

SMC

Les sciences de l'atmosphère et du climat

Une recherche qui fait toute la différence



Environnement
Canada

Environment
Canada

Service
Météorologique
du Canada

Meteorological
Service
of Canada

Canada 

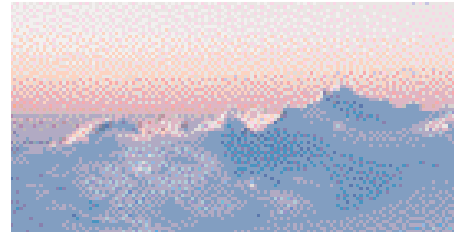
Ce rapport est disponible sur Internet à l'adresse <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/acsd>
On peut également s'en procurer des copies papier en adressant une demande à :

Direction générale des sciences de l'atmosphère et du climat
Service météorologique du Canada
4905 Dufferin Street
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

(416) 739-4239

Catalogue no En56-188/2003
ISSN no 0-662-67602-5

« Le savoir au service des Canadiens »



Dédicace

Ce rapport est dédié aux chercheurs scientifiques du Service météorologique du Canada (SMC) qui ont consacré une si grande partie de leur existence à vouloir repousser les frontières de la science par leurs réflexions et leurs approches visionnaires.

Nous tenons en particulier à honorer la mémoire du regretté D' Neil Bruce Trivett pour les recherches atmosphériques qu'il a menées durant toute sa vie, et pour avoir établi un programme de calibre mondial de mesure des phénomènes atmosphériques de l'Arctique à Alert (Nunavut). Le récit de la page 3 illustre la valeur des recherches que M. Trivett a entreprises dans l'Arctique, et celle des nombreux partenariats internationaux qu'il a contribué à établir.

Table des matières

Sciences de l'atmosphère et du climatI

CONNAISSANCES3

Observation du monde depuis l'Extrême-Arctique canadien

La station de recherche et de surveillance d'Alert3

Voies d'accès à l'Arctique – L'effet sauterelle

Le modèle mondial et régional des métaux lourds dans l'atmosphère (MMRMLA) ..5

Comprendre les processus chimiques qui affectent la couche d'ozone

Mesures prises dans l'espace à l'aide de ballons et de satellites7

Mise au point communautaire d'un meilleur modèle météorologique

Le modèle mésoéchelle compressible communautaire (MC2)9

Les ressources hydriques dans un milieu nordique

L'étude GEWEX du MacKenzieII

POLITIQUE13

Surveillance des stratégies de contrôle des pluies acides

La Base de données nationale sur la chimie atmosphérique (NatChem)13

Efficacité du Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone

Surveillance de l'ozone stratosphérique et du rayonnement UV15

Les bases scientifiques de la Politique d'assainissement de l'air dans la vallée du bas Fraser Pacifique 200117

Prévision des changements climatiques

Modèles canadiens du climat19

Les changements climatiques et les parcs nationaux du Canada

Évaluation des conséquences21

Les changements climatiques et les collectivités du Nord du Canada

Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie23





SERVICE	25
Amélioration de l'exactitude des prévisions météorologiques au Canada	
Le modèle global environnemental multi-échelle (GEM)	25
Détection du temps violent	
Les réseaux canadiens de radars météorologiques Doppler et de détection de la foudre	27
Prévenir les Canadiens des risques atmosphériques	
Indices de rayonnement UV, de qualité de l'air, de refroidissement éolien et de chaleur	29
Fournir aux Canadiens des prévisions et des avis sur la qualité de l'air	
Le modèle CHRONOS de transport des composés chimiques	31
Réduire les risques encourus par les chasseurs et les pêcheurs à la lisière des glaces	
Avis sur la lisière de la banquise du Service canadien des glaces	33
La sécurité des vols dans les climats nordiques	
Recherches sur le givrage des aéronefs	35
L'énergie éolienne, une option attrayante pour l'avenir	
La boîte à outils de simulation de l'énergie éolienne	37
Des estimations fiables de la fonte des neiges	
Mesure de l'équivalent en eau de la neige.....	39
Approvisionnement en eau potable des collectivités éloignées	
Collecteurs de brouillard.....	41
Premier système opérationnel de prévision des ondes de tempête du Canada	
Le Programme de recherche sur la prévision environnementale en Atlantique	43
Transmission des connaissances au titre du service et des politiques	
Établir un pont.....	45
Nos scientifiques...	47
Remerciements	49

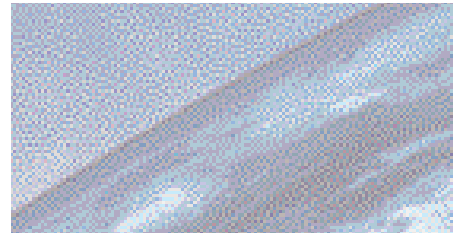
Sciences de l'atmosphère et du climat

Les sciences de l'atmosphère et du climat au Service météorologique du Canada (SMC) ont pour but de faire avancer l'état des *connaissances* dans l'intérêt public et de mettre au point de *nouveaux produits et services* qui aideront les Canadiens à éviter les phénomènes météorologiques violents et d'autres dangers atmosphériques ou à s'y adapter.

Les activités de recherche et développement du SMC constituent les fondements scientifiques des prévisions météorologiques, des avis sur la qualité de l'air, des projections des changements climatiques et des prévisions des inondations et de l'état des glaces. Elles étayent également sur le plan scientifique tout un éventail d'initiatives stratégiques de l'État, comme les normes nationales sur la qualité de l'air visant les polluants atmosphériques, le Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone et le Protocole de Kyoto sur les changements climatiques.

Ce rapport illustre la façon dont les nouvelles connaissances scientifiques générées par le SMC appuient les politiques et les services destinés aux Canadiens et à la communauté internationale.

Du fait de l'excellence de ses recherches scientifiques, le SMC contribue de façon significative à de nombreux dossiers internationaux. C'est ainsi que les modèles de circulation générale (MCG) du Canada sont parmi les meilleurs du monde et qu'ils ont été abondamment utilisés dans le Troisième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur



l'évolution du climat (GIEC), un groupe international d'experts du climat. Plusieurs des stations de surveillance de la qualité de l'air du SMC font partie des réseaux de l'Organisation météorologique mondiale qui aident le milieu scientifique à surveiller les grands problèmes environnementaux comme les gaz à effet de serre, l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, les pluies acides et les polluants atmosphériques dangereux.

Les résultats les plus concrets des recherches sur l'atmosphère du SMC sont les bulletins météorologiques quotidiens et les avis de tempête diffusés aux Canadiens. Les services du SMC en matière de conditions météorologiques, de climat et de qualité de l'air ont évolué grâce à des méthodes typiquement canadiennes visant à résoudre les problèmes scientifiques et à répondre aux besoins du public.

Que ce soit à l'échelle nationale ou internationale, le SMC s'attache à intégrer les plus récentes découvertes scientifiques dans tous ses produits, services et conseils. Grâce à cela, les citoyens et les décideurs du Canada sont mieux en mesure de comprendre les menaces atmosphériques et de s'en protéger de même que de protéger l'atmosphère.

Les collaborations avec les scientifiques du gouvernement, du milieu universitaire et du secteur privé à l'échelle nationale et internationale sont un élément essentiel, qui a contribué aux réalisations présentées dans ce rapport.

Observation du monde depuis l'Extrême-Arctique canadien

La station de recherche et de surveillance d'Alert



Le Dr. Neil Trivett (à gauche), qui a fondé l'observatoire d'Alert en 1986, avec l'ancien ministre de l'Environnement, M. Jean Charest (à droite), lui présentant les divers programmes de mesure menés à Alert.

À l'extrémité septentrionale du Canada est située la station des Forces canadiennes *d'Alert*, où le Service météorologique du Canada (SMC) possède une station de recherche scientifique d'importance mondiale.

Alert est l'observatoire le plus nordique du Réseau mondial de veille météorologique, de l'Organisation météorologique mondiale, qui s'occupe de suivre la chimie de l'atmosphère à l'échelle planétaire depuis plusieurs dizaines d'années. De par son emplacement (loin des sources de pollution industrielle, et sans colonie de peuplement à des centaines de kilomètres à la ronde), Alert est le site idéal pour surveiller les changements à long terme qui se produisent dans la chimie de l'atmosphère de la Terre.

À Alert, les chercheurs scientifiques mesurent constamment la dynamique et la variabilité des substances chimiques atmosphériques, ce qui permet de mieux comprendre l'effet de l'activité humaine sur l'atmosphère planétaire. Ces mesures portent sur les gaz à effet de serre, les polluants atmosphériques toxiques comme le mercure, les pesticides organiques et les particules fines, et d'autres substances comme l'ozone stratosphérique. Les changements qui surviennent avec le temps dans ces composantes de l'atmosphère sont révélateurs de phénomènes comme le réchauffement de la planète, l'appauvrissement de la couche d'ozone et la dispersion insidieuse de polluants organiques persistants dans les régions éloignées.

Lors du lever de soleil polaire, Alert devient un véritable laboratoire photochimique. Étant très proche du pôle Nord géographique, Alert reste plongée dans l'obscurité pendant la majeure partie de l'hiver et ne voit pratiquement jamais le Soleil se coucher l'été. Ce cycle jour-nuit prolongé en fait un site idéal pour mener des expériences photochimiques. Les polluants,



Le camp de glace à Alert (Nunavut) pendant l'étude 2000 du lever de soleil polaire, ciblée sur la chimie des surfaces de neige et les processus du le mercure.

Photo : Janet Lang

transportés sur de grandes distances depuis les latitudes méridionales, s'accumulent dans l'atmosphère de l'Arctique durant l'hiver et présentent de fortes réactions les premiers jours où le Soleil se lève au printemps.

Les expériences sur le lever de soleil polaire, conçues pour étudier ce phénomène, attirent des chercheurs du monde entier et ont abouti à d'importantes découvertes scientifiques qui ont modifié notre compréhension des processus chimiques et physiques en jeu dans l'atmosphère.

À Alert, les scientifiques ont découvert :

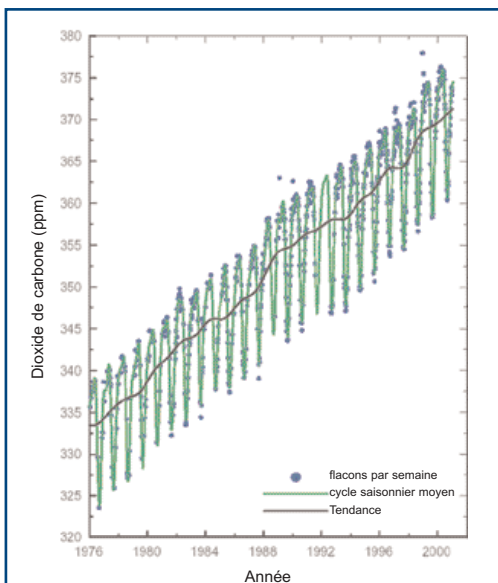
- que la présence de la brume sèche arctique à la fin de l'hiver et au printemps est en grande partie attribuable aux aérosols sulfatés provenant du transport sur de grandes distances des oxydes de soufre de l'ancienne Union soviétique et de l'Europe de l'Est;
- que l'ozone troposphérique (au niveau du sol) disparaît au lever de soleil polaire du fait que les oxydes de brome appauvrissent la couche d'ozone à la surface de la Terre;
- qu'il existe également un lien entre les produits du brome et les dépôts de mercure de l'atmosphère;
- que la surface de la neige est le théâtre de réactions chimiques beaucoup plus nombreuses que ce que l'on pensait jusque-là, ce qui explique le fait que la neige fasse partie de la voie par laquelle les substances chimiques toxiques comme les polychlorobiphényles (PCB) et les pesticides s'accumulent dans

les écosystèmes de l'Arctique.

Les recherches menées dans l'Extrême-Arctique coûtent extrêmement cher et présentent de nombreuses difficultés. Il n'en reste pas moins que les chercheurs canadiens ont fait de précieuses découvertes qui ont contribué à mieux comprendre les processus atmosphériques affectant la santé des humains et des écosystèmes.

« Alert est la station la plus septentrionale du Réseau mondial de veille météorologique de l'OMM, d'où son importance critique pour détecter la transformation du globe. Les activités de surveillance à Alert ont donné lieu à de nombreuses recherches internationales concertées sur l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, sur la brume arctique et l'épuisement du mercure élémentaire et de l'ozone troposphérique au lever de soleil polaire. »

Leonard A. Barrie
Chef, Division de
l'environnement
Organisation météorologique
mondiale
Suisse



Tendance à la hausse des concentrations de dioxyde de carbone à Alert (Nunavut) de 1975 à aujourd'hui (basée sur les échantillonnages hebdomadaires par flacons).

Voies d'accès à l'Arctique – L'effet sauterelle

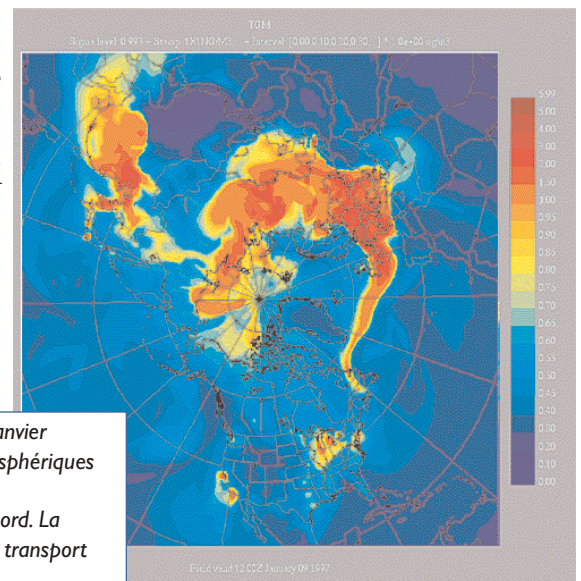
Le modèle mondial et régional des métaux lourds dans l'atmosphère (MMRMLA)



Comment expliquer que des pesticides et d'autres polluants utilisés dans des lieux aussi éloignés que l'Inde ou l'Afrique finissent par se retrouver dans l'Arctique canadien à des concentrations suffisamment élevées pour être nuisibles aux végétaux, aux animaux et aux humains à une telle distance des régions émettrices? Des chercheurs canadiens s'efforcent de résoudre ce casse-tête depuis des années, et ils ont réussi à se faire une bien meilleure idée de la façon dont les substances toxiques terminent leur course dans les écosystèmes de l'Arctique.

Deux grands processus entrent en jeu ici. Premièrement, il y a le transport atmosphérique des polluants depuis les régions émettrices jusque dans l'Arctique. Même si cette thèse est acceptée sur le plan théorique, les chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) ont mis au point un modèle qui simule ce transport. Ce modèle numérique global simule les émissions de certains polluants, comme les pesticides et le mercure, et illustre la façon dont ils se déplacent sur la planète et l'influence qu'exercent sur eux les fluctuations quotidiennes des conditions atmosphériques.

Ce puissant modèle, appelé *Modèle mondial et régional des métaux lourds dans l'atmosphère (MMRMLA)*, montre qu'une importante voie d'accès de ces polluants en route pour le Canada passe juste au-dessus de l'Arctique canadien. Cela commence à expliquer pourquoi les concentrations de ces polluants toxiques de



Sortie du modèle MMRMLA pour le 9 janvier 1997, montrant les concentrations atmosphériques en surface du mercure gazeux total (en nanogrammes/m³) dans l'hémisphère Nord. La figure donne une indication des voies de transport du mercure vers l'Arctique canadien.

l'atmosphère dans l'Arctique sont analogues à ce qu'elles sont dans le Sud du Canada.

Le deuxième processus qui influe sur le transport des polluants vers l'Arctique est la distillation mondiale attribuable aux écarts de température dans l'atmosphère qui causent l'évaporation et la condensation des polluants. Ce processus de distillation mondial est également appelé « *effet sauterelle* ».

