

LE RAPPORT NATIONAL CANADIEN
SUR L'OBSERVATION SYSTÉMATIQUE DU CLIMAT

LE PROGRAMME CANADIEN D'OBSERVATION
DU CLIMAT MONDIAL

Présenté à la Conférence des Parties à la Convention-cadre des
Nations Unies sur le changement climatique (CNUCC)

Remerciements

Ce rapport a été préparé avec la collaboration essentielle des experts dans les ministères des gouvernements fédéraux, provinciaux et territoriaux du Canada. Nous sommes heureux de reconnaître ici leur contribution.

Direction nationale du SMOC

T. Nichols
Directeur général
Observation atmosphérique et relevés hydrométriques
Environnement Canada
Service météorologique du Canada
4905, rue Dufferin
Downsview (Ontario)
Canada M3H 5T4
Tom.Nichols@ec.gc.ca

TABLE DES MATIÈRES

Liste des tableaux	4
Liste des tableaux supplémentaires	4
Liste des figures	5
RÉSUMÉ	7
1.0 INTRODUCTION	9
2.0 OBSERVATION DE L'ATMOSPHÈRE	11
2.1 Les réseaux du SMOC	12
2.2 Autres programmes d'observation	15
2.3 Gestion et échange des données	23
3.0 OBSERVATION DE L'OCÉAN	24
3.1 Les programmes d'observation du SMOC	24
3.2 Autres programmes d'observation de l'océan	30
3.3 Gestion et échange des données d'observation de l'océan	32
3.4 Les glaces de mer	33
3.5 Gestion et échange des données relatives aux glaces de mer	35
4.0 OBSERVATION TERRESTRE	36
4.1 La participation au SMOC	36
4.2 Autres programmes d'observation	45
La Cryosphère	45
L'hydrosphère	48
Les composantes terrestres	52
5.0 PROGRAMMES D'OBSERVATION PAR SATELLITE	57
6.0 CONCLUSION	63
Références bibliographiques	65
Liste des sigles et acronymes	67
ANNEXES	72
Personnes ressources et sites Internet	73
Tableaux supplémentaires	75

Liste des tableaux

Tableau 1. La participation du Canada aux systèmes mondiaux d'observation de l'atmosphère.

Tableau 2. La participation du Canada aux systèmes mondiaux d'observation océanographique.

Tableau 3. La participation du Canada aux systèmes mondiaux d'observation terrestre.

Liste des tableaux supplémentaires

Tableau S1. Les systèmes d'observation atmosphérique au sol (relevés météorologiques au sol)

Tableau S2. Les systèmes d'observation atmosphérique en altitude (relevés météorologiques en altitude)

Tableau S3. Les systèmes d'observation des constituants atmosphériques

Tableau S4. Les systèmes d'observation océanographiques*

Liste des figures

- Figure 1. Le réseau GSN canadien, actuel et projeté (2005), avec l'emplacement prévu des nouvelles stations et des stations modernisées
- Figure 2. Le Réseau canadien d'observation de la haute atmosphère, y compris les 4 sites GUAN officiels
- Figure 3. Le réseau canadien d'observation de la température et des précipitations
- Figure 4. Le réseau canadien des stations climatologiques de référence
- Figure 5. Le réseau canadien d'observation des chutes de neige
- Figure 6. Le réseau canadien d'observation du rayonnement
- Figure 7. Le réseau canadien d'observation de la température du sol
- Figure 8. Emplacements des marégraphes de la côte est
- Figure 9. Emplacements de marégraphes de la côte ouest
- Figure 10. Le réseau des bouées captives de la côte ouest du Canada
- Figure 11. Le réseau des bouées captives de la côte est du Canada
- Figure 12. Profils de l'étude des températures et de la salinité – côte ouest
- Figure 13. Sites du programme de surveillance des températures à long terme (STLT) du MPO – côte est du Canada
- Figure 14. Les sites canadiens actuels de surveillance thermique de la couche active et du pergélisol, faisant partie, ou proposés à ce titre, du Réseau mondial de surveillance terrestre du pergélisol (GTN-P) du SMOC/SGOT
- Figure 15. Les sites d'observation des glaciers dans l'Arctique canadien
- Figure 16. Les sites d'observation des glaciers des montagnes de l'Ouest canadien
- Figure 17. Réseau proposé des stations d'observation des flux de carbone de Fluxnet-Canada, et sites auxiliaires
- Figure 18. Le Réseau hydrométrique de référence actuel (RHR)

RÉSUMÉ

En 1995, un Groupe de travail spécial avait recommandé que le Canada participe de façon active au SMOC, ce qui amena la création d'un Comité national canadien pour le SMOC. Ce comité a présidé à l'élaboration d'un plan canadien préliminaire en rapport avec le SMOC, plan qui fut publié en février 1999. Le Plan national relatif au SMOC, un document dynamique qui ne cesse de s'enrichir, a servi à orienter et à stimuler les efforts du Canada en vue de la mise en œuvre et du fonctionnement effectifs du SMOC. Ses effets concrets ont de plus été significativement intensifiés grâce aux activités du Fonds d'action pour le changement climatique (FACC) du gouvernement canadien, qui a contribué à accélérer tant le processus de planification que la mise en place d'améliorations importantes dans le domaine de l'observation.

Ainsi qu'il est décrit dans le présent rapport, des progrès importants ont été réalisés en ce qui concerne la mise en place des composantes atmosphériques du Système d'observation initial du SMOC au Canada, en dépit des restrictions budgétaires continues ayant amené la réduction et la restructuration des programmes d'observation. Jusqu'à maintenant, 72 stations d'observation au sol (GSN) et 4 stations d'observation de la haute atmosphère (GUAN) ont été affectées au programme SMOC et sont présentement en opération; l'établissement d'une cinquième station GUAN désignée, celle de Cambridge Bay, a été proposé en vue de remplir pleinement notre engagement à l'égard du réseau planétaire. De plus, des fonds ont été alloués à l'amélioration du réseau d'observation et à l'installation des nouvelles stations destinées à combler les lacunes restantes du réseau GSN relevant des responsabilités canadiennes. Enfin, la station canadienne VAG d'Alert est en pleine opération en tant que station planétaire VAG de première ligne.

Le Canada apporte également une contribution substantielle à la composante océanique du SMOC et au Système mondial d'observation de l'océan (SMOO) en fournissant des données d'observation de l'océan et de l'atmosphère marine recueillies grâce aux marégraphes, flotteurs profonds, bouées captives et dérivantes, et aux programmes des Navires occasionnels et des Navires d'observation bénévole. Un examen récent de nos réseaux nationaux d'observation des océans a de surcroît établi des fondements solides en vue des améliorations futures. Pour faire suite à cet examen, le Canada procédera, dans un proche avenir, à de nouvelles contributions stratégiques à l'égard des programmes mondiaux d'observation des océans par le biais, notamment, de l'important déploiement de bouées du Projet Argo, de la mise en place de marégraphes additionnels dans l'Arctique et de divers projets en relation avec les glaces de mer.

L'observation systématique des multiples aspects de l'observation terrestre constitue pour le Canada un défi particulier en raison de l'immensité et de la diversité du territoire, ainsi que de la complexité des questions de juridiction inhérente à la constitution canadienne. Cependant, en dépit de la complexité de la situation, le Canada apporte déjà une solide contribution aux réseaux planétaires officiels d'observation terrestre, comme le GTN-P, le GTN-G, le

FLUXNET, et le projet de GTN-H, contribution qu'il prévoit d'ailleurs continuer d'élargir. En tant que membre actif de l'organisation et du comité de mise en œuvre du GTN-P, le pays gère déjà 19 stations d'étude de la couche active qui contribuent à ce système d'envergure planétaire, et 75 nouveaux sites d'observation de la température du pergélisol (Réseau SCAC) ont été identifiés comme potentiellement intéressants à l'égard du programme. La participation du Canada au GTN-G comprend 9 sites d'observation des glaciers déjà en opération et partie intégrante du réseau mondial; ce nombre sera porté à 11 d'ici l'année 2005. Pour ce qui est de la mesure des flux de carbone, 4 sites FLUXNET canadiens sont déjà en opération et 7 sites additionnels devraient leur être ajoutés dans environ un an. Ces contributions au réseau FLUXNET s'accompagnent de plusieurs autres sites d'observation des flux de carbone qui, bien que fonctionnels, ne font pas officiellement partie du réseau mondial.

Le Canada participe également à nombre d'autres activités qui contribuent à la réalisation des objectifs généraux du SMOC. Celles-ci comprennent la contribution canadienne à l'égard de l'augmentation de la capacité scientifique, de l'entretien des réseaux et de la participation aux divers programmes internationaux, notamment l'aide apportée à la Chine pour l'exploitation d'une station VAG sur son territoire, l'exploitation du Centre mondial de données sur l'ozone et le rayonnement UV et du Centre mondial d'étalonnage des sondes de Brewer-Mast, à Toronto, ainsi que la participation aux divers travaux des comités internationaux. Le Canada est aussi très actif sur son propre territoire avec, notamment, l'organisation d'ateliers nationaux en rapport avec le SMOC, l'exploitation de vastes réseaux d'observation et de recherche (RESE et CANTTEX) et sa participation à la recherche et au développement dans le domaine de la télédétection des variables climatiques.

En résumé, le Canada a accompli des progrès notables quant à la mise en œuvre des éléments du SMOC qui relèvent directement de sa responsabilité. Le pays maintient son engagement à l'égard du développement futur de ce programme mondial, un engagement qui s'exprime concrètement par l'affectation de ressources dans nombre d'initiatives locales et par l'importance de la priorité accordée par le gouvernement canadien à la question du climat. Il est également prévu que les initiatives du domaine de la science du climat énoncées dans le Plan d'action 2000 pour le changement climatique du gouvernement fédéral contribue de façon significative à l'amélioration du programme canadien d'observation du climat.

1.0 INTRODUCTION

En 1995, un groupe de travail spécial, créé sous les auspices du Conseil du Programme climatologique canadien et du Conseil du Programme canadien des changements à l'échelle du globe, avait recommandé que le Canada participe de façon active au SMOC (1), ce qui amena la création d'un Comité national canadien pour le SMOC. Le comité du SMOC entreprit l'élaboration d'un Plan canadien en rapport avec le SMOC et mit en branle un vaste processus qui culmina avec la tenue d'un atelier d'envergure nationale¹ à Victoria, en Colombie-Britannique, en février 1999. Cet atelier national a constitué une étape importante et a contribué à réunir la vaste communauté des intervenants du domaine climatique, permettant de développer une vision commune des exigences du SMOC et préparant les prochaines étapes de leur mise en œuvre. À partir des discussions de l'atelier², un Plan canadien SMOC préliminaire fut mis sur pied et publié en avril 1999 (2). Le Plan définissait les implications du programme SMOC pour le Canada, évaluait la capacité actuelle d'observation au pays et proposait des solutions économiques devant permettre au Canada de remplir ses engagements à l'égard du SMOC, tout en répondant aux besoins locaux en matière d'observation du climat.

Le Plan national relatif au SMOC est un document dynamique qui ne cesse de s'enrichir. Il a procuré aux nombreux intervenants de l'observation climatique au Canada orientations et encouragements, et a donné l'impulsion à une série d'ateliers ultérieurs portant sur les constituants individuels du système climatique (3; 4; 5; 6; 7). La préparation et la mise en place subséquente des premières étapes du plan national ont été grandement facilitées par la présence du Fonds d'action pour le changement climatique (FACC), une fondation qui offre du financement de départ à des initiatives soigneusement sélectionnées du domaine de l'étude du climat. Les activités financées par le FACC ont contribué à encadrer le développement du plan SMOC canadien, la tenue des ateliers, le soutien à la représentation canadienne au sein des instances internationales du SMOC et la réalisation d'études hautement prioritaires³. Il est clair qu'un tel mécanisme de financement représente un atout important en matière de planification nationale et, dans le cas du Canada, a contribué de façon significative à l'accélération du développement et de la mise en œuvre d'une

¹ Parrainé par le Fonds d'action pour le changement climatique (FACC)

² Cinq éléments constitutifs furent énoncés, en rapport avec les domaines atmosphérique, océanique, hydrologique, cryosphérique et terrestre, puis précisés lors de l'atelier national et intégrés dans le Plan national.

³ Ces études ont fait l'objet des rapports suivants : Évaluation des besoins en rapport avec les réseaux complémentaires de climatologie; Numérisation et accessibilité en rapport avec les méta-données antérieures des stations climatologiques; Amélioration des méta-données et des données relatives aux bouées captives pour SMOC; L'observation du climat et les ressources aquifères canadiennes; Évaluation de l'utilité des données d'hydrographie et de niveau de la mer littorale en rapport avec l'analyse de la variabilité de la circulation dans le Nord-Atlantique; Définition du profil optimal d'un réseau de mesure du niveau de la mer; Définition d'un Réseau de base canadien d'observation de la cryosphère, pour les données recueillies sur place ou à distance en vue de l'observation de la cryosphère canadienne dans le cadre du SMOC; Distribution des terres humides et cycle du carbone; Création d'un réseau canadien d'observation terrestre en relation avec le climat; Délimitation d'échelles temporelles et spatiales de la production primaire sur les plateaux continentaux canadiens.

action nationale à l'égard du SMOC, compte tenu des compressions budgétaires constantes ayant amené la réduction et la restructuration des programmes gouvernementaux d'observation.

Le Canada accorde une importance particulière aux éléments du SMOC portant sur la cryosphère, puisque celle-ci constitue une des caractéristiques les plus importantes de l'environnement physique et biologique canadien⁴⁻⁵. Chaque année, la plus grande partie du pays connaît des épisodes d'enneigement de plusieurs mois, plus de la moitié du territoire est compris dans le pergélisol, plusieurs de nos ressources en eau sont affectées par la présence de glaces et nos masses de glace terrestre sont les plus importantes de l'hémisphère, si on exclut le Groenland. De plus, de vastes régions connaissent des températures proches de la fusion et sont très sensibles aux variations du régime de température.

Le présent rapport s'inspire largement du plan SMOC national et des ateliers mentionnés plus haut. Il est structuré en fonction des directives de la CNUCC en matière de rapport sur les Systèmes planétaires d'observation du climat et, dans la mesure du possible, en conformité avec les directives complémentaires obtenues lors d'une rencontre informelle des coordonnateurs nationaux du programme SMOC, ayant eu lieu à Melbourne, Australie, du 9 au 11 août 2000.

Les activités canadiennes d'observation systématique du climat

Au Canada comme dans les autres pays, la collecte, la vérification de la qualité, l'archivage et la diffusion des données relatives à l'observation systématique du climat proviennent de plusieurs organismes et institutions, et relèvent d'une vaste gamme de besoins, d'obligations et de systèmes d'application. Le partage constitutionnel des responsabilités entre les gouvernements fédéral et provinciaux/territoriaux signifie toutefois qu'aucun palier de gouvernement n'assume la responsabilité de la totalité des éléments du système climatique. Cette réalité constitutionnelle se reflète dans les divers degrés de cohérence existant entre les systèmes et les réseaux d'observation systématique du climat à l'échelle nationale; cette complexité ne facilite d'ailleurs pas la planification et la mise en œuvre des activités SMOC à l'échelle du pays.

En ce qui concerne l'atmosphère et les océans, le rôle prépondérant du gouvernement fédéral est sans équivoque, et le Canada possède depuis longtemps des systèmes nationaux de planification et de gestion dans ces domaines d'étude⁶. Par ailleurs, la responsabilité des gouvernements

⁴ La cryosphère est la composante du système climatique constituée par les dépôts de neige et de glace; elle comprend le manteau glaciaire, la calotte glaciaire et les glaciers, les glaces de mer, le manteau neigeux, les glaces de lac et de rivière, le pergélisol et le gélisol.

⁵ En 2000, deux ateliers parrainés par le FACC ont procédé à l'évaluation des programmes canadiens d'observation de la cryosphère, identifié les lacunes régionales/théoriques et présenté des recommandations en rapport avec le plan SMOC national.

⁶ Bien que les provinces recueillent certaines données quant à l'atmosphère, les observations atmosphériques canadiennes relèvent généralement de la coordination du Service météorologique du Canada (SMC), du ministère fédéral de l'Environnement (EC). Les observations océanographiques de

provinciaux et territoriaux prévaudra généralement là où les ressources naturelles (foresterie, agriculture) sont concernées⁷, et les observations terrestres sont donc gérées de façon moins uniforme. Les ministères fédéraux concernés⁸ recueillent, traitent et archivent de nombreuses données d'observation terrestre et tentent d'assurer la coordination de systèmes nationaux en foresterie, agriculture, étude des sols, hydrométrie et autres domaines, mais un grand nombre de ces observations sont conduites par les provinces, les universités, divers organismes, et même des chercheurs individuels. Bien que le Canada s'efforce de se conformer aux principes d'observation du climat publiés par les SMOC, SMOO et GTOS, la situation décrite ici a eu pour conséquence que le degré de conformité des activités canadiennes d'observation à ces principes est inégal, en particulier du côté des territoires.

Accessibilité des données

De façon générale, le Canada souscrit au principe de la libre accessibilité aux données canadiennes relevant du SMOC, et il est prêt à prendre les mesures nécessaires en vue de faciliter l'échange de ces données. Ceci peut signifier, dans certains cas particuliers, l'imposition de frais minimes pour le traitement ou la livraison des données, mais les données elles-mêmes sont gratuites. De plus, le Canada adhère aux politiques internationales reconnues de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et de la Commission océanographique intergouvernementale (COI) pour ce qui est des produits et des données relatives à l'atmosphère, l'hydrologie et l'océanographie; le Canada a entrepris de fournir aux Centres de données désignés les ensembles de données requis. Les points d'accès aux données SMOC et autres ensembles de données pertinents sont présentés plus loin dans ce rapport.

2.0 OBSERVATION DE L'ATMOSPHÈRE

Les données relatives à l'atmosphère sont indispensables à l'observation du climat, à la détection et à l'explication des changements, à l'amélioration de notre compréhension de la dynamique du système climatique et de sa variabilité naturelle, et elles servent à alimenter les modèles de climat. Plusieurs réseaux mondiaux d'observation ont déjà été identifiés en rapport avec la composante atmosphérique du Système d'observation initial du SMOC. En particulier, un

sources internes et externes sont, quant à elles, archivées par le Service des données sur le milieu marin (SDMM) de Pêches et Océans Canada (MPO).

⁷ Les organismes fédéraux jouant en ces domaines davantage un rôle de coordination, leur responsabilité se limite aux questions inter-provinciales et internationales, ainsi qu'aux activités de recherche.

⁸ Ressources naturelles Canada (RNCan), Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et Environnement Canada (EC).

Réseau mondial SMOC d'observation de la haute atmosphère (GUAN) a été défini, ainsi qu'un Réseau SMOC d'observation terrestre (GSN) a été défini et le programme VAG est maintenant considéré comme faisant partie du SMOC. La nécessité d'établir de nouveaux réseaux a aussi été reconnue et ce, afin de tenir compte des variables supplémentaires et du fait que les données de télédétection peuvent représenter une contribution importante à l'égard des activités du SMOC.

2.1 Les réseaux du SMOC

Le Canada s'est engagé à contribuer au Réseau d'observation au sol (GSN) du SMOC, au Réseau d'observation de la haute atmosphère (GUAN) du SMOC et à l'observation des composantes de l'atmosphère par le biais de sa participation au programme VAG de Veille de l'atmosphère du globe. Le Tableau 1 présente un résumé des contributions du Canada à ces programmes mondiaux, et les sections qui suivent examinent ces contributions plus en profondeur.

Tableau 1. La participation canadienne aux systèmes mondiaux d'observation de l'atmosphère.

	GSN	GUAN	VAG
Nombre de stations sous la responsabilité de la partie concernée	72	4⁽¹⁾	44
Nombre de stations présentement en opération	72	4	43
Nombre de stations exploitées en conformité avec les normes du SMOC	72⁽²⁾	4	43
Combien seront en opération en 2005?	92	5	44
Combien fournissent actuellement des données aux Centres internationaux?	72	5	43

Notas : (1) Le Canada a proposé la station de l'Arctique septentrional de Cambridge Bay comme station GUAM en remplacement de celle de Mould Bay, qui a été fermée.

(2) Actuellement, le Centre mondial des données reçoit chaque mois les messages CLIMAT pour toutes les stations GSN. Des mesures ont été entreprises pour augmenter la participation GSN canadienne en intercalant des stations intermédiaires.

Le Réseau mondial d'observation au sol (GSN)

Les organismes membres du SMOC ont privilégié la création d'un réseau terrestre mondial de stations d'observation du climat au sol, selon une densité de 1 station pour 250 000 kilomètres carrés, ce qui n'a pas représenté pour le Canada un problème insurmontable, car le Canada a déjà désigné 72 stations GSN officielles⁹ en rapport avec le SMOC; le Canada considère par ailleurs comme une importante priorité d'assurer que ces stations soient exploitées en

⁹ Le Service météorologique du Canada (SMC) a désigné 287 stations (février 2000) Stations climatologiques de référence (SCR) et des efforts considérables ont été déployés pour en assurer le fonctionnement à long terme. Les stations GSN du Canada constituent un sous-ensemble du réseau SCR.

conformité avec les normes du SMOC. Des mesures ont également été entreprises en vue de créer des stations supplémentaires dans certains secteurs où des lacunes existent quant au critère de distribution géographique des stations GSN. Dans ces secteurs, cinq ou six nouvelles stations GSN seront installées et jusqu'à 14 stations actuellement en opération seront modernisées afin de correspondre aux normes GSN. La Figure 1 présente la distribution des 72 stations GSN canadiennes actuelles, ainsi que les nouvelles stations et celles qui seront modernisées pour être intégrées au réseau d'ici 2005.

