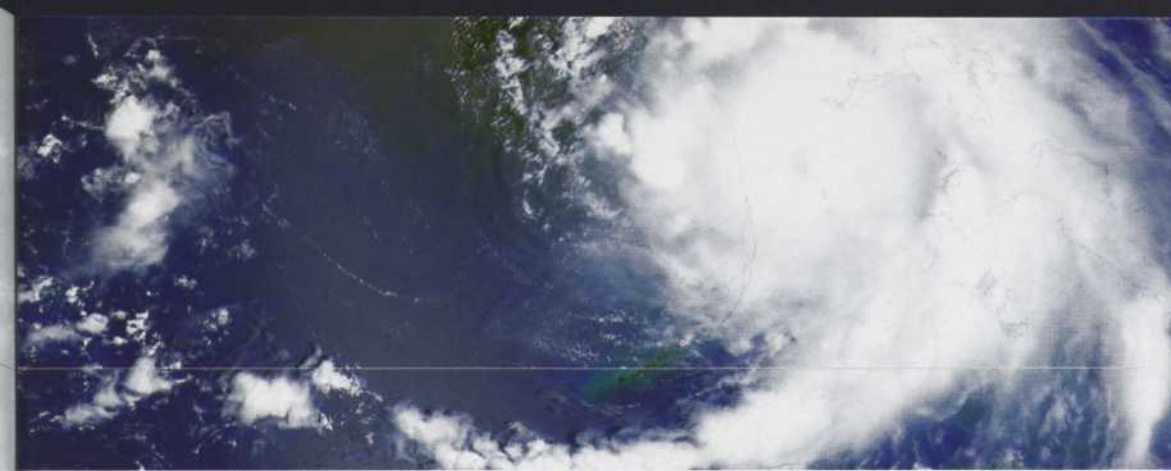
À l'autre bout de la chaîne, de nombreux spécialistes d'Environnement Canada et des grands centres universitaires québécois spécialisés en science du climat et en hydrologie fournissent aux études d'impact et adaptation les données scientifiques les plus récentes dans leur domaine. Ouranos offre ainsi aux gestionnaires une analyse des enjeux faisant appel à toute la chaîne du raisonnement, de la climatologie à l'analyse socio-économique, dans une complète interdisciplinarité.

Les priorités de recherche d'Ouranos correspondent aux enjeux relevés au sein de la société québécoise comme la climatologie régionale, l'économie, la sécurité, les populations et la biodiversité, et ce, en particulier dans l'Arctique québécois, dans la vaste zone maritime, dans la région centrale et dans le sud du Québec.

Les premiers résultats des études d'Ouranos ont été communiqués par les chercheurs et les spécialistes aux utilisateurs et aux décideurs lors du 2^e Symposium scientifique en novembre 2006, à Montréal. Mais étant donné l'acuité actuelle du débat public sur les changements climatiques, certains de ces résultats sont déjà suffisamment établis pour être présentés au grand public. Regroupés dans les pages suivantes sous quelques thèmes majeurs, ces résultats touchent la recherche en sciences du climat à Ouranos, les ressources forestières, les ressources hydriques, le Nord québécois, la santé, et enfin, l'érosion des berges. ◀



Le glissement de terrain dû à la fonte du pergélisol et survenu en septembre 1998 à Salluit, au Nunavik, fournit un bon exemple de ce que peut réserver le réchauffement climatique dans le Nord québécois.



SOURCE : JEFF SCHMALTZ, MODIS RAPID RESPONSE TEAM, NASA/GSFC

Ouragan Katrina
au-dessus de la Floride.

Prévoir le climat

Le rôle des chercheurs d'Ouranos en sciences du climat est de fournir une information pertinente, récente et précise sur les conditions prévues, ceci pour répondre aux besoins des régions et des secteurs d'activité vulnérables aux changements climatiques. L'objectif semble simple, mais les moyens pour l'atteindre sont très complexes. Établir des modèles ou des simulations des températures et des variations de climat à venir requiert des calculs mathématiques avancés, des ordinateurs puissants, et surtout, des spécialistes de haut niveau formés dans ce domaine en effervescence que sont les sciences du climat.

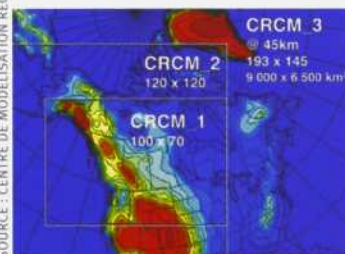
Les travaux couvrent essentiellement trois grands secteurs. On génère des scénarios climatiques qui prennent en compte les variations et les conditions extrêmes de différents paramètres. Par ailleurs, des chercheurs effectuent aussi des simulations de climats passés récents, ce qui permet de tester la validité du modèle, et ils réalisent des projections climatiques à l'échelle régionale, c'est-à-dire du continent. De plus, des recherches fondamentales sont menées sur la simulation climatique régionale ainsi que sur la variabilité et les extrêmes météorologiques.

Pour répondre le plus adéquatement possible aux questions liées à l'impact et à l'adaptation aux changements climatiques, il faut être en mesure d'évaluer très précisément la météorologie du futur, c'est-à-dire d'anticiper les séquences d'événements météorologiques. Ce sont les modèles climatiques globaux (MCG) qui constituent la source initiale d'information : ils simulent les grandes circulations atmosphérique et océanique à l'échelle mondiale. Ces modèles

constituent l'outil unique permettant d'inférer la réaction de ces grandes circulations face à des perturbations de la composition chimique de l'atmosphère. Toutes les projections de changement climatique qui nous sont rapportées par les médias ou qui apparaissent dans les revues savantes résultent des simulations faites à l'aide de ces modèles complexes.

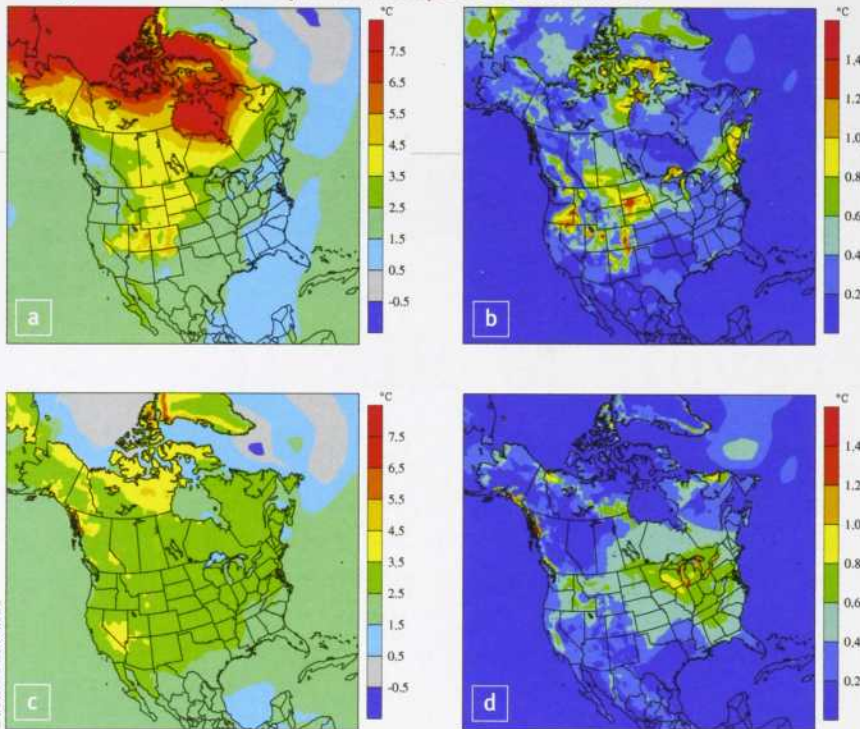
La complexité de ces grands modèles rend difficile leur application concrète, et ce d'autant plus lorsqu'on veut évaluer les impacts du changement climatique à des échelles beaucoup plus fines. Par exemple, les ouragans, dont les dimensions sont habituellement de l'ordre du millier de kilomètres, sont à la limite de la résolution des MCG. Pour pallier cette difficulté, il faut développer des méthodes qui consistent à ramener la circulation atmosphérique à grande échelle simulée par les MCG vers les échelles utiles pour les études d'impact. Des chercheurs d'Ouranos se penchent sur cette question et utilisent deux approches principales : la mise >

Les progrès en matière de modélisation du climat sont constants. La figure représente les domaines de calcul de trois générations du Modèle régional du climat du Canada (MRCC - CRCM) depuis 1991. Les contours délimitent la topographie.



