

1. Introduction



CRYSYS (pour **CRY**ospheric **SY**stem in Canada) est un programme de recherche scientifique interdisciplinaire dirigé par le Canada dans le cadre du Earth Observation System program (OES) de la NASA. Les objectifs principaux de CRYSYS sont le développement des capacités permettant de surveiller et de comprendre les fluctuations régionales et à grande échelle des variables d'importance en ce qui concerne la cryosphère au Canada (glaces marines, couvert nival, glaces d'eau douce, glaciers et calottes glaciaires, sols gelés et pergélisol) et l'amélioration des connaissances relatives au rôle de la cryosphère dans le système climatique. Le programme CRYSYS encourage également la création, le maintien et l'analyse de jeux de données historiques, opérationnelles et de recherche dans le but d'appuyer la surveillance climatique et la validation de modèles.

CRYSYS est un programme de recherche concerté auquel participent plus de 30 chercheurs provenant de 14 universités, 6 groupes de recherche du gouvernement fédéral ainsi que du secteur privé. La **figure 1** illustre l'étendue géographique actuelle du réseau CRYSYS. Ce programme est parrainé et financé par le Service météorologique du Canada depuis 1993. L'Agence spatiale canadienne (ASC) occupe une place de choix au sein de depuis qu'elle est devenue un partenaire financier du programme CRYSYS en 2000. Le but de l'ASC est de développer, démontrer et valider sur une base opérationnelle l'usage de données d'observation de la Terre acquises depuis l'espace afin de générer des produits pour l'analyse et la surveillance de la cryosphère. Il sera alors possible d'établir des prédictions environnementales, de mieux comprendre les écosystèmes et les interactions entre les changements climatiques et la cryosphère au Canada et dans le monde. Pour se faire il faut des données de différents capteurs satellitaires, capables de fournir une étendue de résolutions temporelles et spatiales et comprend les nouvelles capacités SAR et l'utilisation des satellites RADARSAT-1 et 2 pour la science et les opérations cryosphériques.

Le programme CRYSYS développe et renforce les partenariats scientifiques entre les départements gouvernementaux, l'Agence spatiale canadienne et les universités et assure le maintien du leadership, des compétences et de la visibilité des scientifiques canadiens et des agences dans le développement d'applications de systèmes spatiaux pour étudier la cryosphère et les effets des changements climatiques sur cette dernière. Ce projet et son vaste réseau de scientifiques permettront à l'Agence spatiale canadienne et au secteur technologique de tisser des liens avec les missions internationales où le Canada pourrait apporter une grande contribution aux composantes spatiales et scientifiques. Le résultat de ce projet assurera un flot d'information rapide et constant sur les composantes cryosphériques qui permettront une meilleure

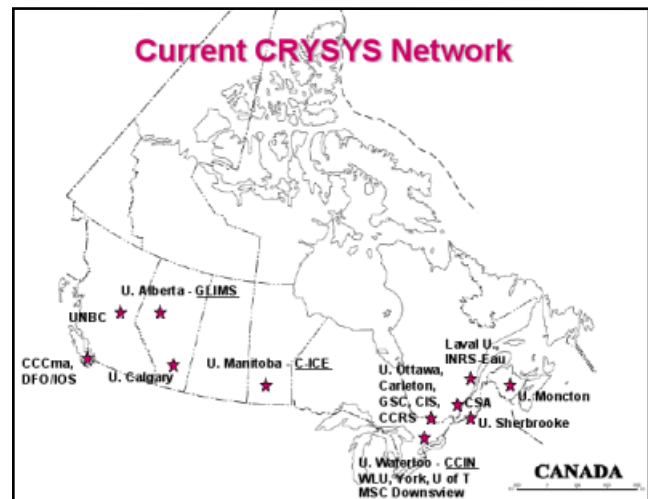


Figure 1 : Répartition géographique des équipes du programme CRYSYS et de ses partenaires.

planification nationale et régionale, et qui faciliteront la prise de décision en ce qui a trait aux prédictions environnementales et à la gestion des catastrophes.

Ce mini cédérom a pour but de présenter sommairement les principales activités de recherche menées par les équipes de CRYSYS et de fournir un bref aperçu des informations relatives à la cryosphère qui sont fournies par l'entremise des initiatives « l'État de la cryosphère au Canada » et « le Réseau canadien d'information sur la cryosphère (CCIN) » du programme CRYSYS.



2. Importance de la cryosphère au Canada



Définition de la cryosphère

Le terme « cryosphère » est issu du grec « kryos » qui signifie « gel ». La cryosphère est définie comme étant la portion du système climatique qui englobe l'ensemble des surfaces enneigées et englacées. Cela inclut les inlandsis, les calottes glaciaires et les glaciers, la glace marine, le couvert nival saisonnier ou permanent, la glace lacustre et fluviale ainsi que les sols gelés et le pergélisol.