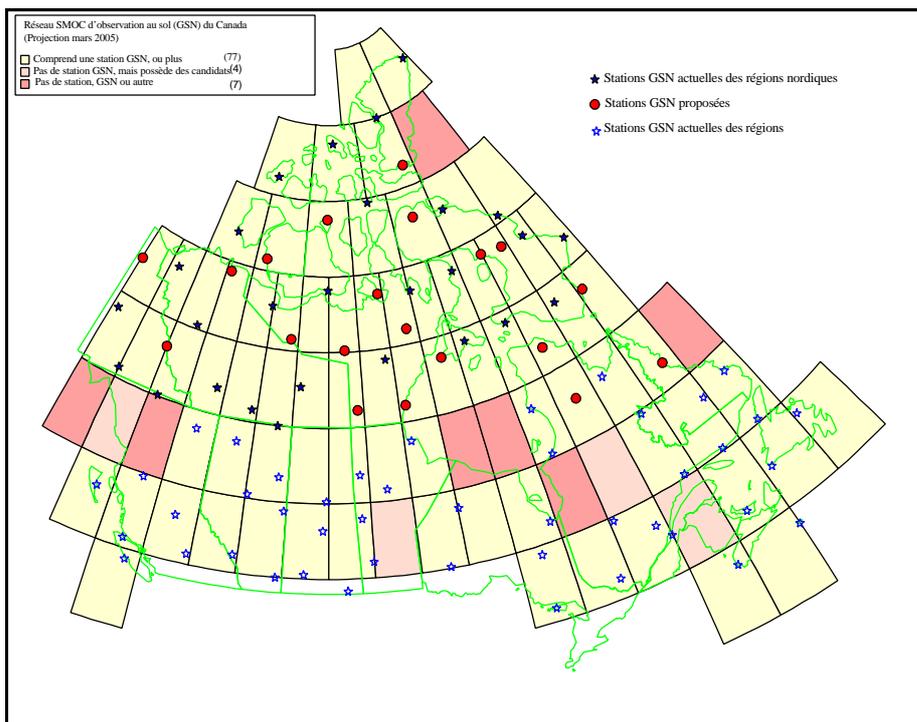


Figure 1. Le réseau GSN canadien, actuel et projeté (2005), avec l'emplacement prévu des nouvelles stations et des stations modernisées

Le Réseau mondial d'observation de la haute atmosphère (GUAN)

Le Réseau mondial d'observation de la haute atmosphère (GUAN) du SMOC a pour but de fournir des ensembles de données d'observation de la haute atmosphère qui soient cohérents et représentatifs à l'échelle du globe. La participation du Canada consiste à désigner 5 stations de radiosondage pour faire partie de ce réseau mondial. L'une des stations originalement proposée, celle de Mould Bay, a été fermée en raison de coupures budgétaires, mais une autre station de l'Arctique septentrional, celle de Cambridge Bay, a été proposée pour la remplacer. Quatre stations canadiennes d'observation de la haute atmosphère (Alert, Goose Bay, Moosonee et Fort Smith) sont présentement en opération en tant que sites GUAN officiels, et la station de Cambridge Bay est

également opérationnelle. La Figure 2 montre le réseau canadien d'observation de la haute atmosphère, y compris les stations GUAN.

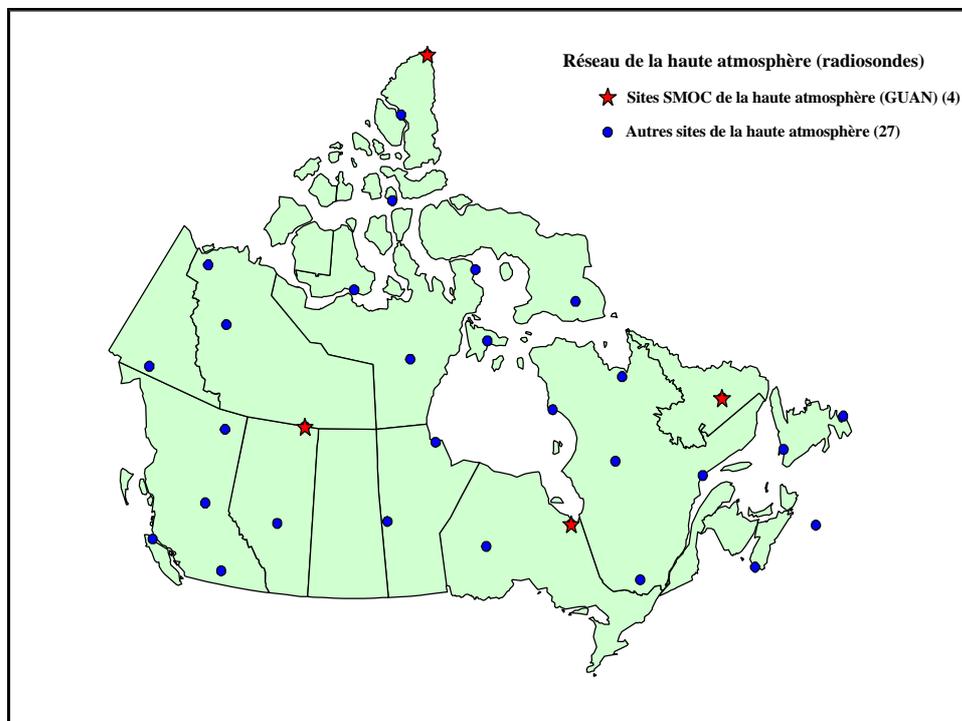


Figure 2. Le Réseau canadien d'observation de la haute atmosphère, y compris les 4 sites GUAN officiels.

Le programme de Veille de l'atmosphère du globe (VAG)

L'observation systématique des constituants atmosphériques est nécessaire à l'égard des simulations du système climatique, de l'utilisation et de l'évaluation des modèles de climat, et des activités de surveillance et de contrôle des émissions. Le programme VAG, établi en 1989, vise à répondre à ces besoins. Le programme VAG coordonne un réseau de stations régionales et mondiales, avec les infrastructures correspondantes¹⁰. Le Canada exploite actuellement 43 stations VAG. Parmi elles, la station d'Alert, au Nunavut, a été désignée Station mondiale VAG de première ligne. À Alert, le programme de base comprend la mesure des gaz à l'état de trace pour les gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, CFC-1 et 12, O₃, N₂O), ainsi que l'analyse des aérosols de carbone, des noyaux de condensation et de la chimie des aérosols. D'importants programmes d'observations complémentaires reliées au programme VAG sont également en place à Fraserdale (Ontario), Sable Island (Nouvelle-Écosse) et Estevan Point

¹⁰ Le programme englobe l'ancien BAPMoN (Réseau de stations de surveillance de la pollution atmosphérique de fond) et le GO₃OS (*Global Ozone Observing System*), et il comprend tant les activités d'observation que de recherche.

(Colombie-Britannique). Fraserdale est un site clé d'observation de la forêt boréale, qui exécute des opérations de mesure continue de plusieurs gaz (CO₂, CH₄, N₂O, SFG et radon). Les deux autres sites côtiers exécutent des prélèvements d'échantillons hebdomadaires pour un nombre plus restreint de composés (CO₂, CH₄, N₂O, CO et SFG). Des mesures régulières des isotopes non radioactifs sont aussi faites à Estevan Point et à Alert. En 2002, un autre site continental doit entreprendre des mesures des concentrations de CO₂, à Prince Albert Park, en Saskatchewan.

Deux autres programmes canadiens fournissent également des mesures additionnelles des constituants atmosphériques, les programmes CORE et RCEPA.

Le réseau CORE comprend six stations et il a été mis sur pied dans le but de fournir, à long terme, des données d'observation de qualité sur la composition de l'atmosphère et le rayonnement, pour des emplacements qui soient représentatifs des principaux régimes atmosphériques et des grandes régions géopolitiques¹¹.

Le RCEPA, qui comporte 22 stations, a été créé dans le but d'étudier les caractéristiques régionales et les tendances des dépôts acides au Canada et il fait officiellement partie du réseau VAG¹².

Le Canada fournit également au programme VAG des données sur la colonne d'ozone et le spectre du rayonnement ultraviolet, à partir de son réseau de 12 stations équipées de spectromètres de Brewer-Mast, ainsi que des données sur la courbe d'ozone en provenance de ses six stations équipées d'une sonde d'ozone.

En plus de ce qui précède, le Canada apporte plusieurs contributions notables à l'échelle mondiale. Le Canada exploite le Centre mondial de données sur l'ozone et le rayonnement UV et le Centre mondial d'étalonnage des sondes de Brewer-Mast. Le Canada offre son expertise aux services météorologiques chinois et leur apporte une aide soutenue en rapport avec l'exploitation d'une station VAG sur leur territoire.

2.2 Autres programmes d'observation

Le réseau national canadien d'observation de l'atmosphère¹³ est, dans la pratique, composé de plusieurs sous-réseaux distincts les uns des autres :

Un réseau d'observation de la température et des précipitations, exploité par des organismes coopérants, des bénévoles et des observateurs

¹¹ L'objectif est de constituer un réseau national de référence qui serve à définir les normes, produise une expertise et remplisse les engagements internationaux quant à l'observation.

¹² La chimie des précipitations est mesurée sur tous les sites RCEPA, les aérosols le sont sur 11 de ces sites et l'ozone au niveau du sol sur 7.

¹³ Le Service météorologique du Canada est l'organisme fédéral responsable des réseaux d'observation de l'atmosphère, et de la gestion des données s'y rapportant.

contractuels, et comportant un nombre croissant de stations automatiques;

Un réseau principal (fonctionnant sur une base horaire) de stations, automatiques et avec personnel, fournissant des données en temps réel destinées à l'établissement des prévisions météorologiques;

Un réseau de la haute atmosphère de stations (radiosondage) pourvues en personnel recueillant des données destinées aux prévisions météorologiques;

Des réseaux complémentaires établis dans le but d'obtenir des données d'observation sur les variables suivantes :

Intensité des précipitations	Direction et vitesse des vents	Ozone
Bacs d'évaporation	Température du sol	Ensoleillement
Étendue/épaisseur du manteau neigeux	Rayonnement	

Un réseau de surveillance de la qualité de l'air et de la composition chimique des précipitations.

Il y a aussi, comme nous le verrons plus loin, des programmes d'observation en rapport avec l'épaisseur des glaces, ainsi que des dates de prise des glaces et de la débâcle, pour les eaux intérieures et côtières; des données de météorologie marine sont recueillies par la flotte des navires d'observation bénévole, les satellites, les bouées captives et dérivantes, ainsi que dans le cadre du programme canadien d'observation des glaces de mer.

Une grande partie du réseau national d'observation du régime atmosphérique a été mis sur pied en réponse à des besoins particuliers de nature locale, régionale ou nationale, et souvent sans concertation effective. Le maintien du réseau température/précipitations dépend d'organismes coopérants et de bénévoles, qui recueillent la majorité des données, avec, pour le reste, quelques observateurs contractuels et un nombre croissant de stations automatiques. Le réseau (horaire) principal a pour fonction de fournir les données requises pour les prévisions météorologiques destinées au public et autres usages; les données climatologiques ont donc une importance secondaire par rapport à la vocation du réseau. Les réseaux complémentaires, quant à eux, sont surtout fondés sur des ententes de partenariat, et l'emplacement des stations reflète cette situation. Les réseaux de surveillance de la qualité de l'air et de la composition des précipitations se sont développés depuis quelques dizaines d'années en réponse aux inquiétudes croissantes du public à propos de la pollution atmosphérique et des pluies acides. Ces divers réseaux et programmes

sont présentés en résumé plus loin dans le présent rapport et des détails supplémentaires sont également fournis dans les Tableaux S1 à S3.

Les réseaux canadiens d'observation du régime atmosphérique font actuellement l'objet d'une restructuration visant à en assurer la viabilité économique à long terme, tout en permettant d'obtenir les données essentielles nécessaires. Des processus de gestion du cycle de vie sont progressivement mis en place, l'accessibilité aux données s'améliore constamment, et on met de plus en plus l'accent sur le respect des normes de l'OMM. Ce processus de modernisation fera que les réseaux de l'avenir pourront fonctionner dans un cadre budgétaire plus réaliste car ils comporteront un nombre plus restreint de stations tout en produisant des données de qualité supérieure, plus facilement accessibles.

Le réseau d'observation de la température et des précipitations

Le vaste réseau climatologique canadien d'observation de la température et des précipitations a connu, en raison de contraintes budgétaires, des réductions significatives depuis les dix dernières années; il comprend aujourd'hui 2147 stations. La distribution géographique de ces stations est illustrée à la Figure 3, et elle reflète un biais quant au nombre de stations situées dans les plus basses latitudes et les régions plus densément peuplées.

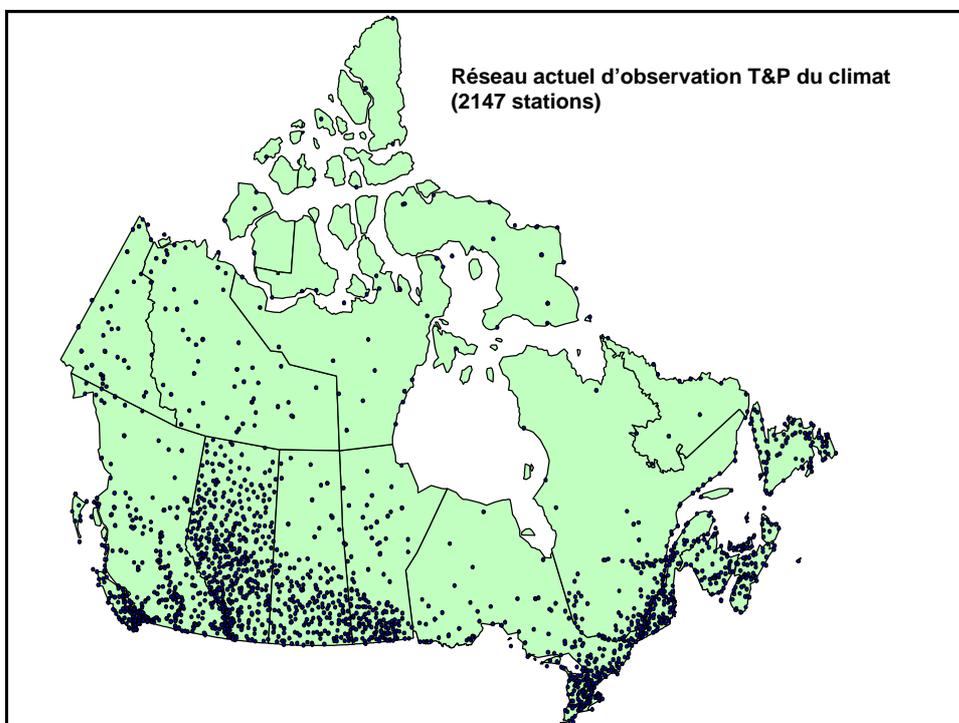


Figure 3. Le réseau canadien d'observation de la température et des précipitations.

Des efforts ont récemment été entrepris en vue de réduire l'érosion du réseau et de remédier à la distribution inégale des stations; ces efforts ont conduit à l'identification d'environ 300 stations climatologiques de référence (SCR) formant un réseau des stations les plus efficaces en vue de son entretien et de son amélioration à long terme par des moyens comme l'automatisation, l'étude de nouvelles variables et l'addition de nouvelles activités de mesure. Ces efforts demeureront prioritaires pour la prochaine décennie. La Figure 4 illustre ce réseau SCR.

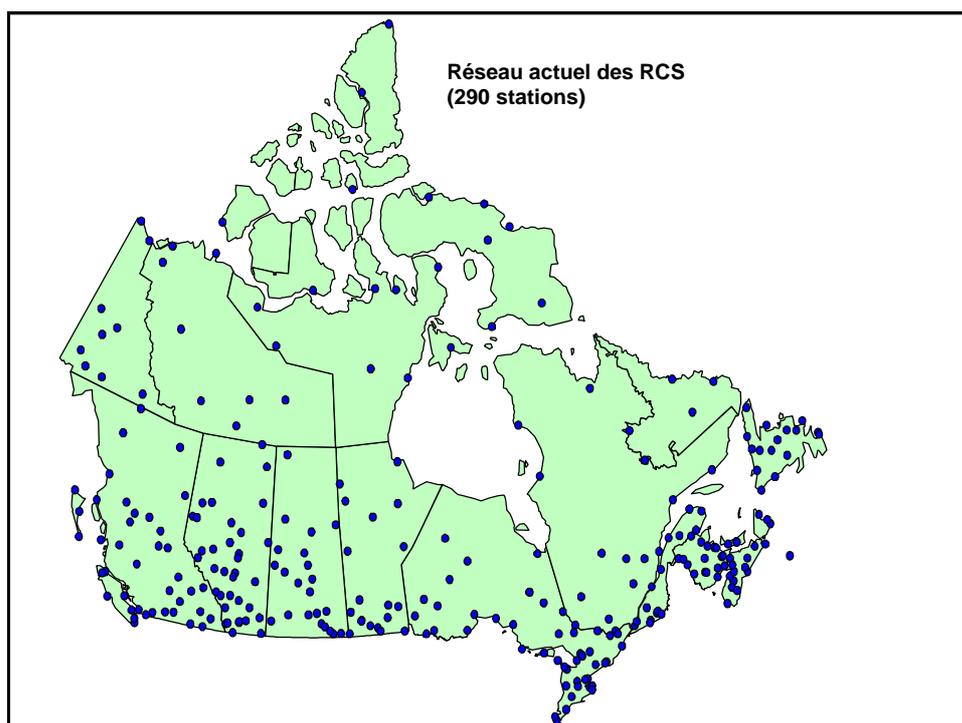


Figure 4. Le réseau canadien de stations climatologiques de référence.

Les chutes de neige et les précipitations solides

L'obtention de données fiables sur les chutes de neige et les précipitations¹⁴ solides est essentielle quant aux activités d'observation du climat, puisqu'elles déterminent le bilan hydrologique régional et planétaire, et permettent de comprendre les éléments de base de la cryosphère. Dans ce domaine, le SMOC demande que des mesures quotidiennes des précipitations solides soient effectuées, avec correction pour tenir compte des erreurs systématiques¹⁵. Au

¹⁴ Une chute de neige est l'épaisseur de neige fraîche accumulée durant la période d'observation. Une précipitation solide est la quantité d'eau liquide contenue dans la chute de neige et recueillie par un pluviomètre.

¹⁵ Ceci nécessitera un travail constant en rapport avec la correction et la normalisation de la mesure des précipitations solides, le développement de stratégies de fusion des données pour l'observation *in-situ* et les activités de télédétection (radars et satellites), ainsi que la création d'un système global d'archives des précipitations estimées ajustées, pour les précipitations tant liquides que solides. Le développement de techniques plus perfectionnées de télédétection et de mesure des précipitations solides doit aussi se

Canada, les données relatives aux chutes de neige et aux précipitations solides sont actuellement recueillies par les stations d'observation météorologique synoptique de première classe, et la plus grande partie de ces données est distribuée en temps quasi-réel sur le Réseau mondial des télécommunications (RMT) de l'OMM. Les chutes de neige font également l'objet de relevés à un nombre beaucoup plus élevé de stations climatologiques; ces données supplémentaires sont conservées dans les archives climatiques nationales. Aux stations dotées en observateurs humains, l'épaisseur de la couche de neige fraîche est mesurée à chaque relevé (généralement deux fois par jour) et l'apport neigeux est estimé selon l'hypothèse d'une densité de la neige fraîche de 100kg/m^3 (c.-à-d. un rapport de 1 à 10). Aux stations principales et synoptiques, l'apport neigeux est mesuré toutes les six heures et fait l'objet d'un rapport distinct de celui de la mesure des précipitations. Des méthodes de mesure automatique sont actuellement mises en place dans un nombre croissant de stations. La Figure 5 illustre le réseau canadien des chutes de neige¹⁶.

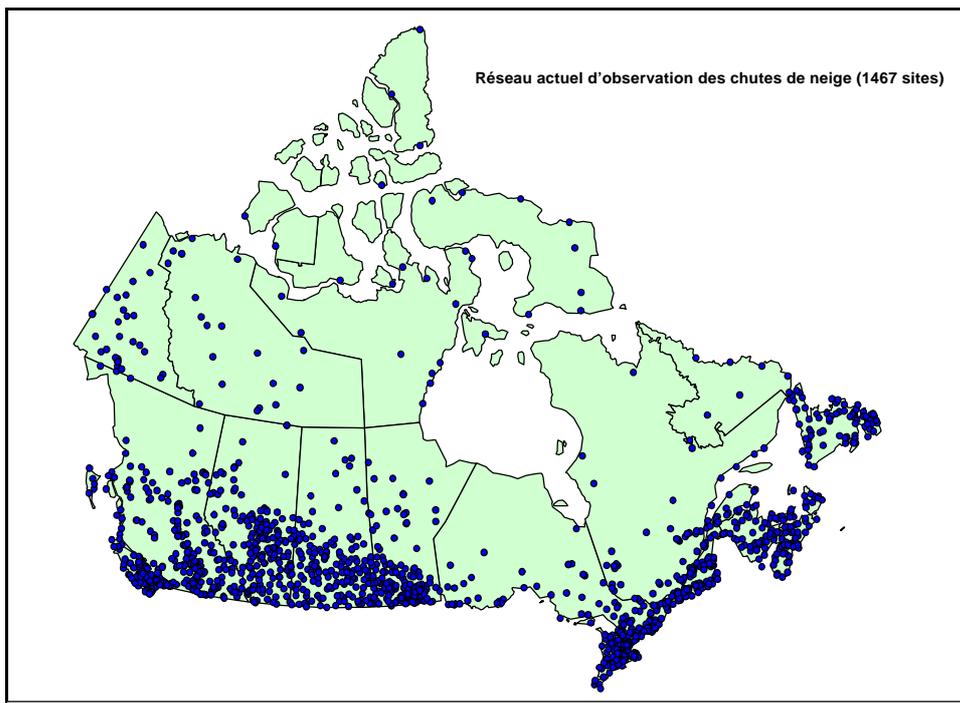


Figure 5. Le réseau canadien d'observation des chutes de neige

poursuivre, en particulier en ce qui concerne les latitudes polaires.

¹⁶ Les activités d'observation des autres paramètres relatifs à la neige (étendue du manteau neigeux, épaisseur de la couche de neige et équivalent en eau de la neige) sont présentées à la section 4.2 du présent rapport.

Les réseaux complémentaires d'observation du climat

Les réseaux complémentaires d'observation du climat procurent des données importantes à propos d'un grand nombre de variables dont certaines revêtent un intérêt particulier en rapport avec le SMOC, les principales étant la détection en altitude, la hauteur de neige et la température du sol. Une évaluation complète des besoins quant aux données provenant de ces réseaux a été faite en mars 2000. Sur la base des besoins ayant été identifiés, des plans de travail ciblés ont été élaborés afin d'orienter le développement de ces réseaux, d'assurer la stabilité des plus critiques parmi eux, et d'assurer la capacité du pays à gérer les enjeux nationaux et à répondre aux exigences du SMOC.

Le réseau canadien de la haute atmosphère

Le réseau canadien de radiosondage (Figure 2) comprend actuellement 31 stations régulières de radiosondage; des ballons-sondes sont lancés deux fois par jour¹⁷. Les Forces canadiennes effectuent aussi, à l'occasion, des observations de la haute atmosphère à partir de 5 emplacements au sol et sur des navires de la flotte. Le réseau de radiosondes a été modernisé et utilise maintenant les appareils d'aide à la navigation (Nav aids) multimodes (GPS/VLF/LORAN); le réseau a aussi été automatisé de façon substantielle. Les procédures d'observation, de contrôle de la qualité, de communications et d'archivage sont conformes aux directives de l'OMM.

Le réseau canadien d'observation du rayonnement

Actuellement, le réseau canadien d'observation du rayonnement, présenté à la Figure 6, comporte 43 stations situées sur l'emplacement des stations de recherche en agriculture, dans les parcs nationaux et provinciaux, les aéroports, les universités et sur les sites du Service météorologique du Canada (SMC). Toutes ces stations effectuent des mesures du rayonnement global (RF1), et plusieurs mesurent aussi certains champs de rayonnement secondaire (RF2, RF3, RF4, et RF9). De plus, on utilise le spectromètre de Brewer pour mesurer l'ozone sur 12 sites et certaines stations sont munies de capteurs Vital BW100 de mesure du rayonnement UV. La collecte des données relatives au rayonnement est automatisée dans une large mesure et les instruments de la plupart des sites d'observation sont reliés aux consigneurs de données de Campbell Scientific (CR10X). L'inspection et l'entretien du matériel et des instruments, les données de contrôle de la qualité et les méthodes d'archivage sont gérés par le SMC en conformité avec les normes et procédures recommandées par l'OMM.