SOURCE : CENTRE DE MODÉLISATION RÉGIONALE DU CLIMAT (CMRCC)

Changement climatique moyen de la température saisonnière.



SOURCE : OURANOS

Changement climatique moyen de la température saisonnière évalué à partir d'un ensemble de projections produites avec le Modèle régional canadien du climat (MRCC) pour l'hiver (panneau a) et l'été (panneau c). Variation autour du changement climatique moyen pour l'hiver (panneau b) et l'été (panneau d).

à l'échelle statistique et la mise à l'échelle dynamique.

Grâce à la mise à l'échelle statistique, on a pu obtenir, à Ouranos, des résultats satisfaisants en ce qui concerne la température, mais la fiabilité pour la précipitation reste à améliorer. Cette méthode consiste à développer des relations statistiques plus ou moins complexes entre les variables

Cette méthode est en théorie applicable à toutes les échelles spatiales, qu'il s'agisse de la planète, d'un continent ou d'un pays, et elle est relativement facile à utiliser. Sa principale faiblesse réside cependant dans l'hypothèse que les mêmes relations statistiques obtenues en climat présent soient applicables aux simulations du climat futur. Une autre faiblesse est l'absence de cohérence physique entre les variables dérivées de l'ajustement statistique.

L'autre méthode de mise à l'échelle, dite dynamique, consiste à employer des modèles identiques aux MCG, c'est-à-dire basés sur les mêmes principes physiques fondamentaux,

mais fonctionnant avec une résolution accrue, c'est-à-dire appliqués à des régions du monde plus petites. On parle alors de modèles régionaux de climat (MRC). Ils sont limités à une région d'intérêt, habituellement un continent, permettant ainsi d'augmenter la précision des données pour cette région. À l'extérieur de cette région d'intérêt bien ciblée, les MRC doivent utiliser les infor-

GRÂCE À LA MISE À L'ÉCHELLE STATISTIQUE, ON A PU OBTENIR, À OURANOS, DES RÉSULTATS SATISFAISANTS EN CE QUI CONCERNE LA TEMPÉRATURE, MAIS LA FIABILITÉ POUR LA PRÉCIPITATION RESTE À AMÉLIORER.

produites par les simulations à grande échelle des modèles de circulation générale (MCG) et les variables d'intérêt, comme la température et les précipitations, observées à des endroits précis. Les relations statistiques sont ensuite appliquées aux mêmes variables de grande échelle des MCG, mais cette fois pour les simulations de la période future.

mations au sujet de la température, du vent et de l'humidité des MCG. C'est pour cette raison qu'on les considère comme des outils de mise à l'échelle. En effet, l'information provenant du MCG, bien que limitée à quelques paramètres, guide la circulation atmosphérique de grande échelle du MRC de façon à la maintenir conforme avec celle du MCG.

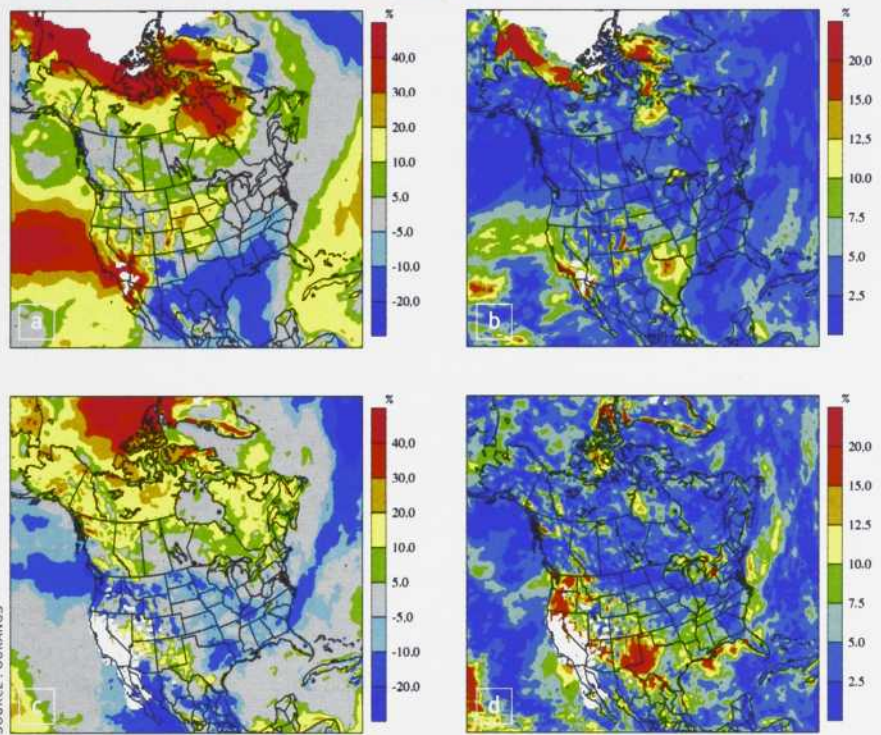
L'avantage principal des MRC réside dans le respect des principes physiques fondamentaux à l'intérieur du processus de mise à l'échelle. Toutefois, la complexité de ces modèles impose d'importantes charges en termes de calcul sur de puissants ordinateurs.

Le nombre et la longueur des simulations sont donc limités et on doit se contenter actuellement de résolutions de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres.

Pour relever ces défis, Ouranos dispose d'importants moyens en termes de simulations régionales du climat, et ce tant en expertise qu'en puissance de calcul. L'équipe Simulations climatiques est responsable de la production des simulations régionales pour l'ensemble de la communauté scientifique canadienne. Depuis sa création en 2002, cette équipe a produit toutes les versions opérationnelles du MRC canadien (MRCC) initialement développé au sein du Réseau canadien sur la modélisation régionale du climat à l'Université du Québec à Montréal (UQAM). Elle dispose de superordinateurs puissants exclusivement dédiés à la production de simulations régionales du climat et qui ont permis de produire plus de 1500 années de climat régional archivées dans une bibliothèque numérique d'une capacité de 725 Tb. Ces simulations produites à l'aide de plusieurs versions du MRCC et alimentées de données provenant de deux versions du MCG canadien ont permis à leur tour la production d'une première projection climatique régionale à l'aide d'un ensemble de simulations pour l'Amérique du Nord. Cette projection d'ensemble a pour la première fois associé une estimation de l'incertitude, qui demeure toutefois très grossière, à la projection climatique régionale.

Toutes ces approches ne sont pas parfaites et continuent de faire l'objet d'importants travaux de recherche partout dans le monde. Ouranos contribue à l'avancement de la science climatique par son support financier, et son personnel hautement qualifié col-

Changement climatique moyen de la précipitation saisonnière.



SOURCE : OURANOS

labore à diverses activités de recherche fondamentale dans les universités québécoises. Parmi elles se trouvent la modélisation régionale du climat au sein du Réseau canadien en modélisation et diagnostics du climat régional (MDCR) à l'Université du Québec à Montréal, ainsi que l'étude de la variabilité et des extrêmes climatiques à l'Université McGill. Ce type d'appui génère des retombées sur deux plans principaux : il contribue à l'avancement de la connaissance et il permet de former le personnel hautement qualifié indispensable pour faire face à l'immense défi que pose le changement climatique à la société québécoise. ◀

Changement climatique moyen de la précipitation saisonnière évalué à partir d'un ensemble de projections produites avec le Modèle régional canadien du climat (MRCC) pour l'hiver (panneau a) et l'été (panneau c). Variation autour du changement climatique moyen pour l'hiver (panneau b) et l'été (panneau d).