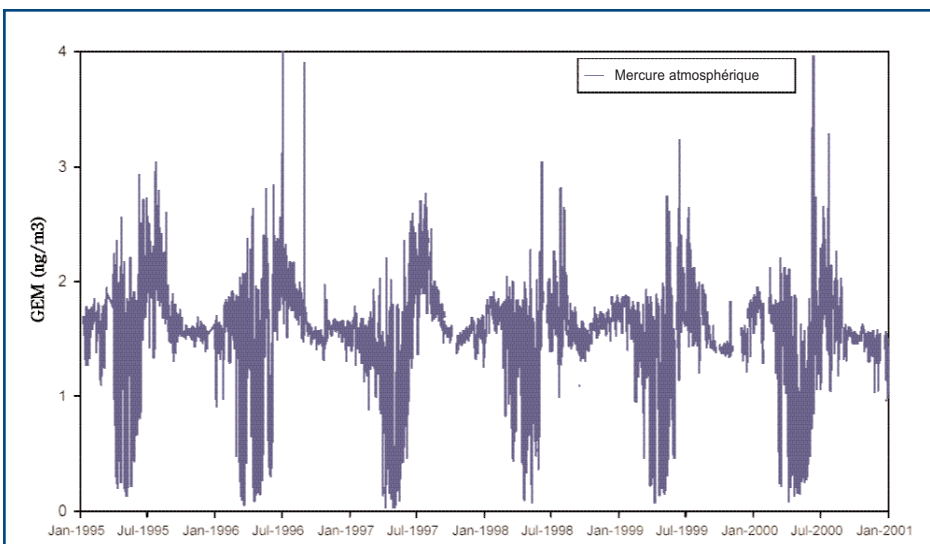
Le mercure et quantité de pesticides se comportent différemment selon la température. Lorsque les températures sont élevées, ils s'évaporent dans l'atmosphère mais, à basse température, ils se condensent hors de l'atmosphère et se déposent sur les sols, les lacs et les forêts. Lorsque les températures varient entre la nuit et le jour et entre l'hiver et l'été, ces polluants s'évaporent et se condensent à de nombreuses reprises. Lentement mais sûrement, ils se frayent un chemin vers le Grand Nord.

Une fois qu'ils sont dans les écosystèmes nordiques, ces polluants se bioaccumulent dans les tissus végétaux et animaux, où leurs effets toxiques sont amplifiés à travers la chaîne alimentaire, atteignant des seuils dangereux à la fois pour l'homme et les animaux.

Les scientifiques comprennent aujourd'hui beaucoup mieux de quelle façon des pesticides destinés à améliorer la productivité dans une région du monde peuvent avoir des conséquences imprévues et néfastes de l'autre côté de la planète, dans l'Arctique canadien.

« Le modèle MMRMLA s'avère un outil précieux pour suivre le transport à grande distance du mercure, en particulier au-dessus de l'Arctique. Ce modèle contribue à évaluer les métaux lourds dans le cadre du Programme de surveillance et d'évaluation de l'Arctique (PSEA) en cours. »

Lars-Otto Reiersen
Secrétaire général
Programme de surveillance et
d'évaluation de l'Arctique
Norvège



Concentration atmosphérique de mercure gazeux à Alert (Nunavut), de 1995 à 2001. Les concentrations de mercure ont tendance à être assez uniformes dans les régions rurales du Canada, mais elles baissent spectaculairement lors du lever de soleil polaire dans l'Extrême-Arctique, comme le montre cette figure.

Comprendre les processus chimiques qui affectent la couche d'ozone

Mesures prises dans l'espace à l'aide de ballons et de satellites



Des ballons emportant une lourde charge furent lancés dans le cadre de l'évaluation des tendances de l'atmosphère moyenne (MANTRA). Le SMC, l'Agence spatiale canadienne et plusieurs universités ont conjointement participé à ce projet.

Depuis plus de 30 ans, des chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) envoient des sondes dans la stratosphère pour mieux comprendre les réactions chimiques liées à la formation et à la destruction de la couche d'ozone, problème qui n'a toujours pas été entièrement élucidé. Les premières expériences, réalisées dans les années 1970 et 1980, utilisaient des ballons haute altitude et des fusées. Depuis lors, les chercheurs du SMC ont mené des expériences à bord de navettes spatiales et d'avions de recherche de la NASA volant à haute altitude.

En 1998, 2000 et 2002, ces mêmes chercheurs ont conjugué leurs efforts à ceux de l'Agence spatiale canadienne, de plusieurs universités et du secteur privé pour lancer des ballons emportant une lourde charge et continuer à étudier la stratosphère pour déterminer les changements survenus dans les 25 dernières années.

La plus récente mesure prise par SMC pour mieux comprendre la chimie de l'appauvrissement de la couche d'ozone était le lancement de SCISAT I, le premier satellite scientifique canadien à être lancé au Canada en plus de 30 ans.

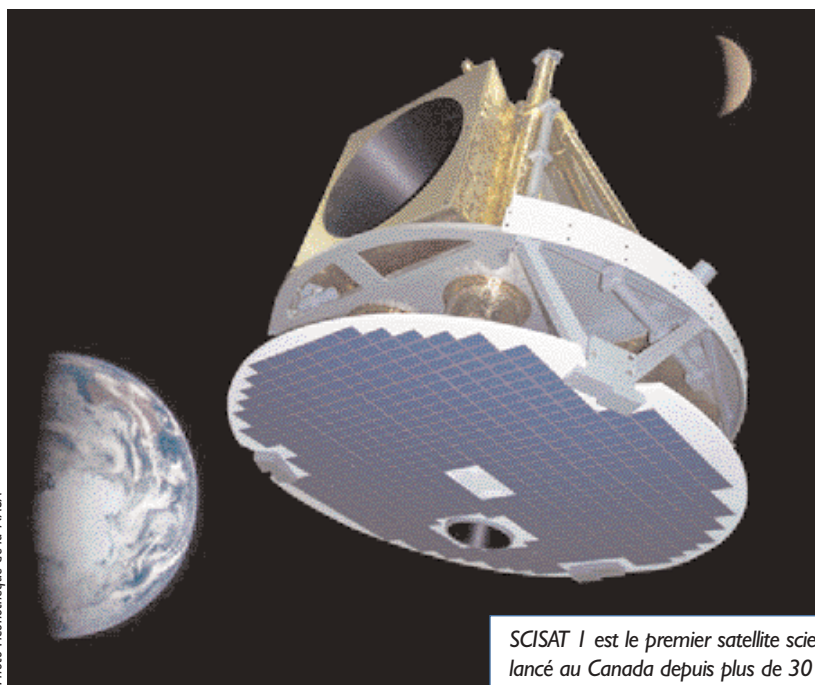


Photo : iconothèque de la NASA

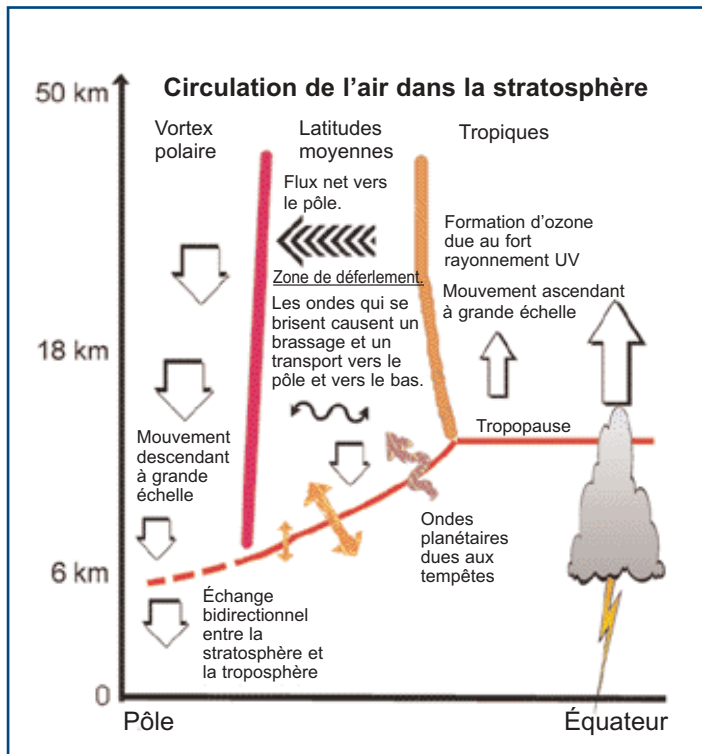
SCISAT I est le premier satellite scientifique lancé au Canada depuis plus de 30 ans.

Avec le concours de l'Agence spatiale canadienne, de plusieurs universités et du secteur privé, les chercheurs du SMC ont conçu l'un des deux instruments canadiens qui seront utilisés dans le cadre de ce vol historique. Cet instrument, appelé MAESTRO (pour Mesures de l'extinction par les aérosols dans la stratosphère et la troposphère extraits par occultation), mesure l'ozone stratosphérique et troposphérique, les aérosols et d'autres corps à l'état de traces. Il fournira de nouvelles données importantes sur les aérosols et la chimie dans la stratosphère et la haute troposphère en observant l'atmosphère de la Terre au lever et au coucher du Soleil.

Grâce aux données que cette expérience permettra de recueillir, les scientifiques comprendront mieux pourquoi la couche d'ozone stratosphérique ne se rétablit pas aussi rapidement que prévu depuis la mise en œuvre du Protocole de Montréal et de la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone. Ces recherches menées dans l'espace font en sorte que les politiques environnementales du Canada reposent sur les découvertes scientifiques les plus récentes.

« L'expertise du SMC dans la prise de mesures spectrales extrêmement exactes et précises a grandement contribué au développement d'instruments utilisés tant au sol que dans l'espace, pour recueillir des informations critiques sur la précision des mesures de l'ozone dans le monde entier. »

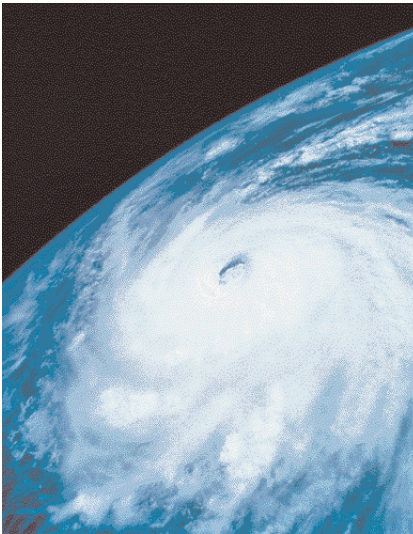
*Jim Drummond
Professeur agrégé,
Études supérieures
Département de Physique
Université de Toronto*



Les processus chimiques en jeu dans la formation et la destruction de la couche d'ozone sont influencés par la circulation de l'air dans la stratosphère. L'air gagne la stratosphère à l'équateur. La surface chaude crée de forts courants ascendants et des orages. L'air se déplace ensuite vers les pôles, où il descend vers la surface.

Mise au point communautaire d'un meilleur modèle météorologique

Le modèle mésoéchelle compressible communautaire (MC2)



En 1994, des chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) se sont lancés dans la mise au point d'un nouveau type de *modèle météorologique, le modèle mésoéchelle compressible communautaire – MC2.*

« Communautaire » dans ce contexte témoigne de la collaboration entre les chercheurs du SMC et d'autres scientifiques du Canada et de l'étranger en vue de mettre au point le modèle numérique mésoéchelle (échelle locale) le plus efficace et le plus rapide du monde. Au nombre des applications de ce modèle figurent l'amélioration des prévisions du vent en terrain montagneux, la conception de modèles de puissance éolienne et l'établissement de prévisions de la qualité de l'air.

Étant donné que le code-source du MC2. a été mis à la disposition d'autres chercheurs (« code-source ouvert »), les chercheurs du SMC ont effectivement recouvré leur investissement intellectuel. Plus de 50 chercheurs du monde entier, aussi bien dans des universités que dans des laboratoires d'État, ont adopté le MC2, et conçu des modèles améliorés.

Ce modèle a été conçu pour tirer pleinement parti de la puissance des processeurs parallèles, ce qui signifie que les calculs de la dynamique de l'atmosphère qui constituent la base de tous les calculs ultérieurs peuvent être effectués en parallèle sur un certain nombre de processeurs. On envisage de faire tourner MC2 sur le Simulateur de la Terre, système informatique ultraparallèle au Japon, qui est 64 fois plus puissant que le superordinateur qui sert actuellement aux prévisions météorologiques quotidiennes du Canada. Le but de cet exercice est de produire une simulation à haute résolution sans précédent du phénomène météorologique le plus violent de la nature, un ouragan.

La Norvège utilise le MC2 pour prévoir les vents aux aéroports, une tâche particulièrement difficile en raison des grands écarts de



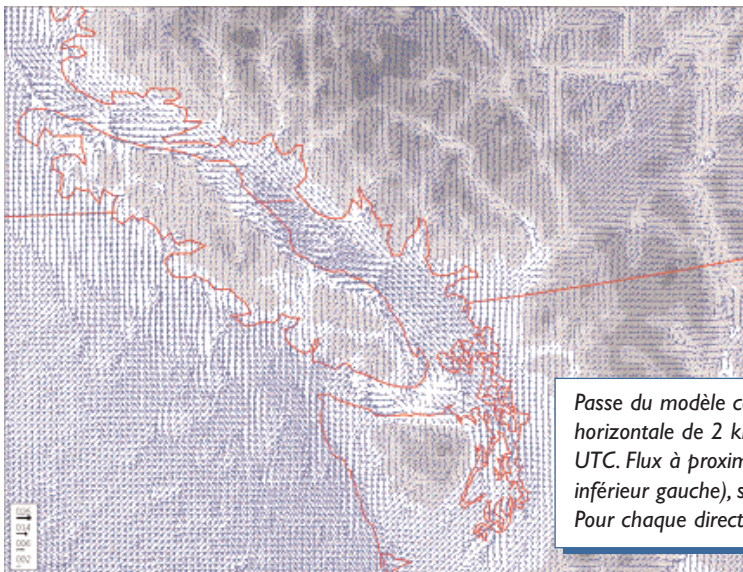
vitesse et de direction du vent en terrain montagneux. La plus grosse difficulté qu'a dû affronter le MC2 a été la concurrence acharnée de plusieurs modèles européens dans l'un des endroits du monde où il est particulièrement difficile d'établir des prévisions météorologiques — les Alpes. Le relief accidenté de la région et l'humidité provenant de la Méditerranée expliquent que les modèles de circulation générale et régionale actuels ne peuvent établir de bonnes prévisions météorologiques sur cette région, et en font même une région particulièrement difficile pour les modèles à mésoéchelle. On a utilisé des mesures perfectionnées prises au sol et dans l'atmosphère pour évaluer la performance des modèles. En l'occurrence, le MC2 a produit un réalisme sans précédent, en particulier en ce qui concerne les régimes extrêmement complexes d'écoulement du vent dans les bas niveaux.

Le MC2 sert également à produire des prévisions de la qualité de l'air. Au Canada comme ailleurs, les chercheurs commencent par utiliser le MC2, avant d'y ajouter des calculs de la chimie de l'atmosphère pour prédire le transport du smog.

Toute l'expérience acquise dans la mise au point et l'application du MC2 dans le monde sert aujourd'hui, au Canada, à améliorer les prévisions du vent en terrain montagneux, à alimenter les modèles de puissance éolienne et à produire les prévisions de la qualité de l'air établies conjointement par Environnement Canada et les provinces. Cette approche « communautaire » dirigée par le SMC est un excellent moyen de mettre à contribution les connaissances scientifiques de tout le milieu des sciences atmosphériques.

« Le modèle MC2 est l'un des rares modèles qui permettent d'établir des prévisions météorologiques numériques de haute résolution en temps réel à l'échelle convective. »

*Christoph Schär
Institut des sciences
atmosphériques et
climatiques
ETH
Zürich, Suisse*



Passe du modèle communautaire MC2 sur l'île de Vancouver, avec résolution horizontale de 2 km : prévision pour 17 heures valide le 26 juin 1997 à 2000 UTC. Flux à proximité de la surface (flèches avec échelle en nœuds dans le coin inférieur gauche), superposé sur le relief (ombres grises à intervalles de 500 m). Pour chaque direction, la flèche n'est indiquée qu'à un point de grille sur deux.