La cryosphère joue un rôle important dans le système climatique par le biais des liens et des rétroactions qu'elle entretient sur les flux d'humidité et d'énergie de surface, les nuages, les précipitations, l'hydrologie et la circulation atmosphérique et océanique (**Figure 2**). Grâce à ces processus de rétroaction, la cryosphère exerce une grande influence sur le système climatique et les modèles climatiques réalisés en réponse aux changements qui surviennent à l'échelle planétaire.

L'albedo des surfaces enneigées et englacées constitue l'un des mécanismes de rétroaction les plus importants de la relation entre la cryosphère et le système climatique. Les surfaces enneigées et englacées réfléchissent davantage la lumière (entre 70 et 90 %) que les autres surfaces naturelles (entre 15 et 20 %). Ainsi, les changements qui surviennent dans les régions enneigées ou englacées de la planète contribuent à l'accroissement du bilan énergétique de la Terre. Par exemple, lorsque la superficie des surfaces enneigées ou englacées diminue suite au réchauffement initial, la Terre absorbe davantage de rayonnements solaires, ce qui occasionne une hausse des températures (et vice versa). Ce mécanisme de rétroaction explique les importantes variations saisonnières des étendues de neige et de glaces marines dans l'hémisphère Nord (**Figure 3**).

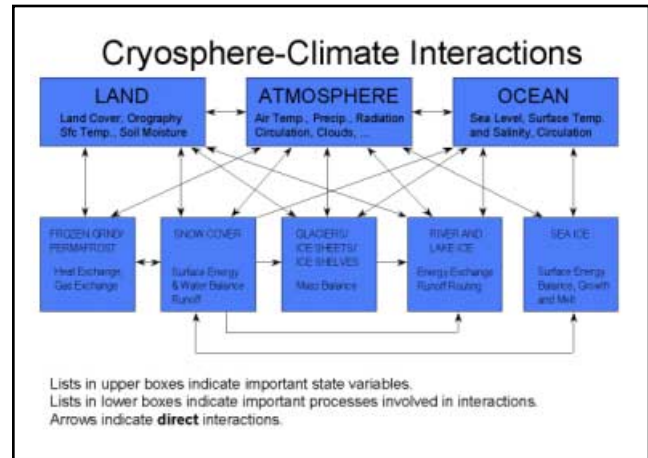


Figure 2: Schéma des interactions majeures entre la cryosphère et les principales composantes du système climatique mondial. **Source :** G. Flato, plan scientifique du Earth Observation System (EOS), 1999.

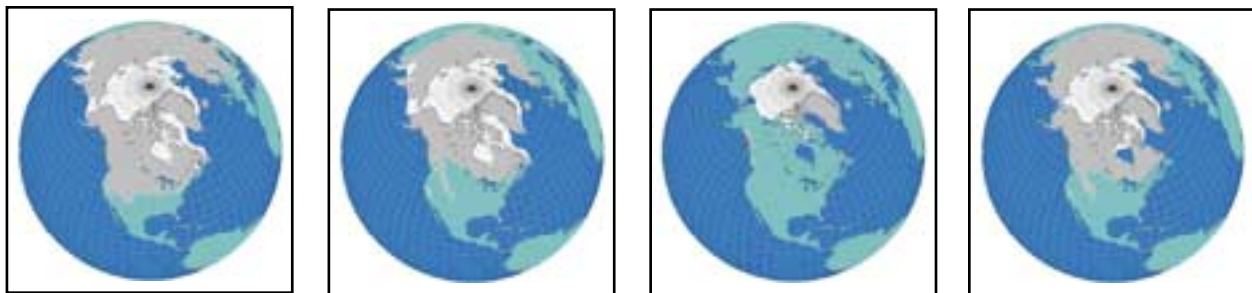


Figure 3: Variations moyennes mensuelles de l'étendue des surfaces enneigées (gris) et des glaces marines (blanc) dans l'hémisphère Nord pour la période allant de 1978 à 1995. L'animation couvre la période allant de janvier à décembre et est dérivée de l'ensemble de données en format EASE-Grid portant sur l'étendue hebdomadaire du couvert nival et des glaces marines de l'hémisphère Nord compilées par le National Snow and Ice Data Center. **Source :** R. Brown, SMC/PCRC



2. Importance de la cryosphère au Canada



La cryosphère au Canada

Au Canada, la cryosphère constitue l'une des composantes les plus importantes de l'environnement physique et biologique. La plupart des régions du Canada sont enneigées pendant au moins trois mois durant l'hiver (**Figure 4**). La quasi-totalité des eaux navigables canadiennes (à l'exception de celles de la côte Ouest) sont recouvertes de glace pendant un certain temps au cours de l'hiver (**Figure 5**). Plus de la moitié du territoire du pays est constitué de pergélisol continu ou discontinu (**Figure 6**) et la majeure partie de la masse continentale canadienne subit des périodes de gel. C'est au Canada qu'on trouve la plus importante superficie recouverte de glaces terrestres permanentes de l'hémisphère Nord, à l'exception du Groenland.