L'avenir de nos forêts

Depuis la dernière glaciation, la forêt québécoise a évolué sous l'influence du climat et de perturbations naturelles tels des feux de forêts ou l'action d'insectes. Ces conditions ont mené à la formation de grandes écozones forestières comme l'érablière et la sapinière. Le réchauffement climatique entraînera des changements de la composition et de la productivité des peuplements forestiers, mais le climat affectera aussi indirectement la forêt en modifiant la dynamique des perturbations naturelles et la fréquence des événements météorologiques extrêmes - les sécheresses et le verglas, par exemple.

LA CROISSANCE

Comprendre l'étroite relation entre le climat et la croissance est essentiel pour mieux prédire la réaction des écosystèmes forestiers aux changements de température et de précipitations appréhendés. Pour cela, les chercheurs mesurent en premier lieu la croissance passée des arbres en se basant sur la largeur des cernes de croissance annuels sur des carottes prélevées à l'aide de sondes. Ils relient ensuite la croissance à des variables climatiques mensuelles mesurées ou inférées à partir de stations météorologiques situées à proximité des arbres échantillonnés. Ils sont alors en mesure d'établir des relations climat-croissance et d'utiliser les scénarios climatiques pour prédire la croissance des forêts.

Une équipe de chercheurs, par exemple, étudie présentement la croissance de six espèces d'arbres réparties du sud au nord dans l'ouest du Québec. En ce qui concerne le tremble, les résultats préliminaires indiquent que les températures et les précipitations printanières influencent la croissance, mais que leurs effets ne sont pas uniformes le long du trajet retenu. Cela serait attribuable à l'influence plus régionale de la baie James et de la baie d'Hudson sur le climat des stations les plus nordiques. D'autres résultats prometteurs de cette étude seront disponibles dès la prochaine année.

LES PERTURBATIONS NATURELLES

La fréquence et l'intensité des feux de forêt ou des épidémies d'insectes seront affectées par les changements climatiques. Il est d'autant plus important de s'y attarder que ces perturbations naturelles jouent un rôle important dans le façonnement du paysage forestier : elles affectent la composition, la structure et les processus inhérents aux écosystèmes.

Une étude récente portait sur la fréquence passée des feux de la forêt mixte de la région du Témiscamingue. Un dispositif expérimental comprenant plusieurs stations météorologiques a permis de démontrer que le temps écoulé depuis le dernier feu était un des facteurs majeurs influençant la composition forestière des peuplements, et cela davantage que les caractéristiques géomorphologiques des sites ou l'historique des coupes forestières. Dans un contexte où la fréquence des feux serait appelée à augmenter, les peuplements forestiers du Témiscamingue devraient contenir de plus en plus de bouleau blanc, de pin blanc et de pin rouge au détriment de l'érable à sucre, de la pruche et du bouleau jaune.

Il existe cependant une certaine incertitude quant à la fréquence future des feux de forêt au Québec. En effet, du fait de l'allongement de la saison de croissance et de l'augmentation de l'occurrence de la foudre, la plupart des modèles climatiques prédisent une augmentation des incendies pour l'hémisphère Nord. Mais la situation serait différente pour le Québec en raison des précipitations plus abondantes, qui viendraient contrecarrer l'effet de températures plus chaudes. La fréquence des incendies diminuerait à l'est, demeurerait constante au centre et pourrait augmenter dans l'ouest et dans le nord.

Quant aux insectes, leur cycle vital court et leur facilité à se déplacer leur permettraient de s'établir à des latitudes plus élevées, particulièrement à la faveur d'hivers plus doux. Il est toutefois difficile de prédire la réaction d'un insecte donné en raison des différences biologiques entre les espèces quant à leur comportement saisonnier, aux réactions aux températures, à leur mobilité et à leur préférence de plantes hôtes. Une étude récente a permis d'établir le lien étroit qui existe entre la phéno-



PHOTO : RICHARD GUAY/ORICOM

PHOTO : COMUNIMMAGE.NET

- ◀◀ Lac Nairn à Saint-Aimés-des-Lacs (Charlevoix), l'un des 500 000 lacs québécois.
- ◀ La sapinière : un type de forêt québécoise.

logie des insectes et le climat, plus particulièrement pour le cas de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Le modèle complexe utilisé prend en considération plusieurs variables, dont la période de développement larvaire et le synchronisme entre l'émergence printanière et l'épanouissement des bourgeons de la plante hôte. On peut prédire que la tordeuse profitera largement du réchauffement climatique pour étendre significativement son aire de distribution vers le nord.

NOURRIR LA FORÊT

Dans le futur, les besoins des forêts en éléments nutritifs pourraient augmenter à cause d'une croissance accélérée par de meilleures conditions climatiques, ou encore, à la suite du déplacement des grandes écozones vers le nord. La migration des forêts

devrait cependant être très lente puisque la capacité de dispersion des espèces demeure limitée par rapport à la vitesse du réchauffement. Il en résultera néanmoins un besoin plus grand en éléments nutritifs des sols, les exigences augmentant, par exemple, de la sapinière à l'érablière. Des travaux récents montrent que le réchauffement climatique, tout en favorisant une température du sol plus élevée, augmentera le taux de libération des minéraux essentiels pour la nutrition des forêts, tels que le calcium, le magnésium et le potassium, dans une proportion de 20 à 30 p. 100. D'autres projets de recherche sont en cours pour connaître la disponibilité future de l'azote, qui est l'un des éléments les plus importants pour la croissance des plantes en général et plus particulièrement pour les forêts tempérées et boréales du Québec. ◀



Arbre miné par un insecte foreur.

PHOTO : SOCIÉTÉ CENTRALE D'AGRICULTURE ET D'HORTICULTURE (SCAH)

L'eau, une richesse à conserver

Bien qu'une proportion importante de la planète soit constituée d'eau, moins de 1 p. 100 de cette importante ressource est disponible sous forme d'eau douce. Les quelque 4 500 rivières et 500 000 lacs recouvrant près de 10 p. 100 de son territoire font du Québec un fiduciaire privilégié de ces ressources hydriques, dont l'abondance n'a d'égale que son importance pour toute la société.

Les rivières de grande taille constituent un vecteur stratégique pour le transport fluvial des marchandises. À elle seule, la navigation commerciale sur le Saint-Laurent représente une activité extrêmement stimulante pour l'économie du Québec, et la navigation de plaisance génère des revenus considérables. L'usage domestique des eaux de surface du

fleuve et de ses tributaires est très largement répandu; par ailleurs, à défaut de pouvoir exploiter les eaux de surface, plusieurs usagers comptent sur les eaux souterraines pour leur alimentation en eau potable. Dans la vallée du Saint-Laurent, l'utilisation de l'eau à des fins agricoles aura assuré la prospérité de plusieurs générations d'agriculteurs. ➤

La force vive de ces eaux de surface est reconnue et exploitée au Québec depuis plusieurs décennies. L'électrification du Québec jumelée à la proximité de rivières à haut potentiel énergétique a permis l'aménagement de centrales hydroélectriques autour des grands centres urbains. Plus au nord, notamment sur la Côte Nord et le long de la rivière La Grande, des chantiers d'envergure ont stimulé l'économie et constitué un patrimoine énergétique dont les retombées économiques profitent grandement à la société québécoise.

Mais bien au-delà des considérations économiques associées à l'exploitation des ressources hydriques, l'eau est avant tout source de santé et de vie. Elle contribue au maintien de la biodiversité et constitue l'élément clé de plusieurs écosystèmes. Conscient de la vulnérabilité de cette richesse naturelle, le gouvernement du Québec produisait en 2002, au terme d'un important exercice de concertation entre tous les intervenants impliqués dans ce domaine, sa politique nationale de l'eau sous-titrée « L'eau. La vie. L'avenir ». On y reconnaît que l'eau disponible sur le territoire québécois est une « richesse inestimable ». On y situe la problématique de l'eau dans son contexte québécois et international, on présente les enjeux auxquels la société québécoise fait face en matière de ressources en eau, et on formule les engagements du gouvernement de manière à gérer les ressources hydriques mises à notre disposition dans une perspective de développement durable.