Les ressources hydriques dans un milieu nordique

L'étude GEWEX du Mackenzie



Tour météorologique portable au site aérologique d'Inuvik (T.N.-O.).

Les réserves d'eau douce du Canada sont parmi les plus vastes du monde. Le Mackenzie est la plus vaste source nord-américaine d'apport d'eau douce dans l'océan Arctique, ce qui exerce une influence profonde sur la circulation des océans du monde et le climat à long terme. Le bassin du Mackenzie s'étend depuis la Cordillère canadienne jusqu'au Bouclier canadien, et depuis les prairies jusqu'à la toundra. On a constaté une forte tendance au réchauffement dans cette région, et cette évolution du climat pourrait modifier la nature des ressources hydriques de la région. Étant donné que les cours d'eau et les lacs du Nord sont d'importantes artères de transport, les changements du niveau de l'eau peuvent avoir de profondes répercussions sur les activités socioéconomiques dans le bassin.

Lorsque les responsables du Programme mondial de recherches sur le climat de l'Organisation météorologique mondiale ont lancé l'Expérience mondiale sur les cycles de l'énergie et de l'eau (GEWEX) en 1988, la contribution du Canada a été d'étudier un bassin hydrographique nordique pour repousser les frontières du savoir sur les régions de climat froid. Des chercheurs canadiens venus de plus de 30 groupes de recherche du gouvernement et du milieu universitaire ont conjugué leurs efforts pour mesurer et modéliser les cycles atmosphériques et hydrologiques du bassin du Mackenzie. Cette recherche concertée, à laquelle on a donné le nom d'Étude GEWEX du Mackenzie, ou MAGS, illustre pour la première fois les cycles de l'énergie et de l'eau du bassin.

MAGS est une étude de longue haleine en plusieurs étapes (1996-2005), dont le but est de comprendre et de modéliser les répercussions que la variabilité et le changement climatiques peuvent avoir sur la météorologie et l'hydrologie de la région. Le projet a déjà produit depuis son lancement quantité de résultats nouveaux et passionnants. Par exemple, les chercheurs ont constaté que jusqu'à la moitié des précipitations estivales qui tombent sur le bassin proviennent de l'évaporation à la surface des terres dans le bassin. Cela veut dire que le cycle hydrologique est très sensible aux changements qui se produisent dans les caractéristiques de la surface des terres. Cette découverte est d'autant plus

importante que nous savons que les surfaces des terres risquent de changer, et que le pergélisol risque de fondre à cause du réchauffement de la planète.

Les recherches réalisées dans le cadre de MAGS ont également considérablement étoffé nos connaissances sur certains processus climatiques nordiques importants, mais mal compris. Il s'agit notamment de la quantification des flux d'eau et d'énergie de la neige superficielle et des lacs du Nord, de la découverte de nouveaux processus de ruissellement dans les sols et les substrats rocheux gelés et de l'élucidation de certains processus liés aux nuages et aux précipitations en région froide. Ces nouvelles connaissances, associées aux données recueillies dans le cadre de MAGS, sont actuellement utilisées par les chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) et les centres météorologiques internationaux pour améliorer les modèles de prévisions climatiques et météorologiques. Ces modèles améliorés seront essentiels pour évaluer les impacts des changements climatiques sur un pays nordique comme le Canada.

MAGS contribuera grandement aux connaissances sur les conséquences du climat au cours des années à venir. Les méthodes et les instruments de recherche mis au point par MAGS sont aujourd'hui appliqués à d'autres bassins hydrographiques du Canada et d'autres pays nordiques.

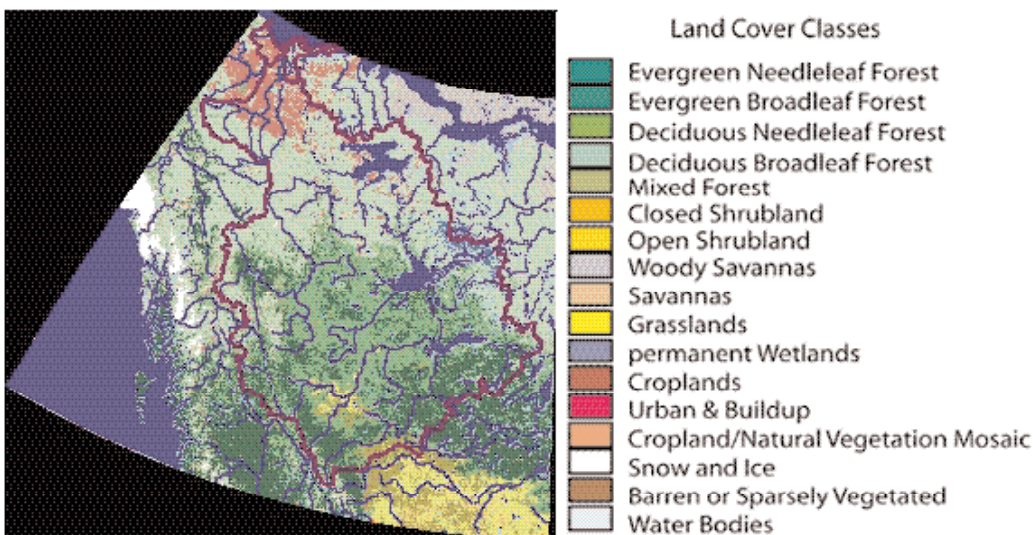
« MAGS a apporté de précieuses contributions à l'étude GEWEX. Le projet permet de mieux représenter la surface des terres et le manteau neigeux, ce qui améliore les prévisions du climat, ainsi que des cycles de l'eau et de l'énergie aux latitudes septentrionales. »

Paul D. Try

Directeur

Bureau international

du projet GEWEX



Cette base de données, préparée pour la communauté hydrométéorologique de GEWEX dans le cadre d'un projet conjoint GCIP, NOAA, PNUE/GRID et centre de données EROS de l'USGS, se trouve sur le site Web <http://na.unep.net/gewex>

Surveillance des stratégies de contrôle des pluies acides

La Base de données nationale sur la chimie atmosphérique (NatChem)



Photo reproduite avec l'aimable autorisation de Tom Brydges

Dépérissement des forêts dû aux pluies acides.

Dans les années '70 et '80, les lacs et rivières de l'est du Canada et des États-Unis devenaient de plus en plus acides. Certaines espèces de poissons, animaux et plantes aquatiques vulnérables disparaissaient, et les forêts commençaient à dépérir. Les pluies acides en étaient la cause, le principal agent responsable étant l'acide sulfurique dérivé des dioxydes de soufre (provenant des centrales à charbon et des fonderies).

Des organismes variés mirent sur pied de vastes réseaux de surveillance des acides formant les substances chimiques se trouvant dans l'air et dans les précipitations. Ces réseaux sont maintenant en opération depuis plus de 20 ans au Canada et aux États-Unis. Les données recueillies par tous ces réseaux ont été rassemblées en vue d'exposer l'ampleur du problème des pluies acides et de déterminer l'efficacité des stratégies antipollution à réduire l'impact des pluies acides sur nos écosystèmes.

Toutefois, il est extrêmement difficile de fusionner des ensembles de données provenant de réseaux utilisant des méthodes de mesure, fréquences d'échantillonnage et normes de calibration différentes. Cela présentait un sérieux obstacle à la gestion internationale des questions liées à la qualité de l'air. Pour convertir ces données disparates en informations utiles, il fallait donc un mécanisme qui améliore les normes d'échange de données, les procédures d'analyse et les outils de visualisation.

C'est pour remédier à ces problèmes que des scientifiques du Service météorologique du Canada (SMC) ont créé le système d'analyse et la Base de données nationales sur la chimie atmosphérique (NATChem). NatChem archive et analyse les données sur la chimie des précipitations, les particules et les substances chimiques toxiques provenant des principaux réseaux de surveillance nord-américains. Les résultats sont tellement concluants que les États-Unis et d'autres pays font appel à NATChem pour analyser les données sur la chimie de l'atmosphère.

Le programme NatChem comprend une nouvelle norme d'échange des données (NED), et un nouveau système de gestion et de contrôle de la qualité des données de recherche (RDMQ^{MC}). Le milieu scientifique admet que la NED représente une percée importante pour préserver la valeur des données atmosphériques à long terme et voit le RDMQ^{MC} comme étant un système puissant de contrôle de la qualité et de gestion des ensembles de données sur l'environnement.

NatChem, avec les outils analytiques de la NED et du RDMQ^{MC}, a permis au Canada de conserver une longueur d'avance dans le domaine des pluies acides et dans d'autres domaines importants de la qualité de l'air. On a ainsi découvert qu'en dépit d'une baisse des émissions de SO₂ depuis 10 ans, les données révèlent que plus de 500 000 km² dans l'Est du Canada dépassent toujours la charge critique de sulfates. Cela veut dire que les lacs et les forêts courent toujours le risque d'être endommagés par les pluies acides. Des réductions additionnelles seront nécessaires pour protéger ces fragiles écosystèmes.

En fusionnant les données provenant de divers réseaux de surveillance de la qualité de l'air, le programme NatChem est en mesure d'étudier le lien entre les stratégies antipollution et leurs conséquences sur la santé et les écosystèmes.

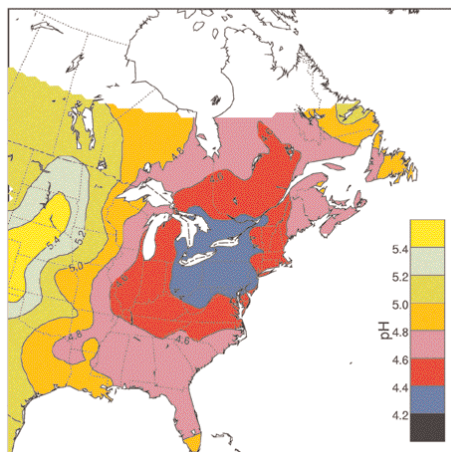
« NatChem présente une valeur inestimable pour comprendre la climatologie chimique de l'Amérique du Nord. »

Richard Artz, Directeur adjoint
Laboratoire des ressources
atmosphériques
Administration nationale des
océans et de l'atmosphère
États-Unis

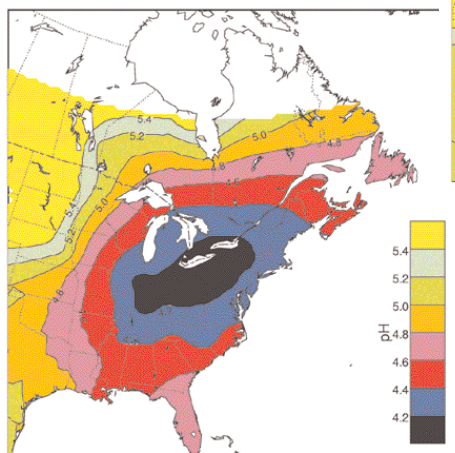
« Le RDMQ^{MC} autorise des économies de temps précieuses, et permet de contrôler la qualité des ensembles de données sur la chimie des précipitations mondiales. Sans lui, nous serions perdus. »

Volker Mohnen, Directeur
Quality Assurance
Science Activity Center
of the Americas

MOYENNE ANNUELLE DES
DISTRIBUTIONS DE PH EN 1998



MOYENNE ANNUELLE DES
DISTRIBUTIONS DE PH EN 1980



Ces deux cartes créés par NatChem montrent une réduction dans l'acidité des précipitations dans l'est de l'Amérique du Nord, suite à l'application des stratégies de contrôle des dioxydes de soufre au Canada et aux États-Unis entre 1980 et 1998.

Efficacité du Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone

Surveillance de l'ozone stratosphérique et du rayonnement UV

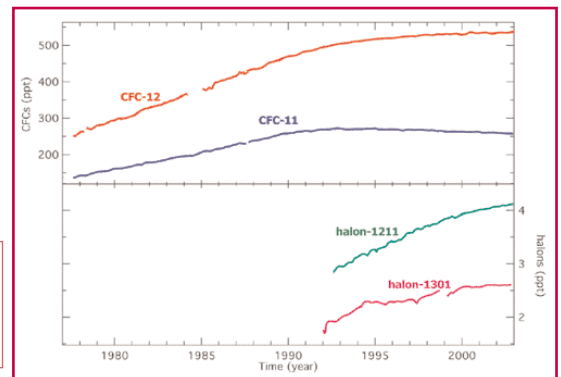


Le réseau canadien d'ozonosondage se compose de six stations qui lancent chaque semaine des ballons emportant des ozonosondes, pour déterminer les tendances à long terme des concentrations d'ozone à tous les niveaux de l'atmosphère.

Depuis 1987, 183 pays ont ratifié le Protocole de Montréal, qui limite les émissions de substances appauvrissant la couche d'ozone. Pour déterminer l'efficacité de ce Protocole, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) a établi un réseau mondial pour surveiller le rayonnement UV et les changements qui surviennent dans la couche d'ozone. Le Service météorologique du Canada (SMC) compte pour sa part un réseau de 12 stations qui mesurent l'ozone de la colonne et le rayonnement UV-B.

Les chercheurs du SMC sont chefs de file en la matière depuis près de 50 ans. Vers le milieu des années 1970, ils ont mis à contribution leur expertise des mesures de haute précision de l'énergie solaire pour concevoir le spectrophotomètre Brewer, instrument qui mesure l'ozone de la colonne et le rayonnement UV-B. Cet instrument est devenu la norme pour les mesures au niveau du sol dans le monde entier. Il est aujourd'hui fabriqué sous licence, et plus de 160 instruments sont utilisés dans plus de 40 pays, et en Antarctique. Le SMC entretient le groupe étalon mondial d'instruments au siège de son administration centrale, à Toronto, et exploite le Centre mondial des données sur l'ozone et les UV dans le cadre des engagements pris par le Canada envers l'OMM. Parmi les données sur l'ozone et les UV figurent les cartes de prévisions de l'indice UV pour les Canadiens, et les mesures et les cartes de l'ozone en temps quasi réel établies par des instruments au sol et des satellites.

L'appauvrissement de la couche d'ozone est particulièrement grave aux deux pôles de la Terre. Le trou d'ozone de l'Antarctique est largement connu, et un amincissement significatif de la couche d'ozone au-dessus de l'Arctique a été détecté pour la première fois dans les mesures prises à Eureka, Alert et Resolute, dans l'Extrême-Arctique du Canada. On a établi un lien entre cet appauvrissement



Moyennes mensuelles mondiales en fonction du temps, en parties par billion (ppt), des principaux CFC et halons dans l'atmosphère, du Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory (CMDL) de la NOAA. Les moyennes incluent des mesures provenant d'Alert (Nunavut), de Pt. Barrow (Alaska), de Niwot Ridge (Colorado), du Mauna Loa (Hawaii), des Samoa américaines, de Cape Grim (Tasmanie), et du pôle Sud.

de la couche d'ozone au-dessus de l'Arctique et le changement climatique. Les modèles du climat prédisent qu'à mesure que la surface de la Terre se réchauffe, la stratosphère se refroidit, ce qui accélère la destruction de la couche d'ozone.