¹⁷ Le réseau dispose aussi de six unités mobiles pour déploiement en cas d'urgence environnementale.

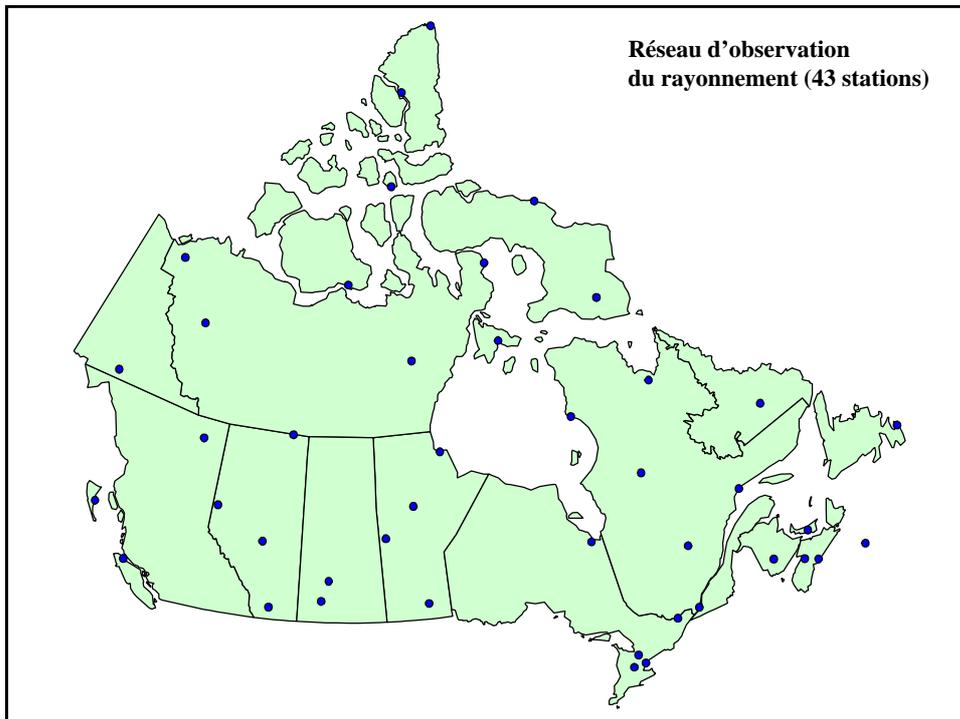


Figure 6. Le réseau canadien d'observation du rayonnement.

Autres

Nombre de réseaux canadiens complémentaires et d'activités connexes revêtent une importance particulière en rapport avec les activités du SMOC. Voici un survol de ces programmes:

Agriculture et Agroalimentaire Canada est l'un des principaux partenaires dans l'exploitation d'un réseau d'observation de la température du sol comportant 28 stations, situées pour la plupart aux centres de recherche en agriculture. Les procédures d'installation et d'entretien des instruments, les données de contrôle de la qualité et les méthodes d'archivage sont effectuées par le personnel du SMC et aucun effort n'est négligé pour rendre ces opérations conformes aux procédures et directives de l'OMM. La Figure 7 illustre la distribution du réseau actuel.

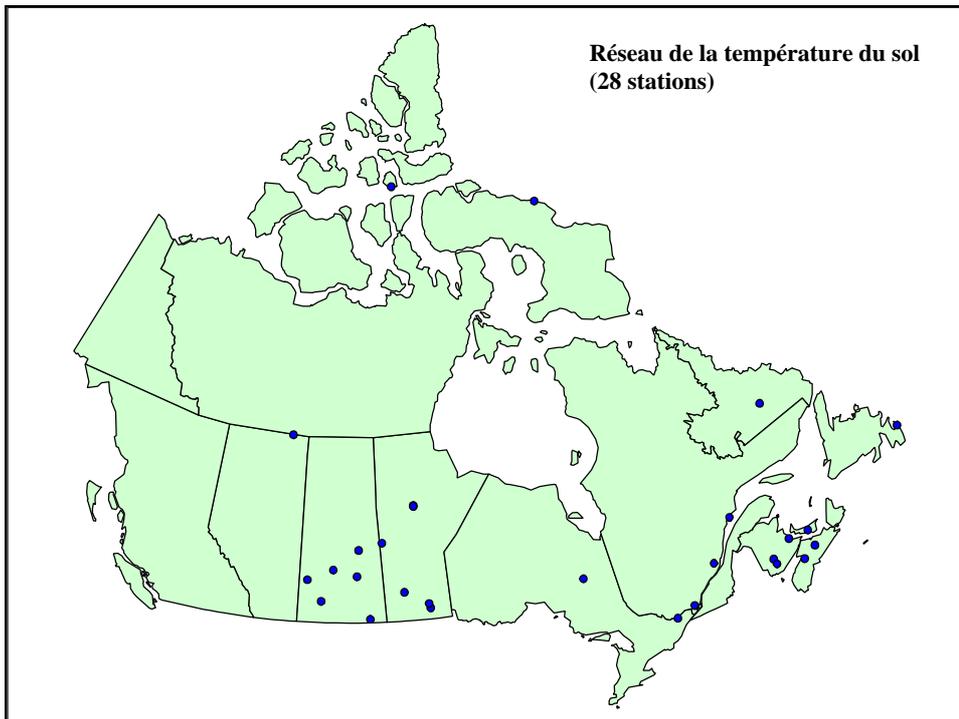


Figure 7. Le réseau canadien d'observation de la température du sol.

Le Canada a mis sur pied, depuis 1981, un vaste réseau de mesure quotidienne des hauteurs de neige, environ 2000 sites d'observation qui constituent le Réseau canadien d'observation de la température et des précipitations (Figure 3). Avant 1981, des mesures quotidiennes de la hauteur de neige étaient effectuées à quelques centaines de stations d'observation synoptique, et plusieurs de ces sites ont fourni des observations remontant jusqu'à 1955.

Des mesures d'observation directe (humaine) des dates de la prise des glaces et de la débâcle sont effectuées pour un certain nombre de lacs et de rivières (avec les mesures correspondantes de l'épaisseur de la couche de glace). Ces activités sont examinées plus en détail dans la section du présent rapport portant sur l'étude de la cryosphère.

La station d'Eureka¹⁸ du Réseau pour la détection de changements stratosphériques (NDSC), une station primaire, est un site important d'observation de l'évolution du trou d'ozone arctique.

Les activités de mesure effectuées à Bratt Lake, en Saskatchewan, et à

¹⁸ Le réseau NDSC comporte un nombre restreint de stations primaires effectuant des mesures au moyen d'instruments d'observation primaires (lidars; spectromètres des rayons UV et du rayonnement visible; spectromètres à l'infrarouge à transformée de Fourier; et ballons-sondes). Des observations complémentaires sont effectuées sur près de 30 sites auxiliaires dans les deux hémisphères.

l'observatoire de l'ozone stratosphérique d'Eureka, dans l'Arctique, contribuent au Réseau international de référence pour les mesures du rayonnement en surface (BSRN), qui mesure les gaz qui agissent sur le rayonnement et le rayonnement de surface.

2.3 Gestion et échange des données

Le SMC réunit et archive, tout en contrôlant leur qualité, les données d'observation recueillies par le SMC lui-même et ses partenaires. Il voit aussi à la diffusion de ces données et des autres produits et services pertinents auprès des centres mondiaux de données (CMD) et de ses clientèles locales et internationales. Le SMC gère le Système canadien d'archivage des données climatologiques, qui contient les données officielles des températures au Canada, et d'autres renseignements pouvant remonter aussi loin que 1839. Ces données peuvent être sur copie papier, microfilm et microfiches, mais la plupart sont disponibles sur bases de données numériques. Les ensembles de données des Archives nationales comprennent :

Données d'observation, sur une base horaire, quant à la température, l'humidité, la vitesse et la direction des vents, la pression atmosphérique, le type, la quantité et l'altitude des nuages, les épisodes de pluie, de neige, d'orage et autres types de conditions météorologiques. En tout temps, entre 300 et 400 sites de collecte de données sur une base horaire sont actifs, et les archives de données numériques contiennent des données provenant de plus de 800 sites, parmi lesquels certains ne font toutefois plus partie des sites actifs.

Une ou deux fois par jour, on procède à l'observation des minimums et des maximums de température, ainsi que des quantités de précipitations liquides et neigeuses, sur près de 10 000 sites au Canada. Pour plusieurs de ces sites, des données quant à d'autres éléments du climat sont aussi enregistrées, notamment l'épaisseur de la couche de neige au sol et l'incidence des jours comportant des conditions météorologiques variables, comme la grêle, la pluie verglaçante et les averses isolées.

De nombreuses observations supplémentaires sont également effectuées par les réseaux complémentaires d'observation du climat, entre autres l'insolation effective, le rayonnement solaire, mesures par bacs à évaporation, température du sol, intensité des pluies de courte durée (5, 10 minutes, etc.).

Le Système canadien des archives (SCA) est contenu dans une base de données Oracle[™] comprenant 8 milliards d'observations individuelles pour 550 gigaoctets d'espace disque dur et environ 200 000 nouvelles observations par jour en moyenne. On peut accéder au SCA comme suit :

http://www.msc-smc.ec.gc.ca/climate/index_f.cfm

Des données relatives aux constituants atmosphériques sont également recueillies, dans une base de données distincte, à partir des stations d'observation canadiennes gérées par le SMC. Les données pertinentes sont acheminées sur une base régulière au Centre mondial d'étude des gaz à effet de serre, à Tokyo, où elles sont gérées par l'Agence météorologique japonaise; elles sont aussi offertes au *Global View database* des États-Unis.

Dans toutes ses activités de collecte et de gestion des données, le SMC s'emploie à adhérer aux normes et aux procédures internationales établies par l'OMM et les autres organismes compétents. En ce qui concerne les constituants de l'atmosphère, aucun effort n'est négligé pour assurer la transmissibilité des données, notamment par le biais de la participation canadienne à tous les exercices internationaux de comparaison corrélative. Des principes directeurs ont été formulés pour les données et la gestion de l'information en rapport avec le SMOC, et le Canada a entrepris d'appliquer ces directives. Notamment, les protocoles et les normes SMOC pour ce qui est des données d'observation, des communications, des méta-données et des méthodes d'archivage sont et seront appliquées à toutes les données provenant des stations canadiennes appartenant aux réseaux GSN, GUAN, VAG, ainsi qu'à tout autre réseau mondial officiellement établi à l'avenir.

3.0 OBSERVATION DE L'OCÉAN

L'observation des secteurs maritimes représente une composante fondamentale des activités du SMOC, compte tenu du fait qu'environ 70 pour cent de la surface du globe est constituée d'océans. Il n'est donc pas étonnant que les comités du SMOC aient mis l'accent sur l'importance des programmes d'observation de l'océan et insisté sur la nécessité d'étendre ces programmes dans les régions où les données sont peu accessibles.

3.1 Les programmes d'observation du SMOC

Le Canada participe activement au SMOC et au SMOO en fournissant des données d'observation de l'atmosphère marine et de l'océan, observations qui correspondent aux principes directeurs et autres mécanismes pertinents d'observation du climat établis par le SMOC/SMOO. Un exercice national d'examen de nos réseaux d'observation de l'océan a néanmoins été récemment entrepris afin d'en identifier les lacunes et d'assurer la stabilité et l'amélioration à long terme de l'efficacité de ces systèmes. À la suite de cet examen systématique, le Canada effectuera, dans un proche avenir, des contributions stratégiques plus poussées aux programmes SMOC et SMOO, notamment par le biais du Projet Argo et par la mise en service de marégraphes supplémentaires dans l'Arctique. Le Tableau 2 donne un résumé des contributions canadiennes aux programmes mondiaux d'observation de l'océan; ceux-ci et les activités s'y rapportant font l'objet d'une discussion plus loin dans le présent rapport.

Tableau 2. La participation du Canada aux systèmes mondiaux d'observation océanographique.

	NOB	PNO	Marégraphes	Dériveurs de surface	Flotteurs profonds	Bouées captives	ASAP
Nombre de stations sous la responsabilité de la partie concernée	275	48	25	6	2	46	0
Nombre de stations fournissant des données aux centres mondiaux de données	0	48	25	6	2	46	0
Nombre de stations qui seront en opération en 2005	ND	40	29	6	90	46	0
(ND = non disponible)							

Navires d'observation bénévole (NOB)

Les comités du SMOC ont insisté sur la nécessité du maintien à long terme et de l'amélioration ciblée du programme des Navires d'observation bénévole (NOB) de l'OMM. Le programme NOB canadien a toutefois souffert des restrictions financières qui lui ont été imposées ces dernières années¹⁹ et le nombre de navires faisant partie du programme a diminué jusqu'à atteindre 275 en ce moment, et il est prévu que ce nombre diminue encore. Compte tenu de cette situation, le Canada a récemment adopté une importante démarche visant à équiper les navires NOB de systèmes automatiques d'observation. Ce programme NOB automatisé (NAOB) amènera une amélioration considérable de la qualité, de la fréquence et du nombre des relevés²⁰. Tous les navires NOB canadiens fourniront notamment des données conformes aux normes établies pour le projet climatologique NOB (VOSCLIM), et ces relevés seront transmis au RMT sur une base continue et selon des intervalles de une ou trois heures. De plus, un effort particulier sera fait afin que les navires NOBA soient utilisés dans les régions où les données sont rares ou difficiles à obtenir, ce qui amènera une augmentation substantielle des relevés en provenance des latitudes polaires comme la mer de Beaufort et l'est de l'Arctique.

Les relevés météorologiques effectués par les NOB canadiens sont transmis, en temps réel, au RMT de l'OMM. Malheureusement, depuis plusieurs années, les

¹⁹ Cependant, il existe un excellent programme de recherche sur les flux de carbone dans le Pacifique Nord, géré par MPO et opéré à partir de la flotte NOB.

²⁰ Au moment de la rédaction de ce rapport, 13 NOB choisis étaient ou avaient été équipés conformément au programme NAOB. Ce nombre devrait être porté à 75 d'ici 2005.

données ayant fait l'objet d'un contrôle de la qualité recueillies par les NOB n'ont pas pu être transmises au CMD. Un effort considérable est présentement déployé afin de remédier à cette situation.

Le programme des navires occasionnels (PNO)

Des profils de la température et de la salinité sont obtenus de toutes les stations échantillonnées, puis traités et archivés sur tous les principaux navires de recherche canadiens du MPO; tous les renseignements obtenus font l'objet d'échanges internationaux. De même, tous les navires, grands et petits, de la flotte canadienne, procèdent à des relevés de bathythermographe non récupérable (XBT) lorsqu'ils sont en mer, normalement toutes les six heures. Tous les profils de température obtenus des stations échantillonnées sont traités et archivés, et l'information fait l'objet d'échanges internationaux.

Le réseau des marégraphes

La principale contribution du Canada au programme SMOO des stations de mesure du niveau de la mer de la côte atlantique (est) se fait à Halifax, en Nouvelle-Écosse. Un second site sera toutefois probablement créé sur la côte du Labrador (Nain) et plusieurs autres sites dans les latitudes polaires arctiques seront aussi ajoutés dans les années à venir. Comme il est montré sur la Figure 8 ci-après, douze marégraphes supplémentaires sont en opération pour les besoins de la circulation maritime le long de la côte atlantique.

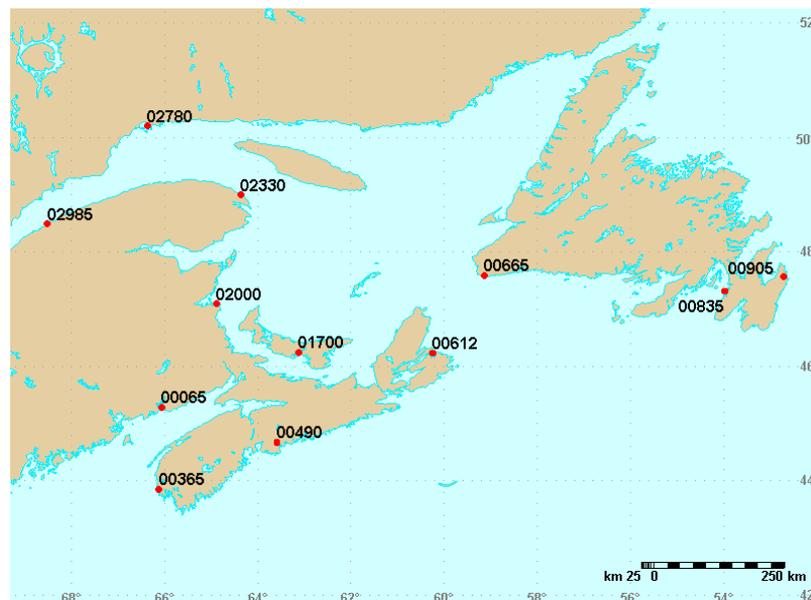


Figure 8. Emplacements des marégraphes de la côte est.

Un réseau de 13 marégraphes est aussi en opération sur la côte du Pacifique (ouest), tel que montré sur la Figure 9 ci-après. Ces stations servent aux programmes d'observation côtière destinés à la prévision des pêcheries, aux études des mouvements de la croûte terrestre, à la prévision des inondations et à la navigation, en plus de leur participation au programme SMOO.

L'élargissement de la participation canadienne au SMOC prévoit que plusieurs de ces stations clés soient reliées à des stations GPS fonctionnant en continu.

À ce propos, un programme de recherche du FACC intitulé « Définition du profil optimal d'un réseau de mesure du niveau de la mer »²¹, a établi le profil optimal de l'emplacement des stations d'observation du niveau de la mer en vue d'établir les tendances et la rapidité des changements du niveau de la mer²²⁻²³ et de créer des bases de données des changements du niveau de la mer.



Figure 9. Emplacements des marégraphes de la côte ouest.

Dériveurs de surface

Le Canada possède divers systèmes de bouées météorologiques et de dériveurs de surface dans le Pacifique Nord. Ces systèmes exécutent des relevés de la pression atmosphérique et de la température des eaux marines, transmis en

²¹ Entrepris sous les auspices de MPO et de l'université de Dalhousie.

²² L'analyse de la côte atlantique a montré que le taux de changement du niveau de la mer n'est pas uniforme, surtout en raison du relèvement post-glaciaire qui compte pour environ 60 pour cent de la variation observée.

²³ L'altimétrie par satellite s'est révélée un outil intéressant d'observation quant à l'établissement du niveau de la mer le long de la côte du Pacifique et des migrations subséquentes au large du Canada et de l'Alaska en raison des remous de moyenne échelle, ainsi que pour la détection de la variabilité inter-annuelle du niveau de la mer. Cette étude a aussi démontré la nécessité de recueillir des données sur le niveau des eaux côtières afin de compléter les mesures de télédétection en haute mer.

temps réel au RMT, et jusqu'à trois bouées contribuent aussi au Programme international des bouées arctiques (PIBA). Normalement, les bouées dérivantes sont déployées grâce à la collaboration des avions de reconnaissance maritime du ministère de la Défense nationale (MDN); certaines sont aussi lancées par les soins de la Garde côtière canadienne et des navires de la NOAA américaine.

Flotteurs profonds

Le Réseau mondial des flotteurs enregistreurs de profils (Argo) est un programme international qui réunira les données océaniques nécessaires à la compréhension et à la prévision des phénomènes qui influencent le climat mondial; le programme vise également à faciliter l'élaboration de modèles intégrés de l'atmosphère et des océans. Le Canada a déjà entrepris l'achat de plus de 20 flotteurs et prévoit étendre son engagement envers le programme jusqu'à 90 flotteurs.

Bouées captives

Le Canada maintient un réseau²⁴ de bouées captives le long de sa côte ouest (voir la Figure 10). Ces bouées fournissent, sur une base horaire et par le biais du RMT, des données sur les vents, le spectre des vagues, l'amplitude de crête à creux, la température de l'eau et celle de l'air. Un site Internet permet d'accéder à ces ensembles de données en temps réel. Les bouées sont dotées de suffisamment d'espace et de capacité en circuits et en batteries pour héberger des capteurs additionnels et effectuer des relevés des nutriments, du phytoplancton et des populations de poissons (lorsque la technologie sera disponible), et de tels systèmes sont présentement à l'étude. Des capteurs optiques ont été installés sur certaines bouées. Ces capteurs, placés sur des bouées circulaires de trois mètres de diamètre, mesurent l'ensoleillement, la couleur de l'eau, sa salinité et sa fluorescence. Les capteurs sont conçus pour fournir des séries chronologiques des propriétés des eaux de surface, en vue de les relier aux images de la couleur de l'eau provenant des satellites comme Seawifs, ce qui permettra d'illustrer les caractéristiques physiques et biologiques des côtes, dans l'espace et dans le temps, pour la gestion des pêcheries et les études climatologiques. La première série chronologique a débuté en 1997.

²⁴ Le réseau est géré par le SMC et le MPO.

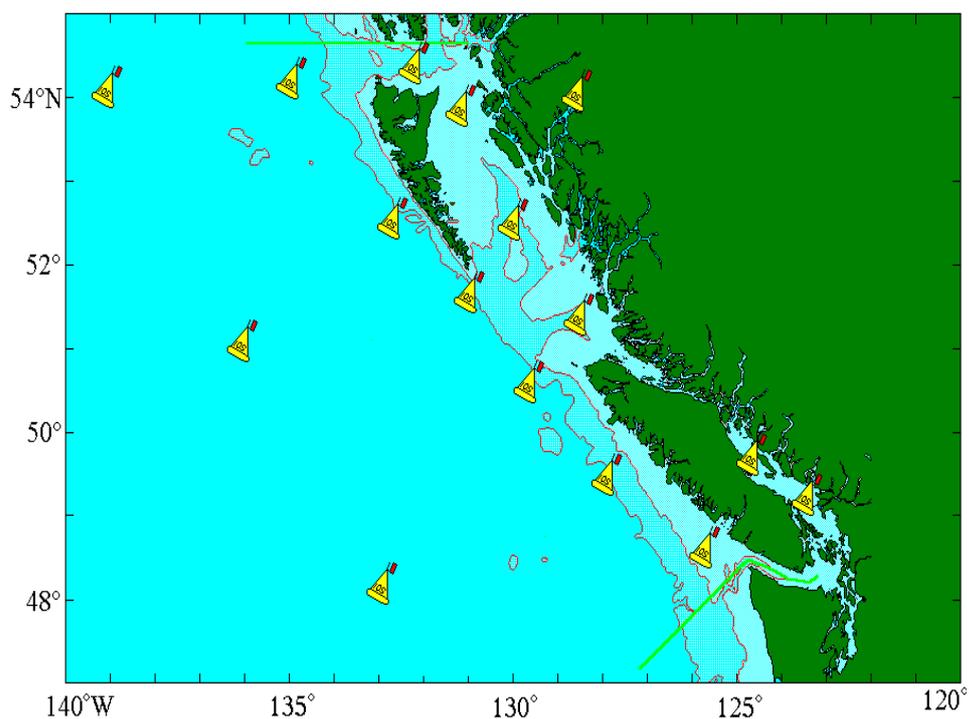


Figure 10. Le réseau des bouées du MPO/SMC captives de la côte ouest du Canada

Le réseau des bouées d'observation de la côte (atlantique) est composé de bouées captives déployées au large de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve, aux emplacements illustrés sur la Figure 11. Ces bouées effectuent des mesures des eaux en surface, recueillent des données sur les vagues et l'océan, et transmettent leurs informations en temps quasi-réel.