Cet engagement de saine gestion est toutefois susceptible d'être affecté par une nouvelle réalité : celle des changements climatiques. En effet, la communauté scientifique internationale s'entend pour reconnaître la menace que constitue l'évolution du climat sur les ressources hydriques. Au Québec, on tente d'évaluer les impacts de ces changements sur la disponibilité et la qualité des eaux au cours des prochaines décennies. L'état actuel des connaissances nous permet de croire que l'évolution du climat aurait pour conséquence de réduire la disponibilité des ressources hydriques au sud du Québec, alors que le régime hydrologique du nord pourrait bénéficier de précipitations plus abondantes.

LE SAINT-LAURENT ET SA VALLÉE

En plus d'être alimenté tout le long de son cours par de nombreux tributaires, le Saint-Laurent est nourri à sa source par les débits évacués du vaste système hydrique des Grands Lacs. Ainsi, l'ouvrage de contrôle situé à l'exutoire du lac Ontario permet de régulariser les débits du fleuve et d'assurer le maintien de niveaux d'eau permettant de favoriser ses différents usages. On a évalué les effets des changements climatiques susceptibles d'être observés à la hauteur du lac Ontario et de la rivière des Outaouais sur les niveaux du fleuve Saint-Laurent à Montréal. Malgré des hausses anticipées des précipitations annuelles moyennes pouvant atteindre 12 p. 100 à l'horizon 2050, l'étude conclut que les

Alimenter les centrales hydroélectriques

La vulnérabilité du Québec aux changements climatiques est accentuée par le fait que l'électricité qui y est produite provient principalement de centrales hydroélectriques, soit à environ 94 p. 100. Cette production hydroélectrique est en outre à la base d'une partie importante du développement industriel du Québec, notamment pour les aluminières. Elle est la source principale d'approvisionnement en énergie des ménages tant pour les besoins domestiques que pour le chauffage. Tant sur le plan économique que sur celui de la sécurité énergétique des Québécois, l'évaluation du sens et de l'ampleur des impacts des change-

ments climatiques sur le parc de production existant est primordiale.

Cette évaluation est aussi urgente en raison des futurs aménagements puisque les périodes ciblées pour l'évolution du climat correspondent tout à fait à celles de la planification des grands ouvrages hydroélectriques. Le réchauffement des températures hivernales et estivales entraîne une évaporation de l'eau. En plus de l'augmentation des précipitations, on peut anticiper une modification considérable, dans le temps, des quantités d'eau disponibles, de la distribution des approvisionnements en eau des centrales existantes et du potentiel aménageable.

La méconnaissance du régime hydrologique futur préoccupe les gestionnaires des ressources hydriques, car les enjeux économiques sont très élevés. Pour mieux comprendre les conditions globales responsables de l'hydraulicité et développer des outils et des modèles qui affineront la résolution spatiale des divers phénomènes, des efforts majeurs doivent être consentis. Ceux-ci permettront, au cours des prochaines décennies, de prévoir les effets des changements climatiques sur le régime hydrologique des bassins versants québécois aménagés, de façon à pouvoir établir des stratégies d'adaptation adéquates.

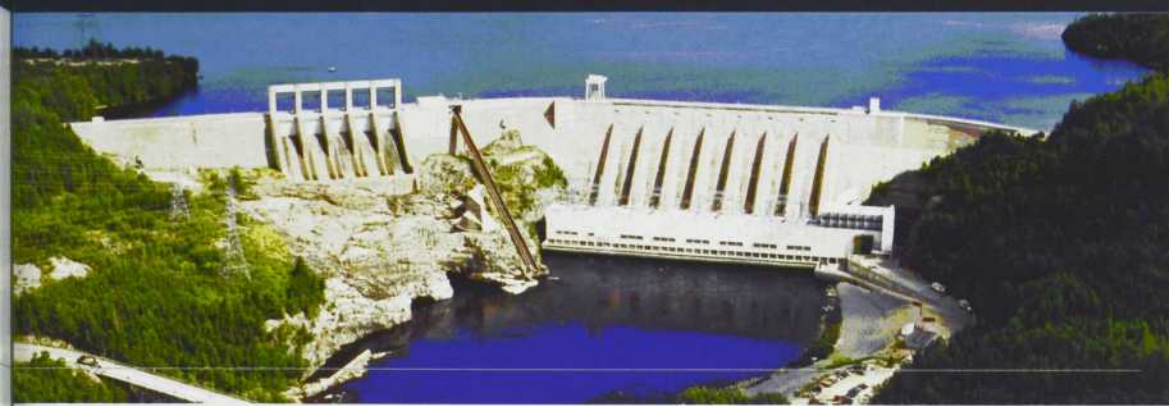


PHOTO : HYDRO-QUEBEC

Pour ce qui concerne le Nord québécois, l'évolution du régime hydrologique préoccupe principalement en regard de la production hydroélectrique. Sur la photo, le barrage Manic-2 sur la rivière Manicouagan.

apports nets des bassins versants des Grands Lacs pourraient être réduits de 5 à 25 p. 100 en raison d'une augmentation importante de l'évaporation et de l'évapotranspiration associées aux hausses de température. Conséquemment, on peut anticiper que les débits sortant du lac Ontario seront aussi sensiblement diminués, entraînant des réductions du niveau d'eau du fleuve.

On a étudié les effets de cette réduction anticipée du niveau d'eau sur les activités de navigation commerciale le long du Saint-Laurent. Il serait possible d'envisager différentes stratégies d'adaptation : l'amélioration des prévisions des niveaux d'eau à court terme, qui permettrait de charger de manière optimale les navires transportant leur marchandise des pays étrangers vers le port de Montréal, ou la modification de la configuration des coques de navire pour en limiter le tirant d'eau, en passant par des mesures d'adaptation du milieu physique telles que le dragage ou la construction d'ouvrages hydrauliques de régularisation.

Par ailleurs, une réduction du niveau du fleuve combinée à une variation du régime hydrologique des tributaires du Saint-Laurent pourrait occasionner des variations morphologiques importantes du lit de ces cours d'eau. On anticipe qu'en abaissant le niveau du fleuve, les tributaires encaissés dans des dépôts meubles pourraient causer plus d'érosion et entraîner plus de sédiments dans le Saint-Laurent, avec pour conséquence de limiter encore davantage la capacité de la Voie maritime.

On a également étudié, pour quelques bassins versants témoins dans la vallée du Saint-Laurent, les impacts de variations climatiques sur la gestion des eaux. Pour les

bassins versants des rivières Châteauguay et Saint-François, on anticipe des augmentations des températures moyennes et on prévoit des augmentations de précipitations de faibles à modérées. Cependant, grâce aux simulations, on peut prévoir qu'en dépit d'une augmentation des précipitations, les importantes hausses de température et donc du taux d'évapotranspiration auraient pour effet de réduire les apports annuels moyens des bassins versants à l'étude. Les simulations hydrologiques indiquent généralement un devancement et une réduction de la pointe de crue printanière, une diminution des débits estivaux, et des débits hivernaux plus soutenus. Malgré ces changements significatifs du régime hydrologique futur, il appert que l'adaptation des pratiques agricoles et des plans de gestion des ouvrages de contrôle permettrait de limiter les conséquences des changements climatiques sur l'utilisation des ressources hydriques dans cette région.

On appréhende aussi une augmentation de la fréquence d'épisodes pluvieux très intenses, qui auraient des conséquences significatives sur les volumes de ruissellement dans les villes. Dans cette perspective, des recommandations s'imposent : prendre en compte ces effets potentiels au moment de la conception ou de la réfection des réseaux de drainage urbain et mettre en œuvre des moyens de retarder le ruissellement des eaux de surface - par exemple, l'aménagement d'aires de rétention, de surfaces gazonnées, de sols absorbants ou le débranchement de gouttières.