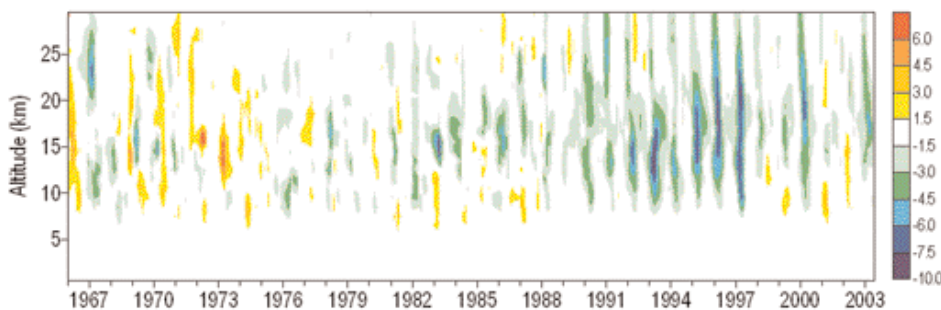
En 1993, les chercheurs du SMC ont été les premiers à établir un lien incontestable entre l'augmentation du rayonnement UV-B aux *latitudes moyennes* à la surface de la Terre et l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique. Cette découverte est d'autant plus importante qu'elle montre que l'appauvrissement de la couche d'ozone n'est pas limité aux régions polaires.

Le Canada mesure aussi la distribution verticale de la couche d'ozone au moyen d'un petit instrument appelé ozonsonde, que l'on place à bord de ballons-sondes météorologiques. Il est important de disposer de cette information pour comprendre la chimie de l'appauvrissement de la couche d'ozone et le transport planétaire de l'ozone. Trois des six stations canadiennes qui participent à ce programme se trouvent dans l'Extrême-Arctique. Les connaissances que ce programme permet de recueillir, de même que celles qui proviennent d'autres réseaux de surveillance, revêtent une importance cruciale pour notre capacité à surveiller le rétablissement de la couche d'ozone.

Grâce à l'expertise des chercheurs du SMC et à l'emplacement des stations de surveillance du Canada, ce dernier a réussi à apporter une contribution exceptionnelle à ce domaine scientifique et à collaborer avec le milieu international pour mesurer l'efficacité de la politique internationale de gestion de l'environnement.

« Les activités de R&D du SMC constituent une importante contribution aux efforts internationaux visant à élucider le couplage entre l'appauvrissement ou le rétablissement de la couche d'ozone stratosphérique et le changement climatique. »

Examen indépendant international
2001



Distributions verticales de l'ozone à long terme sur l'Arctique canadien, de 1966 à 2000, la moyenne annuelle de 1966 - 1997 étant soustraite pour montrer les écarts des concentrations par rapport à la normale. On remarque des zones en vert et en bleu, qui indiquent des concentrations d'ozone inférieures à la normale, pour les récentes années (1993, 1995, 1996, 1997, 2000, 2003). Ces importantes pertes surviennent à la fin de l'hiver et au début du printemps. (Les valeurs sont données en dobsons par kilomètre, un dobson équivalant à une épaisseur de 0,01 mm d'ozone dans les conditions normales de température et de pression.)

Les bases scientifiques de la Politique d'assainissement de l'air dans la vallée du bas Fraser Pacifique 2001



Des employés du Service météorologique du Canada lancent une sonde captive pendant l'étude Pacifique 2001, pour recueillir des profils détaillés de la température, des vents et de l'humidité dans la couche limite atmosphérique.

La vallée du bas Fraser, en Colombie-Britannique, est souvent recouverte de smog l'été et l'automne. L'ozone des basses couches de l'atmosphère et de petites poussières en suspension dans l'air sont piégés dans la vallée, entre l'océan et les montagnes. En concentrations élevées, ces polluants peuvent réduire la visibilité, nuire à l'appareil respiratoire et endommager la végétation et les écosystèmes.

La chimie de la formation du smog est très complexe. En 2001, grâce aux progrès scientifiques accomplis dans la mesure des particules en suspension dans l'air et la compréhension de leur composition et de leur transport dans l'atmosphère, des chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) ont pu lancer la plus importante étude sur le terrain qui ait jamais eu lieu au Canada, *Pacifique 2001*. Cette étude a fait intervenir 22 organismes, notamment des gouvernements fédéral, provinciaux et régionaux du Canada et des États-Unis, et 13 universités. Son objectif était de mieux comprendre les processus physico-chimiques qui aboutissent à la formation de particules dans le bassin atmosphérique de la vallée du bas Fraser.

Les sources de pollution atmosphérique sont nombreuses dans la vallée : émissions des véhicules et des industries de l'agglomération de Vancouver; émissions des navires du bassin; de l'agriculture; et des industries de l'État de Washington qui franchissent la frontière. Il y a également des émissions provenant de sources naturelles comme les arbres, la végétation et l'océan. Les émissions de toutes ces sources peuvent réagir avec la lumière du Soleil pour produire un smog qui peut persister plusieurs jours.

Pendant le déroulement de l'étude, on a pris des mesures à cinq sites de la vallée, depuis Eagle Ridge jusqu'au tunnel des



Montage d'instruments utilisé pendant l'expérience Pacifique 2001, et conçu pour mesurer diverses composantes des matières particulaires.

Cassiar, et depuis Langley jusqu'au parc Golden Ears. Des ballons et des aéronefs de recherche ont été envoyés au-dessus de la vallée avec à bord des instruments conçus pour déterminer la nature et l'origine du smog urbain.

Les ensembles de données recueillis dans le cadre d'études aussi intensives que Pacific 2001 prennent entre cinq et dix ans à analyser et à intégrer dans le corpus de connaissances des milieux scientifiques et politiques. L'analyse des résultats éclairera d'un jour nouveau les processus physico-chimiques qui contribuent à la formation des particules. À ce jour, les analyses ont révélé que :

- l'interaction complexe de la pollution avec des particules de sel de mer contribue à réduire la visibilité dans la vallée;
- les particules biosynthétiques prédominent, même dans les régions urbaines;
- l'ammoniac des émissions agricoles et de la circulation contribue à la formation de particules fines;
- les véhicules automobiles émettent des particules de carbone dans l'air des villes.

Une étude antérieure, dirigée par le SMC dans la vallée en 1993 sur l'ozone des basses couches de l'atmosphère, a contribué à l'élaboration de diverses stratégies de lutte contre les émissions, notamment l'analyse des gaz d'échappement des véhicules. L'étude de 2001 a abouti à la constitution d'une base de données sans précédent qui fournira de solides assises pour les politiques de gestion de la qualité de l'air dans la vallée du bas Fraser pendant une bonne partie du XXI^e siècle.

« L'étude Pacific 2001 fournira la base scientifique nécessaire au développement de politiques visant la protection de ce fragile bassin atmosphérique. »

*Hugh Sloan,
Directeur de
la planification,
district régional de
la vallée du Fraser*



La vallée du bas Fraser (Colombie-Britannique), recouverte de smog.

Prévision des changements climatiques

Modèles canadiens du climat



Photo : Diana Nethercott

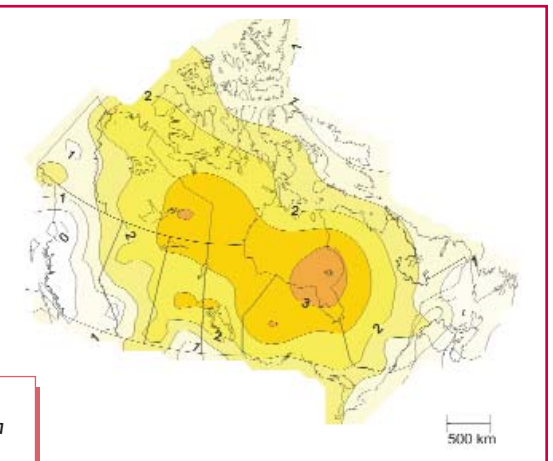
Norman McFarlane (à gauche), Francis Zwiers et George Boer, développeurs des modèles de circulation générale (MCG) canadiens, sur fond d'océan Pacifique.

La concentration mondiale moyenne de dioxyde de carbone, le gaz à effet de serre le mieux connu, a augmenté d'environ 30 % depuis le début de l'ère industrielle. Le méthane, un autre gaz à effet de serre qui contribue au réchauffement de la planète, a pour sa part plus que doublé. Les informations scientifiques dont on dispose indiquent que la température mondiale montera sensiblement au cours du XXI^e siècle, à un rythme qu'on n'avait pas vu depuis au moins 10 000 ans. La population, les scientifiques et les hommes d'État veulent savoir à quelle vitesse, où et comment les changements climatiques vont se produire.

Les *modèles de circulation générale* sont les seuls instruments qui permettent de prédire l'avenir et la façon dont les régimes climatiques et la circulation des océans vont réagir aux changements qui surviennent dans les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre et de polluants connexes. Les chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) sont de véritables pionniers et des chefs de file mondiaux incontestés dans la conception et l'utilisation des modèles de circulation générale.

Les premiers modèles du climat mis au point au SMC étaient axés sur la physique de l'atmosphère qui détermine les régimes climatiques mondiaux. À la fin des années 1980 et au début des années 1990, on a combiné les processus atmosphériques et la circulation océanique aux modèles pour les rendre plus réalistes. Ultérieurement, les chercheurs du SMC ont mis au point un modèle couplé atmosphère-océan-glaces de mer, qui est considéré comme parmi les meilleurs au monde.

Le *Troisième rapport d'évaluation* (2001) du Groupe d'experts



En 2001, le Canada, dans son ensemble, a connu sa troisième année la plus chaude, la chaleur étant répartie assez uniformément sur le pays, comme le montre cette carte de l'anomalie de la température annuelle. Chaque isoligne représente un réchauffement d'un demi-degré Celsius.

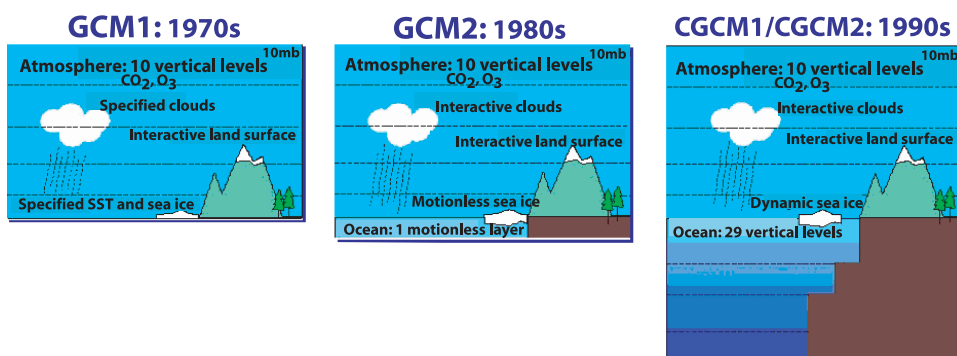
du climat (GIEC) a utilisé le modèle canadien et trois autres dans ses études visant à déterminer si les effets de l'activité humaine sur le climat étaient décelables dans les données climatiques mondiales. Le modèle canadien était aussi l'un des deux modèles (l'autre étant celui du Hadley Centre de Grande-Bretagne) utilisés dans la récente étude intitulée National Assessment of the Potential Impacts of Climate Variability and Change, menée aux États-Unis.

Les climatologues du SMC en sont maintenant à concevoir la prochaine génération de modèles du climat, qui engloberont les principaux processus biologiques et chimiques qui régulent le cycle planétaire du carbone et, par conséquent, notre climat. Comprendre de quelle façon la biosphère réagira à de plus fortes concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre, et quelles conséquences cela aura sur l'atmosphère, est essentiel à l'élaboration de politiques visant à remplir nos engagements concernant « Kyoto. »

La plupart des modèles du climat prévoient que les changements climatiques seront particulièrement prononcés dans les régions polaires, et plus important l'hiver que l'été. C'est ainsi que le fragile milieu nordique du Canada sera particulièrement vulnérable aux incidences des changements climatiques.

Le dynamisme de la climatologie canadienne, le leadership assuré par le SMC et les risques d'incidences profondes sur ce pays ont joué un rôle appréciable dans la décision de ratifier le Protocole de Kyoto.

L'équipe de climatologues du SMC, continue de faire progresser la science des modèles de circulation générale, de dépister les changements survenus dans le système climatique et de contribuer à préparer les Canadiens et les citoyens d'autres pays à s'adapter à de tels changements.



Les modèles du climat constituent l'outil essentiel pour effectuer des projections quantitatives du changement climatique à venir. Ce diagramme montre comment les modèles du climat général du SMC ont évolué au cours des dernières décennies pour mener au développement des modèles couplés atmosphère/océans/glaces de mer de première et deuxième générations qui sont considérés comme parmi les meilleurs du monde.

« Elle (l'équipe de modélisation du climat du SMC) fait un travail remarquable et arrive à demeurer à l'avant-garde. »

Bob Corell
Ancien administrateur
de la National Science
Foundation
États-Unis

« La vulnérabilité des écosystèmes canadiens, comme l'Arctique, aux incidences profondes des changements climatiques souligne l'importance de préserver l'excellence de la climatologie canadienne. »

Gordon McBean
Président
Fondation canadienne pour
les sciences du climat et de
l'atmosphère

Les changements climatiques et les parcs nationaux du Canada

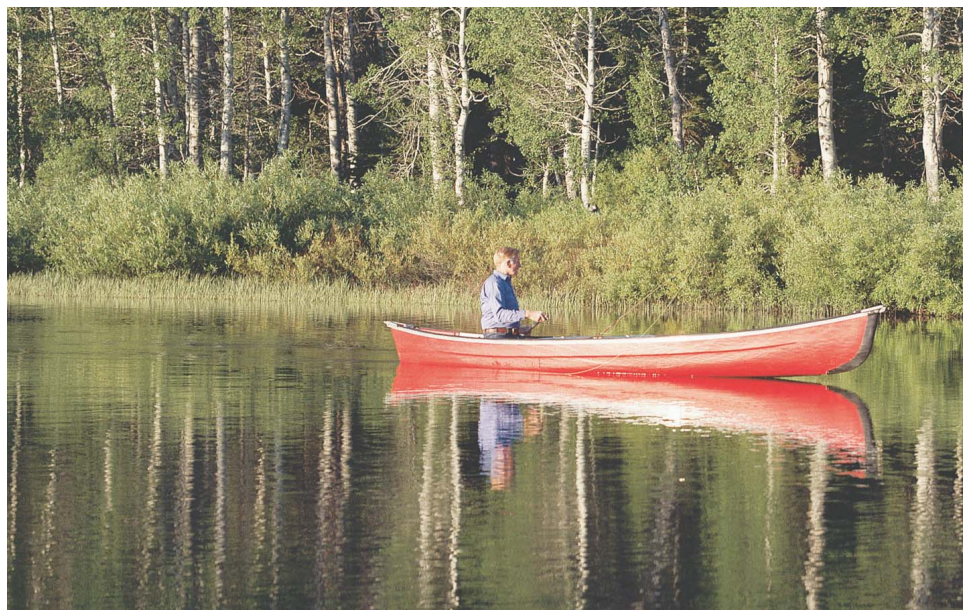
Évaluation des conséquences



Photo : Malek

Quelles conséquences les changements climatiques auront-ils sur les parcs nationaux et sur ce qu'ils représentent dans le patrimoine naturel du Canada? Telle est la question à laquelle les chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) ont décidé de répondre dans l'étude intitulée *Le Changement climatique et le réseau des parcs nationaux du Canada*. Cette étude est une évaluation préliminaire, réalisée conjointement avec l'Université de Waterloo pour le compte de Parcs Canada en 2000.

L'évaluation des répercussions des changements climatiques sur un réseau de parcs nationaux (38 au total) dans un pays de la taille du Canada est une tâche redoutable. Des chercheurs du SMC ont élaboré des scénarios sur les changements climatiques saisonniers dans chacun des 38 parcs nationaux en utilisant les sorties de quatre modèles de circulation générale (MCG), notamment celui du SMC. Ils ont également évalué les éventuelles répercussions des changements climatiques et analysé individuellement chaque parc national. Les parcs ont été regroupés en six grandes régions géographiques (Atlantique, Grands Lacs – Saint-Laurent, Prairies, Cordillère canadienne, Pacifique et Arctique) pour lesquelles la plage des répercussions des changements climatiques est analogue. Les résultats révèlent que le



caractère biophysique de la plupart des parcs changera dans les scénarios envisagés, les parcs situés dans le centre et dans le Nord du Canada courant le plus de risques de changements profonds.