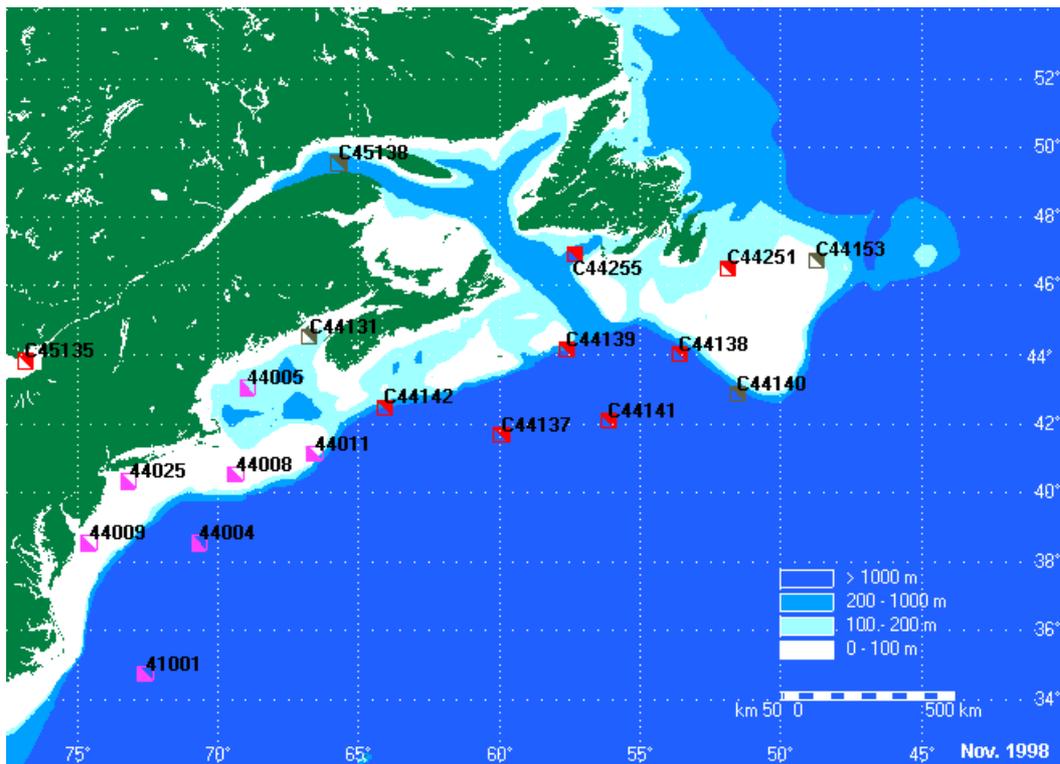


Figure 11. Le réseau des bouées* captives de la côte est du Canada.

(*Nota : L'identification des bouées canadiennes commence par la lettre « C »)

En plus des réseaux côtiers décrits plus haut, des bouées captives sont également présentes dans les eaux intérieures (p. ex. les Grands Lacs), habituellement sur une base saisonnière.

Programme de mesures automatiques en altitude à bord de navires (ASAP)

Le Canada n'utilise plus de navires équipés des systèmes de mesure ASAP, mais il continue de soutenir le programme mondial ASAP en offrant un soutien logistique et une assistance technique aux navires ASAP qui fréquentent les ports canadiens.

3.2 *Autres programmes d'observation de l'océan*

Les variations, d'origine naturelle ou humaine, du milieu marin peuvent avoir de graves conséquences socio-économiques pour les Canadiens vivant dans les régions côtières. Devant le problème représenté par l'évaluation des ressources halieutiques dans un environnement en évolution, le Canada tente d'adopter une approche de gestion plus globale, à l'échelle de l'écosystème. Dans ce contexte, Pêches et Océans Canada (MPO) a entrepris de mettre sur pied un programme systématique intégré d'observation fondé sur la collecte d'échantillons et sur des

mesures de télédétection de diverses variables biologiques, chimiques et physiques in-situ. Ces programmes sont nombreux et la qualité de leur documentation ne cesse de s'améliorer. En voici deux exemples.

Le réseau des stations d'étude de la température et de la salinité des eaux de la côte du Pacifique (ouest) relève de la responsabilité du MPO depuis bientôt cent ans. À l'origine, les données étaient recueillies par les gardiens de phare et leur famille, mais les stations sont graduellement automatisées, à mesure que l'usage des phares est abandonné. L'emplacement des ces stations d'échantillonnage quotidien est illustré à la Figure 12 ci-après.

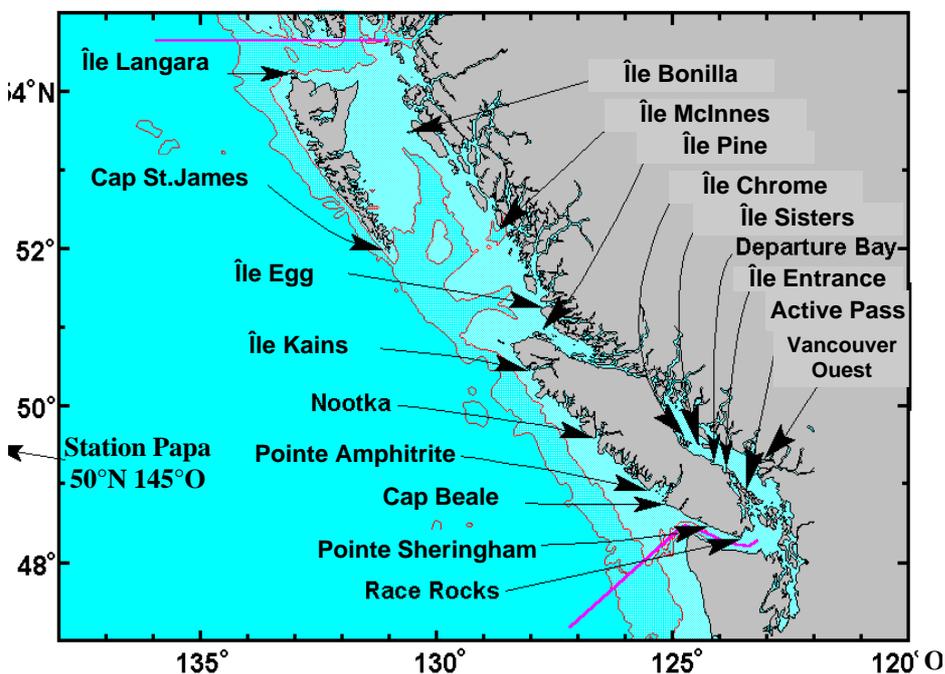


Figure 12. Profils de l'étude des températures et de la salinité – côte ouest.

Sur la côte atlantique (est), le système d'observation actuel est constitué de thermographes disposés le long d'un réseau de surveillance des températures à long terme (STLT) extrêmement utile à l'industrie de l'agriculture et à la pêche au homard. Ce réseau est illustré à la Figure 13.

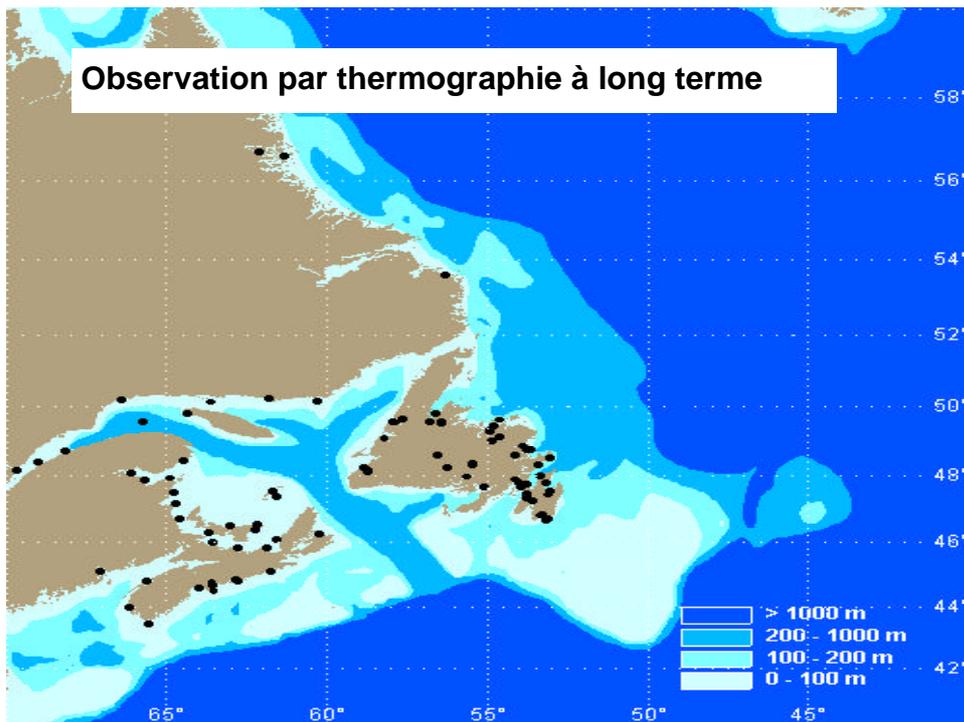


Figure 13. Sites du programme de surveillance des températures à long terme (STLT) du MPO – côte est du Canada

3.3 Gestion et échange des données d'observation de l'océan

Le Service des données sur le milieu marin (SDMM) de Pêches et Océans Canada (MPO) a pour mandat de gérer et d'archiver les données océaniques recueillies par MPO, ou acquises par le biais des programmes nationaux et internationaux menés dans les régions océaniques proches du Canada, ainsi que de diffuser ces données, produits et services auprès de la communauté maritime.

Le SDMM assure le maintien d'un vaste ensemble de bases de données :

- une base de données, mise à jour de façon continue, de tous les relevés de mesure du niveau des marées et des eaux au Canada;
- une base de données, mise à jour de façon continue, de toutes les données relatives aux profils océanographiques physiques et chimiques mesurés dans les laboratoires et les bureaux régionaux de MPO;
- des archives à jour de toutes les données sur les vagues de gravité de surface mesurées par le programme d'Étude du climat des vagues du MPO et provenant d'autres sources dotées de l'instrumentation nécessaire;
- une base de données, mise à jour de façon continue, de toutes les

données océanographiques en temps réel provenant des bouées Bathy, Tesac et dérivantes apparaissant sur le RMT; et

des archives à jour des données environnementales de l'exploitation pétrolière et gazière en haute mer, rassemblées par l'industrie et présentées à l'Office national de l'énergie du Canada.

Le SDMM participe activement aux programmes internationaux d'échange de données et adhère aux programmes internationaux d'archivage et de contrôle de la qualité. Le SDMM peut être joint par Internet à l'adresse suivante :

http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/meds/Home_f.htm

En ce qui concerne l'atmosphère marine, le SMC assume la responsabilité du contrôle de la qualité, de l'archivage et de la transmission des relevés effectués par les navires d'observation bénévole et les bouées captives. Alors que, comme il a été dit plus haut, les relevés des NOB et des bouées captives sont transmises en temps réel sur le RMT et que les Agents météorologiques des ports (AMP) continuent d'encourager les observations de qualité supérieure, les données provenant des journaux de bord des navires ne sont plus intégrées dans les archives nationales numériques. De plus, depuis 1990, les données des NOB canadiens n'ont pas fait l'objet de mesures de contrôle de la qualité, et elles n'ont pas été transmises aux CMD désignés. C'est pourquoi, du point de vue du SMOC, l'archivage des rapports des NOB (et de certains rapports des réseaux de bouées captives) laisse à désirer, puisque plusieurs relevés d'observation et les méta-données correspondantes sont toujours conservés en format papier seulement (p. ex. les journaux de bord des navires).

3.4 Les glaces de mer

Dans une perspective d'observation du climat, les variables importantes quant aux glaces de mer sont la concentration et l'étendue des glaces, leur déplacement et l'épaisseur de la couche. Comme il est montré dans les paragraphes qui suivent, le Canada peut apporter une contribution utile à l'effort global d'observation de ces variables par le biais des activités du Service canadien des glaces (SCG), un organisme du SMC qui assume les principales responsabilités quant à l'observation des glaces de mer et à l'archivage des données au Canada²⁵.

²⁵ Pêches et Océans Canada assure le maintien de programmes de R&D sur les glaces de mer, sur la côte est et dans la mer de Beaufort; ces programmes produisent des données d'observation supplémentaires.

Concentration et étendue des glaces de mer

Les changements dans la concentration et l'étendue des glaces de mer jouent un rôle important à l'égard des flux océan/atmosphère de chaleur et d'humidité, ainsi que sur leur dynamique, un phénomène très important étant donné que les modèles de climat prévoient des changements considérables dans le manteau glaciaire si la quantité de CO₂ devait doubler. Les relevés sur la concentration et l'étendue des glaces sont nécessaires en vue de valider les modèles des glaces de mer et de constater le changement climatique. Les besoins du SMOC en ce domaine sont largement satisfaits par les activités d'observation opérationnelle des satellites à hyperfréquences passives et par les analyses des glaces de mer de l'hémisphère effectuées chaque semaine par le National Ice Centre (NIC) des États-Unis. Cependant, le Service canadien des glaces (SCG) produit chaque semaine à l'intention des transporteurs maritimes²⁶ des cartes combinées contenant des renseignements de qualité en rapport avec l'étendue, la concentration et le type des glaces. Ces produits peuvent servir à la validation des modèles, aux analyses d'impact et à l'observation du climat à l'échelle régionale²⁷, et elles sont transmises sur une base régulière au NIC afin d'être prises en compte dans leurs analyses des glaces de mer de l'hémisphère Nord.

Déplacement des glaces de mer

Les sorties de modèle quant au déplacement des glaces de mer doivent être validées par l'observation de la trajectoire des glaces. Les critères du SMOC dans ce domaine requièrent la mesure de la vitesse de surface deux fois par jour sur les océans englacés. Le Programme international des bouées arctiques (PIBA)²⁸ constitue une source importante d'observations du déplacement des glaces de mer et le Canada participe activement au Programme, le centre des archives pour les données du PIBA²⁹ relevant de la responsabilité du SDMM de MPO. Le déplacement des glaces est également mesuré par sonar à effet Doppler dans la mer de Beaufort; des données chronologiques en continu ont aussi été obtenues, depuis 1980, sur deux sites de la zone du plateau continental. De plus, le SCG a mis sur pied une méthode automatique permettant d'obtenir les vecteurs de déplacement de surface à partir de l'imagerie de satellite (« Tracker ») et cette méthode a été utilisée avec succès³⁰ pour l'estimation du déplacement des glaces de mer sur une grande échelle.

²⁶ Pour les Grands Lacs et la côte est, en hiver, et pour l'archipel arctique et la mer de Beaufort, en été.

²⁷ Ces relevés présentent une résolution spatiale bien supérieure à celle des produits dérivés des SSM/I actuels et les analyses du SCG contiennent des renseignements sur la banquise et les glaces côtières, des données impossibles à obtenir au moyen des satellites DSMP, anciens comme actuels.

²⁸ Avec environ 30 bouées recueillant des données quant à la position et à la pression au-dessus du bassin arctique.

²⁹ La contribution du Canada compte pour 3 bouées et, jusqu'à récemment, le Canada a assumé la présidence du comité exécutif du PIBA.

³⁰ Avec des SSM/I de 85 GHz des données en provenance de RADARSAT.

Épaisseur des glaces de mer

Les relevés de l'épaisseur des glaces sont nécessaires en vue de valider les modèles des glaces de mer et de constater le changement climatique. Les besoins du SMOC dans ce domaine requièrent des relevés hebdomadaires de l'épaisseur des glaces, selon une résolution spatiale de quelque 200 km pour les principales régions englacées du globe. Très peu de données in-situ sont toutefois disponibles quant à l'épaisseur des glaces et l'étude de cette variable n'a pas encore fait l'objet d'un effort concerté. Cependant, certains relevés effectués au moyen de sonars à vision vers le haut (ULS) lors du passage de sous-marins dans l'Arctique ont été publiés récemment, quelques opérations de mesure ont été faites par ULS à partir de bouées captives et des mesures directes isolées ont été prises dans des trous des manteaux arctique et antarctique. Le Canada peut donc offrir une contribution intéressante dans ce domaine. Jusqu'à récemment, le SMC a procédé à des relevés hebdomadaires in-situ de l'épaisseur de la banquise côtière et des hauteurs de neige sur la glace aux stations clés d'observation climatologique dans l'Arctique³¹ ; certaines de ces mesures remontent jusqu'aux années 1940 en continu. Ce programme a été interrompu en 2000, mais du financement a été obtenu afin de ré-établir un réseau qui pourra comporter jusqu'à 10 sites de mesure de l'épaisseur des glaces dans l'Arctique pour l'hiver 2001-2002. L'Institut des sciences de la mer (ISM) de MPO poursuit également un programme de mesure de l'épaisseur des glaces dans la mer de Beaufort³², en utilisant un sonar enregistreur de profils pour mesurer la calaison des glaces ; ces relevés remontent jusqu'à 1990. De plus, des mesures de l'épaisseur des glaces sont effectuées par l'Institut océanographique de Bedford (IOB) de MPO ; on y mesure l'épaisseur des amas de glace saisonniers dans la mer du Labrador au moyen de trous de sonde et de techniques de télédétection aérienne.

3.5 Gestion et échange des données relatives aux glaces de mer

Le Service canadien des glaces maintient un vaste système d'archives en rapport avec les glaces de mer et les renseignements qui s'y rapportent. Les collections de données actives, comme les diagrammes, quotidiens et régionaux, d'analyse des glaces, sont disponibles en ligne sur le site web du SCG (<http://www.ice-glaces.ec.gc.ca/>) Les collections offertes en ligne comprennent aussi une vaste base de données de produits dérivés des données climatologiques en rapport avec les glaces, notamment des cartes des concentrations moyennes des glaces pour les 30 dernières années, avec les types de glace prédominants, et un atlas climatologique des glaces de mer comprenant des cartes sur 30 ans des concentrations moyennes. Les données d'imagerie satellite et aérienne sont conservées sur place. Le CSG transmet régulièrement des données au CMD-A, à Boulder, aux États-Unis.

³¹ Ces sites font aussi partie des réseaux RCS et GSN.

³² Ces activités font partie du projet de mesure de l'épaisseur de la glace dans l'Arctique du PMRC.

4.0 OBSERVATION TERRESTRE

La composante terrestre du système climatique comporte de multiples facettes comprenant les forêts, les zones cultivées, les ressources aquifères de surface et souterraines, les terres humides, les manteaux neigeux, le pergélisol et les glaciers, ainsi que d'autres éléments. Le TOPC a défini une stratégie hiérarchisée des activités d'observation à l'échelle mondiale (GHOST), une tentative de mise en place d'un système d'observation qui assurerait une couverture mondiale complète des données relatives à cette composante très complexe. L'observation systématique des zones terrestres présente un défi particulier pour le Canada en raison de la diversité et de l'immensité du pays, des complexités juridiques inhérentes à notre constitution et du grand nombre des intervenants concernés. En conséquence, un atelier national canadien a été organisé³³ en mars 2000 afin d'examiner la forme que pourrait prendre un système d'observation initial pour les écosystèmes terrestres du pays, et dans le cadre de la stratégie globale du SMOC. Les sections suivantes sont largement fondées sur les résultats de cet atelier ainsi que sur d'autres sources, et se veulent un résumé de l'état actuel des programmes canadiens d'observation terrestre et de leurs améliorations futures.

4.1 La participation au SMOC

Bien que les programmes canadiens d'observation systématique de la composante terrestre ne soient pas tous au même stade de développement, de nombreuses et importantes activités d'observation existent actuellement et des progrès substantiels ont de fait été accomplis en vue de la mise en œuvre de nos contributions nationales à l'égard de la composante terrestre du SMOC. Le Tableau 3 présente un résumé des contributions canadiennes actuelles à l'égard de l'initiative d'observation terrestre du SMOC, et les sections qui le suivent décrivent plus en profondeur les activités canadiennes en ce domaine.

Tableau 3. La participation canadienne aux systèmes mondiaux d'observation terrestre.

	GTN-P	GTN-G	FLUXNET	Autres
Nombre de sites sous la responsabilité de la partie concernée	19 ^a + 75 ^b	11	4	
Nombre de ces sites actuellement en opération	86	9	4	
Nombre fournissant des données aux centres mondiaux de données	19	8	1	
Nombre de sites qui seront en opération en 2005	86	11	7	

³³ Parrainé par le Fonds d'action pour le changement climatique.

--	--	--	--	--

*(Nota : Le réseau GTN-P comporte deux composantes, l'état thermique de la couche active et celle du pergélisol. Les sites d'observation de la couche active, identifiés « a » dans le tableau ci-haut, font partie du réseau de surveillance de la couche active circumpolaire (SCAC), créé en 1991 par la *International Permafrost Association*. La composante d'observation thermique du pergélisol, identifiée « b » dans le tableau ci-haut, est encore en développement et le Canada a choisi certains de ses sites actuels comme candidats potentiels au réseau GTN-P. Certains emplacements effectuent à la fois des observations de types a et b. La Commission géologique du Canada (CGC) travaille actuellement à créer les systèmes de gestion et de présentation des données, ainsi que le site web, en rapport avec la composante du pergélisol. Les données provenant des sites choisis seraient en bout de ligne transmises au *National Snow and Ice Data Centre (NSIDC)* de l'université du Colorado, à Boulder.)

Le réseau mondial de surveillance terrestre du pergélisol (GTN-P)

La dégradation du pergélisol dans le contexte du réchauffement climatique a des conséquences importantes à l'égard de plusieurs éléments du paysage (stabilité du terrain, des pentes et des rivages), de l'hydrologie (régime des eaux de ruissellement et des eaux de surface), du bilan énergétique de la surface et des écosystèmes (structure et composition), ainsi que pour les puits et les sources des gaz à effet de serre. En reconnaissance de ce fait, la création d'un réseau mondial de surveillance terrestre du pergélisol (GTN-P) a reçu l'approbation du SMOC en février 1999. Les paramètres de départ du GTN-P sont l'observation de l'épaisseur de la couche active et de l'état thermal du pergélisol. Le GTN-P s'édifiera à partir des 80 sites actuels du réseau CALM de l'Association internationale du pergélisol (AIP) et de divers programmes nationaux d'observation. Au Canada, 19 sites contribuent déjà au réseau CALM. De plus, le Canada, par le biais de la Commission géologique du Canada (CGC) de son ministère des Ressources naturelles, participe de façon active au comité d'organisation et de mise en œuvre du GTN-P; le Canada s'occupe aussi de l'établissement du centre de gestion des données et du site web en rapport avec la composante de l'observation de l'état thermique (8).