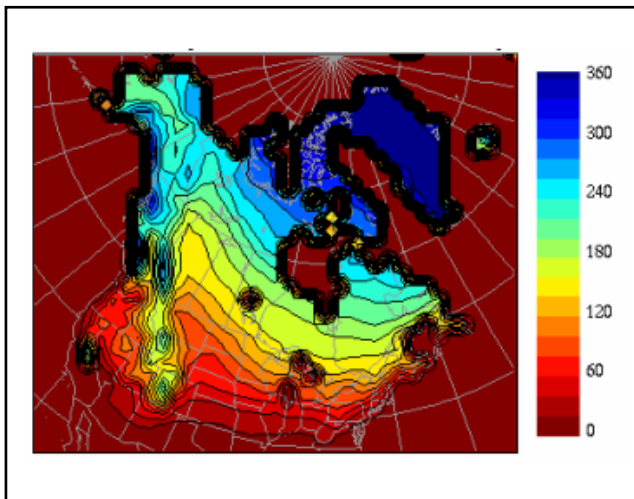


Figure 4: Durée annuelle moyenne d'enneigement (en jours) pour la période allant de 1972 à 1994. Image traitée par ordinateur à partir de cartes satellites détaillant l'étendue hebdomadaire du couvert nival. **Source :** R. Brown, SMC/PCRC (données fournies par D. Robinson, Université Rutgers).

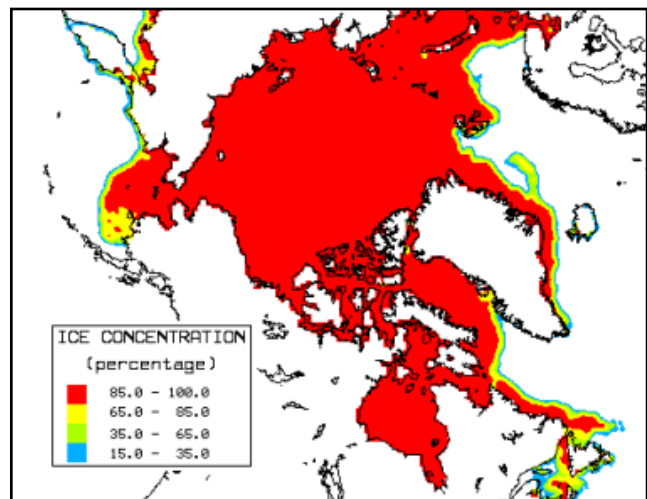


Figure 5: Concentrations moyennes des glaces marines pour le mois de mars (mois où l'étendue des glaces marines est à son maximum). Valeurs dérivées des données satellitaires captées en hyperfréquences passives pour la période allant de 1979 à 1996. **Source :** T. Agnew, SMC/PCRC.



2. Importance de la cryosphère au Canada



La cryosphère au Canada

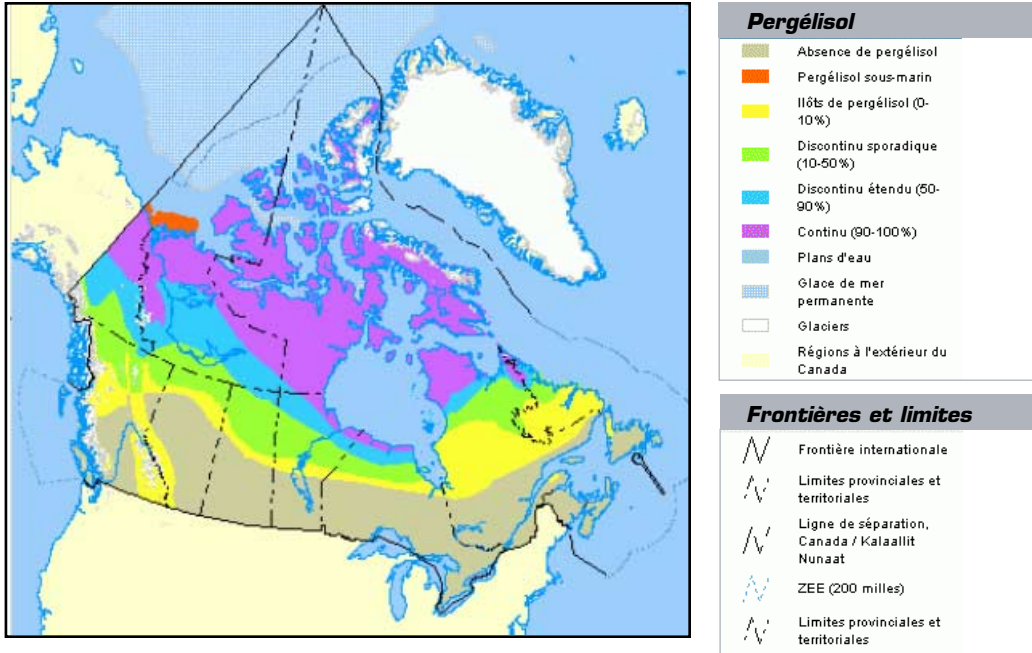


Figure 6: Régions canadiennes de pergélisol.
Source : National Atlas of Canada, Gouvernement du Canada avec permission de Ressources naturelles Canada.