Une étude ultérieure réalisée pour Parcs Canada par un chercheur du SMC, en collaboration avec des professeurs de l'Université de Waterloo et de l'Université de Toronto, a utilisé deux modèles globaux de la végétation et quatre MCG pour déterminer les conséquences des changements de la végétation sur les parcs nationaux. Cet exercice de modélisation a révélé que de nouveaux types de biomes feront leur apparition dans plus de la moitié des parcs et que le réseau des parcs perdra plusieurs biomes nordiques représentatifs (toundra, toundra-taïga et forêt boréale).

Cette évaluation des répercussions des changements climatiques sur nos parcs nationaux incite à croire que le Réseau des parcs nationaux du Canada ne suffit sans doute pas à protéger les écosystèmes pour lesquels il a été créé à l'origine. Cela souligne le besoin pour le Canada d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation afin de conserver les biomes. Ces résultats influent actuellement sur la façon dont les aménagistes des parcs planifient l'avenir et sur le rôle qu'ils entendent confier aux parcs nationaux pour préserver le patrimoine naturel du Canada.

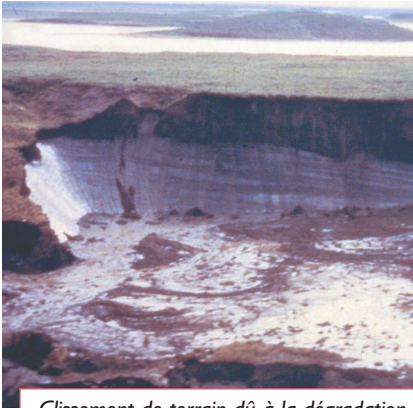
« L'évaluation permet de comprendre les impacts et l'adaptation au niveau des parcs. Les chercheurs des parcs peuvent utiliser des données présentant une utilité locale pour planifier les écosystèmes. »

*David Welch
Direction de l'intégrité
écologique
Parcs Canada*



Les changements climatiques et les collectivités du Nord du Canada

Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie



Glissement de terrain dû à la dégradation du pergélisol, dans l'Arctique canadien.

Il n'est pas facile de comprendre les répercussions des changements climatiques sur les conditions météorologiques et les ressources hydriques. Mais il est encore plus difficile d'intégrer ces connaissances scientifiques dans les prévisions des impacts sociaux, économiques et culturels pour prendre des décisions stratégiques avisées. L'Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie (MBIS), dirigée par le Service météorologique du Canada (SMC) sert de modèle pour intégrer des paramètres complexes des connaissances géophysiques et socioéconomiques afin d'éclairer les décisions en matière de politiques et de développement à l'échelle locale.

La MBIS a débuté en 1990 et a abouti à la publication par le SMC en 1997 de l'Étude d'impact sur le bassin du Mackenzie. L'objet de cette étude était d'examiner les effets du changement climatique sur les terres, les eaux et les collectivités du Grand Nord du Canada. Si l'on a choisi le bassin du Mackenzie, c'est que c'est l'une des régions dont on s'attend à ce qu'elle connaisse les effets les plus marqués des changements climatiques dans le monde, et que les modes de vie des habitants sont étroitement liés aux ressources naturelles et aux terres. Les habitants de cette région ont déjà connu une hausse importante des températures depuis 50 ans.

La MBIS présente la caractéristique unique d'avoir réuni des scientifiques de nombreuses disciplines et des intervenants représentant aussi bien des associations industrielles que des collectivités autochtones pour participer à une étude de recherche exhaustive. Les participants se sont concentrés sur l'importance des divers résultats des recherches pour les habitants et les collectivités du Nord du Canada. À mesure que le projet avançait, le niveau de participation locale augmentait, comme le degré de compréhension mutuelle entre les scientifiques, les décisionnaires et les habitants locaux.

Les résultats de l'étude incitent à croire que les répercussions les plus probables des changements climatiques sur les terres, les eaux et les collectivités du Grand Nord seront :

- un abaissement du niveau minimum de l'eau dans les lacs et les cours d'eau;

- une aggravation de l'érosion attribuable à la fonte du pergélisol, notamment un plus grand nombre de glissements de terrain;
- une augmentation des risques d'incendies et d'épidémies de ravageurs dans les forêts;
- des risques pour le mode de vie des Autochtones;
- des effets divers sur l'accès à la faune;
- d'éventuels avantages pour l'agriculture résultant d'un allongement de la saison de croissance si l'on multiplie les systèmes d'irrigation.

Au nombre des mesures d'adaptation visant à atténuer la vulnérabilité de cette région figurent :

- une surveillance accrue de la part des collectivités;
- le recours accru à des stratégies de cogestion;
- le contrôle régional et local des ressources vulnérables au climat;
- l'adoption de stratégies flexibles, comme des quotas de récolte ajustables.

Pour procéder à l'évaluation intégrée des impacts des changements climatiques et de l'adaptation, il faut établir un partenariat à long terme entre les scientifiques et les intervenants à tous les stades de la recherche, compte tenu notamment du besoin de renforcer la capacité institutionnelle sur les changements climatiques. Par exemple, le Northern Climate Exchange du Collège du Yukon a été créé en 2000 comme structure régionale destinée à servir de source d'information et à faciliter les recherches concertées dans le Nord du Canada.

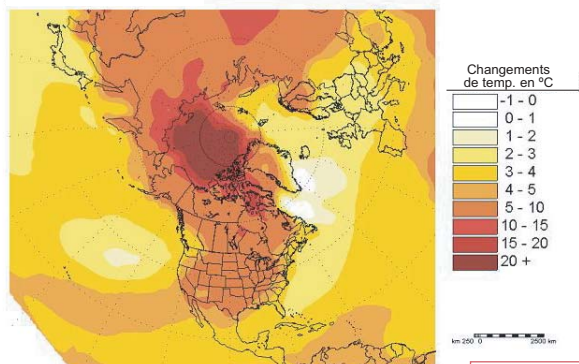
Les résultats de l'étude ont sensibilisé les hommes politiques et les décideurs du monde entier aux changements climatiques. L'ÉIBM a servi de modèle à d'autres études sur les impacts menées à l'étranger, notamment aux États-Unis (Étude d'impact sur la mer de Béring) et dans le Nord de l'Europe (Étude d'impact sur la mer de Barents). Il est clair que les répercussions possibles sur le mode de vie

des Autochtones seront dictées par les choix de développement opérés par les habitants du Grand Nord au cours des prochaines décennies, et par l'ampleur et le rythme des conséquences des changements climatiques.

« L'ÉIBM a été d'une aide précieuse dans la conception et la réalisation de l'Étude d'impact sur la mer de Barents. En particulier, l'ÉIBM nous a appris l'importance des contacts directs avec les intervenants et de l'intégration des résultats de l'étude dès le départ. »

*Manfred A. Lange
Chargé de projet
Étude d'impact sur
la mer de Barents*

Hivers 2080-2100



D'ici 2080, les températures hivernales de la majeure partie du Canada pourraient monter de 5 à 10 degrés, voire plus.

Amélioration de l'exactitude des prévisions météorologiques au Canada

Le modèle global environnemental multi-échelle (GEM)



Processeur frontal du superordinateur d'Environnement Canada, situé au Centre météorologique canadien (CMC), à Dorval (Qc). Le CMC est le siège principal de la Division de la recherche en prévision numérique et d'autres composantes de la Direction de la recherche en météorologie, et héberge d'autres employés du Service météorologique du Canada.

Les prévisions météorologiques demeurent l'une des tâches les plus redoutables pour un ordinateur. Les chercheurs en météorologie et les informaticiens attendent constamment le superordinateur le plus puissant de la nouvelle génération afin d'améliorer leurs calculs et d'essayer de simuler avec plus d'exactitude l'un des phénomènes les plus complexes à se produire sur la Terre.

C'est dans les années 1950 que les premiers calculateurs électroniques ont permis l'utilisation opérationnelle systématique des modèles de prévision météorologique numérique (PMN). Depuis, les mesures courantes de la qualité des prévisions météorologiques émises par le Centre météorologique canadien du Service météorologique du Canada (SMC) à Dorval ont montré des progrès spectaculaires. Par exemple, une prévision pour cinq jours en 2003 est aussi précise qu'une prévision pour 36 heures en 1963. À mesure que l'exactitude et la portée des prévisions s'améliorent, il en va de même de leur valeur pour le public et pour le septième du PIB (produit intérieur brut) du Canada qui est sensible aux conditions météorologiques.

Il existe un autre moyen d'augmenter la capacité de calcul, qui repose sur le choix du logiciel utilisé. Plus le logiciel est efficace, plus on peut faire de calculs dans les délais imposés par les météorologues et les clients.

Les chercheurs du SMC ont engagé un gros investissement intellectuel au début des années 1990 pour concevoir le modèle global environnemental multi-échelle, *GEM*, qui est devenu opérationnel en 1997. Au cœur de ce modèle numérique, il y a son noyau dynamique, qui constitue le cadre computationnel permettant de décrire la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement. Tous les autres paramètres du modèle, comme la prévision du rayonnement, la formation des nuages, les échanges terres-surface, etc., s'imbriquent dans ce noyau flexible. Le *GEM* a la capacité unique au monde de pouvoir passer avec une résolution spatio-temporelle fixe ou variable de l'échelle globale à l'échelle locale, le tout avec le même noyau dynamique.

Le noyau dynamique du *GEM* est à ce point efficace et flexible qu'il alimente aujourd'hui plusieurs programmes de prévisions différents. Le modèle est

exécuté deux fois par jour à une résolution horizontale de 24 km, avec des techniques ultraperfectionnées d'assimilation des données qui tirent parti de données météorologiques de surface et satellitaires en temps réel provenant du monde entier, pour établir des prévisions sur 48 heures pour l'ensemble du Canada. Le GEM est exécuté à une résolution moins précise de 100 km pour établir des prévisions quotidiennes jusqu'à 10 jours, pour la Terre entière. Véritable tour de force scientifique, le GEM sert également pour la modélisation à échelle locale et convective sur 30 heures des ouragans, des lignes de grains violentes et des fortes précipitations.

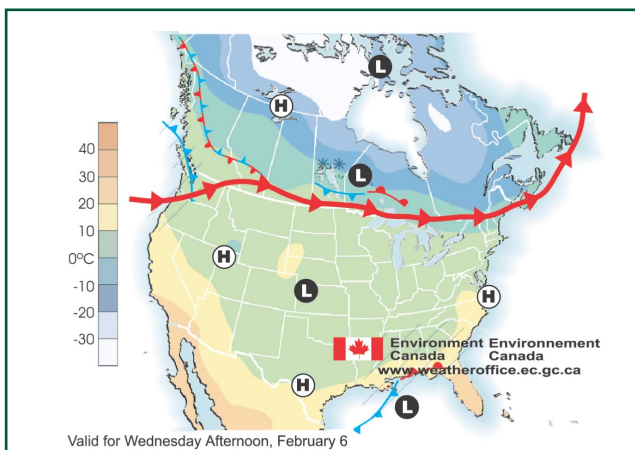
Le prochain test du GEM consistera à prolonger son horizon temporel pour établir des prévisions saisonnières plus précises que celles que permet notre système actuel de prévision d'ensembles qui repose sur plusieurs modèles. Le remplacement du système multi-modèles actuel par un seul système reposant sur le GEM autorisera d'intéressantes économies d'argent. D'autres pays, comme le Royaume-Uni, ont décidé de prendre la même orientation.

L'une des plus grosses difficultés auxquelles se heurtent les services météorologiques du monde entier est de coupler les modèles météorologiques, océaniques, climatiques, hydrologiques et de qualité de l'air en modèles intégrés de prévision environnementale. Ces modèles intégrés parviennent à établir un lien entre les changements qui se produisent dans l'atmosphère et les écosystèmes, la santé humaine et l'économie. C'est un autre secteur où le GEM est plein de promesses. Des recherches sont en cours pour mettre au point ces plates-formes de modélisation unifiées reposant sur le GEM pour prévoir l'impact de l'activité humaine sur l'environnement et l'impact de

« Le noyau dynamique du GEM est le meilleur du monde. »

Examen indépendant international, 2001

l'environnement sur la santé, la sécurité, la sûreté et les entreprises du Canada. Le GEM illustre à merveille le précepte que l'on peut faire plus avec moins.



Exemple de prévision pour le lendemain des principaux systèmes météorologiques sur l'Amérique du Nord, produite quotidiennement par Environnement Canada.

Détection du temps violent

Les réseaux canadiens de radars météorologiques Doppler et de détection de la foudre

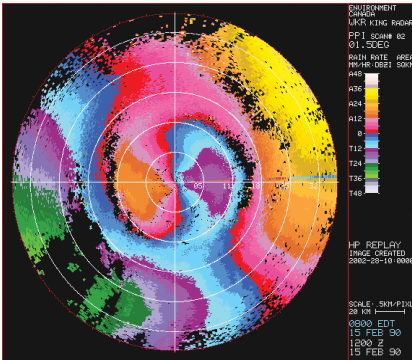


Image radar provenant du radar Doppler d'Environnement Canada à King City, pour un épisode de pluie verglaçante survenu le 15 février 1990.

Le temps violent, comme les orages, la foudre, les tornades, la grêle, les fortes précipitations et les tempêtes de neige, fait souvent des morts et des dégâts matériels. Dans les années 1980, les tornades qui se sont abattues sur l'Ontario et l'Alberta ont entraîné la mort de 35 personnes. En moyenne, la foudre tue 7 personnes et en blesse 60 à 70 autres au Canada chaque année. En 1998, la tempête de verglas dans l'Est du Canada a causé des dégâts d'une valeur supérieure à 4,2 milliards de dollars.

Pour que les prévisionnistes opérationnels puissent prévenir à temps le public de ces risques et d'autres risques d'ordre météorologique, il faut que le Service météorologique du Canada (SMC) puisse traiter et interpréter un volume important de mesures d'observation prises par les radars, les satellites et les stations météorologiques de surface.

Ces dernières années, le SMC a beaucoup investi dans deux réseaux opérationnels : le réseau de radars Doppler et le Réseau canadien de détection de la foudre. Le réseau de radars Doppler se compose d'une chaîne de 30 radars Doppler, dont chacun a un rayon de détection de 250 km, et qui couvrent au total 90 % à 95 % de la population canadienne. Le réseau de détection de la foudre couvre pour sa part la majeure partie du Canada. Il permet aux météorologistes de détecter et de surveiller les orages dès les



Image mosaïque de tous les sites de radars Doppler du Canada.

premiers stades de leur formation et procure une aide précieuse pour déterminer les régions où les risques de feux de forêts sont particulièrement élevés. Les deux réseaux sont intégrés à des réseaux analogues des États-Unis et, ensemble, ils offrent aux prévisionnistes la possibilité sans précédent de reconnaître le temps violent et d'émettre des avertissements à l'intention du public.

Depuis 10 ans, les chercheurs, les météorologistes et les programmeurs informatiques du SMC enregistrent d'importants progrès dans la mise au point d'applications prévisionnelles des mesures radar et sont devenus des chefs de file mondiaux incontestés de la météorologie radar. Entre autres, ils ont doublé la portée et nettement accru la sensibilité des mesures radar et réduit de moitié le coût des matériels radar.

Dans les bureaux de prévisions régionaux, un seul prévisionniste doit assurer la surveillance d'un territoire supérieur à 2 millions de kilomètres carrés tout en essayant de démêler les éléments d'un seul orage qui couvre une superficie d'à peine 100 km². Le réseau de radars Doppler offre désormais le potentiel de surveillance nécessaire pour répondre à ces besoins prévisionnels. De ce fait, le Canada possède l'un des meilleurs systèmes de prévision du temps violent du monde.