L'observation du pergélisol constitue pour le Canada une importante priorité étant donné que le tiers des régions pergélisolées de l'hémisphère Nord se trouve sur son territoire et que 50 pour cent de sa terre émergée fait partie du pergélisol. Un atelier sur les réseaux d'observation du pergélisol (3), tenu en janvier 2000³⁴, s'est penché sur l'état actuel des activités de surveillance du pergélisol au pays, identifiant quelque 100 sites³⁵ d'activités de surveillance de la couche active et du pergélisol, avec des périodes d'observation allant de quelques années jusqu'à des durées de 20 ans (Figure 14). Soixante-quinze de ces sites ont été proposés pour faire officiellement partie de la composante de surveillance thermique du GNT-P. Ces sites relèvent de plusieurs organismes et établissements et ils ont été maintenus de façon spontanée, sans l'organisation

³⁴ Parrainé par la CGC et le FACC.

³⁵ Les réseaux régionaux actuels sont concentrés dans la région Ouest de l'Arctique et au Québec; des lacunes importantes existent notamment dans la région du Yukon et les territoires du Nunavut.

ou la coordination d'un réseau national officiel d'observation du pergélisol.

Cependant, des démarches ont été entreprises en vue de la création d'un réseau national canadien, qui serait fondé sur les infrastructures des activités d'observation décrites plus haut. La CGC a été choisie pour en assumer la direction, la coordination et la gestion. L'établissement officiel du Réseau canadien d'observation du pergélisol comprendra la création d'une structure des bases de données, des activités de routine de contrôle de la qualité et d'adhésion aux normes, et des méthodologies quant au formatage, au traitement et à l'archivage des données et des méta-données correspondantes. Ces méta-données et ces données d'observation seront archivées au Centre mondial de données A de glaciologie, à Boulder, et constitueront une contribution à la base mondiale des données géo-cryologiques de l'AIP. Un carrefour et un site web seront créés en rapport avec la présentation et l'accessibilité aux données et aux méta-données; ceux-ci formeront le centre canadien de liaison des données relatives au pergélisol avec les autres carrefours d'information sur la cryosphère ou les réseaux comme le GTN-P, le CCIN et le CRYSYS (Système cryosphérique pour la surveillance des changements planétaires au Canada).

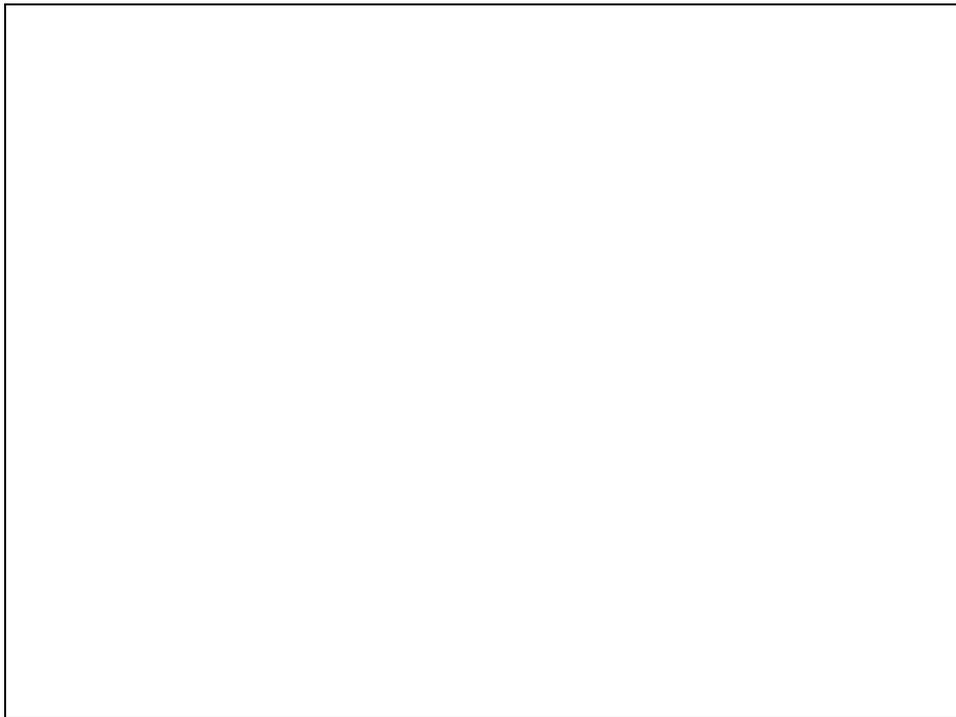


Figure 14. Les sites canadiens actuels de surveillance thermique de la couche active et du pergélisol, faisant partie, ou proposés à ce titre, du Réseau mondial de surveillance terrestre du pergélisol (GTN-P) du SMOC/SGOT. (source : Burgess et al.,(3))

Le Réseau mondial de surveillance terrestre des glaciers (GTN-G)

Les glaciers sont des indicateurs qui présentent un potentiel considérable en rapport avec la détection du changement climatique et c'est pourquoi le *Terrestrial Observation Panel for Climate (TOPC)* du SMOC/SGOT a entrepris la création d'un réseau spécialement consacré à leur observation, le Réseau mondial de surveillance terrestre des glaciers (GTN-G)³⁶. Le Canada possède de vastes étendues de glace, couvrant une grande variété de zones glacio-climatiques; on s'attend donc à ce qu'il apporte une contribution substantielle au réseau GTN-G. Le Canada a accumulé, de façon quelque peu irrégulière, une vaste base de données sur les glaciers comprenant des renseignements sur plus de 50 glaciers et champs de glace pour diverses périodes à partir des années 1940³⁷. Les figures 15 et 16 indiquent les emplacements des glaciers où des activités d'observation ont pris place ou ont lieu actuellement.



Figure 15. Les sites d'observation des glaciers dans l'Arctique canadien.
(M. Demuth, CGC)

³⁶ Le GTN-G prend appui sur les bases constituées par le programme d'observation des glaciers ayant eu cours pendant de nombreuses années sous l'égide du *World Glacier Monitoring Service (WGMS)*.

³⁷ Une fraction importante des ces ensembles de données a été offerte au WGMS.

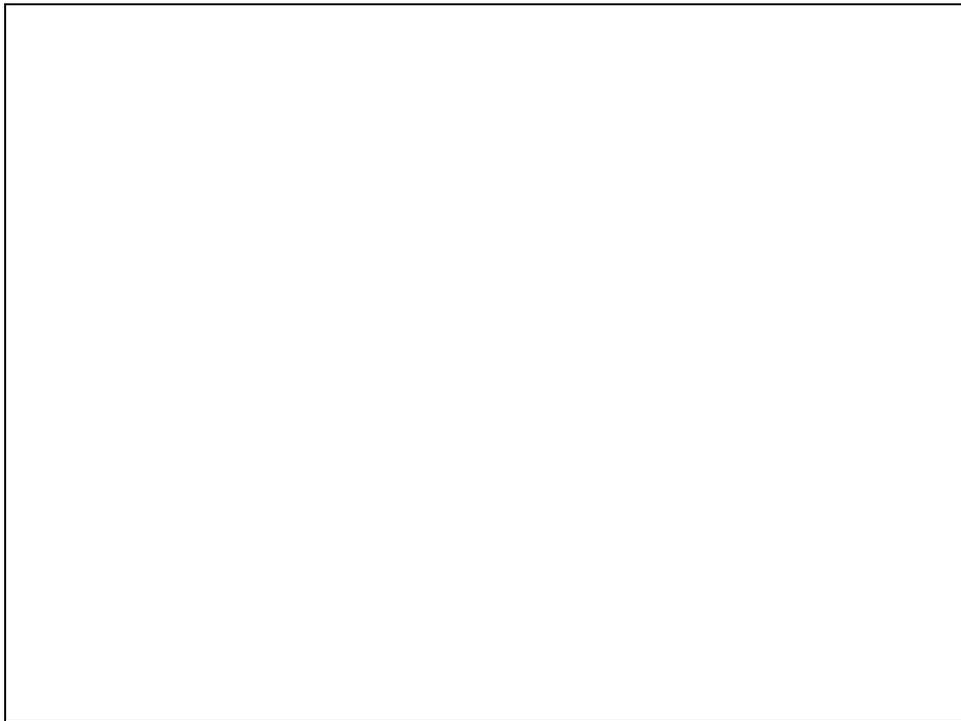


Figure 16. Les sites d'observation des glaciers des montagnes de l'Ouest canadien (M. Demuth, CGC)

Les activités de surveillance des glaciers canadiens se sont toujours réparties selon les régions géographiques naturelles – la Cordillère canadienne et l'Arctique. Bien que les données sur le bilan de masse et le bilan masse-altitude aient répertorié jusqu'à 22 glaciers à la grandeur du pays au milieu des années 1980, l'actuel bilan de masse « officiel » est tombé à 6 glaciers arctiques et 3 sites dans la Cordillère. Le bilan massique des glaciers et des champs de glace des îles de l'Arctique a été bien observé depuis les 30-40 dernières années; il constitue aujourd'hui l'ensemble de données le plus long et le plus constant de l'étude des glaciers polaires au monde³⁸. Nous possédons des données en continu sur plus de 35 ans pour plusieurs sites de la Cordillère, bien que la situation ne soit pas aussi intéressante du côté de la représentation spatiale. Seuls 3 glaciers subsistent d'un ancien réseau beaucoup plus important par le passé (les glaciers Helm et Place, dans le sud de la Chaîne côtière de la Colombie-Britannique; le glacier Peyto, sur les pentes est des montagnes Rocheuses). Le CGVMAN a été créé en 1993 dans le but de faire face à la situation. À cette époque, ce projet conjoint gouvernement-université concentrait ses efforts sur l'étude du bilan massique des trois principaux sites restants de la Cordillère, avec un effort de revitalisation des études portant sur le glacier White (île Axel Heiberg). Plus récemment, plusieurs sites d'observation de la Cordillère

³⁸ Le CGC se livre à des activités de mesure du bilan massique des champs de glace de Meighen, Agassiz, Melville South et Devon; l'université Trent (avec le soutien du CGV/MAN de la CGC) prend des mesures sur les glaciers de White et de Baby (île Axel Heiberg).

(le glacier de Ram River sur les pentes est des montagnes Rocheuses et le glacier Andrei du centre de la chaîne Côtière) ont été ou sont présentement rétablis dans le cadre de l'effort fédéral de revitalisation et d'amélioration de la capacité canadienne en matières d'observation et de science du climat. De plus, l'expertise du gouvernement fédéral en glaciologie a été regroupée dans le « Programme national de glaciologie³⁹ » de la Commission géologique du Canada (CGC) de Ressources naturelles Canada (RNCan). Ce qui fait que le CGVMAN de la CGC couvre maintenant tant les sites d'observation de l'Arctique que de la Cordillère, et que les universités⁴⁰ participantes continuent de contribuer aux objectifs d'observation sur plusieurs de ces sites, tout en poursuivant leurs propres objectifs de recherche et de programmes académiques.

Actuellement, le Canada n'effectue pas d'activités systématiques de collecte des données relatives à la température du névé, bien qu'un certain nombre de sites de trous de sonde existent et ont déjà fait l'objet de telles activités de mesure. Il y a plusieurs sites de l'Arctique (p. ex. les champs de glace des îles Ellesmere, Devon, Axel Heiberg et Baffin) où des mesures de température du névé (entre 10 et 15 m) ont été faites par le passé; ces sites pourraient facilement être remis en service et faire l'objet de nouvelles études à peu de frais. Il est également intéressant de mentionner que le Projet international ICAPP, un programme international dirigé par le Canada, procède à des relevés et à des études du cœur des glaces dans la région de l'Arctique en vue d'établir les époques, le rythme et les causes des changements dans le régime climatique du passé.

Plusieurs programmes de recherche et d'observation, gouvernementaux et universitaires, sont actuellement en cours ou ont pris place par le passé. Une méthode combinant la modélisation et l'analyse du cœur des glaces de surface est utilisée pour reconstituer le bilan glaciaire de l'Extrême-Arctique, et l'amélioration de la résolution des modèles MCG permet aujourd'hui de s'intéresser à l'inclusion des processus glaciels dans les modèles de climat. De plus, plusieurs études portant sur les futures ressources en eau de la Cordillère en relation avec les glaciers et sur les transports d'eau douce dans l'Arctique sont présentement en cours; ces études utilisent les données, récentes et recueillies durant les cent dernières années, sur les variations glaciaires et les modèles hydrologiques/hydrodynamiques en combinaison avec les MCG pour procéder à des études fondées sur les scénarios de modélisation en rapport avec ces questions fondamentales. Ces activités de modélisation représentent un potentiel considérable quant à l'amélioration de notre compréhension des réactions du système glacier-climat et des impacts correspondants; elles devraient aussi permettre de combler les lacunes dans les données actuelles

³⁹ Par le passé, deux ministères (Environnement Canada et Ressources naturelles Canada) assumaient la responsabilité de procéder à l'étude des glaciers dans la Cordillère et les îles de l'Arctique, respectivement.

⁴⁰ Les universités British Columbia, Northern British Columbia, Simon Fraser, de l'Alberta, de Calgary, de Toronto et Wilfrid Laurier.

quant au bilan massique. Le Programme d'étude du cœur des glaces⁴¹ de la CGC est bien établi et il devrait fournir un apport important quant à ces questions puisque l'étude du cœur des divers champs de glace de l'Arctique canadien et celle d'un échantillon pris récemment sur le mont Logan permettront de placer dans une perspective⁴² à long terme les changements climatiques récents, notamment pour les régions de l'Ouest de l'Arctique et du Pacifique Nord.

Pour ce qui est de l'amélioration de la capacité d'observation canadienne, plusieurs programmes de recherche s'intéressant aux relevés de télédétection sont en cours ou ont déjà terminé leurs travaux. Ces études font appel à la fois à des instruments d'observation aérienne et spatiale, y compris des radars à synthèse d'ouverture (SAR) et des radars optiques (LIDAR) pour la détection des changements à court comme à long termes. Notons que le projet RADARSAT-2 de l'Agence spatiale canadienne et les missions ICESat/GLAS de la NASA joueront un rôle important à l'égard de ces études, comme les données des programmes ASTER et GLIMS, qui suscitent présentement un grand intérêt, en particulier en ce qui concerne la mise à jour des données de l'inventaire des glaces terrestres du Canada. Dans ce but, un centre régional de données GLIMS a été créé à l'université de l'Alberta pour les îles de l'Arctique canadien.

Des données standardisées, recueillies sur les glaciers et les champs de glace canadiens, sont offertes, par le biais du Correspondant canadien, au *World Glacier Monitoring Service (WGMS)*, en Suisse, et archivées par l'organisme. Les données provenant des sites arctiques sont aussi offertes au *International Arctic Science Committee (IASC)*, qui dédie ses activités à l'étude des régions circumpolaires⁴³.

Le Réseau mondial de surveillance terrestre du carbone (FLUXNET)

La création d'un Réseau mondial de surveillance terrestre du carbone (FLUXNET), en vue de l'étude des échanges de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau et d'énergie entre les écosystèmes terrestres et l'atmosphère, fait partie des composantes essentielles du SMOC. Ses objectifs sont de fournir les données d'observation nécessaires à la compréhension des mécanismes contrôlant ces échanges pour diverses échelles temporelles et spatiales, en vue de valider les estimations de télédétection de la production primaire nette et autres paramètres. Les paragraphes qui suivent présentent un résumé de l'état actuel des activités canadiennes en rapport avec le développement du réseau

⁴¹ La CGC prévoit poursuivre ce programme.

⁴² Les données dont nous disposons actuellement montrent que les températures récentes dans l'est de l'Arctique sont plus basses de 1° à 2° qu'elles ne l'étaient au début, il y a 10 000 ans, de la période interglaciaire actuelle.

⁴³ Le bureau du Correspondant canadien pour le WGMS et l'IASC fait partie du Programme glaciologique canadien de la CGC.

mondial FLUXNET.

Fluxnet-Canada, l'organisme canadien contribuant au réseau mondial, a pour objectif de produire des données de mesure, en continu et sur plusieurs années, des échanges de CO₂, d'eau et de chaleur sensible (et, dans certains cas, d'autres gaz à effet de serre), pour les peuplements forestiers, mûrs et perturbés, et les tourbières des écorégions du sud du Canada. Dans ce but, il est prévu que des activités combinées de mesure et de modélisation seront entreprises par plusieurs stations⁴⁴ d'observation des flux exploitées par le Canada le long d'un transect national est-ouest, avec des renseignements provenant de stations de mesure des échanges supplémentaires ne faisant pas partie du réseau officiel. Des démarches sont présentement en cours afin de réunir le financement nécessaire pour le fonctionnement de ces stations sur quelques années.

De l'ouest à l'est, les sept stations de recherche proposées pour le réseau Fluxnet-Canada sont ou seraient situées aux endroits suivants :

- A. Conifères côtiers, Colombie-Britannique – cette station possède deux tours de mesure des flux déjà en fonction, toutes deux situées dans un peuplement de sapins de Douglas, l'un d'eux étant mûr, et l'autre ayant récemment été récolté.
- B. Forêt mixte d'épinette blanche, de pin de Murray et de tremble, Alberta – On a procédé à l'achat de l'équipement nécessaire à la mise en place d'un premier ensemble de tours pour cet emplacement.
- C. Forêt boréale de conifères et de feuillus, station de Berms, Saskatchewan – Trois tours y sont actuellement en opération dans des peuplements mûrs de peuplier faux-tremble, de pin gris et d'épinette noire. Deux tours mobiles d'appoint ont été placées dans des brûlis. De plus, une tour a été installée dans un peuplement de pins récemment récolté durant l'été de 2001, et une autre tour a été achetée.
- D. Forêt boréale mixte, Ontario – Un ensemble de tours a été acheté pour ce site en 2000-2001, mais le système n'est pas encore en opération.
- E. Tourbières (PCARS), Ontario et Québec – Une tour « permanente » est en place depuis 1998 et une tour mobile d'appoint a récemment été obtenue.
- F. Forêt boréale d'épinette noire, Québec – Un premier ensemble de tours a été acheté en 2000-2001 pour un site ayant été exploité, mais il n'est pas encore opérationnel.
- G. Sapin baumier, Nouveau-Brunswick – Cette station possède deux tours utilisables dans un milieu de couvert végétal peu élevé.

⁴⁴ Une station de mesure des flux se définit comme une zone possédant au moins deux tours de mesure des flux assez proches l'une de l'autre pour connaître des conditions météorologiques semblables (c.-à-d. < 20 km). L'exigence de base pour une station de Fluxnet-Canada est une tour de mesure des flux située dans un peuplement mûr, alors que la seconde tour se trouve dans un peuplement ayant connu des perturbations.

De plus, les sites suivants sont considérés comme des sites auxiliaires, bien que ne faisant pas partie du réseau Fluxnet-Canada :

1. Forêt boréale d'épinette noire, Manitoba – Cette station auxiliaire est financée et exploitée par des chercheurs américains. Une tour y est en opération depuis 1993 dans une pessière à épinette noire mature et un nouveau projet a récemment débuté en vue d'installer à peu de frais des tours dans cinq peuplements selon une chronoséquence des incendies de forêt.
2. Peuplement latifolié de la forêt tempérée, Ontario – Ce site (Camp Borden) est exploité par Environnement Canada depuis 1995. Il est considéré comme un site auxiliaire puisqu'il n'y a pas de possibilité d'étudier les perturbations de la forêt dans cette zone.
3. Prairie d'herbes courtes, Alberta – Ce site est en opération depuis 1998 et il représente une source précieuse de données car il présente un déficit hydrique plus important que tout autre site de Fluxnet-Canada.

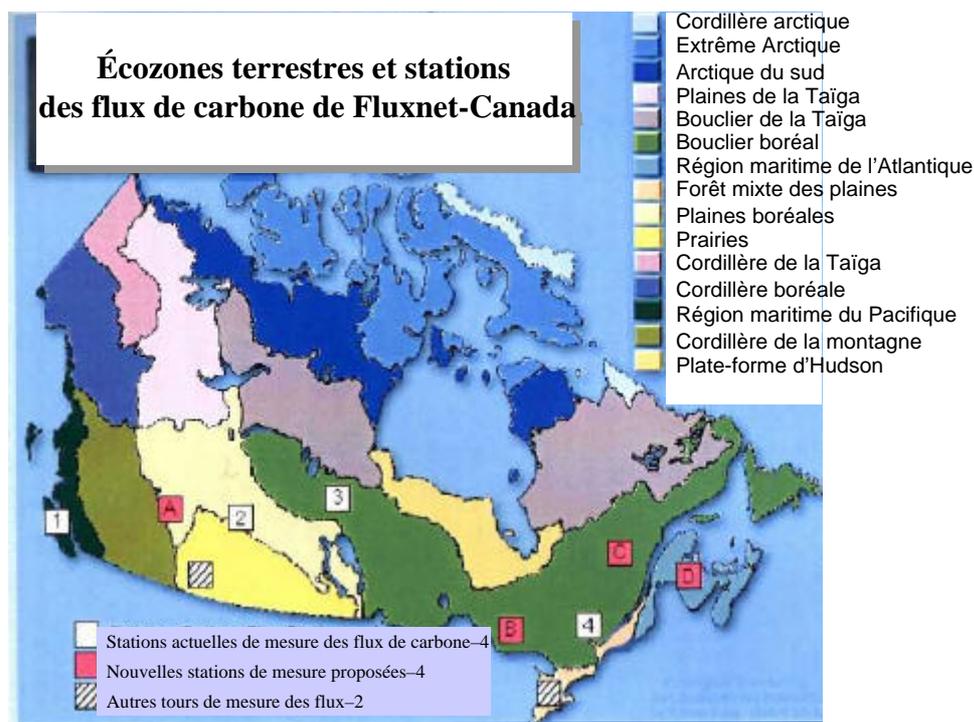


Figure 17. Réseau proposé des stations d'observation des flux de carbone de Fluxnet-Canada, et sites auxiliaires.

Il est important de mentionner que le réseau représenté à la Figure 17 ci-haut est considéré comme représentant le minimum requis en vue d'une tentative de gestion de la question des puits de carbone dans les forêts canadiennes. Il ne s'agit nullement d'un réseau optimal.

On prévoit mettre sur pied un système d'archives pour Fluxnet-Canada, système qui sera relié aux divers centres internationaux de données, y compris FLUXNET. Il est prévu que la communauté internationale aura accès aux données de Fluxnet-Canada, après une période initiale de retenue.

4.2 Autres programmes d'observation

Les sections suivantes présentent un survol des autres programmes d'observation terrestre pertinents présentement en cours au Canada. De récents ateliers de discussion ont mis en lumière un certain nombre de faiblesses dans certains de ces programmes, y compris des lacunes dans la couverture géographique, les besoins d'observation de variables supplémentaires et la nécessité d'élaborer de nouveaux produits de détection par satellite.

La Cryosphère

La cryosphère terrestre comprend non seulement les glaciers et le pergélisol, mais aussi d'autres éléments qui présentent une importance significative pour ce qui est du système mondial de climat. La neige et la glace exercent notamment une importante influence sur le transfert radiatif et les flux turbulents de chaleur et d'humidité entre l'atmosphère et la surface terrestre; de plus, elles modifient les caractéristiques des systèmes hydrologiques. Les réseaux et les programmes d'observation des paramètres de la neige et de la glace sont donc des éléments essentiels de tout système global d'observation du climat.