Importance de la cryosphère au Canada

Le Canada est un pays au climat froid où la glace et la neige font partie intégrante de la vie de la plupart des Canadiens. Les écosystèmes, l'économie et les styles de vie sont tous adaptés aux rigueurs du climat hivernal et une modification de ce dernier aurait des conséquences significatives. Par exemple, la neige est une ressource importante en ce qui a trait aux activités récréatives, à l'agriculture et à la production d'hydro-électricité. D'ailleurs, bon nombre d'espèces végétales et animales dépendent d'un enneigement adéquat pendant l'hiver pour assurer leur survie. L'étendue, l'épaisseur et le type des glaces marines (de première année ou pluriannuelles) sont des facteurs qui influencent grandement le transport maritime, l'écologie marine, les activités de chasse des autochtones et la circulation océanique. La durée et les caractéristiques de la glace lacustre (épaisseur, température, pourcentage de glace blanche) affectent grandement la quantité de lumière et d'énergie reçues par les écosystèmes lacustres, d'autant plus qu'il s'agit de facteurs importants agissant sur le transport en régions nordiques (routes de glace). En plus d'être une ressource touristique de premier ordre, les glaciers exercent une influence sur le débit d'eau estival. Les chercheurs sont même d'avis qu'ils ont contribué à la récente hausse du niveau de la mer. La répartition du pergélisol et les propriétés de ce dernier (épaisseur, température et profondeur de la couche active) sont des facteurs clés touchant l'ingénierie en régions nordiques, l'hydrologie (écoulement de l'eau) et les échanges chimiques et gazeux avec l'air et l'eau.



2. Importance de la cryosphère au Canada



Répercussions du changement climatique

La majeure partie de la cryosphère au Canada se situe dans des régions où la température du sol avoisine le point de congélation, ce qui la rend sensible aux variations de température. Les simulations climatiques, réalisées à l'aide de modèles climatiques mondiaux (MCM) et portant sur les conditions de doublement du CO₂, indiquent un réchauffement hivernal des températures aux latitudes septentrionales. L'accroissement des températures à ces endroits atteint même 5 à 10°C. Les scientifiques croient que ce réchauffement climatique aura des répercussions significatives sur le couvert nival, les glaces et le pergélisol dans l'ensemble du Canada. Les données historiques indiquent que la région de la vallée du Mackenzie s'est déjà réchauffée de 1,5°C au cours du dernier siècle (ce réchauffement se faisant sentir principalement en hiver et au printemps). Les effets du réchauffement sont déjà observables puisqu'on remarque une réduction du couvert nival printanier, un approfondissement de la couche active, une augmentation de la fréquence des glissements de la couche active et l'érosion des côtes où les sédiments sont riches en glace. Les répercussions du réchauffement climatique sur la cryosphère sont importantes et affectent l'environnement physique, les écosystèmes naturels et les systèmes socio-économiques. Une étude portant sur les impacts du changement climatique dans les différentes régions du Canada est présentée dans le cadre de l'étude pan-canadienne et des affiches canadiennes illustrant les impacts du changement climatique. Certains enjeux d'importance, soulevés par les changements liés à la cryosphère au Canada, sont présentés ci-dessous :



Répercussions du changement climatique : Glaciers

Les glaciers de montagne constituent d'importants réservoirs d'eau qui servent à maintenir l'écoulement de l'eau dans les rivières pendant la période estivale où les besoins en eau sont à leur maximum. De plus, les eaux de fonte des glaciers servent à garder la fraîcheur de l'eau des fleuves, des lacs et des rivières, caractéristique privilégiée par les poissons de sport comme le saumon et la truite. Des travaux de recherche parrainés par CRYSYS à l'Université Wilfrid Laurier ont révélé que la contribution des glaciers au débit estival de la rivière Bow, près de Banff, était de plus de 50 % pendant les années de très faible débit. Les preuves actuelles démontrent que les glaciers de l'Ouest du Canada fondent de plus en plus rapidement, ce qui a des répercussions majeures sur l'approvisionnement en eau, la production d'hydro-électricité et les écosystèmes fluviaux. L'approvisionnement en eau est un enjeu majeur pour les fleuves, comme le fleuve Columbia qui s'écoule aux États-Unis.



Figure 7: Glacier Bow, Rocheuses, Alberta. **Source :** Chris Hopkinson.

La fonte des glaciers contribue également à la hausse du niveau de la mer. Des études récentes concluent que la fonte des imposants glaciers de l'Alaska et du Canada représente environ la moitié de la fonte des glaces à l'échelle de la planète, exception faite du Groenland et des lames glaciaires de l'Antarctique. Des travaux de recherche, également parrainés par CRYSYS, à l'Université de l'Alberta, dans le cadre du projet GLIMS (Global Land Ice Measurement from Space), ont permis d'identifier 56 glaciers résultant d'une crue glaciaire dans l'arctique canadien. Seulement 4 d'entre eux avaient été documentés jusqu'à ce jour. Comme ces crues glacières se retrouvent ultimement dans les océans, cette découverte laisse croire que les glaciers de l'arctique canadien auront une influence beaucoup plus grande que celle originellement prévue en ce qui a trait à la hausse du niveau de la mer.