« Le groupe Radar du SMC est sans l'ombre d'un doute un des leaders mondiaux dans la prévision immédiate des orages convectifs. »

*Jim Wilson
Scientifique principal
National Centre for
Atmospheric Research
É.-U.*

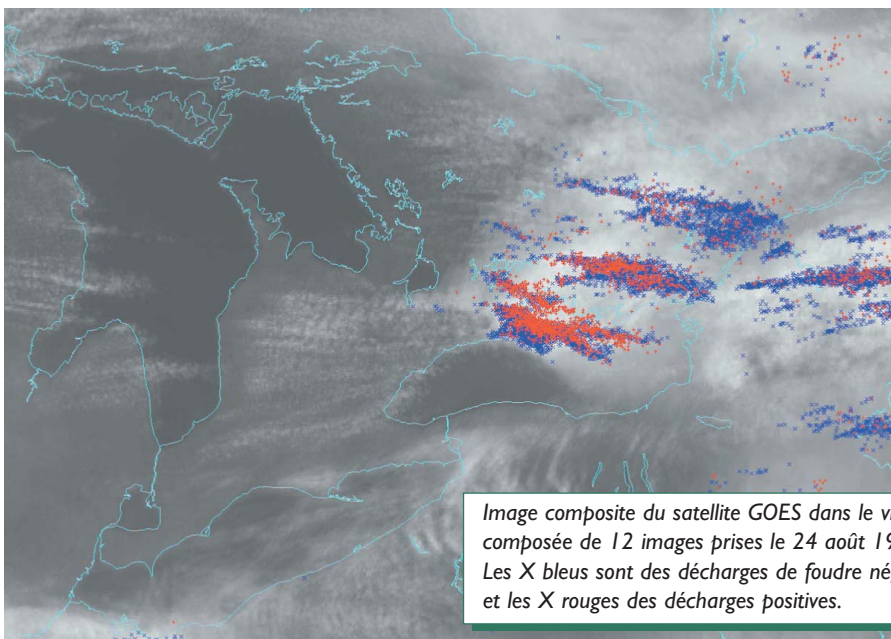
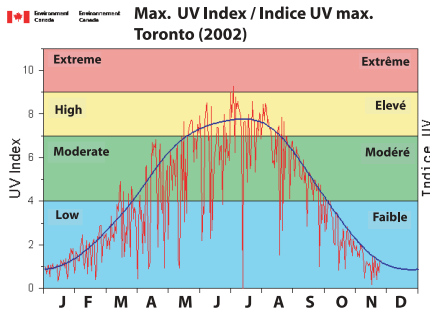


Image composite du satellite GOES dans le visible composée de 12 images prises le 24 août 1998. Les X bleus sont des décharges de foudre négatives et les X rouges des décharges positives.

Prévenir les Canadiens des risques atmosphériques

Indices de rayonnement UV, de qualité de l'air, de refroidissement éolien et de chaleur



Graphique des maximums annuels de l'indice UV (ultraviolet) pour Toronto (Ontario) en 2002.

Le Canada exploite des réseaux qui mesurent les conditions atmosphériques dans tout le pays. Les chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC), avec le concours de spécialistes des sciences de la santé et d'autres experts, utilisent les données de ces réseaux pour établir des indices qui préviennent les Canadiens des conditions atmosphériques qui présentent un risque pour leur santé et leur bien-être.

Indice UV

Le rayonnement ultraviolet (UV) du Soleil est nuisible pour la peau, les yeux et le système immunitaire. On estime que plus de 800 Canadiens mourront d'un mélanome malin et que 72 000 autres développeront chaque année un autre type de cancer de la peau induit par le soleil.

Après une dizaine d'années de données sur le rayonnement UV recueillies aux 12 stations de surveillance canadiennes, des scientifiques du SMC ont conçu l'indice UV, qui donne une mesure de l'intensité du rayonnement ultraviolet du Soleil. En 1992, le SMC a introduit l'indice UV dans ses modèles météorologiques afin de prévoir l'intensité du rayonnement UV du lendemain. Le Canada était le premier pays du monde à présenter ces prévisions, qui ont sensibilisé le public aux dangers que représente une exposition prolongée au rayonnement UV pour la santé. Les gens sont aujourd'hui plus enclins à prendre des mesures préventives pour réduire leurs chances de développer un cancer de la peau ou des cataractes.

Indice de la qualité de l'air

La baisse de la qualité de l'air, en particulier les fines poussières et l'ozone des basses couches de l'atmosphère, affecte la santé de l'appareil respiratoire et est responsable de centaines de décès prématurés chaque année au Canada. Elle obstrue également la visibilité et a des effets néfastes sur les matériaux et sur l'environnement naturel.

Le smog peut se produire l'été ou l'hiver, même s'il est plus fréquent par les journées chaudes sans vent. Les gens peuvent prendre des mesures pour moins

s'exposer à un air de mauvaise qualité s'ils en sont prévenus. Des scientifiques de Santé Canada et du SMC collaborent avec des experts provinciaux et autres à l'établissement d'un indice de risque pour la santé reposant sur l'indice de la qualité de l'air qui puisse servir à fournir des données uniformes à tous les citoyens du Canada.

Système d'alerte chaleur-santé

Les personnes âgées et celles qui souffrent d'un état pathologique sont particulièrement vulnérables au stress thermique. Les scientifiques du SMC, avec le concours de spécialistes des sciences de la santé, ont conçu un système d'alerte-chaleur qui établit un lien entre le taux de mortalité et les données météorologiques. Au cours du premier été où le système a été utilisé à Toronto en 2002, quatre alertes-chaleur et une urgence-chaleur ont été émises. Les alertes ont déclenché une intervention de la municipalité, qui a distribué de l'eau aux segments vulnérables de la population et ouvert des installations climatisées au public pour qu'il vienne y trouver refuge contre la chaleur.

Indice de refroidissement éolien

Chaque année, plus de 80 Canadiens meurent d'une exposition excessive au froid, et de nombreux autres souffrent d'engelures et d'hypothermie. L'association de températures extrêmement froides et de vents forts accélère le rythme auquel l'organisme subit une perte de chaleur, ce qu'on appelle le « refroidissement éolien. » Le SMC a collaboré avec des scientifiques des États-Unis et des spécialistes de la physiologie humaine à la conception d'un nouvel *indice de refroidissement éolien*. Cet indice est entré en vigueur en octobre 2001 dans toute l'Amérique du Nord, et il exprime le refroidissement éolien sous forme de température équivalente.



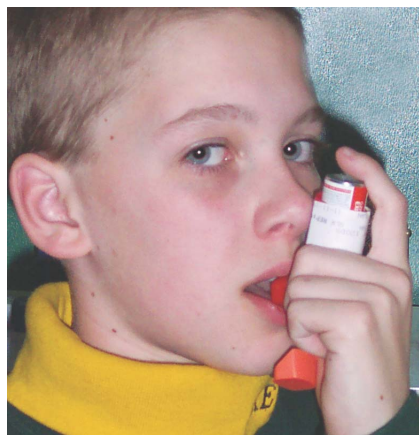
Avec le concours de spécialistes des sciences de la santé et dans tous les ordres de gouvernement, les scientifiques du SMC ont réussi à présenter la science du rayonnement solaire, de la qualité de l'air et des extrêmes de température d'une façon utile, crédible et compréhensible au public canadien, ce qui lui a permis de faire des choix avisés pour se protéger contre les risques des menaces atmosphériques.

« L'indice UV a grandement contribué à sensibiliser les Canadiens aux risques d'une exposition aux rayons UV. »

*Michelle Albagli
Directrice générale
Association canadienne de
dermatologie*

Fournir aux Canadiens des prévisions et des avis sur la qualité de l'air

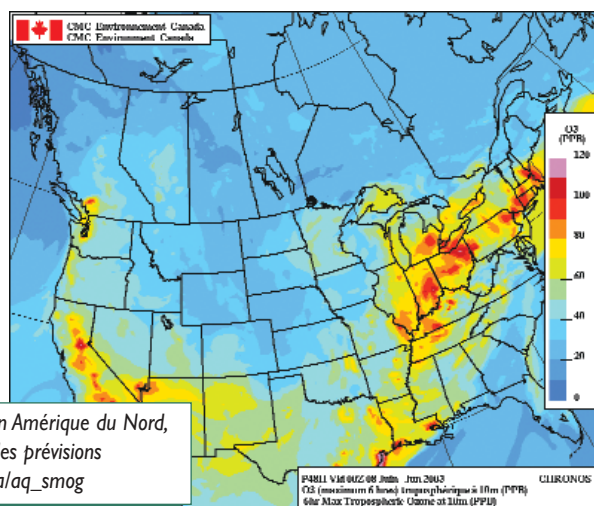
Le modèle CHRONOS de transport des composés chimiques



L'une des difficultés d'un programme de recherche est la transmission des connaissances et le transfert des technologies du milieu de la recherche au milieu opérationnel, où le rendement de l'investissement dans les activités de recherche-développement se fait sous forme d'une amélioration des produits et des services destinés au public. La difficulté est d'autant plus grande que le produit fini doit être livré en temps réel, de manière concertée, ce qui fait intervenir des ordres de gouvernement multiples.

Les prévisions et les avis sur la qualité de l'air sont importants et complètent le programme d'indice de la qualité de l'air. Plusieurs milliers de décès prématurés sont attribués à la pollution atmosphérique au Canada chaque année. Ceux qui souffrent d'une maladie respiratoire ou cardiovasculaire ont tout intérêt à prendre des mesures de précaution spéciales en cas d'émission d'avis sur la qualité de l'air, lorsqu'on prévoit des niveaux de pollution élevés. D'autres peuvent prendre des décisions avisées sur diverses mesures qui ont pour but soit d'atténuer leur exposition, soit de contribuer à réduire les émissions polluantes dans l'atmosphère.

Si le Service météorologique du Canada (SMC) est en mesure de produire et d'étayer des prévisions et des avis sur la qualité de l'air, c'est grâce à un modèle informatique de pointe (le modèle CHRONOS : Système canadien hémisphérique et régional de l'ozone et des NO_x). Il s'agit d'un modèle détaillé de la qualité de l'air qui contient une description de la chimie de l'atmosphère et des processus météorologiques. Le modèle CHRONOS utilise l'inventaire des émissions nord-américaines



Distribution de l'ozone troposphérique pour le 8 juin 2003 en Amérique du Nord, telle que prévue par le modèle CHRONOS. On peut trouver les prévisions quotidiennes en ligne à l'adresse http://www.msc-smc.ec.gc.ca/qa_smog

pour la chimie de l'atmosphère, et le modèle de prévisions météorologiques du SMC pour les processus de transport.

La mise au point du modèle CHRONOS a débuté au commencement des années 1990, et ce modèle est devenu le modèle de prédilection du SMC pour les prévisions relatives au smog. Il est récemment passé du milieu de la recherche au milieu opérationnel. Les sorties du modèle alimentent les prévisions et les avis sur la qualité de l'air. Le programme national de prévision du smog s'inspire des capacités et des mesures régionales, provinciales et municipales existantes, et les complète pour établir des prévisions et des avis sur la qualité de l'air.

Le modèle CHRONOS peut également servir à répondre à des questions à l'appui de l'élaboration de politiques, dont : « Dans quelle mesure la qualité de l'air s'améliorera-t-elle avec l'adoption d'un ensemble donné de mesures de gestion ou de stratégies de lutte pour réduire les émissions polluantes dans l'atmosphère? » Cela fournit des données précieuses aux responsables des politiques sur la qualité de l'air, notamment à l'appui de l'élaboration et de la mise en œuvre des standards pancanadiens relatifs aux particules et à l'ozone. Les négociations entre le Canada et les États-Unis sur le transport transfrontalier du smog et d'autres polluants connexes ont déjà bénéficié des données fournies par CHRONOS.

L'utilisation de CHRONOS illustre à merveille l'utilisation d'un modèle de recherche dans un milieu opérationnel, à l'appui des prévisions sur la qualité de l'air pour tous les Canadiens. Il symbolise on ne peut mieux une recherche qui fait toute la différence.

« Plusieurs milliers de personnes meurent prématurément chaque année au Canada à cause de la mauvaise qualité de l'air. Des prévisions précises et de qualité supérieure sur la qualité de l'air sont essentielles pour protéger la santé des Canadiens. Le modèle CHRONOS du SMC aide les organismes régionaux, provinciaux et municipaux à émettre des avis sur la qualité de l'air, qui permettent aux Canadiens de prendre des mesures préventives contre la piètre qualité de l'air. »

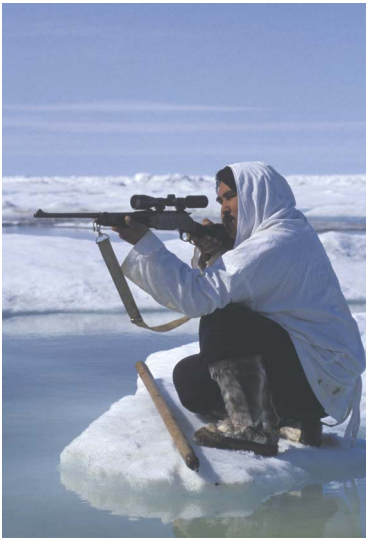
M. Quentin Chiotti
Directeur du Programme
sur l'air
Enquête pollution



Ces images montrent le contraste entre une journée d'air pur et une journée de smog au centre-ville de Toronto (Ontario).

Réduire les risques encourus par les chasseurs et les pêcheurs à la lisière des glaces

Avis sur la lisière de la banquise du Service canadien des glaces



Chaque année dans le Grand Nord du Canada, alors que l'hiver tire à sa fin, que les journées rallongent et que les températures remontent, les Autochtones s'aventurent sur la glace, qui s'est étendue vers le large durant l'hiver, jusqu'à ce qu'ils en atteignent la lisière, là où la glace rencontre la mer libre. La lisière de la glace ou de la banquise est le meilleur site pour la chasse et la pêche. C'est également l'endroit le plus dynamique et le plus dangereux lors de la rupture des glaces au printemps. Chaque année, des gens imprudents se mettent à dériver tandis que la lisière des glaces se fracture et que d'énormes banquises s'en vont à la dérive vers le large, souvent dans des conditions météorologiques où il est impossible de lancer des opérations de recherche et sauvetage aéroportées.

C'est précisément un incident de ce type, survenu le 2 juin 1997, qui a poussé les experts en glaces de mer du Service météorologique du Canada (SMC) à trouver un moyen de convertir leur savoir scientifique en un service susceptible de profiter aux habitants du Nord. Ce jour-là, 15 membres de la communauté de Pond Inlet, sur l'île de Baffin, se sont retrouvés piégés sur une banquise de 60 mètres par 60 qui s'est mis à dériver dans la baie de Baffin par mauvais temps. Les forces de recherche et sauvetage ont dû attendre que la météo s'améliore, et ont eu du mal à contenir leur joie lorsqu'elles ont retrouvé ces 15 personnes saines et sauvées trois jours plus tard!

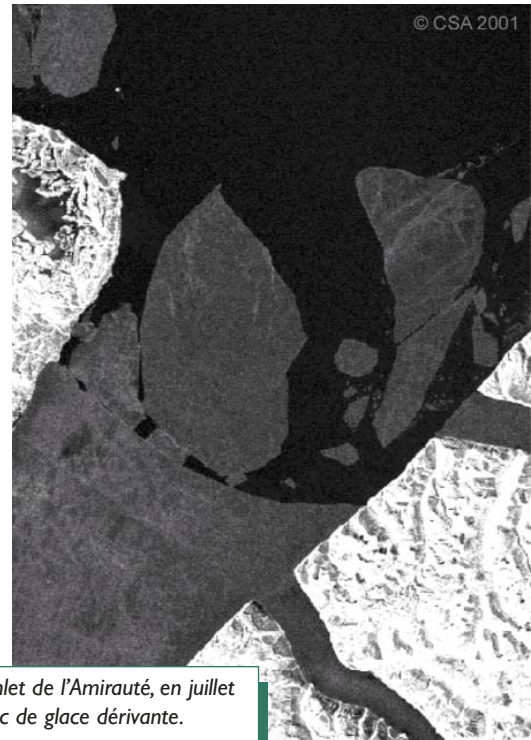


Image RADARSAT-1 de la fracture dans la lisière des banquises dans l'inlet de l'Amirauté, en juillet 2001. Cinquante résidents d'Arctic Bay sont restés pris sur ce grand bloc de glace dérivante.