Superficie du terrain enneigé et hauteur de la couche de neige

En ce qui concerne la superficie du terrain enneigé, les exigences du SMOC portent sur l'étendue totale du manteau neigeux, avec une résolution de 25 km. Bien que ces exigences soient largement atteintes par le programme NESDIS des États-Unis, les données canadiennes d'observation in-situ peuvent servir à obtenir des renseignements supplémentaires quant à l'étendue du manteau neigeux à l'échelle régionale, sa variabilité et son évolution⁴⁵. De la même manière, de semblables activités d'observation de l'équivalent en eau de la neige entreprises par le SMC, à partir des données tous temps des satellites à hyperfréquences, fournissent des relevés hebdomadaires détaillés de l'étendue du manteau neigeux dans les prairies canadiennes, relevés qui sont très utiles quant à la validation des modèles et à l'observation.

La hauteur de neige constitue une importante propriété du manteau neigeux, ayant une influence sur la surface des échanges radiatifs et les transferts de chaleur, et affectant la distribution du gélisol et du pergélisol, ainsi que de l'apport d'humidité. La hauteur de neige a aussi des conséquences importantes sur les plans opérationnel et écologique, et l'étude de cette variable contribue à

⁴⁵ Ces données ont été combinées avec les données historiques américaines en vue de procéder à une reconstruction de l'étendue du manteau neigeux en Amérique du Nord depuis 1915.

un grand nombre d'applications⁴⁶. Les critères du SMOC en ce domaine requièrent des mesures ponctuelles quotidiennes de la hauteur de neige prises aux stations GSN, mais ces exigences sont dépassées par les besoins locaux pour ce type de données. Comme il a été noté plus haut, le Canada possède une base de données substantielle des mesures quotidiennes des hauteurs de neige aux stations synoptiques, mesures qui remontent jusqu'aux années 1950. Au début des années 1980, le programme de mesure quotidienne des hauteurs de neige a été élargi pour inclure les stations climatologiques, quadruplant ainsi le nombre de relevés destinés au système national d'archives. Plus récemment, des jauges automatiques des hauteurs de neige ont été installées sur un nombre croissant de sites.

Équivalent en eau de la neige (EEN)

La connaissance de l'équivalent en eau de la neige (EEN), ou de la quantité d'eau contenue dans le manteau neigeux, est essentielle quant à l'estimation de l'énergie et du cycle de l'eau dans le système climatique, à la validation des simulations du manteau neigeux dans les MCG et à la planification des ressources hydriques et hydrologiques. Les critères formulés par le SMOC en ce domaine comprennent des relevés quotidiens de télédétection à l'échelle mondiale, selon une résolution de 25 km. Toutefois, l'atteinte de cet objectif nécessitera le développement de nouveaux algorithmes et leur validation pour la totalité des types de terrain et de couvert végétal. Une autre exigence porte sur des relevés bihebdomadaires de la ligne d'enneigement, représentatifs de tous les types de terrain et de couvert végétal et effectués à proximité des stations GSN, ce qui nécessitera la création d'un système d'archives des relevés de la ligne d'enneigement.

Le SMC a assumé la coordination d'une compilation sur copie papier des relevés d'enneigement entre 1955 et 1985⁴⁷. Aux niveaux de pointe, dans les années 1980, plus de 1700 relevés de ligne d'enneigement étaient effectués par divers organismes, mais ce nombre a diminué pour atteindre environ 800 au début des années 1990. Après 1985, certains organismes ont continué de transmettre, en format numérique, leurs données de ligne d'enneigement au SMC et, en 1995, le projet CRYSYS de sauvetage des données a été mis sur pied dans le but de numériser et de mettre sur CD-ROM la totalité des données disponibles. Le SMC a également procédé à des observations en temps quasi-réel des EEN dans les prairies canadiennes à partir des données de télédétection à hyperfréquences passives; cette approche a récemment été élargie à la zone voisine de la forêt boréale. Des travaux sont présentement en cours en vue d'appliquer ces méthodes à toute la période visée par les données d'hyperfréquences passives

⁴⁶ Citons, par exemple, le calcul de la surcharge de neige sur les toits, l'estimation de la survie hivernale des cultures, le calcul des risques d'incendies de forêt, la validation des algorithmes de télédétection et des modèles des processus des terres émergées, ainsi que les analyses de la hauteur de neige à l'usage des prévisions météorologiques numériques.

⁴⁷ Observations recueillies par le SMC, les organismes provinciaux de gestion des ressources en eau et les compagnies d'hydro-électricité.

(à partir de 1978) en vue de produire des ensembles de données EEN de points de grille aux fins de validation des modèles et autres applications. Le SMC prévoit créer un réseau national d'observation des lignes d'enneigement et la base de données correspondante en collaboration avec les divers organismes et services publics provinciaux qui exploitent ces réseaux.

Lacs et rivières : dates de la prise des glaces et de la débâcle

Les dates de la prise des glaces et de la débâcle sur les lacs et les rivières sont des indicateurs très utiles quant au changement climatique⁴⁸, puisqu'elles correspondent à la température de l'air lors des changements saisonniers; elles représentent aussi un indicateur écologique important. Les exigences formulées par le SMOC en ce domaine requièrent des relevés quotidiens de l'état des glaces au printemps et en automne, pour certains lacs de grande superficie et quelques centaines de lacs de superficie moyenne disséminés dans les latitudes tempérées et polaires. Le SMOC préconise également qu'un groupe de lacs soit constitué en ensemble de référence en vue d'en évaluer la variabilité à long terme et de mettre au point des méthodes de regroupement des données de télédétection et des données de terrain en rapport avec ce paramètre, ainsi que la création d'un système, national ou régional, d'archives des données sur la prise des glaces et la débâcle.

Le Canada a apporté une contribution significative au SMOC dans ce domaine puisque des relevés de terrain des dates de la prise des glaces et de la débâcle existent pour quelques centaines de lacs et de rivières canadiens, selon des durées diverses, certains sites fournissant des données depuis le début des années 1800⁴⁹. Bien que le réseau d'observation sur le terrain se soit considérablement rétréci depuis les dix dernières années, des mesures ont été entreprises en vue de renverser cette tendance, par exemple le programme RESE d'observation volontaire des glaces (voir à la page 54 pour l'adresse du site web du programme RESE). Les méthodes de télédétection par satellite ont également fait montre d'un excellent potentiel et l'observation des dates de la prise des glaces et de la débâcle pour les grands lacs de l'Arctique se fait déjà pour une bonne part au moyen des données d'hyperfréquences passives. Des données passées peuvent aussi être extraites des données de télédétection recueillies par les satellites depuis 1978. Le Service canadien des glaces (SCG) effectue depuis 1995 des relevés hebdomadaires de l'étendue des glaces sur de petits lacs au moyen des données AVHRR de la NOAA et de l'imagerie RADARSAT afin de répondre aux besoins du Centre météorologique canadien

⁴⁸ Les données relatives aux rivières sont moins intéressantes que les données sur les lacs en tant qu'indicateurs climatiques (Walsh, 1995), car l'effet des débits entrants (et celui de la présence humaine) se font davantage sentir dans les rivières.

⁴⁹ Jusqu'à 1994, les données quant aux dates de la prise des glaces et de la débâcle sont transmises au CMD-A. Elles ont été utilisées lors de la synthèse des tendances en ce domaine dans l'hémisphère Nord récemment faite par Magnuson et al. (*Science*, n° 289, 2000, pp 1743-1746).

(CMC) en données sur les glaces de lac aux fins d'utilisation pour les modèles météorologiques numériques. Le programme a commencé avec 34 lacs et ce nombre a été porté à 118 à la fin de 1998. Les chercheurs canadiens travaillent actuellement à un projet en collaboration avec l'Agence spatiale européenne (ASE) en vue du développement d'une méthode opérationnelle de cartographie des dates de la prise des glaces et de la débâcle pour de vastes régions du Canada en utilisant les données SAR (*ASAR Global Monitoring Mode*) et les données optiques AATSR du satellite ENVISAT.

Gestion et échange des données sur la cryosphère

Plusieurs groupes participent à la collecte et à l'archivage des données sur la cryosphère au Canada. Dans certains cas, le processus de transmission des données au SMOC est en place et opérationnel (p. ex. les cartes de distribution des glaces du SCG transmises au NIC américain sur une base hebdomadaire, et les données du CGC sur le pergélisol et les glaciers fournies au GTN-P et au WGMS). Dans d'autres cas, des compilations des ensembles de données ont été offertes à la communauté internationale (p. ex. le CD-ROM du SMC des données de hauteur de neige et de ligne d'enneigement) et contribuent ainsi aux activités du SMOC. La création et le maintien d'ensembles de données de qualité offerts en ligne représente un objectif partagé par tous les organismes canadiens de collecte des données sur la cryosphère, mais ces activités mobilisent des ressources importantes, notamment en ce qui concerne l'obtention de méta-données numériques précises. Plusieurs initiatives récentes devraient permettre d'améliorer l'accessibilité aux données cryosphériques canadiennes en ligne aux fins de l'observation du climat et autres usages : un réseau canadien d'information sur la cryosphère (CCIN) est en voie de création à l'université de Waterloo et constituera un portail virtuel qui facilitera l'accessibilité et la sensibilisation aux renseignements canadiens sur la cryosphère; le FACC a soutenu financièrement un certain nombre d'opérations de sauvetage de données; et des ressources ont été allouées, dans le cadre du *Plan d'action 2000*, aux fins de soutenir les bases de données nationales sur la neige, le pergélisol et les glaciers.

L'hydrosphère

Lors d'une rencontre des spécialistes du SMOC/SGOT/HWRP, tenue en juin 2000 à Geisenheim, en Allemagne, il a été recommandé qu'un réseau mondial de surveillance terrestre – hydrologie (GTN-H) soit créé afin de répondre aux besoins d'observation des systèmes hydrologiques mondiaux. D'importantes variables hydrologiques ont été déterminées en rapport avec un Système d'observation initial (SOI), comprenant l'étude des débits (écoulement des eaux de surface), l'emmagasinement des eaux de surface, et le transport biogéochimique de la terre vers l'océan, ainsi que plusieurs autres variables mentionnées ailleurs dans le présent rapport. Le Canada participe activement au

développement du concept⁵⁰ du GTN-H et, comme nous le verrons dans les paragraphes qui suivent, il est en mesure de contribuer de façon substantielle au réseau mondial, bien que la composante des eaux souterraines présente quelque difficulté.

L'étude des débits

L'écoulement d'eau douce en provenance des rivières a une influence sur la circulation océanique, sur des échelles de temps inter-annuelles et décennales, et l'analyse des débits issus de bassins fluviaux non perturbés peut également être très utile dans la détection du changement climatique. L'étude des débits représente donc une variable d'observation très importante en vue de la validation des MCG et de la modélisation des impacts climatiques. La Division des relevés hydrologiques du Canada (RHC), qui fait partie du SMC, recueille des données des écoulements fluviaux et des niveaux d'eau sur 2423 stations de mesure hydrologique au Canada, dans le cadre d'ententes officielles de partage des coûts avec les provinces et les territoires. Divers organismes exploitent un nombre additionnel de 347 stations, ce qui en porte le nombre total à 2770⁵¹. Un réseau secondaire du réseau national, le Réseau hydrométrique de référence (RHR), a été sélectionné pour la détection, l'observation et l'évaluation du changement climatique⁵². Le RHR, illustré à la Figure 19, couvre la plupart des grandes régions hydrologiques du Canada, bien qu'il existe des lacunes dans certaines régions du pays et qu'il n'y ait pas de stations du RHR au nord du 70^e degré de latitude.

⁵⁰ Le Canada assume la présidence du comité de coordination du réseau proposé.

⁵¹ Le réseau comprend 719 stations fédérales, 704 stations fédérales/provinciales, 828 stations provinciales/territoriales, 347 stations exploitées par d'autres agences ou organismes, et 172 stations d'autres organismes faisant l'objet de mesures de recouvrement des coûts.

⁵² Les bassins faisant partie du RHR sont caractérisés soit par leur état de stabilité hydrologique ou de non-perturbation, et par 20 ans ou plus de données de bonne qualité sur les débits quotidiens ou les niveaux d'eau.

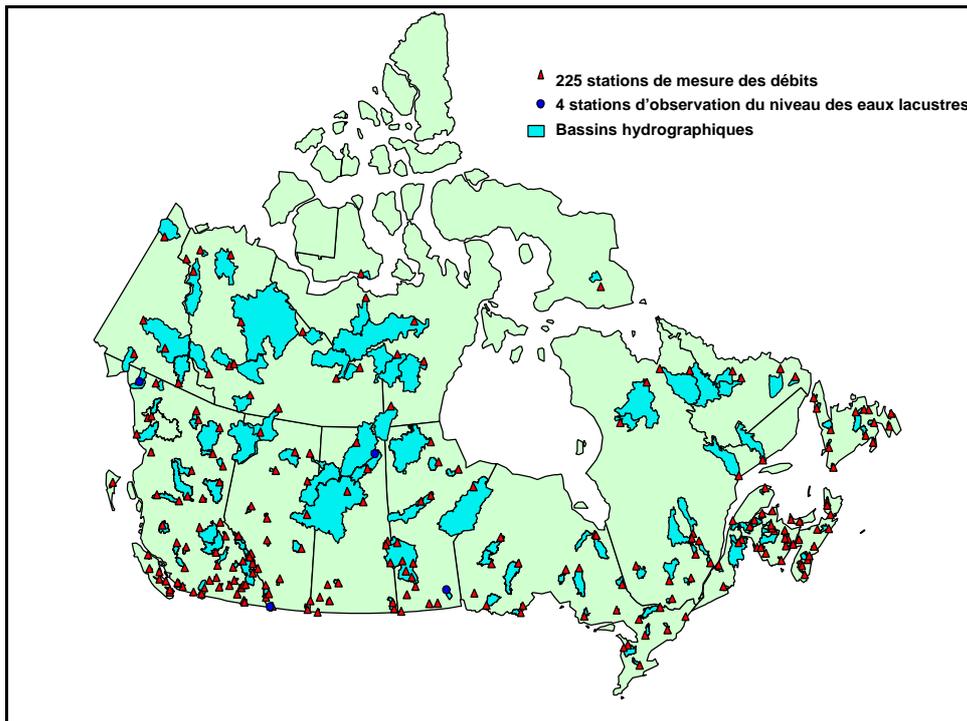


Figure 18. Le Réseau hydrométrique de référence actuel (RHR)

Une étude récente a identifié 243 stations de mesure de l'écoulement fluvial et 6 stations de mesure du niveau des eaux lacustres comme étant essentielles à l'égard de l'observation du climat et, parmi elles, 225 stations de mesure de l'écoulement fluvial et 4 stations de mesure du niveau de l'eau sont encore en opération. Bien que le maintien de ces stations représente un défi continu, étant donné que plusieurs d'entre elles sont financées, en tout ou en partie, par des gouvernements provinciaux, les exigences du SMOC à l'égard de l'observation des débits fluviaux sont susceptibles d'être bien servies par le réseau hydrométrique canadien et, plus particulièrement, par le réseau secondaire RHR.

L'emmagasinement des eaux de surface

Les zones de lacs et de tourbières sont fortement sensibles aux conditions climatiques et elles jouent un rôle critique à l'égard du cycle du carbone. Le Canada possède 24 pour cent des tourbières mondiales, et il est clair que ces régions doivent faire l'objet d'une surveillance. Le Canada jouit également de ressources aquatiques considérables grâce à ses lacs (p. ex. les Grands Lacs, qu'il partage avec les États-Unis, contiennent environ 18 pour cent des réserves mondiales d'eau douce). Le Service hydrographique du Canada, qui fait partie du MPO, recueille des données sur les Grands Lacs et d'autres lacs canadiens de grande superficie; certains de ces relevés remontent jusqu'à 1918. Un certain nombre de lacs plus petits font l'objet de relevés depuis plusieurs années, pour fins de gestion des eaux et de recherche. Le Réseau de surveillance et

d'évaluation écologiques (RESE), présenté plus loin, fait le lien avec plusieurs de ces sites d'observation et de recherche au Canada⁵³.

L'emmagasinement des eaux souterraines

L'épuisement des eaux souterraines est déjà une réalité dans le monde et l'évolution du climat vers des températures plus chaudes et plus sèches favoriserait encore davantage cette diminution. La recherche entrevoit que l'emprisonnement du carbone dans le système hydrologique, notamment dans les réservoirs aquifères peu profonds, peut représenter un mécanisme important à l'égard des échanges de carbone entre les systèmes terrestres et l'atmosphère. Malheureusement, le Canada ne dispose pas d'un programme national coordonné d'observation des eaux souterraines, ce qui fait qu'il n'y a pas, présentement, de base de données pouvant servir à l'évaluation du changement climatique. L'état actuel des réseaux d'observation des eaux souterraines est, de plus, mal connu, bien que nous sachions que d'importants ensembles de données ont été recueillis par des organismes provinciaux. Bref, des efforts considérables devront être accomplis en vue de rassembler les données sur les eaux souterraines canadiennes requises par le projet de GTN-H.

Le transport biogéochimique de la terre vers les océans

Les systèmes océaniques sont les entrepôts mondiaux du carbone et des autres composés biogéochimiques; ils sont alimentés par les stocks apportés des zones continentales. Les mesures de l'écoulement des eaux et l'observation de la qualité de l'eau sont essentielles quant au calcul des échanges entre les terres émergées, l'hydrosphère dulçaquicole et les océans. Le Canada procure actuellement, dans le cadre de sa contribution au système GEMS, des données sur la qualité de l'eau en provenance de 17 stations d'observation. De ces 17 stations, 7 sites servent au calcul des « flux vers les océans ». Les données recueillies sur ces sites comprennent les ions majeurs, les métaux, les nutriments et divers indicateurs. Cette information fait présentement l'objet d'une mise à jour et des démarches ont été entreprises dans le but d'améliorer de façon significative le nombre des stations d'observation.

Gestion et échange des données sur les eaux

Des données sur la quantité des eaux de surface ont été recueillies et archivées au Canada depuis le milieu du siècle dernier⁵⁴. Les données hydrométriques font

⁵³ La région des lacs expérimentaux (ELA) de l'ouest de l'Ontario, les lacs Turkey du sud de l'Ontario, et le lac Kejimikujik de la Nouvelle-Écosse sont des exemples de telles initiatives de recherche qui sont très utiles quant à l'évaluation des impacts du changement climatique sur les écosystèmes et les milieux aquatiques.

⁵⁴ Ces données, dont les premières remontent à 1908, ont été publiées sous divers formats papier. Depuis 1991, la plupart de ces données sont offertes sur CD-Rom.

l'objet d'une collecte systématique en conformité avec les normes nationales. Pour une large part, les données et les méta-données provenant des réseaux d'observation des eaux sont conservées dans des bases de données centrales administrées par le SMC à Downsview, en Ontario. Le système HYDEX est une base de données relationnelles qui contient des méta-données en rapport avec les stations d'observation, notamment sur les emplacements, l'instrumentation et les types de données recueillies. Le système HYDAT est une base de données relationnelles qui contient les données actuelles reconstituées pour les stations comprises dans l'HYDEX, y compris les moyennes quotidiennes et mensuelles des débits, du niveau des eaux et de la concentration des sédiments (pour les sites d'échantillonnage des sédiments). Les records annuels et les extrêmes sont aussi enregistrés et archivés. On peut consulter ces bases de données sur Internet à l'adresse suivante :

http://www.msc-smc.ec.gc.ca/climate/data_archives/water/index_f.cfm

Les données canadiennes sur la qualité de l'eau sont gérées par les bureaux régionaux d'Environnement Canada ou par des organismes provinciaux. Des démarches sont présentement en cours dans le but de relier et d'harmoniser tous ces renseignements.

Bien que d'importants ensembles de données sur les eaux souterraines aient été réunis par les organismes provinciaux, l'accessibilité à ces données constitue un problème. Des efforts considérables devront être fournis pour arriver à une estimation des impacts du changement climatique sur les ressources canadiennes en eaux souterraines.

Les composantes terrestres

Des études récentes⁵⁵⁻⁵⁶ ont identifié une grande variété de programmes périphériques d'observation terrestre au Canada. Toutefois, lorsque ces programmes ont fait l'objet d'une évaluation en fonction des exigences du SMOC, leurs bases de données se sont révélées inadéquates dans leur état actuel, présentant des lacunes dans la zone de couverture, la continuité ou le niveau de détail. Les sections ci-après présentent un bref survol de ces activités d'observation et de collecte des données, qui présentent néanmoins une valeur dans le contexte des activités du SMOC.

Le Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques (RESE)

Le Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques canadien (RESE) a été

⁵⁵ K.B. MACDONALD. *Agricultural, crop, range land and soil data bases for climate monitoring*, Report to CCAF/Natural resources Canada, février 1999, 34 p.

⁵⁶ R. SIMS. *A review of forestry, environmental and aquatic databases for climate monitoring in Canada*, Report to CCAF/Natural resources Canada, R.S. Sims and Associates, février 1999, 102 p.

créé au début des années 1990 pour former un réseau national qui apporterait une compréhension et des explications des changements observés dans les écosystèmes par le biais d'activités d'observation et de recherche multidisciplinaires à long terme. Ce réseau représente un actif à long terme important quant à la gestion des impacts climatiques et du changement climatique dans les écosystèmes canadiens. Aujourd'hui, le RESE dispose de près de 100 sites où des collectifs de recherche procèdent à des études de cas du domaine de l'écologie et ce, dans chacune des 15 écozones du Canada. Le bureau de coordination du RESE, hébergé par Environnement Canada, constitue le pivot central du programme, reliant entre eux le vaste réseau des sites d'observation et des chercheurs, et poursuivant diverses activités comme l'élaboration et la mise en œuvre de normes uniformes quant aux méthodes d'observation, la création d'un ensemble des variables environnementales fondamentales et le développement d'un système national d'alertes précoces en rapport avec le changement environnemental. Des renseignements supplémentaires sur le RESE, ainsi qu'un accès à son bureau de coordination, peuvent être obtenus par Internet, à l'adresse URL de l'organisme :

<http://www.eman-rese.ca/>

Foresterie

Les sources de données sur la foresterie comprennent une gamme bien établie de parcelles étudiées, comme celles du réseau d'étude de la santé des forêts du Service canadien des forêts, des programmes provinciaux d'évaluation de la croissance et du rendement, du programme de la Classification écologique des forêts (CEF), de l'Expérience internationale sur la toundra (ITEX) et des sites du RESE, des projets de recherche conjointe (universitaires et autres) et divers autres. Le projet des indicateurs forestiers de changement global (FIGC), établi en 1998, présente un intérêt particulier. Ce projet comprend 26 parcelles-échantillons boisées disposées le long d'un transect de 1800 km allant du Nord de l'Ontario jusqu'à la baie de Fundy, au Nouveau-Brunswick. Le transect englobe des parcelles du Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides (DNARPA), du Projet canado-américain d'étude du dépérissement de l'érable (NAMP)⁵⁷, ainsi que des parcelles additionnelles choisies en vue de combler les lacunes géographiques du réseau.