Répercussions du changement climatique : Neige

Des saisons d'enneigement plus courtes, un écoulement printanier plus précoce et une capacité accrue d'évaporation de l'eau du sol imposeront des contraintes additionnelles aux systèmes de gestion de la ressource hydrique dans les domaines de l'agriculture et de l'hydroélectricité. La région des Prairies du Canada est particulièrement vulnérable aux changements du couvert nival, parce que l'agriculture dépend dans une grande mesure de la neige hivernale qui réhumidifie le sol au printemps et reconstitue les réserves d'eau en prévision de l'été. La production hydroélectrique est également vulnérable à la modification de la quantité d'eau fournie par la neige accumulée et du moment de la fonte des neiges. Ces changements auront une importance particulière pour le Canada, où près des deux tiers de l'électricité totale est d'origine hydroélectrique.



Figure 8: Centrale hydroélectrique des chutes Red Rock sur la rivière Mississagi en Ontario. **Source :** Ontario Hydro (Copyright © 2002 Ontario Power Generation Inc., tous droits réservés).

La diminution du couvert nival a également des répercussions importantes sur les écosystèmes. Elle réduit la protection thermique des végétaux et des animaux, augmente le risque de pénétration du gel et de dommages causés aux racines ainsi que de modification de l'habitat et des aires de répartition des espèces. Ce dernier aspect est particulièrement important pour les communautés autochtones qui comptent sur la chasse pour une grande partie de leur alimentation. Le régime thermique du sol (la pénétration du gel, la température du pergélisol et les conditions des couches actives) est également très sensible aux propriétés de la couche de neige telles que la profondeur, la densité et la durée.

Répercussions du changement climatique : Pergélisol

Les changements des conditions du pergélisol qui se rapportent au réchauffement climatique ont des conséquences importantes sur l'infrastructure du Nord ainsi que sur ses performances et sa maintenance (p. ex., transport, construction, développement des ressources, services de distribution d'eau et d'égouts) et la sécurité (risque accru de glissements de terrain). La Commission géologique du Canada (CGC), un partenaire de CRYSYS, a élaboré une série de cartes qui étayent la vulnérabilité du pergélisol au réchauffement. La figure 9 montre la vulnérabilité physique du pergélisol au réchauffement, c.-à-d. l'effet du dégel sur la stabilité du sol. La teneur en glace du matériau gelé est le facteur qui détermine la réponse physique et on a estimé qu'environ 13 % de la zone à pergélisol a un potentiel élevé de sensibilité.