Finalement, la réduction de la disponibilité des ressources hydriques aurait pour conséquence de limiter la capacité de produire de l'hydroélectricité à partir des

ON APPRÉHENDÉ
AUSSI UNE
AUGMENTATION
DE LA FRÉQUENCE
D'ÉPISODES PLU-
VIEUX TRÈS
INTENSES, QUI
AURAIENT DES
CONSÉQUENCES
SIGNIFICATIVES
SUR LES VOLUMES
DE RUISSEL-
LEMENT DANS
LES VILLES.

>

> L'eau, une richesse à conserver

centrales au fil de l'eau situées dans la vallée du Saint-Laurent. Le régime hydrologique anticipé exigerait également de revoir la planification de la production annuelle, puisque la période d'eau libre et les écoulements saisonniers risquent d'être affectés significativement par les changements climatiques.

L'EAU AU NORD DU QUÉBEC

Dans le Nord québécois, la principale préoccupation est liée à la production hydroélectrique. L'analyse de plusieurs projections climatiques permet d'anticiper des températures plus chaudes et des précipitations plus abondantes, et d'entrevoir des conditions hydrauliques plus favorables que celles devant prévaloir au sud. À l'instar des conséquences sur le régime hydrologique au sud du Québec, les considérations qui suivent doivent être traitées avec circonspection puisqu'elles découlent d'un nombre réduit de projections climatiques. Les modifications de température auront pour principaux effets de réduire les précipitations sous forme solide, comme la neige, et d'augmenter le taux d'évapotranspiration durant la période d'eau libre. Mais ceci devrait être compensé par une hausse significative des précipitations. Le bilan hydrologique, malgré la hausse des températures, permettrait en fin de compte d'amener plus d'eau dans les réservoirs du Nord québécois.

Si on se projette en 2050, on anticipe, pour le Nord, des débits plus soutenus en hiver, de novembre à avril, des pointes de crues devancées de quelques semaines, des volumes de crues réduits et des débits estivaux moins importants en raison d'une augmentation significative de l'évapotranspiration. En conséquence, un réajustement du mode de gestion des réservoirs annuels devrait être envisagé, puisque ces derniers seraient davantage alimentés par l'eau de pluie, alors que les crues de fonte de neige pourraient être moins importantes. Les réservoirs continueraient donc de se remplir plus tard en début d'hiver, et les crues seraient hâtives et moins importantes. Le nouveau régime climatique aurait un effet régulateur naturel plus grand sur une base annuelle. Ces conditions particulières exigeraient de revoir les stratégies de remplissage de façon à limiter les risques de déversements non productibles, dont les conséquences financières sont très importantes. ◀

Vivre dans le

Le Nord du Québec, région très sensible aux variations climatiques, devrait voir s'accélérer d'importants changements en matière de climat et d'environnement, notamment par la fonte d'une grande partie du pergélisol. La hausse des températures dans cette région depuis la fin des années 1990 laisse entrevoir dès maintenant une série de problèmes auxquels feront face les communautés. Glissements de terrain, avalanches, modification des routes de glace et déplacements de population sont autant d'enjeux que la région devra affronter dans un futur proche.

Les régions nordiques sont actuellement les plus touchées au Québec parce que, d'une part, le réchauffement y est plus rapide, et, d'autre part, que leurs écosystèmes et les populations qui en dépendent sont les premiers affectés par ces changements.

La région nord du Québec s'est réchauffée d'environ 2,2 °C depuis un siècle. Ce réchauffement est de trois à quatre fois plus important que la moyenne planétaire de 0,6 °C. Les impacts affectent les communautés inuites depuis plusieurs années déjà. Les 14 villages inuits du Nunavik abritent à eux seuls une population de 10 000 habitants en croissance démographique rapide. Très isolés, ces villages sont approvisionnés l'été par bateau pour les marchandises lourdes et le carburant, et le seul autre moyen de transport entre les communautés et l'extérieur est l'avion. Les aéroports constituent donc des infrastructures stratégiques. Alors que la chasse, la pêche et la cueillette demeurent des activités importantes tant pour le maintien de la culture traditionnelle que pour l'alimentation, les Inuits accèdent à ces ressources en pratiquant de nombreux déplacements en embarcation à moteur l'été et en motoneige l'hiver.



PHOTO: J. DROUIN

Nord québécois

COMPRENDRE LE PASSÉ

Pour projeter le climat futur, il faut tout d'abord comprendre le climat passé. La rareté de longues séries de données de bonne qualité complique sérieusement la vie des chercheurs qui s'efforcent de modéliser le climat, et cela est particulièrement vrai dans le nord du Québec. La validation des modèles dépend fortement de notre capacité de bien représenter le climat passé, car plus un modèle est capable de reproduire correctement le climat passé pendant une longue période de temps, plus on peut espérer qu'il représentera le climat futur d'une manière plausible.

Une équipe de recherche utilisant la dendrochronologie pour reconstituer le climat passé, a récolté un grand nombre d'échantillons d'arbres prélevés à la limite

augmente au cours d'une saison chaude et humide, alors que l'anneau est plus mince quand les conditions sont moins favorables. La densité du bois, la proportion des isotopes naturels ainsi que les cicatrices laissées par les glaces des lacs à l'occasion des inondations printanières peuvent être de bons indicateurs des conditions qui prévalaient dans l'environnement de l'arbre lorsque l'anneau de croissance s'est formé.

En recoupant les données tirées des anneaux de croissance des arbres vivants et de ceux des arbres fossiles trouvés dans les lacs et les réservoirs du Nord québécois, la même équipe a réussi à reconstituer plusieurs variables climatiques et hydrologiques du passé, remontant jusqu'au début du 18^e siècle et potentiellement jusqu'à 700 ans. Ces études fournissent d'importantes observations sur les températures et les précipitations prévalant alors et sont indispensables pour comprendre les processus atmosphériques qui contrôlent le climat du nord du Québec.

LES DÉPLACEMENTS DES INUITS EN CANOT ET EN MOTONEIGE SONT DEVENUS PLUS RISQUÉS.

nord de la forêt boréale québécoise. La dendrochronologie se base sur les anneaux de croissance des arbres pour remonter le temps. L'épaisseur et la composition de cet anneau de croissance reflètent les conditions météorologiques prévalant lors de la saison de croissance de l'arbre. L'épaisseur des anneaux

DE L'EAU PLUS CHAUDE

Depuis quelques années, les déplacements des Inuits en canot et en motoneige sont devenus plus risqués. L'été, les conditions climatiques en mer sont moins prévisibles et l'hiver, les glaces sont moins fiables. Des recherches visant à intégrer le savoir traditionnel des Inuits aux données scientifiques sur le climat du Nunavik sont en cours. >



PHOTO: J. DROUIN

Progression en motoneige dans le Nunavik.



PHOTO: JULIE MCLEOD

Migration de caribous dans le Nunavut.

Une équipe, constituée en partie de chercheurs inuits, a interrogé des dizaines de chasseurs expérimentés. Les réponses sont unanimes : les glaces se forment plus tard et fondent plus tôt; la qualité de la neige et de la glace a changé; les conditions de glace sont moins prévisibles et plus dangereuses qu'auparavant; les pistes qui longent des terrains accidentés sont souvent affaissées ou traversées par des avalanches de neige; les glaces de rivière et la banquise sont moins stables et plus variables.

Les constats des chasseurs inuits sont corroborés par les observations des glaces livrées par les satellites. Les glaces de la baie d'Hudson et de la baie d'Ungava se forment effectivement plus tard depuis dix à quinze ans. Le dégel et les débâcles printanières sont aussi plus hâtifs. Dans l'océan Arctique, plusieurs chercheurs ont fait état d'une diminution importante de la superficie et du volume de la banquise et des glaces pluriannuelles, glaces de mer qui ne fondent pas complètement pendant l'été et qui restent présentes plusieurs années de suite. Les projections les plus récentes indiquent qu'une disparition complète de ces glaces pluriannuelles est probable d'ici le milieu du 21^e siècle. L'océan Arctique serait alors ouvert à la navigation estivale, ce qui risque de modifier considérablement les pratiques de navigation commerciale au cours des prochaines décennies.