Le Service canadien des glaces (SCG) du SMC, avec l'appui du Secrétariat national de recherche et sauvetage, a conçu un prototype d'*avis sur la lisière de la banquise*. La contribution des habitants de la région a permis de sélectionner deux endroits pour l'essai, Pond Inlet et Arctic Bay, deux collectivités friandes d'activités à la lisière des banquises au printemps. C'est grâce à la participation de ces deux collectivités qu'on a pu concevoir un service fort utile.

En 2001, le programme d'avis comportait un aperçu saisonnier et une mise à jour hebdomadaire. En 2002, le mode de prestation du service a fait un bond en avant grâce à l'utilisation accrue d'Internet dans les collectivités. Le SCG affiche sur son site Web des images satellitaires courantes ainsi que des données vitales sur la résistance des glaces, les températures, les marées et les vents, pour que les habitants du Nord puissent les consulter. Ces données associées aux connaissances traditionnelles permettent aux collectivités de chasser et de pêcher à la lisière des glaces avec un sentiment de sécurité accru et en courant moins de risques. Étant donné les changements climatiques que l'on prévoit dans l'Arctique, les habitants du Nord devront

surveiller de très près le déplacement de la lisière des glaces, tout comme le feront les chercheurs du Service canadien des glaces – afin d'aider les collectivités du Nord à préserver leur mode de vie traditionnel, mais avec une sécurité accrue.

« En fournissant aux collectivités des données à jour sur l'état des glaces, le service d'information sur la lisière de la banquise a renforcé la sécurité de tous ceux et celles qui travaillent à la lisière des glaces. »

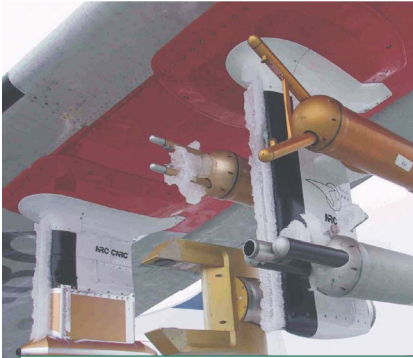
Brian Koonoo
Gardien de parc
Parc national de Sirmilik



Exemple de produit de mise à jour sur la lisière des banquises distribué aux collectivités pilotes par le Service canadien des glaces.

La sécurité des vols dans les climats nordiques

Recherches sur le givrage des aéronefs



Givrage qui s'est accumulé sur les sondes du Convair-580 pendant un vol effectué le 19 février 2003, à l'aéroport de Mirabel, au Québec. Les sondes mesurent la forme la grosseur et la concentration des particules.

Le givrage des aéronefs est l'une des plus graves menaces qui pèsent sur l'aéronautique en Amérique du Nord, en particulier dans le Nord-Est. Les avions qui volent l'hiver peuvent rapidement accumuler de la glace, qui est si épaisse qu'ils n'arrivent plus à maintenir un vol en palier. La glace s'accumule sur les bords d'attaque de l'avion, réduisant la portée et augmentant en même temps radicalement le coefficient de traînée. Cette combinaison d'hyposustentation et d'augmentation de la traînée peut aboutir à une catastrophe. Plusieurs accidents d'aviation notoires des dernières années ont été imputés au givrage de l'appareil.

Les scientifiques du Service météorologique du Canada (SMC) sont de véritables experts internationaux lorsqu'il s'agit de comprendre et de mesurer le givrage des aéronefs. Ils ont mené des études dans les endroits du littoral et du continent les plus propices à la formation de glace, soit près de St. John's (Terre-Neuve) et au-dessus des Grands Lacs. Les chercheurs du SMC ont accumulé des centaines d'heures de vol dans des conditions de bruine verglaçante, de pluie verglaçante et dans des nuages chargés de glace, afin de mieux comprendre scientifiquement les conditions météorologiques qui contribuent à la formation de givrage.

En 1998, lorsque l'Alliance canado-américaine pour la recherche sur le givrage des aéronefs a été créée, les chercheurs du SMC étaient au cœur d'un programme de recherche qui englobait la NASA, le Conseil national de recherches du Canada, Transports Canada et la Federal Aviation Administration des États-Unis. L'objet était d'élaborer et de mettre en œuvre un plan de recherche intégré sur le givrage des aéronefs. Le rôle du SMC dans cette équipe était de mesurer dans les nuages l'intensité de givrage, de concevoir des techniques pour télédétecer les conditions de givrage et d'améliorer les méthodes

Le pare-brise du Convair-580 du CNRC au retour d'un vol expérimental pendant lequel il a pris des mesures des taux de givrage en vol.



de prévision des conditions de givrage en vol. La première grande étude réalisée dans le cadre de cette Alliance, l'Étude sur le givrage des aéronefs, s'est déroulée durant l'hiver 1999-2000. Les chercheurs du SMC, grâce à toute une variété d'instruments de mesure directe et de télédétection, ont effectué un grand nombre de mesures du taux de givrage au sol et en vol.

Ces recherches ont abouti à un ensemble de données très vaste qui caractérise les conditions de givrage des aéronefs et, en particulier, les gouttelettes d'eau surfondues qui ne sont actuellement pas couvertes dans l'enveloppe d'homologation des aéronefs. Une étude de suivi, l'Étude sur le givrage des aéronefs II, est déjà prévue et elle a retenu l'intérêt d'encore plus de participants, au-delà de l'Amérique du Nord.

Grâce aux modèles de prévision météorologique numérique du SMC, les scientifiques ont mis au point de nouveaux algorithmes et les ont évalués sur le plan quantitatif pour prévoir les conditions de givrage. Un Avis de neige et de givrage au voisinage des aéroports (AVISA), en cours d'élaboration, a donné des résultats prometteurs au cours des essais préliminaires durant l'hiver 2002-2003.

Les scientifiques du SMC appliquent leurs recherches à la conception de nouveaux critères pour les aéronefs commerciaux et de produits novateurs qui se traduiront en définitive par une plus grande sécurité des vols pour tous.



Le Convair-580 du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) est l'aéronef le mieux instrumenté du monde pour les mesures microphysiques dans les nuages.

« Les réalisations du SMC sur le givrage et la microphysique des nuages sont de calibre mondial et ont revêtu une importance critique pour l'Aviation Rulemaking Advisory Committee lorsqu'il a rédigé ses projets d'exigence de navigabilité pour la navigation sans danger des aéronefs dans des conditions de brume verglaçante et de pluie verglaçante. »

Eugene G. Hill
Conseiller scientifique et
technique en chef
Givrage environnemental
Federal Aviation Administration
États-Unis

L'énergie éolienne, une option attrayante pour l'avenir

La boîte à outils de simulation de l'énergie éolienne



S'il vous est arrivé de vous retrouver dans les Prairies ou sur les contreforts des Rocheuses, ou encore sur une plage au bord de l'océan, vous avez alors ressenti la puissance que peut fournir l'énergie éolienne pour produire de l'électricité. La part de l'énergie éolienne dans la production d'électricité au Canada augmente régulièrement.

Les technologies de production d'électricité à partir du vent se sont nettement améliorées depuis 30 ans, à tel point que plusieurs compagnies d'électricité du Canada, grandes et petites, se sont mises à ajouter des « parcs d'éoliennes » à leur capacité de production d'électricité. De grandes compagnies, comme la TransAlta Corporation d'Alberta, prévoient que jusqu'à 10 % de leur électricité sera produite par des turbines éoliennes dans l'avenir. L'initiative fédérale d'encouragement à la production d'énergie éolienne a reçu des propositions qui dépassent de loin la portée préliminaire du programme.

Certes, le vent est gratuit, mais la technologie qui permet de le convertir en électricité est loin de l'être. Les investissements qu'il faut engager dans les turbines éoliennes et les génératrices d'électricité sont considérables. En outre, les décisions opérationnelles à court terme sur l'achat ou la vente, la production ou l'importation d'électricité sont essentielles à la durabilité économique des entreprises qui produisent de l'électricité. La nature même de la demande et de la production d'électricité est très sensible aux conditions météorologiques. Il est de la plus haute importance que les compagnies de production d'électricité sachent quand, où et dans quelle mesure elles peuvent compter sur l'énergie éolienne pour produire de l'électricité.



Et c'est là que l'expertise du Service météorologique du Canada (SMC) entre en jeu. Des scientifiques du SMC ont élaboré un système de modélisation complexe auquel ils ont donné le nom de **WEST – Wind Energy Simulation Toolkit**. Le modèle WEST peut faire une analyse rétrospective et prospective pour générer un atlas éolien de n'importe quel endroit du Canada, avec un niveau de précision sans égal. L'atlas éolien peut être utilisé pour implanter les parcs d'éoliennes là où le vent souffle suffisamment, ce qui réduit considérablement le besoin d'observations sur le terrain pour s'assurer du potentiel d'énergie éolienne d'un secteur donné. Le modèle WEST peut également être passé en mode prédictif en utilisant le modèle MC2 à mésoéchelle (Modèle mésoéchelle communautaire compressible) pour prévoir l'énergie éolienne jusqu'à deux ou trois jours à l'avance, ce qui permet de meilleures décisions opérationnelles de la part des compagnies productrices d'électricité.

Des logiciels aussi perfectionnés que WEST, associés aux technologies les plus récentes des turbines éoliennes, continueront de faire de l'énergie éolienne une option de plus en plus attrayante dans l'avenir. Grâce au modèle WEST, le Canada pourra adopter un mode de production d'électricité rentable et respectueux de l'environnement, qui permettra de réduire la consommation de combustibles fossiles pour produire de l'électricité plus propre.

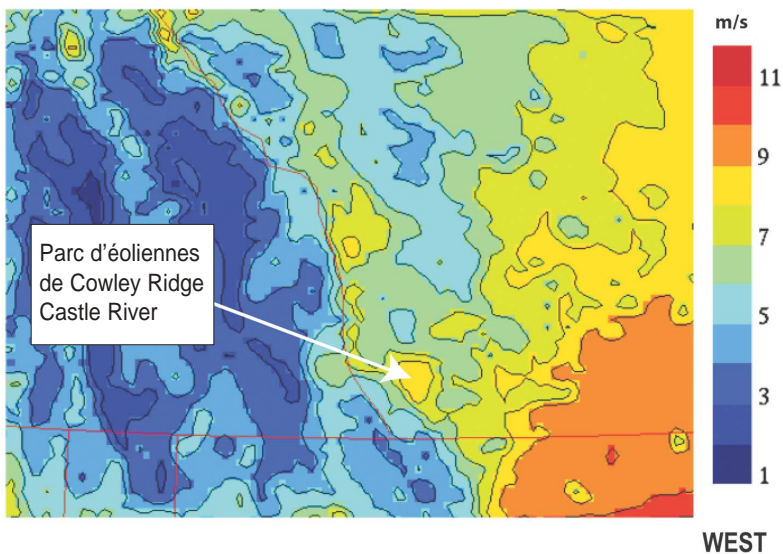
« Le modèle WEST nous a permis de modéliser le potentiel d'énergie éolienne pour l'ensemble du continent africain, depuis nos bureaux de Montréal, à l'aide des données existantes. Les résultats ont dépassé de loin tout ce que nous avons pu faire à l'aide d'autres modèles. »

Richard Legault

pdg

Helimax Energy

Sud-Ouest de l'Alberta



Prévision de la puissance éolienne pour le parc d'éoliennes de Cowley Ridge Castle River, dans le sud-ouest de l'Alberta, produite à l'aide du WEST (Wind Energy Simulation Toolkit, boîte à outils de simulation de l'énergie éolienne) du SMC et du modèle communautaire MC2 du Centre Météorologique Canadien.

Des estimations fiables de la fonte des neiges

Mesure de l'équivalent en eau de la neige



Fonte de la neige dans un champ des Prairies canadiennes.

La fonte des neiges au printemps est un phénomène annuel que l'on observe de très près dans tout le Canada. Bien avant que le temps ne se réchauffe, les agriculteurs, les compagnies d'électricité, les compagnies de gestion des eaux, les prévisionnistes et d'autres cherchent à savoir exactement combien d'eau sera libérée par la fonte du manteau neigeux hivernal. Le Service météorologique du Canada (SMC) s'efforce de leur fournir la réponse. L'établissement d'estimations fiables du manteau neigeux et *de son équivalent en eau* est un défi que le SMC continue de vouloir relever. Les satellites qui tournent en orbite dans l'espace peuvent être une précieuse source d'information.

Depuis le début des années 1980, les chercheurs du SMC ont développé la capacité de mesurer le manteau neigeux et son équivalent en eau au moyen de sondes hyperfréquences passifs à bord de satellites. L'équivalent en eau de la neige (EEN) donne une estimation directe de la quantité d'eau que les hydrologistes et les agriculteurs peuvent escompter à la fonte des neiges.



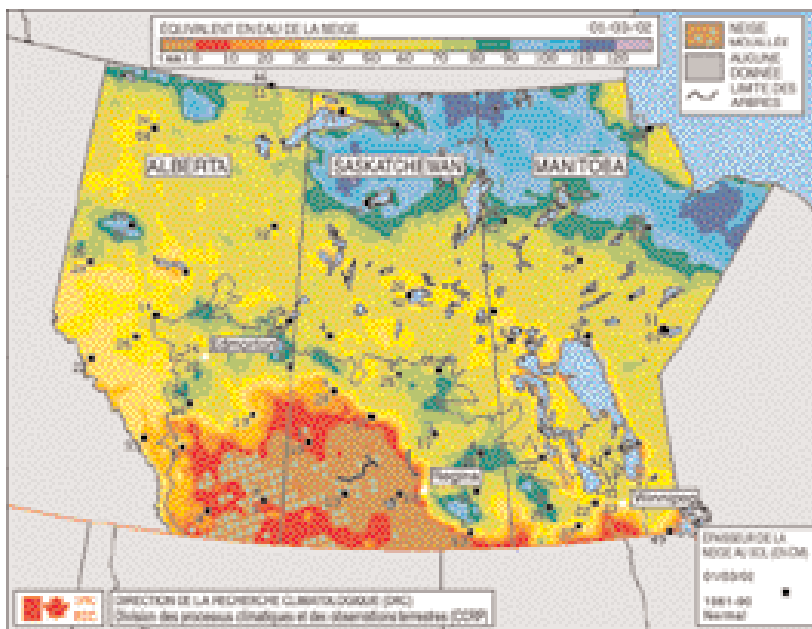
Échantillonnage in situ de la neige pour en déterminer la teneur en eau en vue de la vérification au sol des mesures satellitaires.

Les scientifiques du SMC ont mis au point des algorithmes qui convertissent les données des capteurs en hyperfréquences passives à bord des satellites en estimations de l'EEN, lesquelles ont été attentivement évaluées par les scientifiques et usagers tels que le National Snow and Ice Data Centre. Concentrés sur les milieux des Prairies et de la forêt boréale dans l'Ouest du Canada, les scientifiques du SMC et les universités qui collaborent à ce projet ont procédé à de nombreuses vérifications au sol des résultats du modèle EEN, ce qui est une mesure indispensable pour faire davantage confiance aux chiffres. Ils ont également effectué des comparaisons avec les capteurs aéroportés pour étayer encore plus les méthodes utilisées.

Chaque semaine, durant la saison de neige, les compagnies d'électricité, les compagnies de gestion des eaux et les associations agricoles, de même que les bureaux régionaux du SMC, reçoivent des cartes d'EEN qu'ils utilisent pour prendre des décisions opérationnelles. La mesure de la neige depuis l'espace s'est révélée une façon fiable et rentable de fournir des données essentielles à leur mission aux organismes qui en ont besoin.