Le site web suivant constitue un bon point de départ pour obtenir des renseignements quant aux données et aux réseaux canadiens sur la foresterie :

http://www.NRCan-RNCan.gc.ca/cfs-scf/index_f.html

⁵⁷ Les parcelles DNARPA font l'objet d'une surveillance depuis des périodes pouvant atteindre 15 ans; les parcelles NAMP depuis plus de 10 ans.

Agriculture

Agriculture et Agroalimentaire Canada partage avec d'autres organismes du secteur canadien de l'agriculture une longue histoire de participation active aux programmes mondiaux d'observation du système de climat. Plusieurs des stations climatologiques auxiliaires mentionnées plus haut dans le présent rapport sont hébergées dans des centres de recherche en agriculture et fournissent au Système national d'archives (SNA) des données de grande qualité quant à la température du sol, les paramètres du rayonnement, les bacs d'évaporation de la classe A, le nombre d'heures d'ensoleillement, l'intensité des précipitations et d'autres variables climatiques importantes. Les données d'observation recueillies sur ces sites agricoles remontent souvent plus de 50 ans en arrière. Il est bon de noter que le réseau agricole connaît actuellement une phase d'automatisation progressive, ce qui rendra possible une prise plus fréquente des relevés, et même la collecte des données en temps quasi-réel.

Une vaste gamme de bases de données canadiennes auxiliaires sur l'agriculture existe. Ces données comportent des études détaillées des propriétés physiques et chimiques des sols, ainsi que des relevés de l'emplacement et de l'étendue des diverses activités d'utilisation des terres et des types de végétation. Un point d'accès à plusieurs de ces ensembles de données est le site web du Système d'information sur le sol du Canada (CanSIS) :

<http://sis.agr.gc.ca/siscan/intro.html>

Ce site Internet offre un accès à une gamme de produits et d'ensembles de données, notamment à l'Inventaire des terres du Canada (ITC), Pédopaysages du Canada, des relevés détaillés des sols, des cartes des écozones/écorégions et d'autres renseignements.

Parcs nationaux

Le Canada possède 39 parcs nationaux dont la superficie varie entre 9 et 45 000 km². Ces parcs sont gérés par Parcs Canada, un organisme fédéral dont le mandat est d'en préserver l'intégrité écologique. Cette approche de gestion implique la présence d'une structure de surveillance écologique et suppose une échelle de fonctionnement qui mette l'accent sur les éléments sensibles aux facteurs de stress écologique. Les ensembles de données des parcs nationaux sont toutefois très diversifiés quant à leur âge, leur portée et leur qualité, étant donné que les parcs n'ont pas tous été créés à la même époque et ont eu tendance à privilégier la collecte des données correspondant à leurs besoins particuliers. Les données d'observation (difficilement!) disponibles pour à peu près tous les parcs nationaux comprennent toutefois des inventaires biophysiques, de l'information sur les parcelles-échantillons forestières établies

en permanence, des listes des espèces, de l'abondance des espèces (vertébrés) et des données météorologiques. Le site web de Parcs Canada est à l'adresse suivante :

http://parkscanada.pch.gc.ca/parks/main_f.htm

Toundra

Environ 40 pour cent de la masse continentale du Canada se trouve au nord de la ligne du pergélisol discontinu, et plus de la moitié du biome mondial de la toundra est sur le territoire canadien. Les écosystèmes de la taïga et de la toundra contiennent d'énormes réserves de carbone emprisonnées dans leurs sols organiques et leurs tourbières. Ces systèmes sont donc particulièrement sensibles à l'évolution du climat⁵⁸. Deux réseaux inter-reliés d'observation de la toundra existent présentement au Canada – les réseaux ITEX (*International Tundra Experiment*) et CANTTEX (*Canadian Taiga and Tundra Experiment*). Le réseau ITEX, créé en 1990, est aujourd'hui l'un des programmes de recherche sur le terrain les plus actifs à l'échelle internationale dans le domaine de l'écologie arctique et dans certaines régions alpines. Son objectif est de surveiller la performance des espèces végétales et des communautés dans les habitats circumpolaires non perturbés, avec et sans manipulations environnementales. L'expérience de base porte sur une variation de température où la température moyenne au sol est augmentée de 2 à 3 degrés C afin de simuler les prévisions des MCG de l'évolution du climat au milieu du siècle à venir. Le principal site ITEX du Canada a été établi à Alexandra Fjord, sur l'île d'Ellesmere, en 1992⁵⁹, et quatre sites ITEX existent présentement où des chambres découvertes ont été aménagées; deux sites supplémentaires utilisent des serres en plastique.

CANTTEX est un réseau dispersé de 12 sites et programmes établi en 1999 dans le cadre du RESE-Nord⁶⁰, et il constitue le pendant canadien de l'ITEX. L'objectif général du réseau CANTTEX est d'améliorer notre capacité à déceler et à prévoir sur une grande échelle la réaction au changement climatique des écosystèmes de la taïga et de la toundra, en établissant des partenariats entre les chercheurs et en créant un réseau d'observation utilisant des méthodes et des protocoles communs. Les sites ITEX du Canada font également partie du réseau CANTTEX, mais les autres sites de ce dernier comportent principalement de simples activités d'observation du climat et de la réaction des végétaux aux

⁵⁸ Une recherche menée en Alaska a montré que la toundra côtière humide évoluera probablement d'un état de puits de carbone pour en devenir une source à mesure que le climat se réchauffera; une évolution similaire se produira peut-être pour les sols pergélisolés.

⁵⁹ Les études de l'écosystème pour ce site comprennent la décomposition de la litière du sol, le cycle des nutriments, et la mesure des flux de CO₂ au moyen de vastes chambres permettant d'établir la production nette de l'écosystème (PNE). La recherche sur les flux de carbone a débuté en 1999, et ce site est le seul du Canada où l'on procède à des mesures de la PNE. Toutefois, aucun site ITEX de la toundra canadienne n'est muni d'une tour d'observation des flux de carbone.

⁶⁰ RESE-Nord est un réseau de sites et de chercheurs des territoires nordiques du Canada.

variations climatiques annuelles.

Des renseignements supplémentaires sur les programmes CANTTEX et ITEX peuvent être obtenus sur les sites web suivants :

CANTTEX: <http://www.taiga.net/canttex/> (En anglais seulement)

ITEX:

<http://www.systbot.gu.se/research/itex/itex.html> (En anglais seulement)

Terres humides

Le Canada possède environ 25 pour cent des terres humides mondiales et les tourbières couvrent environ 71 pour cent de la zone canadienne des terres humides. Les terres humides, et les tourbières en particulier, constituent des puits de carbone et on a estimé que les terres humides du Canada contiennent 154 gigatonnes de carbone, soit 56 pour cent de la totalité de carbone organique emprisonné dans les sols. C'est pourquoi il est important d'avoir accès à une base de données fiables qui contienne toutes les caractéristiques des terres humides requises en vue de déterminer les quantités et les concentrations de carbone, de prévoir les flux de carbone et d'évaluer les effets du changement climatique sur cette situation. Des mesures prises sur place dans les terres humides du Canada peuvent être obtenues de diverses sources, y compris les données d'archives du groupe de travail national sur les terres humides (GTNTH), la base de données du CanSIS, les bases de données de divers projets de recherche, les bases de données provinciales/régionales de l'inventaire des tourbières et certaines installations des programmes ITEX et RESE.

Gestion et échange des données

Dans le contexte de la complexité des systèmes terrestres du Canada, la grande variété des besoins d'observation correspondants et le fait que le pays est une fédération, il n'est pas étonnant qu'il existe au Canada une grande variété de systèmes de gestion des données terrestres. Dans la revue qu'il a faite de ces bases de données, Simms a conclu que la gestion de ces données et leur accessibilité ne posent pas, en général, de problème puisque, pour la plupart, elles existent sous forme numérique⁶¹. De même, il a noté que seulement quelques programmes s'efforçaient de fonder leurs données d'observation sur les protocoles internationaux de sélection des sites, de configuration, d'échantillonnage, et d'archivage, et que cette situation risquait de représenter un enjeu majeur quant aux procédures du SMOC. C'est pourquoi, de façon générale, l'accès aux bases de données terrestres doit se faire selon une

⁶¹ Sauf pour certaines des bases de données les plus anciennes, qui n'ont jamais été converties au format numérique.

démarche individuelle en commençant par les sites web des ministères et les ressources énumérées dans le présent rapport.

5.0 PROGRAMMES D'OBSERVATION PAR SATELLITE

Il est prévu que le Système mondial d'observation du climat (SMOC) fasse un usage extensif des données de télédétection recueillies par les satellites et pour la durée de sa phase SOI, cela veut dire que le SMOC doit faire appel à la génération des satellites actuels. Sauf pour ce qui est de RADARSAT, Le Canada n'exploite pas de satellites terrestres, mais le pays dispose néanmoins d'un solide programme de développement et d'application des données et des renseignements de télédétection aux activités d'observation du système climatique. Ces données comprennent de l'information in-situ et sont particulièrement utiles quant à la couverture des vastes régions canadiennes où il est difficile d'obtenir des données. L'amélioration de l'intégration des relevés d'observation de satellite présente un potentiel certain quant à l'amélioration de la couverture en rapport avec de nombreuses variables climatiques significatives.

Plusieurs des priorités énoncées dans le Plan spatial du SMOC sont aussi des priorités du Canada en rapport avec ses activités de PMN et de modélisation du climat⁶². Les scientifiques canadiens de l'atmosphère participent, par exemple, aux missions CLOUDSAT et PICASSO-Cena⁶³, qui s'intéressent toutes deux aux priorités spatiales énoncées par le SMOC. De plus, ils fournissent plusieurs nouveaux capteurs qui contribueront à l'amélioration de la capacité d'observation. Le MOPITT (instrument de mesure de la pollution dans la troposphère) est un instrument de télédétection canadien qui a été lancé à bord du satellite EOS Terra, le 18 décembre 1999, afin de mesurer l'oxyde de carbone et le méthane contenus dans la troposphère. On prévoit que le capteur sera en fonction pour les cinq prochaines années. Des expériences d'assimilation des données seront entreprises à partir de ces observations, à partir du modèle GEM canadien de prévisions numériques, ainsi que d'un modèle de transport chimique et d'un procédé Kalman. Le projet SWIFT (*Stratospheric Wind Interferometer for Transport Studies*) a été sélectionné pour faire partie de la charge utile du satellite japonais GCOM-A1 (lancement en 2007). Le projet SWIFT produira, au moyen d'une raie d'émission thermique, quelque 7000 profils quotidiens des vents horizontaux, de l'ozone et des températures pour des altitudes variant entre 15 et 45 kilomètres. Le projet ORACLE se propose de mesurer la distribution verticale de l'ozone et des aérosols au moyen d'un radar optique spatial LIDAR. Depuis mars 2000,

⁶² Ces activités comprennent les mesures des nuages effectuées par les radars et les lidars dans le but d'améliorer le paramétrage des nuages, les mesures à hyperfréquences de l'humidité du sol et les mesures à distance de la neige au sol, des glaces de lac et de mer et des glaciers.

⁶³ PICASSO-Cena – Pathfinder Instruments for Cloud and Aerosol Spaceborne Observations - Climatologie étendue des nuages et des aérosols.

l'instrument canadien MOPITT, placé à bord de l'engin spatial Terra de la NASA, a procédé à la collecte de données sur le monoxyde de carbone et les concentrations de méthane dans la troposphère.

Les données de télédétection sont devenues un élément essentiel des activités de prévision météorologique numérique. Depuis le 27 septembre 2000, le système opérationnel 3D-VAR du SMC incorpore les relevés aériens automatisés (données ACARS et AMDAR), ainsi que les mesures de luminance énergétique prises par les satellites NOAA-14 TOVS et NOAA-15. Les relevés SATOB pour les vents et les données HUMSAT (des profils hydriques produits localement par GOES-8 et GOES-10) sont aussi inclus. Le développement d'une capacité d'assimilation des données dans le cadre du modèle canadien de l'atmosphère moyenne (CMAM) au moyen du système 3D-VAR se poursuit. Les travaux à venir comprendront l'assimilation des données sur l'ozone et la température obtenues par télédétection. Le système 3D-VAR a été amélioré afin qu'il puisse assimiler les relevés de l'atmosphère moyenne, notamment les données fournies par limbosondeur en hyperfréquence, par l'Expérience d'occultation des halogènes (HALOE), et par Imageur Doppler à haute résolution (IDHR). Ces travaux font la preuve de l'utilité de la combinaison des données in-situ et des données de télédétection avec les modèles aux fins d'améliorer l'efficacité des activités d'observation.

La communauté océanographique canadienne porte un intérêt soutenu aux relevés du niveau de la mer obtenus par l'altimétrie de précision, SST, AVHRR et autres capteurs sur satellite, données de tension des vents de surface obtenues par diffusiométrie et relevés de la couleur des océans obtenus par satellite. L'application des relevés de RADARSAT aux priorités du SMOC quant à l'étendue, à la concentration et à l'épaisseur des glaces de mer constitue une contribution du Canada à la composante océanique du SMOC, avec l'interprétation sélective des données, leur traitement et les activités de vérification au sol. L'imagerie SAR de RADARSAT est la principale source de données utilisée par le Service canadien des glaces pour l'observation des glaces de mer, les sources complémentaires étant les données ERS SAR, SSM/I et OLS des satellites américains DMPS et AVHRR de la NOAA. Les produits en temps quasi-réel issus de l'observation des glaces constituent aussi des données de base qui serviront aux activités futures d'observation climatologique de haute résolution du régime des glaces de mer. L'analyse de la variabilité et des tendances de la couverture des glaces de mer dans les eaux canadiennes est effectuée par satellite au moyen du détecteur à hyperfréquences SSM/I, puis comparée avec l'évolution observée des grandes variables climatiques, soit la température, les vents et la circulation atmosphérique. Ces tendances et ces changements sont alors comparés avec les projections de l'évolution du climat obtenues du Modèle de circulation générale canadien. Un rétrécissement évident de la couverture des glaces de mer a été observé dans l'ouest de l'Arctique canadien et dans la baie d'Hudson,

mais les analyses les plus récentes font état d'un rétrécissement léger ou inexistant de cette même couverture dans l'est de l'Arctique et la côte est du Canada. Cette situation est cohérente avec les tendances observées des températures au Canada.

En ce qui concerne la composante terrestre du système climatique, les réseaux et les programmes d'observation mentionnés plus haut utilisent des méthodes terrestres de collecte des données sur le terrain, méthodes qui comportent naturellement de nombreuses lacunes, notamment dans le Nord et les autres régions éloignées du pays. Pour les fins du SMOC, la télédétection procure des moyens d'améliorer notre connaissance de la situation hydrologique, du climat et des écosystèmes; la télédétection permet aussi de faciliter les opérations périodiques d'évaluation de l'état des systèmes terrestres du pays, notamment la situation des lacs et des terres humides. L'observation à partir de satellites de la cryosphère (neige, glaces de mer, glaces de lac, glaciers et champs de glace, gélisol et pergélisol) représente une contribution importante à l'égard du SMOC et le Canada dispose d'un solide programme de recherche et développement, qui a élaboré des produits qui contribuent à l'initiative SMOC canadienne et complètent les données in-situ.

Le système CRYSYS est un organe de recherche interdisciplinaire faisant partie du Système d'observation de la Terre (EOS) de la NASA. Hébergé et financé par des universités et des organismes canadiens, et dirigé par le Service météorologique du Canada, CRYSYS offre un soutien aux activités de recherche sur le développement et la validation des approches de télédétection en rapport avec l'observation de plusieurs composantes de la cryosphère – équivalent en eau de la neige (EEN), gélisol, glaces de lac (étendue et dates de prise et de débâcle), glaces de mer et glaciers. Pour illustrer les réalisations significatives obtenues au moyen des activités de télédétection, nous pouvons citer : l'application des données de RADARSAT-1 et de SSM/I à l'étude de la rupture, de la disparition et de la re-formation subséquente de poches de glace vieilles de dizaines d'années, dans les îles de l'Arctique canadien durant l'été particulièrement chaud de 1998; l'utilisation de RADARSAT-1 pour la détection de l'apparition et de l'étendue des mares de fonte; l'application des données SAR à l'observation des dates de la prise des glaces et de la débâcle dans les lacs sub-arctiques, ainsi que des processus correspondants; l'étude de l'influence du temps de passage des capteurs sur le calcul de l'équivalent en eau de la neige à partir des données de SSM/I; l'examen de la capacité d'observer la neige humide au moyen de RADARSAT-1; les possibilités et les limites de RADARSAT-1 quant à l'observation du bilan massique des glaciers; et l'application des données, in-situ et de télédétection, sur le manteau neigeux à la reconstitution des variations de l'étendue du manteau neigeux de l'hémisphère Nord. Des détails supplémentaires sur les projets de recherche du système CRYSYS et des exemples des produits disponibles peuvent être obtenus sur le site web de l'organisme :

<http://www.crysys.uwaterloo.ca>

Le Canada a joué un rôle de leader dans le développement des produits de télédétection appliqués à l'observation de la cryosphère, et en conformité avec les critères d'observation du SMOC. La recherche sur le développement des algorithmes s'est poursuivie en faisant appel aux données de télédétection d'hyperfréquences passives de SSM/I en vue de la mesure de l'équivalent en eau de la neige (EEN), de l'étendue et de l'état (sec/humide) du manteau neigeux pour diverses régions du paysage canadien (p. ex. les prairies, la forêt boréale, la toundra). Le développement des algorithmes s'est concentré sur les sites canadiens suivants : les îles de l'Arctique, la toundra québécoise, le bassin de la rivière Mackenzie (contribution au programme GEWEX), le sud de l'Ontario et la forêt boréale de l'Ouest canadien. Walker et Goodison⁶⁴ ont préparé un résumé des réalisations canadiennes et des défis représentés par la détermination de l'EEN au moyen des hyperfréquences passives. Des cartes hebdomadaires des EEN pour la région des prairies canadiennes ont été obtenues au moyen des données SSM/I chaque hiver depuis 1989. Des améliorations récemment apportées à ces produits comprennent l'incorporation de nouveaux algorithmes pour la forêt boréale (à partir de l'hiver 1999-2000) et pour les « déviations par rapport aux EEN normaux » basées sur une moyenne calculée sur dix ans des conditions EEN et obtenue à partir des données SSM/I. La variabilité spatiale et temporelle du manteau neigeux des prairies a fait l'objet d'une recherche faite au moyen de l'analyse des composantes principales des données d'imagerie EEN obtenues par le SSM/I, en vue d'en identifier les caractéristiques récurrentes dominantes et d'établir les possibilités d'une relation avec la circulation atmosphérique.

Outre l'observation des glaces de mer, le SCG utilise RADARSAT pour la surveillance hebdomadaire, en saison, de plus de 120 lacs intérieurs canadiens en vue de vérifier l'étendue totale de la couche de glace. Ces données sont transmises au CMC, du SMC, pour incorporation dans le calcul du bilan thermique aux fins du programme national de modélisation des prévisions météorologiques; ces données fournissent aussi indirectement les dates de la prise des glaces et de la débâcle et elles sont versées aux archives des données d'observation de l'évolution du climat. Des cartes de la limite du névé obtenues à partir de l'imagerie SAR ont été utilisées pour les calculs du bilan massique des glaciers et l'hydrologie. Ces travaux illustrent l'efficacité de l'imagerie par radar à synthèse d'ouverture (SAR) utilisée par ERS-1 et RADARSAT quant à la cartographie du déplacement de la limite des neiges persistantes dans une zone de glacier tempéré, démontrant l'utilité de cette méthode pour l'étude de l'hydrologie des glaciers alpins. Le Canada a également mis sur pied un Centre de cartographie par télédétection des glaces continentales (GLIMS) et utilise un

⁶⁴ WALKET, A.E. et B.E. GOODISON. *Challenges in Determining Snow Water Equivalent Over Canada using Microwave Radiometry*. Compte-rendu du International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2000), Honolulu, Hawaii, 24-28 juillet 2000, pp. 1551-1554.

radiomètre ASTER, Landsat et les données SAR de RADARSAT pour observer les glaciers canadiens dans l'Extrême-Arctique et la Cordillère de l'Ouest.

En 1999, le projet CRYSYS a mis sur pied un site web (http://www.socc.uwaterloo.ca/index_intro_f.cfm) sur l'État de la cryosphère canadienne (SOCC) dans le but de diffuser des renseignements à jour sur l'état actuel de la cryosphère au Canada, y compris des données documentées sur la variabilité, l'évolution, les anomalies et les prévisions relatives à cette variable. L'imagerie satellite et ses produits dérivés constituent la base documentaire de l'état actuel des paramètres de la cryosphère, notamment : l'étendue du manteau neigeux, les équivalents régionaux en eau de la neige, l'étendue des glaces de mer dans l'Arctique et le mouvement quotidien (présenté en animation) des glaces de mer des régions canadiennes. Les contributions canadiennes aux activités d'observation de la cryosphère du SMOC sont décrites dans le Rapport sur la cryosphère du Comité SMOC canadien.

Stimulées par des programmes de recherche comme L'Étude de l'atmosphère et des écosystèmes boréaux (BOREAS⁶⁵) et le projet NBIOME⁶⁶, l'efficacité des détecteurs de satellite à produire des ensembles de données en rapport avec d'autres variables terrestres et en vue de l'étude du climat au Canada s'est considérablement accrue durant les années 1990. Le Plan spatial reflète d'ailleurs les initiatives canadiennes quant à l'étude de l'évolution du climat dans un contexte d'observation de l'environnement et de la planète. Ces activités, et d'autres qui leur sont reliées, ont amené la création d'ensembles de données sur les principales variables climatiques; ces données de recherche ont été publiées auprès de la communauté scientifique et elles y ont été soumises à un examen attentif. Bien que des progrès rapides aient été accomplis quant à la représentation, pour des années déterminées, de plusieurs variables environnementales importantes (couverture terrestre, distribution de la surface foliaire, production primaire nette, zones sensibles aux feux de forêt) pour la masse continentale canadienne, les processus de développement des algorithmes, de validation des produits et de fusion des données avec les mesures à la surface sont encore relativement peu avancés.

Actuellement, les détecteurs et les satellites qui conviennent le mieux à l'estimation des flux et des échanges de carbone sont ceux des radiomètres AVHRR de la NOAA et les détecteurs de végétation SPOT⁶⁷. Au Canada, il est probable que les relevés de télédétection viennent à être considérés en fonction d'un plan d'échantillonnage hiérarchique (ou emboîté) et que les relevés

⁶⁵ SELLERS, P.J. *et al.* « BOREAS in 1997 : experiment overview, scientific results, and future directions » *Journal of Geophysical Research*, n°102 (D24), 1997, 28731-28769.

⁶⁶ CIHLAR, J. *et al.* Northern Biosphere Observation and Modelling Experiment (NBIOME), Progress Report, juillet 1995, 34p.