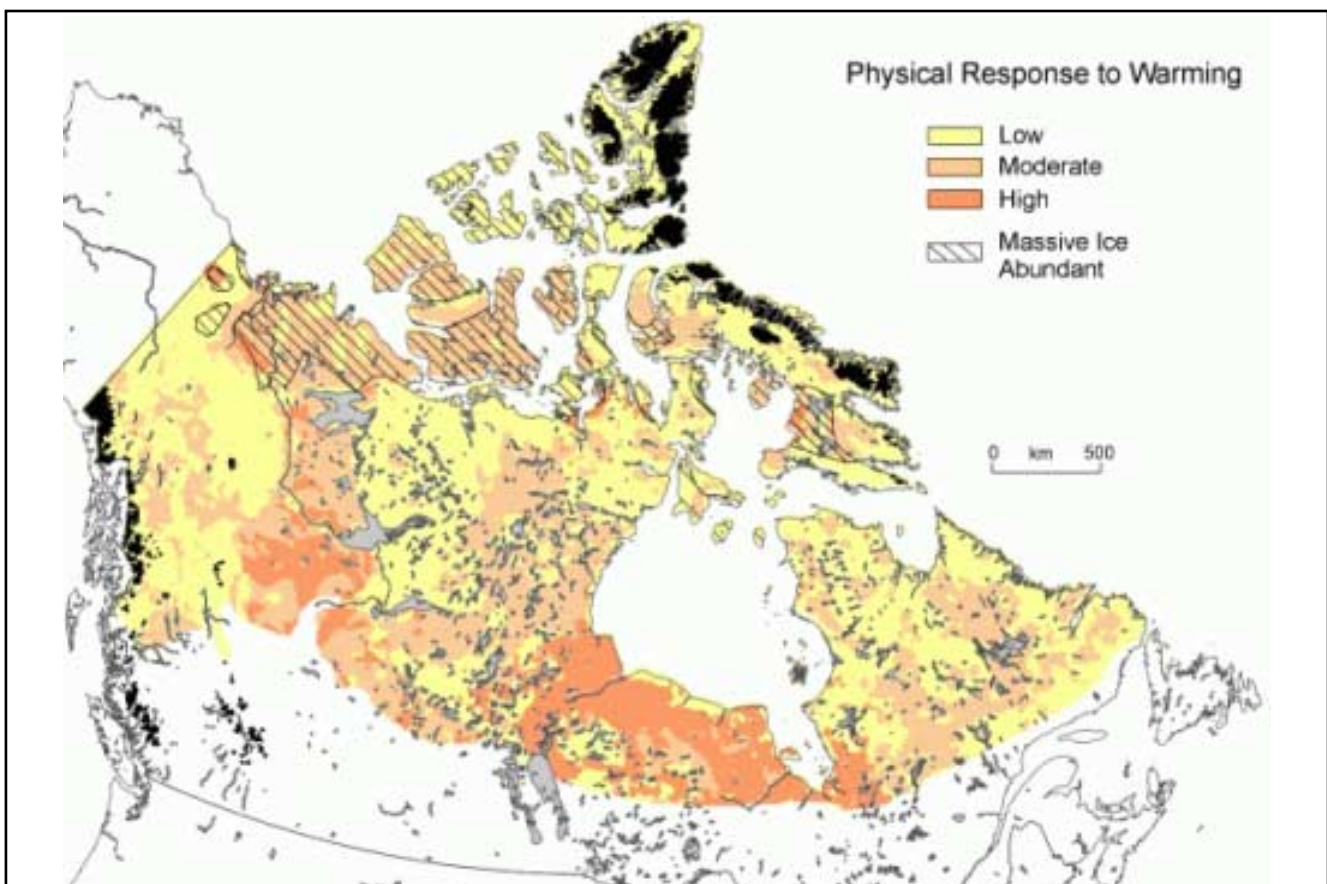


Figure 9: Réponse physique relative du pergélisol au réchauffement climatique. L'affaissement dû au dégel sera plus marqué aux endroits où des sédiments riches en glace sont présents. Le contenu structural en glace (glace de remplissage des pores et lentilles de glace) sera généralement supérieur dans les matériaux à grains fins et la matière organique. Dans les régions où la glace massive est abondante, les conséquences d'un dégel du pergélisol pourraient être plus graves que ne l'indique le grisé qui représente le contenu structural en glace des matériaux de surface. **Source :** Sharon Smith, CGC.

Répercussions du changement climatique : Glace marine

Les scénarios de réchauffement climatique indiquent une forte réduction de l'étendue de la glace marine dans les eaux canadiennes et la possibilité d'un accroissement de la navigation dans les eaux arctiques. La navigation pendant toute l'année, grâce au passage du Nord-Ouest, entraîne des économies énormes. Mais cela augmente aussi considérablement le risque de perturber l'écosystème. Par ailleurs, pendant la réponse initiale au réchauffement de l'Arctique, une réduction de la glace de l'année et des gros bouchons de glace qui bloquent les entrées ouest de l'archipel Arctique entraînera un accroissement du risque pour les navires de rencontrer de la glace pluri-annuelle. Le changement climatique de la glace marine aura également un impact considérable sur les écosystèmes marins (risques d'érosions des côtes) ainsi que sur l'habitat des mammifères marins qui sont des sources de nourriture importantes pour les communautés nordiques. Les modifications du régime de glace marine des côtes ont aussi des conséquences pour la sécurité, puisque ce sont des voies de communication importantes pour les communautés autochtones.



Figure 10: Le NGCC Louis-St-Laurent dans la glace morte. **Source :** K. Wilson, SCG.

2. Importance de la cryosphère au Canada



Répercussions du changement climatique : Glace lacustre et fluviale

Le réchauffement climatique s'accompagnera de diminutions importantes de la durée et de l'épaisseur de la glace lacustre et fluviale au Canada. L'englacement plus tardif et le déglacement plus précoce de nombreux emplacements lacustres et fluviaux de l'hémisphère Nord témoigneraient d'une tendance déjà attestée. La diminution du couvert de glace lacustre et de son épaisseur a des conséquences importantes sur l'écologie des lacs, le transport en hiver et la sécurité. L'Université Laval, avec le soutien de CRYSYS, a mis en œuvre une base nationale de données qui comprend l'information relative à l'englacement, au déglacement, à l'épaisseur de la glace, au couvert nival et à la taille des lacs. Cette base de données permet d'étudier les tendances régionales des conditions de la glace lacustre au Canada et de fournir des données nécessaires à la validation aux fins des modèles et de la surveillance satellitaire de la glace lacustre.



Figure 11: Fonte du couvert de glace sur des lacs peu profonds près de Churchill au Manitoba. **Source :** C. Duguay, Univ. Laval



2. Importance de la cryosphère au Canada



Répercussions du changement climatique

Réponse de la cryosphère au réchauffement – Étude de l'été 1998

La réponse de la cryosphère au réchauffement climatique est considérablement plus complexe qu'un retrait uniforme. Elle met en cause nombre d'interdépendances, de liens et de réactions ainsi que des processus qui surviennent selon des échelles de temps différentes. L'équipe CRYSYS a pu étudier certains de ces processus et liens dans le cadre d'une collaboration financée par le Fond d'action pour le changement climatique (FACC) afin de mieux comprendre la réponse de la cryosphère arctique au réchauffement extrême de l'été 1998. L'année 1998 a été la plus chaude des relevés instrumentaux de l'Arctique canadien (depuis 1950 environ) ainsi que des relevés instrumentaux du territoire de l'hémisphère Nord (depuis 1850 environ). L'étude a permis de réaliser des séries chronologiques de variables climatiques et cryosphériques dans l'Arctique pour la période débutant en 1960 (**figure 12**), qui ont révélé que la réponse de la cryosphère en 1998 avait été similaire à