Les études récentes sur la baie d'Hudson suggèrent une réduction d'au moins six semaines de la saison de motoneige vers 2050. Cela risque de modifier les pratiques de chasse hivernale des Inuits en rendant certains territoires moins accessibles. Les noyades et les accidents causés par des ruptures de glaces sont aussi plus nombreux. On examine déjà de nouveaux moyens pour faciliter l'adaptation des Inuits à ces conditions, comme la mise au point de systèmes de surveillance de l'état des glaces.

DES SOLS PLUS CHAUDS

Depuis 1990, la température du pergélisol, soit le sol gelé en permanence, est mesurée jusqu'à 20 m de profondeur. Les observations montrent qu'il s'est réchauffé presque partout dans le nord du Québec, parfois de près de 2 °C. À l'est de la baie d'Hudson, par exemple, le pergélisol discontinu occupait 12 p. 100 de la superficie du territoire en 1957. Les images satellitaires montrent qu'il a diminué depuis de 50 p. 100.

Lorsque le sol gelé est constitué de dépôts meubles, il peut contenir des lentilles de glace, dans cer-

tains cas jusqu'à 50 p. 100 du volume du sol. Les routes, les aéroports et les bâtiments construits sur ce pergélisol peuvent ainsi subir des dommages importants lorsque le terrain se déforme à la suite d'une fonte de la glace présente dans le sol.

Des équipes de recherche ont mis en évidence le rôle de la neige, du vent et de l'écoulement des eaux de surface sur la déformation des pistes d'aéroports. Ces études ont aussi pour but d'aider les ingénieurs à concevoir des méthodes et des technologies d'adaptation. Par exemple, le ministère des Transports du Québec réalise des essais afin de mieux ventiler les remblais des pistes et des routes d'accès, ce qui permettra de ralentir la fonte du pergélisol et de prévenir les affaissements et les déformations.

Une cartographie à haute résolution des types de sol des villages inuits a aussi été réalisée afin de relever les sols riches en glace susceptibles de se déformer. Ces cartes de sol comportent de plus des indicateurs basés sur la pente, le type de sol et l'état du pergélisol, et permettant de connaître les zones propices ou non à la construction d'infrastructures. Le but de ce travail est d'aider les

LES NOYADES ET LES ACCIDENTS CAUSÉS PAR DES RUPTURES DE GLACES SONT AUSSI PLUS NOMBREUX.

administrations publiques locales dans la planification de leur développement urbain afin de sélectionner les sites les plus propices ou les moins à risques en termes de sensibilité à la fonte du pergélisol.

Bien que l'épaisseur du pergélisol puisse atteindre plusieurs centaines de mètres, une couche superficielle appelée « mollisol » dégèle pendant l'été et regèle chaque hiver. L'épaisseur du mollisol, de 0,5 m à 3-4 m selon la texture du sol, peut changer d'une année à l'autre selon la rigueur de l'hiver et, surtout, selon la température estivale. En 1998, après une année exceptionnelle de temps chaud dans le Nord, le dégel estival du mollisol a pénétré plus profondément, atteignant des couches gelées depuis plusieurs siècles. À Salluit, ce phénomène a engendré un glissement de terrain qui a endommagé une route et forcé



PHOTO: MAKENZIE GEWEK STUDIES (MAGS)

La fonte du pergélisol a fait gondoler cette voie pavée en Saskatchewan.

le déplacement de plusieurs résidences. Ce genre de processus géomorphologique lié au climat se reproduira vraisemblablement aux cours des prochaines années, à mesure que les températures dépasseront de nouveaux seuils, accroissant ainsi la profondeur du molisol aux dépens du pergélisol riche en glace.

Pour les experts, il est clair que les changements climatiques vont profondément modifier la distribution spatiale et les caractéristiques du pergélisol. Ils font remarquer que le réchauffement du climat entraîne des modifications en cascades. Par exemple, les températures plus chaudes favorisent le développement de la composante arbustive de la toundra, ce qui a pour effet de retenir la neige balayée par le vent durant l'hiver. Or, la neige agit comme un isolant qui ralentit le gel du sol, favorisant une fonte plus rapide du pergélisol.

LES ÉCOSYSTÈMES NORDIQUES

En plus d'affecter les personnes et les infrastructures, les changements climatiques des régions nordiques auront un impact sur les écosystèmes, comme la forêt boréale, les tourbières et les écosystèmes côtiers. Les tourbières sont des zones humides sur des sols organiques et constituent plus de 15 p. 100 du territoire du complexe La Grande.

Des études qui retracent l'évolution des tourbières du Nouveau-Québec ont montré que le niveau de l'eau et la dimension des tourbières varient avec le temps. Lors de périodes plus humides, la nappe phréatique des tourbières s'élève. Celles-ci s'inondent et

s'agrandissent, empiétant sur la forêt boréale environnante. Ce phénomène, appelé « aqualyse », affecte particulièrement la tourbière boréale depuis environ 350 ans. L'aqualyse s'est accentuée au cours de la dernière décennie, ce qui se traduit par une transformation des tourbières en marais, la « paludification ». Les tourbières jouent dans la gestion des grands réseaux hydrographiques du Nord québécois un rôle similaire à celui d'immenses éponges qui retiennent les eaux de pluie et de fonte des neiges et contrôlent une bonne partie des processus d'évapotranspiration des régions nordiques. La paludification des tourbières favorise une augmentation des populations de moustiques piqueurs. L'inondation des terrains et la surabondance des moustiques pourraient affecter les migrations annuelles des caribous et leur santé, les rendant vulnérables aux maladies et aux parasites.

Les changements climatiques auront-ils pour conséquence d'accentuer l'aqualyse et la paludification des tourbières? Si oui, quelles sont les implications de ces transformations sur l'écosystème nordique et sur l'hydrographie des bassins versants? De plus, l'aqualyse a-t-elle pour effet d'augmenter la production de méthane dans cet environnement riche en carbone, un gaz à effet de serre 20 fois plus efficace que le CO₂?

C'est là un aperçu des importantes questions à élucider avant de pouvoir brosser une image plus complète des impacts des changements climatiques dans le Nord québécois. ◀

La tourbière boréale, un exemple d'écosystème particulièrement vulnérable au réchauffement climatique.

SOURCE: CGC RESSOURCES NATURELLES CANADA



Santé : se préparer aux extrêmes

Comme en témoigne une étude de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), les gestionnaires de la santé et les gestionnaires municipaux sont inquiets. Préoccupés notamment par les impacts des changements climatiques sur la santé, ils s'entendent sur la nécessité d'implanter, d'ici la prochaine décennie, des programmes d'intervention pour contrer ces risques en visant les populations les plus vulnérables, comme les personnes malades, moins autonomes ou plus démunies. Selon eux, la gestion du dossier des changements climatiques doit être davantage attribuée aux instances régionales municipales et de la santé, mais ils attendent encore de la part des gouvernements supérieurs un message clair et des mandats légaux.

Pluies violentes, inondations, vagues de chaleur sont autant de phénomènes météorologiques extrêmes qui augmenteront avec les changements climatiques. Des événements comme les inondations au Saguenay et la crise du verglas de 1998 nous ont montré que les impacts anticipés sur la santé des Québécois sont surtout négatifs. L'érosion des côtes et des routes peut isoler des villages, qui sont alors privés d'ambulances et d'approvisionnement. Curieusement, personne ne comptabilise les impacts de ces phénomènes sur la santé au Québec, à court ou long terme! Les récents changements à la législation provinciale ont amélioré la situation en matière de protection civile et les liens semblent plus adéquats entre les divers intervenants, mais, selon les experts consultés, la formation reste à améliorer. Une nouvelle approche standardisée d'analyse et de gestion des risques visant la prévention de 21 risques, dont plusieurs seront aggravés par le climat, commence à s'implanter dans les municipalités.