« Les cartes d'hyperfréquences passives de l'équivalent en eau de la neige ont indéniablement amélioré la prévision des inondations en temps réel et le fonctionnement des réservoirs. »

Alf Warkentin
Prévisionniste principal
en hydrologie
Direction générale de l'eau
Ministère de la Conservation
du Manitoba



Équivalent en eau de la neige (EEN) issu de données satellitaires sur les provinces canadiennes des Prairies, pour le 1^{er} mars 2002. L'absence de couverture de neige sur le sud de l'Alberta et le sud-ouest de la Saskatchewan, bien visible sur la carte, a contribué à la sécheresse qui a affecté la région pendant l'été 2002.

Approvisionnement en eau potable des collectivités éloignées

Collecteurs de brouillard



Lorsque des scientifiques du Service météorologique du Canada (SMC) se sont mis à prélever des échantillons de brouillard sur les pentes du mont Sutton (Québec) au milieu des années 1980, leur objectif véritable était de mieux comprendre la composition chimique du brouillard. Cela s'inscrivait dans l'étude des pluies acides et de leurs effets sur les forêts. Ils étaient loin de se douter que, des années plus tard, leurs travaux aideraient des gens de toute la planète à trouver de l'eau potable.

Tout est arrivé lorsque des scientifiques chiliens se sont adressés au Canada pour étudier des techniques de *captage de brouillard* pour les utiliser éventuellement dans le Nord du Chili. Il est alors né une collaboration scientifique qui dure depuis 17 ans et qui est toujours très forte.

Le village de pêcheurs de Chungungo au Chili est devenu synonyme de captage du brouillard. Les premiers capteurs opérationnels de brouillard ont été construits à flanc de montagne, au-dessus de ce village du littoral désertique. Faits de simples pieux de bois et de filets en plastique, ces capteurs attrapent dans les mailles du filet les gouttelettes de brouillard poussées par le vent. C'est ainsi que de l'eau



Les résidents de Chungungo (Chili) témoignent de leur appréciation pour le programme mené par le Canada qui a approvisionné leur village en eau douce.

douce et potable provenant des nuages au-dessus de l'océan Pacifique est prélevée par ces capteurs à flanc de montagne et s'écoule vers le village par un aqueduc.

Le projet n'aurait pas pu mieux réussir. Les capteurs fournissent en moyenne la quantité étonnante de 15 000 litres d'eau potable chaque jour de l'année. Certains jours, ils recueillent jusqu'à 100 000 litres d'eau potable! Sans doute le meilleur indice de l'intérêt de cette méthode est que le réseau fonctionne toujours en 2003, soit onze ans après que de l'eau de brouillard soit arrivée pour la première fois au village.

Chungungo a retenu l'attention du monde entier. De nombreux projets analogues ont déjà été lancés, et beaucoup d'autres sont prévus. Des capteurs de brouillard approvisionnent en eau potable des populations d'Afrique du Sud, du Népal, d'Haïti, du Chili et d'Hawaï. L'eau est utilisée pour la consommation humaine et celle du bétail, et pour l'irrigation. Les régions arides peuvent êtreensemencées et arrosées avec de l'eau de brouillard. Aussitôt que la végétation s'implante, elle s'irrigue elle-même en captant directement les gouttelettes de brouillard. Cette technique permettra de transformer en forêts ou en terre agricoles précieuses des déserts arides enveloppés d'un manteau de brouillard.

Depuis un village de pêcheurs du Chili jusqu'à une école située sur une falaise en Afrique du Sud, et même jusqu'à l'Himalaya, au Népal, les scientifiques du SMC ont eu un profond impact sur de nombreuses collectivités du monde entier.

« Les travaux au Chili ont été cruciaux et ont abouti à l'implantation de nombreux autres projets de captage du brouillard à travers le monde. »

*Robert S. Schemenauer
Directeur général
FogQuest*



Les gouttelettes d'eau des nuages sont piégées par les capteurs de brouillard, et acheminées dans un système de collecte qui alimente le village en eau douce potable.

Premier système opérationnel de prévision des ondes de tempête du Canada

Le Programme de recherche sur la prévision environnementale en Atlantique



Chalet proche de Savage Harbour, dans l'île du Prince-Édouard, qui a été inondé par l'onde de tempête de janvier 2000.

Le 21 janvier 2000, la plus violente tempête depuis 35 ans s'est abattue sur le Canada atlantique près de Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard). La basse pression atmosphérique au cœur de l'orage a littéralement soulevé la surface de l'océan, tandis que des vents violents poussaient l'eau vers le rivage, élevant le niveau de la mer à 1,5 mètre au-dessus de ce qui était déjà une marée anormalement haute. Le phénomène, appelé onde de tempête, a inondé les régions côtières de l'Î.-P.-É. et de l'Est du Nouveau-Brunswick, causant de nombreux dégâts aux quais non protégés et à d'autres ouvrages construits le long du rivage.

Les conséquences de cette onde de tempête ont entraîné la création du Programme de recherche sur la prévision environnementale en Atlantique, qui regroupe des scientifiques du Service météorologique du Canada (SMC), de l'Université Dalhousie et d'autres organismes comme le ministère des Pêches et des Océans, qui cherchent ainsi à améliorer la prévision des *ondes de tempête océaniques* dans les Maritimes.

Les scientifiques du SMC et du département d'océanographie de l'Université Dalhousie ont combiné leurs modèles indépendants des conditions météorologiques et de la circulation océanique pour fusionner les effets des systèmes météorologiques et de la dynamique des océans afin de prédire les ondes de tempête. La

difficulté était d'établir des prévisions et des avertissements suffisamment à l'avance pour que les gens puissent prendre les précautions nécessaires. Cette



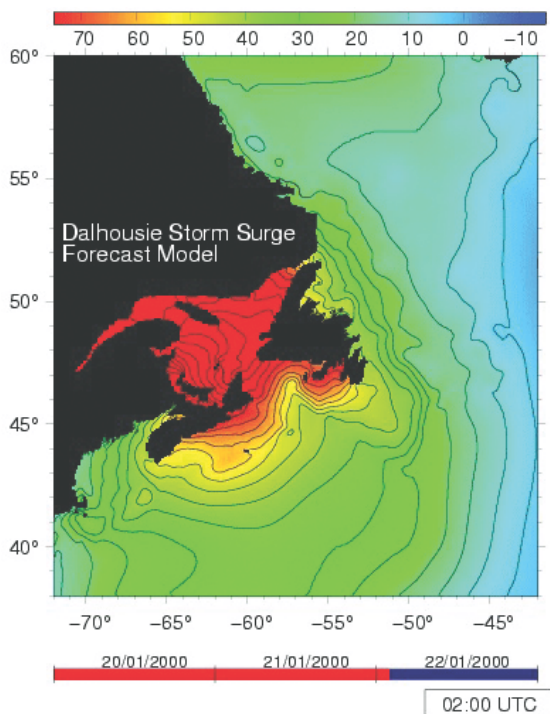
initiative et ces experts ont donné lieu à un nouveau potentiel qui permet de prédire les ondes de tempête 48 heures à l'avance.

Le modèle de prévision des ondes de tempête a été mis à l'épreuve le 6 février 2001, lorsque les prévisionnistes ont alerté les responsables des mesures d'urgence que l'onde de tempête due à une tempête hivernale qui s'approchait était potentiellement dangereuse. Cette tempête n'a pas été aussi grave que celle de janvier 2000, mais elle a permis de mettre à l'essai les méthodes de prévision et d'avertissement perfectionnées. Les responsables ont surveillé l'accroissement des vents et la montée de la mer, et ont averti ceux qui couraient des risques. Le ministère de la Voirie de l'Î.-P.-É. a pris des mesures de précaution pour renforcer les digues des ponts, tandis que le service d'incendie de Rustico tenait les habitants au courant de l'évolution de la situation. Le préavis a permis aux commerçants locaux de retirer les marchandises de leurs magasins, pour éviter qu'elles ne soient endommagées par l'eau.

Le Centre météorologique des Maritimes a depuis mis en place le premier système entièrement opérationnel de prévision des ondes de tempête et des risques d'inondations. Les prévisionnistes seront désormais en mesure de prévenir le public et les instances locales qu'ils doivent se protéger contre les dommages et veiller à leur sécurité personnelle.

« Le modèle d'ondes de tempête d'Environnement Canada et les renseignements reçus étaient d'une importance critique pour l'OMU de l'Î.-P.-É., lui permettant d'avertir les régions concernées de la province et de surveiller la situation en cours d'évolution. »

*David E. Campbell
Gestionnaire par intérim
Organisation de mesures d'urgence de l'Î.-P.-É.*



Tournant en mode expérimental dans les bureaux de la Région de l'Atlantique du SMC, le système de prévision des ondes de tempête de l'Atlantique a donné des prévisions très exactes pour la forte onde tempête du 21 janvier 2000. (Prévision d'onde de tempête, en cm)


Transmission des connaissances au titre du service et des politiques

Établir un pont



Le Service météorologique du Canada (SMC) mène des recherches axées sur la mission d'améliorer les prévisions météorologiques et de prédire les effets des changements climatiques et de la pollution atmosphérique sur l'homme et l'environnement. Pour être utiles aux décideurs et au public, les recherches du SMC doivent être placées dans le contexte des questions qui réclament des solutions sur le plan du service et des politiques.

Chacun des grands projets présentés dans ce rapport a changé le cours des choses, puisque les résultats scientifiques ont été interprétés avec exactitude et transmis avec efficacité aux décideurs et au grand public. Ce processus établissant un pont entre la connaissance, le service et les politiques est indispensable à l'élaboration de solutions politiques fructueuses et à la satisfaction des besoins de services.

 Environment Canada / Environnement Canada

Canadian Environmental Protection Act, 1999
Statutes of Canada 1999
Chapter 33
Act assented to 14 September 1999

Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1999
Loi du Canada (1999)
Chapitre 33
Loi sanctionnée le 14 septembre 1999

Ceux et celles qui le font sont des « passeurs ». Il peut s'agir de scientifiques, de conseillers ou de communicateurs. Ce sont eux qui assurent l'intégrité des sciences tout en les transmettant d'une manière compréhensible au milieu non scientifique, qu'il s'agisse des décideurs, des fournisseurs de services ou du grand public.

Les « passeurs » se tiennent au courant de toutes les données scientifiques utiles, et doivent souvent intégrer des connaissances relevant de multiples disciplines pour résoudre des questions complexes. Les pluies acides, par exemple, ont impliqué et continuent d'impliquer des spécialistes de la météorologie, des sciences de l'atmosphère, de la chimie et des écosystèmes pour établir le fondement scientifique de la politique qui cherche à résoudre ce dossier.

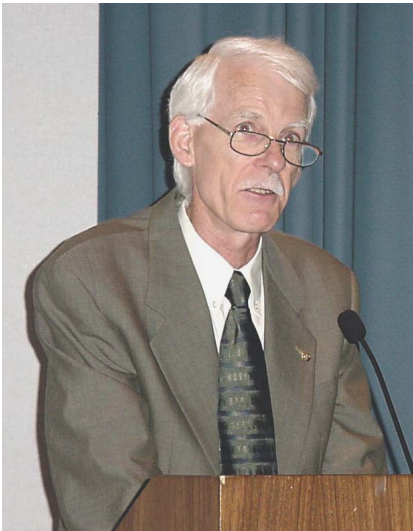
Les nouvelles connaissances scientifiques mettent généralement de cinq à dix ans à s'intégrer aux produits de services et de politiques. L'engagement à long terme du SMC à l'égard des recherches scientifiques, comme l'illustrent les projets présentés dans ce rapport (dont beaucoup ont été lancés il y a dix ans), a été payant en ce sens qu'il a mis à la disposition des Canadiens des produits et des services tangibles.

« Les activités de R&D du SMC constituent une importante contribution aux efforts internationaux visant à élucider le couplage entre l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique et le changement climatique. »

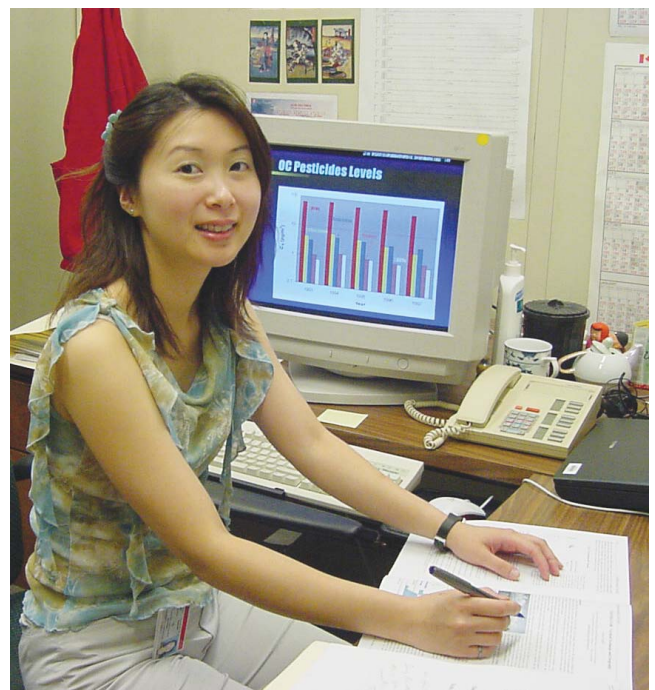
*Examen indépendant international
2001*



Nos scientifiques...



Les chercheurs du Service météorologique du Canada (SMC) qui étudient les phénomènes atmosphériques sont originaires du Canada et du reste du monde, et ils arrivent forts d'une riche expertise et expérience du milieu scientifique national et international. Les chercheurs de la Direction générale des sciences de l'atmosphère et du climat rédigent chaque année environ 200 articles scientifiques, qui sont publiés dans des revues avec comité de lecture. Par ailleurs, ils participent aux travaux d'organismes scientifiques nationaux et internationaux chargés d'examiner l'état des connaissances sur un dossier donné, comme les changements climatiques ou l'ozone stratosphérique, ils assurent le leadership et contribuent à l'élaboration de programmes de recherche et de grandes expériences sur le terrain. Tout cela a pour but de mieux comprendre l'atmosphère et de jeter les bases de l'élaboration de politiques et de services environnementaux efficaces pour le public canadien.



On trouvera les descriptions des recherches menées actuellement par la Direction générale des sciences de l'atmosphère et du climat à l'adresse <http://www.msc-smc.ec.gc.ca/acsd>.

Des possibilités d'études et d'emploi sont offertes à des étudiants de 1^{er}, 2^e et 3^e cycle et à des stagiaires postdoctoraux par l'entremise de programmes d'alternance travail-étude au sein du gouvernement et à l'université, comme Horizons Sciences, en vertu de partenariats établis entre le SMC et le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie (CRSNG) pour :

- des compléments d'étudiants l'été;
- des compléments de bourses de 2^e/3^e cycles;
- du Programme des bourses de recherche dans les laboratoires du gouvernement canadien.

« Le groupe d'experts a été impressionné par la qualité et la productivité du personnel du programme de recherche & développement du SMC. Nombre de ces scientifiques jouissent d'une reconnaissance nationale et internationale pour leurs contributions à la science. »

Examen indépendant international, 2001



Remerciements

Nous remercions les directeurs et le personnel participant pour leur excellent travail à la rédaction du présent rapport - particulièrement

Marlene Phillips,

Victoria Hudec,

Marjorie Shepherd,

Stu McNair,

Nathalie Morais Tiernay

et

Sylvie Gravel.

Conception et graphisme par BTT Communications.

On trouvera une description détaillée des réalisations scientifiques au cours de la période 1996-2001 dans le document intitulé *Direction générale des sciences atmosphériques et climatiques - Rapport jusqu'en 2002*, publié par le Service météorologique du Canada à l'adresse ci-dessous :

DIRECTEUR GÉNÉRAL

Direction générale des sciences de l'atmosphère et du climat

Service météorologique du Canada

4905 Dufferin Street

Toronto (Ontario) M3H 5T4

<http://www.msc-smc.ec.gc.ca/acsd>

Juillet 2003