celle d'autres années, notamment 1962. Un examen détaillé des différentes années a montré que la réponse de la cryosphère dépendait fortement de conditions préalables, d'événements critiques, comme des tempêtes estivales ayant délogé des bouchons de glace marine pluri-annuelle, et de différences à l'échelle locale du milieu physique. Ces découvertes ont mis en évidence la complexité du système cryosphérique de l'Arctique et ont prouvé que des températures plus élevées en soi n'entraînent pas nécessairement une réponse prévisible. Les résultats de l'étude sont résumés sur le site Web de CRYSYS et les ensembles de données qui ont été développés pour l'étude sont actuellement regroupés sur le site du Canadian Cryospheric Information Network.

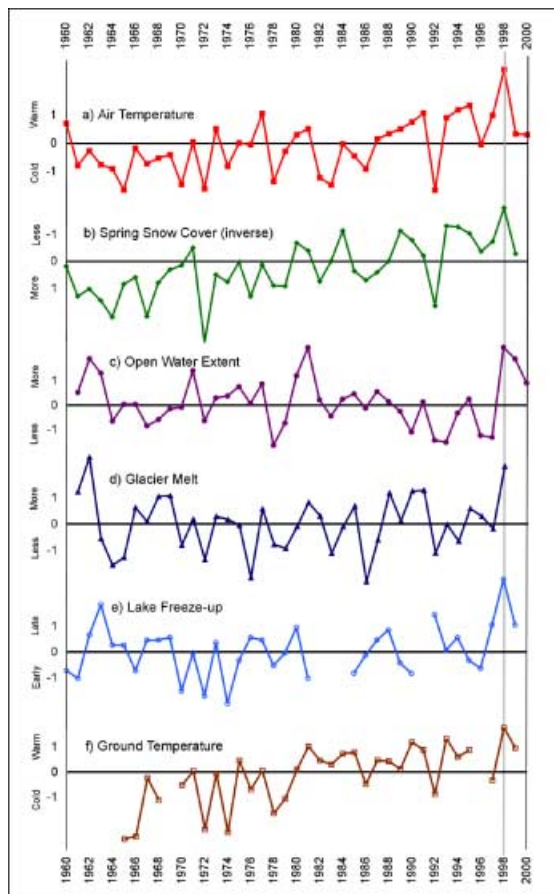


Figure 12: Variation (a) des anomalies de température dans l'Arctique AN de mai à octobre au cours de la période 1960-2000 et séries chronologiques sélectionnées de l'Arctique canadien, (b) de la durée du couvert nival au printemps aux postes météorologiques de l'Arctique canadien, (c) de l'étendue maximale de mer libre dans les îles de la Reine-Élisabeth, (d) de la fonte estivale sur la calotte glaciaire de Devon, (e) de la date d'englacement du Grand lac des Esclaves, (f) en juillet, de la température au sol, 100 cm, à Resolute A. Les séries ont été normalisées relativement à la période



Surveillance de la neige

Les responsables du programme CRYSYS visent à développer des capacités qui permettront d'améliorer les techniques satellitaires touchant la surveillance de la cryosphère. Certaines des principales activités satellitaires sont présentées ci-dessous. Une liste de publications scientifiques récentes rédigées par les membres de l'équipe CRYSYS est incluse sur ce cédérom.

Un des principaux objectifs de l'équipe de recherche sur la neige de CRYSYS vise à développer, à valider et à raffiner des algorithmes empiriques et théoriques entourant les propriétés du couvert nival (épaisseur, équivalent en eau, état sec/humide) dans divers écopaysages et régions climatiques du Canada, au moyen de données hyperfréquences passives et actives. Depuis 1995, les chercheurs ont consacré des efforts considérables pour accroître les extractions d'EEN aux hyperfréquences passives dans la forêt boréale, la taïga, la toundra arctique et la glace marine. La recherche actuelle appuyée par CRYSYS à l'Université de Moncton porte sur l'application de méthodes d'inversion axées sur des composantes matérielles comme le modèle HUT pour estimer l'EEN dans les zones fortement boisées. L'Université du Manitoba a développé une méthode permettant d'estimer l'EEN sur la glace marine en utilisant la relation entre l'EEN et la température de luminosité à 37 GHz (550) en polarisation H et la température de l'air. Un nouveau projet de recherche appuyé par CRYSYS à l'Université de Calgary utilisera des capteurs satellitaires multiples (dans le visible, en hyperfréquence passive et SAR) et des observations radiométriques au sol pour surveiller et comprendre l'ablation rapide du couvert nival qui se produit dans le sud de l'Alberta pendant le Chinook. Les membres de l'équipe CRYSYS ont également travaillé à la validation des produits de neige à partir du satellite MODIS et participeront à la validation des données AMSR.