Même si le Québec possède un bon système de réponse aux urgences, la relation entre les changements climatiques et l'aggravation des perturbations météorologiques reste plus ou moins claire pour les intervenants, sauf dans le cas des vagues de chaleur. Si les plans d'urgence en cas de canicule sont maintenant prêts, d'autres initiatives d'adaptation restent à réaliser, notamment la mise en place d'un système de surveillance et de suivi des impacts sanitaires de ces événements météorologiques, annoncée récemment par le gouvernement du Québec.

QUAND IL FAIT CHAUD POUR MOURIR!

Des étés plus chauds de 2 à 3 °C en moyenne accompagnés de vagues de chaleur intenses et récurrentes constituent un risque important pour la santé. On pense, par exemple, à trois jours consécutifs à plus de 33 °C le jour et 20 °C la nuit, ou encore, à deux nuits à 25 °C ou plus. À ce mélange explosif s'ajoutent les recouvrements asphaltés et les matériaux des infrastructures de nos villes bétonnées, qui absorbent la chaleur, générant l'effet d'îlot thermique urbain.

La chaleur peut provoquer des inconforts allant d'une grande faiblesse à des pertes de conscience, à des syncopes et à la mort. Si la quantité de CO₂ doublait, une augmentation de la mortalité estivale de l'ordre de 2 p. 100 pour la période 2020 et de 10 p. 100 pour 2080 devrait être envisagée dans les principales villes et

SELON UNE ENQUÊTE MENÉE PAR L'INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC AUPRÈS DE LA POPULATION QUÉBÉCOISE :

- 36 p. 100 des répondants possèdent un climatiseur et un peu plus de 50 p. 100 uniquement des ventilateurs; le revenu est la variable la plus importante qui détermine l'accès à la fraîcheur climatisée;
- 62 p. 100 demeurent chez eux pour se rafraîchir; les parcs et piscines publiques sont particulièrement importants pour les moins fortunés;
- Les deux tiers des personnes utilisant des cannes ou des chaises roulantes ne sont pas capables d'aller faire des courses à l'épicerie durant une vague de chaleur;
- Les personnes avec des problèmes de santé chroniques de type neurologique utilisent jusqu'à 50 p. 100 plus souvent la climatisation et les ventilateurs que les autres malades.



PHOTO : OURANOS

Le parc québécois de 4,4 millions de véhicules à moteur rejette chaque année quelque 14 millions de tonnes de polluants : particules en suspension, ozone, oxydes d'azote, de soufre ou de carbone.

SOURCE DES DONNÉES : ASSOCIATION QUÉBÉCOISE DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE (AQLPA)

régions québécoises. Il y aurait moins de décès l'hiver, mais on constaterait au total une augmentation de la mortalité annuelle, de l'ordre de 550 décès par année vers 2050. La population la plus vulnérable se compose surtout des personnes âgées de 65 ans et plus. Vu le vieillissement démographique prévu, cette surmortalité estimée pourrait en fait être multipliée par deux. Et presque tout le Québec habité serait touché!

Une autre étude conduite auprès de 5510 ménages a mis en évidence certains facteurs connus et moins connus pouvant aggraver l'impact des vagues de chaleur : le fait de vivre seul, chez les personnes âgées, la précarité économique, une mobilité restreinte, des problèmes neurologiques chroniques comme l'épilepsie et la sclérose en plaques, le soutien social, le type de logement occupé, dont certains types d'édifices à logements plus vulnérables, ainsi que l'accès à des activités récréatives tels des lieux de baignade et des parcs. Plusieurs de ces facteurs s'appliquent aussi aux vagues de froid, car le Québec restera tout de même nordique. Mais la population n'est pas encore passée en mode modification de comportements pour agir en cas de smog hivernal : on continue à chauffer son poêle à bois et on utilise tout autant le démarreur à distance, avertissement de smog ou pas...

Au delà des mesures d'urgence pour les canicules, des initiatives restent à développer, comme la formation des professionnels de la santé, la localisation des personnes les plus vulnérables et l'identification des services dont elles ont besoin, l'amélioration de l'isolation des résidences et leur climatisation pour certains malades, ainsi que l'approfondissement des connaissances en

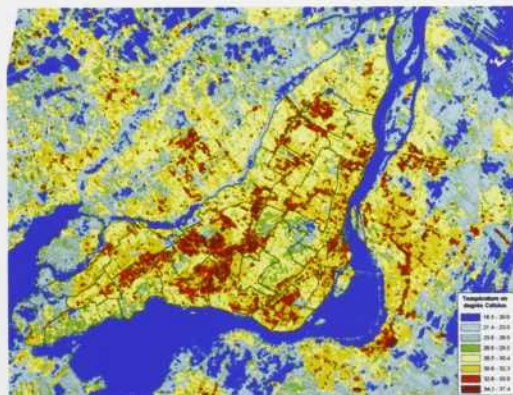
matière de besoins de climatisation et de ventilation des établissements de soins. Et avec les saisons chaudes qui s'allongent, la saison de croissance de l'herbe à poux s'allonge elle aussi, et les rhumes des foins se prolongent.

PÉNURIE D'EAU EN VUE

Les effets projetés des changements climatiques sur les ressources en eau prévoient notamment la baisse des niveaux et des débits des cours d'eau, et des risques accrus de contamination - qu'il s'agisse de contamination microbienne, chimique ou par des biotoxines naturelles comme celles liées aux cyanobactéries. Pour protéger la santé humaine des maladies engendrées par l'eau de consommation et par les activités aquatiques, il existe plusieurs initiatives utiles au Québec, dont un cadre réglementaire récemment renforcé, une formation accrue des intervenants, des avis d'ébullition de l'eau obligatoire, des plans régionaux de surveillance de la santé publique et un système de maladies à déclaration obligatoire. Mais, selon les experts consultés, la détection des épidémies d'origine hydrique ou alimentaire reste à améliorer.

Plusieurs initiatives d'adaptation devraient être développées ou mieux diffusées au Québec. On pense à la mise en œuvre accélérée de moyens visant le maintien des quantités d'eau optimales pour assurer la sécurité des individus et la qualité de l'eau de consommation, le contrôle amélioré de la surveillance des impacts santé des petits réseaux de distribution d'eau potable et des eaux de récréation, et le support financier aux municipalités de petite taille et aux organismes de gestion des bassins versants. ◀

Image thermique des îlots de chaleur



L'îlot de chaleur est une zone urbanisée caractérisée par des températures estivales plus élevées que l'environnement immédiat, avec des différences qui varient selon les auteurs de 5 à 10 °C.

Sur l'image thermique de la région de Montréal (11 août 2001), on distingue clairement les écarts de température entre les secteurs ruraux (bleu et vert), la banlieue (orange), les quartiers centraux (rouge) et les îlots de chaleur urbains (brun).

SOURCE : FREDERIC GUAY, 2003.

Contrer l'érosion des berges du golfe du Saint-Laurent

Par nuit de tempête, lorsque les vents d'est se déchaînent, certains citoyens de Pointe-Label dorment plutôt mal. Ils peuvent entendre les vagues s'écraser contre la falaise argileuse et sentir leur maison vibrer sous la force du vent et du ressac. Ils font partie des milliers de citoyens du Québec dont la propriété est menacée par l'érosion des berges, un phénomène naturel qui risque fort de s'amplifier à cause des changements climatiques.

Près de 70 p. 100 des 3500 km de côtes de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent sont vulnérables à l'érosion. Ces littoraux sont constitués de dépôts meubles postglaciaires composés d'argiles, de limon et de sable ou de formations rocheuses beaucoup plus anciennes, mais tout aussi friables, comme du grès ou des schistes argileux.