⁶⁷ Dans l'avenir, on s'attend à ce que le système de détection MODIS, qui fait partie du Système d'observation de la Terre (EOS), devienne l'une des principales sources de données destinées aux ensembles de données terrestres mondiales et continentales.

d'imagerie de haute résolution obtenus de Landsat et des autres satellites du même genre, de Radarsat et autres systèmes semblables (VCL, hyperspectral) s'intégreront dans cette structure hiérarchique d'observation. Le système GeoComp-n est celui qui convient à ce type de données⁶⁸ et il représente actuellement la prochaine génération de systèmes de géocodage et de composition d'images mis au point au Centre canadien de télédétection (CCT). Les développements futurs du système GeoComp-n porteront sur une classification automatique du couvert forestier à la fin de la saison de croissance et sur le calcul en temps quasi-réel de la production primaire nette (avec un accès aux données météorologiques quotidiennes). L'allocation de ressources en vue du développement de nouveaux capteurs, comme le VEGETATION, et le spectromètre MODIS (36 bandes, avec une résolution entre 250 m et 1 km) récemment mis en service, représente une importante priorité. Les questions relatives aux problèmes de mise à l'échelle et aux relevés à résolution multiple en rapport avec les images de résolution moins précise se dirigent présentement vers l'élaboration de trois produits d'information : 1) un masque des éléments hydrographiques, 2) l'évolution des forêts, et 3) la biomasse forestière. La détection et l'attribution causale des changements que subissent les forêts sont un domaine de recherche continue. Des résultats intéressants ont été obtenus dans certaines zones de recherche au Nouveau-Brunswick et en Alberta grâce aux données de Landsat. Le projet EOSD (*Earth Observations for Sustainable Development*) du SCF vise à obtenir des produits comparables offrant une résolution supérieure. Ce projet en est à ses débuts mais il devrait déboucher sur des avancées importantes quant aux estimations faisant appel à de multiples échelles de mesure.

Tous ces besoins nécessiteront un effort soutenu afin de développer et de valider les méthodes de télédétection pour les diverses conditions au sol typiques et significatives pour le Canada; il faudra aussi affiner nos méthodes de combinaison et de mise en relation des données provenant des divers capteurs de télédétection, et trouver des moyens de procéder à l'intégration des données recueillies sur le terrain, des modèles physiques et des relevés de télédétection afin de combler les lacunes géographiques et temporelles des paramètres significatifs. À long terme, tous ces efforts auront pour conséquence de favoriser l'élaboration de nouvelles formes de données de télédétection qui ouvriront de nouvelles possibilités aux activités canadiennes de recherche et développement et contribueront à faire avancer le SMOC tout en servant les intérêts nationaux.

⁶⁸ Le système GeoComp-n procède au géocodage des bandes d'images AVHRR au moyen d'information orbitale et de données à référence spatiale; le système convertit les données numériques en indice de rayonnement au moyen des coefficients de calibration des capteurs, et en facteur de réflectance en utilisant les algorithmes de correction atmosphérique du code 6S et un nouveau schéma d'interpolation temporelle. Pour ce qui est de la masse continentale canadienne (selon les données AVHRR de la NOAA), les trois principaux produits obtenus de GeoComp-n sont : 1) des images composites quotidiennes, 2) des images composites à portée optique non limitée (cloud-free) sur 10 jours; et 3) des températures de radiance spectrale.

6.0 CONCLUSION

En résumé, Le Canada a accompli des progrès significatifs dans le cadre de sa participation aux défis représentés par l'établissement du SMOC, en dépit de restrictions budgétaires constantes et de réductions dans les programmes gouvernementaux. L'élaboration d'un plan SMOC national a contribué à orienter et à cibler nos efforts en vue de remplir nos obligations sur la scène mondiale tout en permettant d'apporter des réponses aux besoins locaux dans le domaine de l'observation du système climatique. Plus encore, l'impact concret de ce plan national a été fortement intensifié par la décision du gouvernement d'allouer des ressources ciblées au Fonds d'action pour le changement climatique. Ces ressources ont non seulement favorisé les activités de planification du comité SMOC canadien, mais elles ont aussi accéléré la mise en œuvre d'importantes initiatives d'observation, comme il a été montré dans le présent rapport. En outre, les ressources financières obtenues dans le cadre du Plan d'action 2000 du gouvernement fédéral contribuent à combler les lacunes existant dans les données et à améliorer les réseaux nationaux d'observation.

Sur le plan du fonctionnement, la mise en place des composantes canadiennes du SMOC se fait généralement en parallèle avec le développement et le perfectionnement du programme mondial. Les activités relatives à la composante de l'atmosphère se déroulent de façon satisfaisante : les stations GUAN du Canada sont établies et en opération, la portion locale du réseau GSN est presque terminée, et le Canada remplit ses obligations à l'égard du programme VAG. La composante océanique a reçu du Canada des contributions substantielles, notamment à l'égard du programme ARGO et des améliorations prévues au réseau national d'observation du niveau de la mer (réseau des marégraphes), ainsi qu'au chapitre du soutien apporté aux programmes PNO, NOB et PIBA, du maintien d'importants réseaux de bouées captives, et des diverses initiatives en relation avec les glaces de mer.

En ce qui concerne la composante terrestre du SMOC, toutefois, la situation est plus incertaine. D'une part, le Canada apporte une contribution importante au SMOC quant à l'observation du pergélisol et de la couche active et à la surveillance du bilan massique des glaciers dans le cadre des réseaux GTN-P et GTN-G. La diffusion des relevés canadiens sur l'épaisseur du manteau neigeux et les profils de neige, ainsi que des données hebdomadaires⁶⁹ sur la banquise côtière, représente aussi une contribution significative aux activités de la communauté internationale. De plus, plusieurs stations canadiennes FLUXNET ont été sélectionnées pour faire partie du Réseau hydrométrique de référence, qui offre une base solide devant permettre de répondre aux besoins toujours en évolution du SMOC quant à l'observation hydrologique. Par contre, bien que de

⁶⁹ Utilisées dans le cadre du *Sea Ice Model Intercomparison Project*

nombreux autres ensembles de données terrestres existent, la plus grande partie des réseaux d'observation dans ce domaine ne sont pas suffisamment développés pour satisfaire aux critères du SMOC et des efforts ciblés devront être mis en œuvre dans ce domaine pour les années à venir.

À l'exception de RADARSAT, les efforts du Canada dans le domaine de la télédétection se portent principalement sur l'utilisation de ces données dans le contexte canadien et la poursuite des activités de recherche et développement correspondantes. En ce qui concerne le SMOC, les travaux canadiens du domaine de l'étude par télédétection de plusieurs paramètres importants de la cryosphère (équivalent en eau de la neige, dates de la prise des glaces et de la débâcle, et autres) présentent cependant un intérêt qui s'étend aux applications d'observation aux échelles hémisphérique et planétaire. De plus, les relevés de RADARSAT peuvent contribuer directement à l'importante étude de l'étendue des glaces de mer en rapport avec le système climatique. Pour ce qui est de l'évaluation des impacts climatiques et du paramétrage des mesures in-situ à l'échelle nationale, les données obtenues des satellites étrangers font l'objet d'une utilisation extensive dans les milieux de la recherche.

Références bibliographiques

- 1. *The Case for Canadian Contributions to the Global Climate Observing System (GCOS)*.** En anglais seulement. (Les raisons motivant la participation canadienne au Système mondial d'observation du climat (SMOC). **Rapport présenté au Conseil du programme climatologique canadien et au Conseil du programme canadien des changements à l'échelle de globe.** Préparé par le Groupe *ad hoc* de travail canadien, 5 mai 1995, 148 p.
- 2. *A Plan For Canadian Participation In The Global Climate Observing System (GCOS)*.** En anglais seulement. (Plan canadien de participation au Système mondial d'observation du climat (SMOC). Préparé par l'Institut canadien d'études sur le climat, 130 Saunders Annex, Université de Victoria, B.P. 1700, succ. CSC, Victoria, C.-B., V8W 2Y2 pour la Direction de la recherche climatologique du Service météorologique du Canada, 4905 rue Dufferin, Downsview, On. M5H 5T4.
- 3. *Permafrost and Glaciers/Icecaps Monitoring Networks Workshop, January 28-29, 2000: Report on the Permafrost Sessions*.** En anglais seulement. (Atelier des réseaux d'observation du pergélisol et des glaciers/champs de glace, 28-29 janvier 2000 : rapport sur le pergélisol) Préparé par MM. Burgess, D.W. Riseborough et S. L. Smith, Commission géologique du Canada, 601 rue Booth, Ottawa, On K1A 0B8. Dossier public D4017 (CD-Rom).
- 4. *Canadian Glacier/Ice Cap-Climate Observing System: Current Status and Future Perspectives Towards Contributing to the Global Terrestrial Network-Glacier (GTN-G) of the Global Climate Observing System (GCOS)*.** En anglais seulement. (Le Système canadien d'observation climatologique des glaciers et des champs de glace : situation actuelle et perspectives d'avenir en rapport avec la participation au Réseau mondial de surveillance terrestre des glaciers (GTN-G) du Système mondial d'observation du climat (SMOC)). **Rapport sommaire de l'Atelier Glacier/Ice Cap Working Group Joint Glacier/Ice Cap - Permafrost Monitoring Networks, Ottawa, Canada, janvier 2000.** Préparé par Michael N. Demuth et Roy M. Koerner, Programme canadien de glaciologie, Commission géologique du Canada, 601 rue Booth, Ottawa, ON K1A 0E8.
- 5. *CCOS-Terre Development: Needs, Initial Observing System, and Implementation Strategy*.** En anglais seulement. (Observation terrestre : besoins, système d'observation initial et stratégie de mise en œuvre). Rapport de l'atelier tenu en mars 2000, à Ottawa, par J. Cihlar et D. McKenney (éditeurs). Parrainé par le Fonds d'action pour le changement climatique, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Environnement Canada et Ressources naturelles Canada.
- 6. *Program and Working Group Recommendations, Canadian GCOS Network Definition Workshop #2, Snow - Freshwater Ice - Sea Ice*.** En anglais seulement. (Recommandations du groupe de travail, atelier no. 2, définition d'un réseau SMOC canadien : neige, eau douce, glaces de mer). Rapport non publié de l'atelier tenu en octobre 2000, à Toronto, préparé par R. Brown, C. Duguay, B. Goodison, H. Melling, D. O'Neill, B. Ramsay and A. Walker, Service météorologique du Canada, 4905 rue Dufferin, Downsview, ON M3H 5T4, 35 p.
- 7. *The Requirements for Supplementary Climate Observing Networks*.** En anglais seulement. (L'utilité des réseaux complémentaires d'observation du climat). Rapport présenté à Environnement Canada (SMC) par la firme Donmec Consulting Inc. dans le cadre du contrat numéro KM054-9-6939 (avril 2000), 73 p.
- 8. *The Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P)*.** En anglais seulement. (Le

Réseau mondial de surveillance terrestre du pergélisol (GTN-P). **Rapport d'étape présenté à la rencontre du comité exécutif de l'IPA, Rome, 25 mars 2001.** Burgess, M.M., S.L. Smith, J. Brown, and V. Romanovsky, Commission géologique du Canada. Rapport non publié, 8 p. et annexes

Liste des sigles et acronymes

AAC	Agriculture et Agroalimentaire Canada (ministère)
ACARS	Réseau de communications VHF numériques air-sol
AMDAR	Retransmission des données météorologiques d'aéronefs
AMP	Agents météorologiques des ports
AOPC	GCOS Atmospheric Observation Panel for Climate
ASAP	Programme de mesure automatique en altitude à bord de navires
ASCG	Archives du Service canadien des glaces
ASE	Agence spatiale européenne
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BAPMoN	Réseau de stations de surveillance de la pollution atmosphérique de fond
BERMS	Boreal Ecosystem research and Monitoring Sites Project
BOREAS	Étude de l'atmosphère et des écosystèmes boréaux
BSRN	Réseau de référence pour les mesures du rayonnement en surface
CANSiS	Système d'information sur le sol du Canada
CCIN	Canadian Cryospheric Information Network
CCT	Centre canadien de télédétection
CEF	Classification écologique des forêts
CGC	Commission géologique du Canada
CGVMAN	Canadian Glacier Variations Monitoring and Assessment Network
CIUS	Conseil international des unions scientifiques
CMAM	Modèle canadien de l'atmosphère moyenne
CMD	Centre mondial de données
CNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique
COI	Commission océanographique intergouvernementale (UNESCO)
CRYSYS	Système cryosphérique pour la surveillance des changements planétaires au Canada
DMSP	Programme de satellites météorologiques pour la Défense
DNARPA	Dispositif national d'alerte rapide pour les pluies acides
EC	Environnement Canada (ministère)

EEN	Équivalent en eau de la neige
EOS	Système d'observation de la Terre
EOSD	Earth Observations for Sustainable Development
FACC	Fonds d'action pour le changement climatique
FIGC	Indicateurs forestiers de changement global
FLUXNET	Réseau mondial de surveillance terrestre – carbone
GCOM	Global Change Observation Mission
GEM	Modèle global de l'environnement
GEMS	Système mondial de surveillance continue de l'environnement
GHOST	Global Hierarchical Observation Strategy
GIEC	Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat
GLAS	Geo-science Laser Altimeter System
GLASS	Global Land Atmosphere System Study
GLIMS	Global Land Ice Mapping from Space
GO ₃ OS	Global Ozone Observing System
GOES	Satellite opérationnel géostationnaire de l'environnement
GOSSP	Global Observing System Space Panel
GPS	Système de positionnement global
GSN	Réseau d'observation au sol du SMOC
GTN-G	Réseau mondial de surveillance terrestre – glaciers
GTN-H	Réseau mondial de surveillance terrestre – hydrologie
GTN-P	Réseau mondial de surveillance terrestre – pergélisol
GTNTH	Groupe de travail national sur les terres humides
GUAN	Réseau d'observation aérologique du SMOC
GVD	Global View Database
HALOE	Expérience d'occultation des halogènes
HUMSAT	Profils d'humidité obtenus par télédétection (GOES)
HWRP	Programme relatif à l'hydrologie et aux ressources en eau (OMM)
HYDAT	Banque nationale de données sur les eaux de surface
HYDEX	Banque nationale de méta-données hydrométriques
IASC	International Arctic Science Committee
ICESat	Ice, Clouds and Land Elevation Satellite
IDHR	Imageur Doppler à haute résolution

IGOS	Integrated Global Observing Strategy
IOB	Institut océanographique de Bedford
IPA	Association internationale du pergélisol
IPS	Sonar enregistreur de profils
ITC	Inventaire des terres du Canada
ITEX	Expérience internationale sur la toundra
LANDSAT	Satellite d'observation terrestre
LIDAR	Light detection and Ranging (radar optique)
LTTM	Programme de surveillance des températures à long terme
MCG	Modèle de circulation générale
MDN	Ministère de la Défense nationale
MLS	Limboondeur en hyperfréquence
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOPITT	Instrument de mesure de la pollution de la troposphère
MPO	Pêches et Océans Canada (ministère)
MRC	Modèle régional de climat
NAMP	Projet canado-américain d'étude du dépérissement de l'érable
NAOB	Navires automatisés d'observation bénévole
NBIOME	Northern Biosphere Observation and Modelling Experiment
NDSC	Réseau pour la détection de changements stratosphériques
NESDIS	National Environmental Satellite Data Information Service
NIC	National Ice Center (États-Unis)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (États-Unis)
NOB	Navire d'observation bénévole
NSIDC	National Snow and Ice Data Centre (États-Unis)
OLS	Système à balayage linéaire (Operational Linescan System)
OMM	Organisation météorologique mondiale
OOPC	Groupe observant l'océan pour le climat (SMOC/SMOO/PMRC)
ORACLE	Ozone Research with Advanced Cooperative Lidar Experiment
PIBA	Programme international des bouées arctiques
PICASSO_Cena	Climatologie étendue des nuages et des aérosols (Pathfinder Instruments for Cloud and Aerosol Spaceborne Observations)
PIGB	Programme international concernant la géosphère et la biosphère

PMN	Prévision météorologique numérique
PMRC	Programme mondial de recherches sur le climat
PNO	Programme des navires occasionnels
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PPN	Production primaire nette
RCEPA	Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air
RCS	Stations climatologiques de référence
RESE	Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques
RHC	Division des relevés hydrologiques du Canada
RHR	Réseau hydrométrique de référence
RMT	Réseau mondial des télécommunications (OMM)
RNCan	Ressources naturelles Canada (ministère)
SAR	Radar à synthèse d'ouverture
SATOB	Relevés de télédétection des vents déduits des nuages
SCAC	Réseau de surveillance de la couche active circumpolaire
SCF	Service canadien des forêts
SCG	Service canadien des glaces
SDMM	Service des données sur le milieu marin
SGOT	Système global d'observation terrestre
SMC	Service météorologique du Canada
SMOC	Système mondial d'observation du climat
SMOO	Système mondial d'observation de l'océan
SNA	Système national d'archives
SOCC	État de la cryosphère canadienne
SOI	Système d'observation initial (SMOC)
SPOT	Système pour l'observation de la Terre (satellite)
SSM/I	Capteur d'hyperfréquences spécialisé / imageur
SST	Température de surface des océans
SWIFT	Stratospheric Wind Interferometer for Transport Studies
TOPC	GCOS/GTOS Terrestrial Observation Panel for Climate
ULS	Sonar à vision vers le haut
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

VAG	Veille de l'atmosphère du globe
VAR-3D	Variable tridimensionnelle
VCL	Satellite Lidar d'observation du couvert végétal
VEGETATION	Détecteur du satellite SPOT
VMM	Veille météorologique mondiale
VOSClm	Projet climatologique NOB
WGMS	World Glacier Monitoring Service
XBT	Bathythermographe non récupérable

ANNEXES

Personnes ressources et sites Internet

1. ATMOSPHERE

Service météorologique du Canada

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

Archives climatologiques nationales

URL : http://www.msc-smc.ec.gc.ca/climate/index_f.cfm

Courriel : climate.services@ec.gc.ca

Centre mondial des données sur l'ozone et les UV

URL : http://www.msc-smc.ec.gc.ca/woudc/index_f.html

2. OCÉANS

Service des données sur le milieu marin (SDMM)

URL : http://www.meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca/meds/Home_f.htm

Courriel : services@meds-sdmm.dfo-mpo.gc.ca

Service canadien des glaces (SGC)

URL : <http://ice-glaces.ec.gc.ca/>

3. TERRESTRE

Pergélisol

URL : http://sts.gsc.nrcan.gc.ca/gtnp/index_fr.html

Courriel : mburgess@nrcan.gc.ca
ssmith@nrcan.gc.ca

Glaciers

URL : http://sts.gsc.nrcan.gc.ca/clf.home_fr.asp

Courriel : mdemuth@nrcan.gc.ca

CRYSYS (nota : ce site contient des renseignements et des liens sur toutes les composantes de la cryosphère)

URL : <http://www.crysys.uwaterloo.ca/>

Réseau d'évaluation et de surveillance écologiques (RESE)

URL : <http://www.eman-rese.ca/>

Courriel : Hague.Vaughan@ec.gc.ca

Agriculture et Agroalimentaire Canada

URL : <http://www.agr.ca>

URL (CanSIS) <http://sis.agr.gc.ca/siscan/intro.html>

Service canadien des forêts (SCF)

URL : http://www.nrcan-rncan.gc.ca/cfs-scf/index_f.html

Ressources naturelles Canada

URL : http://www.nrcan-rncan.gc.ca/index_f.html

Tableaux supplémentaires

Observations atmosphériques

Tableau S1. Les systèmes d'observation atmosphérique au sol (relevés météorologiques au sol)

SYSTÈMES	PARAMÈTRES DU CLIMAT	NB TOTAL DE STATIONS	SUSCEPTIBLES DE CONTRIBUER À DÉCRIRE LES CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT NATIONAL?			SÉRIES CHRONOLOGIQUES			EFFICACITÉ DES MESURES DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ			MÉTA-DONNÉES DISPONIBLES	CONTINUITÉ
			En totalité	En partie	Nb.	30 - 50y	50 -100y	> 100y	En totalité	En partie	Nb.		
Stations adéquates quant aux objectifs nationaux d'observation du climat	Température	2145	x			842 (997)	330 (419)	44 (65)	x			2147	N/D
	Précipitations	2145	x			973 (1200)	360 (469)	49 (75)	x			2147	N/D
	Chutes de neige	1557	x			759 (933)	316 (388)	45 (61)		x		1557	N/D
	Hauteur de neige	1557	x			759 (933)	316 (388)	45 (61)		x		1557	N/D
	Rayonnement RF1	43	x			23 (24)	0	0	x			43	N/D
	Ensoleillement	220		x		96 (112)	1	0		x		220	N/D
	Bacs d'évap. (classe A)	47		x		21	0	0		x		47	N/D
	Intensité des pluies	436		x		155 (178)	2	0		x		436	N/D
Stations des réseaux Internationaux	Norme de base du réseau synoptique régional	207				Temp : 172 Préc. :160	Temp : 119 Préc. :107	Temp : 11 Préc. :5	*			207	207
Stations membres du réseau CLIMAT	Norme du Réseau mondial d'observation systématique du climat au sol	72 (GSN)				Temp : 69 Préc. :66	Temp : 56 Préc. :53	Temp : 7 Préc. :3	*			72 (GSN)	92
Stations climatologiques de référence	Température	290				Temp : 265 Préc. :256	Temp : 214 Préc. :198	Temp : 47 Préc. :34	*			290	300
	Précipitations	290							*			290	300

Notas: Les nombres entre parenthèses représentent le nombre de stations actives pour lesquelles des données historiques sont disponibles dans un rayon de 2 km.. N/D veut dire « non disponible »

Tableau S3. Les systèmes d'observation des constituants atmosphériques

CONSTITUANT	NB. TOTAL de STATIONS ou PLATES-FORMES	SUSCEPTIBLES DE CONTRIBUER À DÉCRIRE			SÉRIES CHRONOLOGIQUES				EFFICACITÉ DES MESURES DE			MÉTA- DONNÉES	CONTINUITÉ
		LES CARACTÉRISTIQUES DU CLIMAT NATIONAL			Nb. Stations/Plates-formes (qté. données numérisées)				CONTRÔLE DE LA QUALITÉ			DISPONIBLES	Nb. prévu
		En totalité	En partie	Nb.	10 -20y	20 - 30y	30 - 50y	> 50y	En totali té	En partie	Nb.	Nb. total de stations (% numérisation)	En opération en 2005
Dioxyde de carbone	4			x	4				x			4	4
Ozone (au sol)	7			x	1				x			7	7
Ozone (colonne)	12				1		5					Oui, toutes*	11
Ozone(profil)	6						5					Oui, toutes**	5
Vapeur d'eau atmosphérique													
Autres gaz à effet de serre	4			x	4				x			4	4
Aérosols	11			x	11				x			11	11
Autre													

* Données de la station +
images

** Rubriques des fichiers pour chaque sonde

Tableau S4. Les systèmes d'observation océanographiques*

Composante du système	Nb. total de Stations	Susceptible de contribuer à décrire les caractéristiques du climat national/régional? (cocher une case)			Séries chronologiques Nb. stations/plates-formes (qté. données numérisées)			Efficacité des mesures de contrôle de la qualité? (cocher une case)			Méta-données disponibles Nb. total de stations (% numérisation)	Continuité Nb. prévu en opération en 2005
		En totalité	En partie	Non	30-50y	50-100y	>100y	En totalité	En partie	Non		
Niveau de la mer p. ex. marégraphes	936		X		69	71	10			84		

Nota : Le tableau ci-haut reflète les renseignements disponibles au moment de la rédaction.