On estime à plus d'un milliard de dollars la valeur des infrastructures menacées par l'érosion au cours des trois prochaines décennies. Ces infrastructures comprennent surtout des résidences privées, des portions de réseaux routier et ferroviaire, des ports, des parcs, des industries et divers aménagements de protection des rives et des plages.

LES CAUSES

Le climat peut affecter l'érosion des berges de plusieurs manières. L'érosion dépend des niveaux d'eau, des glaces, des tempêtes, des précipitations et du gel-dégel. Tous ces facteurs sont liés au climat. Dans certains cas, les différents facteurs peuvent se conjuguer pour causer un recul très rapide des talus côtiers. Certaines régions du golfe du Saint-Laurent sont affectées par des taux d'érosion très importants depuis une décennie. Dans certains cas extrêmes, le recul des falaises dépasse 10 mètres par année.

Les changements climatiques affectent le niveau moyen de la mer et la quantité de glace dans le golfe. Les modèles océaniques du golfe du Saint-Laurent ont été développés pour reproduire la majeure partie des processus, comme les niveaux d'eau, les courants induits par la marée et le débit du fleuve, la salinité et la température de l'eau ainsi que la formation et les mouvements des glaces. Ces modèles montrent que la saison pendant

laquelle le golfe du Saint-Laurent est gelé sera plus courte d'ici 2050, passant de 65 jours à environ 25 jours. Or, les glaces de rive et de mer atténuent les vagues causées par les tempêtes. Les berges du golfe seront donc exposées plus longtemps à l'action des vagues de tempête hivernales, ce qui devrait favoriser une érosion plus importante.

La fréquence et l'intensité des tempêtes devraient aussi se modifier. Des études récentes ont permis d'analyser le comportement de plusieurs centaines de tempêtes depuis 1961. L'impact de certains types de tempêtes en hiver sera considérablement augmenté par la disparition progressive des glaces de mer. Un plus grand nombre de tempêtes tropicales et d'ouragans atteindront le golfe. Bien que rares, ces tempêtes peuvent cependant être très dévastatrices.

La gélifraction, ou fragmentation des roches poreuses et friables par les alternances de gel et de dégel, est un autre phénomène climatique qui peut causer l'érosion des berges. Les falaises orientées face au sud sont parfois très affectées par ce type d'érosion, qui peut représenter jusqu'à 70 p. 100 de l'érosion locale annuelle. Les experts tentent d'évaluer l'impact du réchauffement climatique sur la fréquence des cycles de gel et de dégel dans les falaises et sur l'érosion des berges qui en découle. Les mesures réalisées à ce jour ont montré que la température de l'air, le rayonnement solaire, la présence ou l'absence de neige et le vent sont des facteurs importants à considérer pour modéliser le comportement des falaises. Il faut aussi tenir compte de la circulation des eaux souterraines.

Enfin, les précipitations sont aussi un facteur important. Lors de fortes pluies, l'accumulation d'eau peut déstabiliser les argiles et causer leur fluidisation,



PHOTO : CLAUDE GARNEAU/LE QUÉBEC EN IMAGES

provoquant des mouvements de sol et des glissements de terrain. Or, les modèles de climat montrent que le territoire québécois recevra plus de précipitations dans le futur. Des pluies plus fréquentes et plus intenses signifient plus de risques de glissements et de coulées argileuses, particulièrement dans les zones côtières.

L'ADAPTATION

Il existe une panoplie de moyens techniques pour contrer l'érosion des berges, comme des enrochements protecteurs, des murets, des brise-lames, des épis rocheux et diverses méthodes visant à atténuer l'action mécanique des vagues, des courants et des glaces sur les berges. Cependant, ces moyens sont inégalement efficaces et mal adaptés, et peuvent engendrer d'importantes répercussions environnementales.

De plus, la présence de plages constituées la plupart du temps de sable provenant de l'érosion des falaises est un sous-produit de l'érosion. Celle-ci est dans ce cas la seule source naturelle de remplacement du sable de la plage lorsqu'il est emporté par les courants littoraux et les autres processus. En protégeant les talus par des enrochements ou des murs, on coupe l'alimentation en sable de la plage et on accélère la perte de sable en activant le transit sédimentaire. Le résultat est une destruction de la plage et des ouvrages de protection, qui sont alors attaqués par la mer. L'utilisation massive de protections linéaires en enrochements ou en murets, qui a prévalu depuis quelques décennies, est non seulement très coûteuse et dommageable pour de nombreux habitats de plages et de marais côtiers, mais constitue très souvent une mesure temporaire qui ne règle en rien le problème de l'érosion.

D'autres méthodes plus douces comme la recharge en sable ou le ralentissement du transit sédimentaire à l'aide, par exemple, de l'établissement de champs d'épis perpendiculaires à la plage ou de pièges à sable, peuvent être utilisées. Plusieurs expériences pilotes ont été menées depuis quelques années avec un taux de succès variable. Cependant, ces méthodes sont souvent assez coûteuses et requièrent beaucoup d'entretien.

Selon les experts, il n'existe pas de solution simple et bon marché à l'érosion des berges. Chaque berge est un cas particulier qui requiert une approche spécifique. Nous sommes toujours placés face au triple choix : prévenir, protéger ou se retirer. En urgence, on agit toujours pour pallier le plus pressé, soit évacuer, indemniser et sauver les meubles. Mais le plus souvent, on s'aperçoit après coup qu'on aurait épargné beaucoup d'argent et adopté des solutions plus intéressantes si l'on avait agi préventivement. Certaines règles de base toutes simples devraient toujours être appliquées : éviter de construire ou de développer sur des terrains qui vont disparaître d'ici 20 ou 30 ans, parfois moins; éviter de traiter uniquement les infrastructures sans se préoccuper de la berge en tant que système; en matière d'érosion, on ne peut pas protéger ni modifier un bout de côte sans modifier tout le système côtier. Il faut donc comprendre comment fonctionne ce système et adopter des stratégies de protection ou d'action qui permettent de maintenir les processus naturels. Enfin, il faut se rappeler que le phénomène de l'érosion agit à long terme.

À Ouranos, les études tiennent compte de la réalité sociale et économique de l'érosion. Les projets intègrent les décideurs locaux et régionaux et des représentants des usagers de la zone côtière tels que des groupes de citoyens aux prises avec l'érosion, des groupes de défense de l'environnement, des représentants des municipalités et des MRC concernées, ainsi que des ministères et des organisations en cause dans la gestion de la zone côtière. Tous forment des comités qui participent activement au processus de recherche des solutions d'adaptation avec l'appui direct des scientifiques. Cette approche innovatrice permet des échanges fructueux entre les scientifiques et les résidents des régions affectées par l'érosion. La question principale est la suivante : À quoi voulez-vous que ressemble votre zone côtière dans 50 ans? Lorsqu'on examine le problème sous cet angle avec les données scientifiques à l'appui, on s'aperçoit très vite que les décisions d'aujourd'hui ont des conséquences énormes et parfois irrémédiables sur la qualité des berges que nous laisserons à nos petits-enfants. ◀



S'ADAPTER

aux changements climatiques



REMERCIEMENTS – CETTE PUBLICATION A BÉNÉFICIÉ DE SUBVENTIONS DU MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES DU CANADA ET DU MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC.

Nous tenons à souligner la contribution à la rédaction de ce texte d'André Musy (Ouranos), Guy Le Clair (Ouranos), Daniel Caya (Ouranos), Daniel Houle (ministère des Ressources naturelles-Ouranos), René Roy (Hydro-Québec-Ouranos), Pierre Gosselin (Institut national de la santé publique-Ouranos), Michel Allard (Université Laval-Ouranos), Jean-Pierre Savard (Ouranos), François Morneau (ministère de la Sécurité publique-Ouranos).

Les présentations originales peuvent être consultées sur le site Internet d'Ouranos (www.ouranos.ca)

Référence – *S'adapter aux changements climatiques*, Ouranos 2004, 83 p. (www.ouranos.ca)