Sur le plan opérationnel, une méthode (développée par INRS-EAU) permettant d'estimer l'EEN à partir des données RADARSAT est appliquée à Hydro Québec depuis 1998-1999, tandis que le Service météorologique du Canada a continué de raffiner son produit d'EEN au moyen des données recueillies en temps quasi réel par le SSM/I pour la région des Prairies. Ce produit est largement utilisé pour la planification et l'exploitation des ressources hydriques. Le produit d'EEN pour les Prairies est maintenant utilisé en plusieurs formats pour permettre aux utilisateurs d'obtenir de plus amples informations sur les conditions anormales. La **Figure 13** montre un produit échantillon.

CRYSYS fournit également sur une base régulière des informations à jour sur la variabilité et les changements du couvert nival sur son site WEB État de la cryosphère au Canada (ECC). Un article de fond de l'ECC intitulé « Is snow cover changing in Canada? » présente une synthèse des informations recueillies au sol et par satellite.

3. Surveillance de la cryosphère



Surveillance de la neige

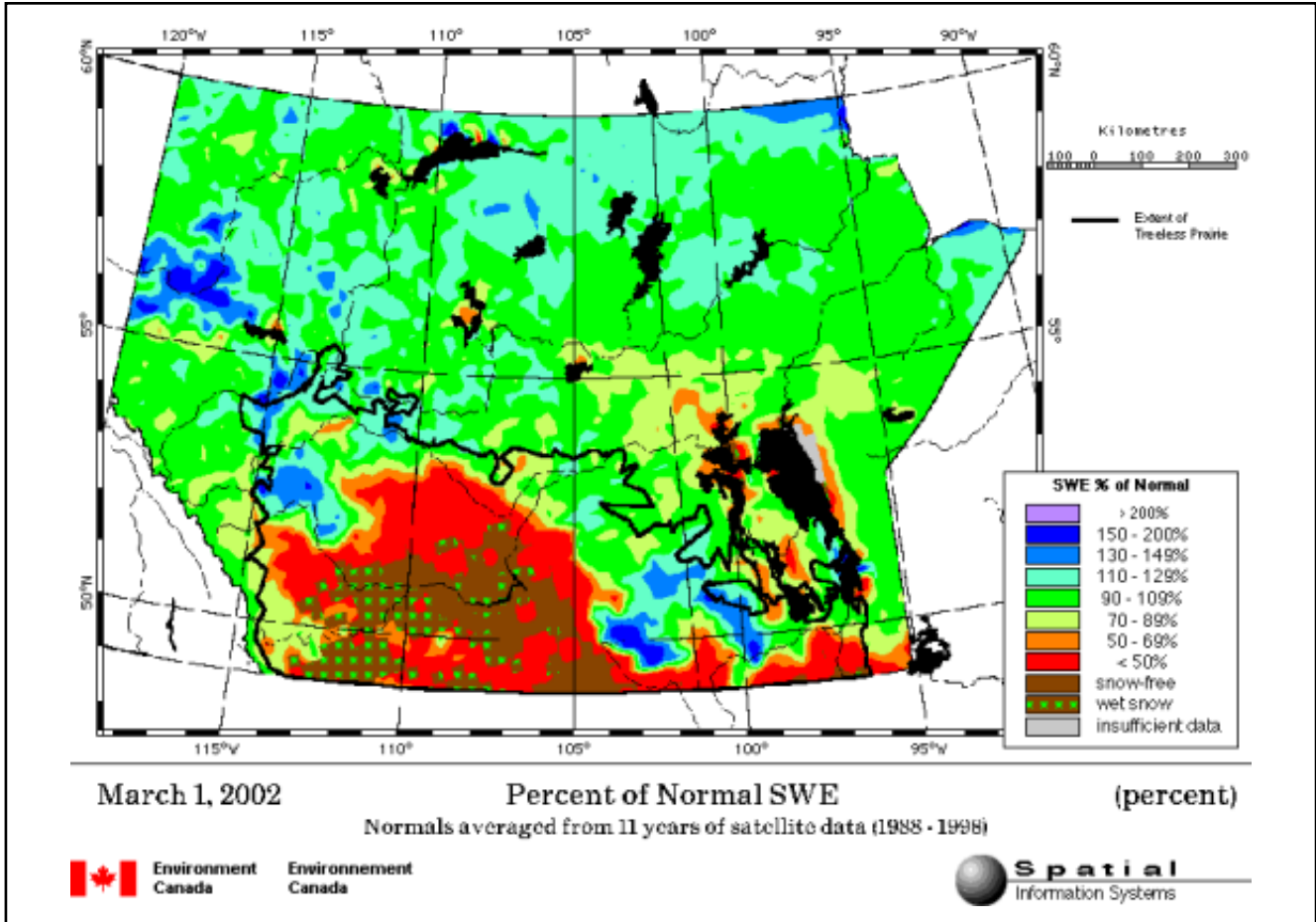


Figure 13: Carte des anomalies de l'équivalent en eau de la neige (pourcentage de l'EEN normale) produite pour la région canadienne des Prairies à partir de données hyperfréquences passives captées par le SSM/I. **Source:** A. Walker, SMC.



4. Surveillance de la glace marine



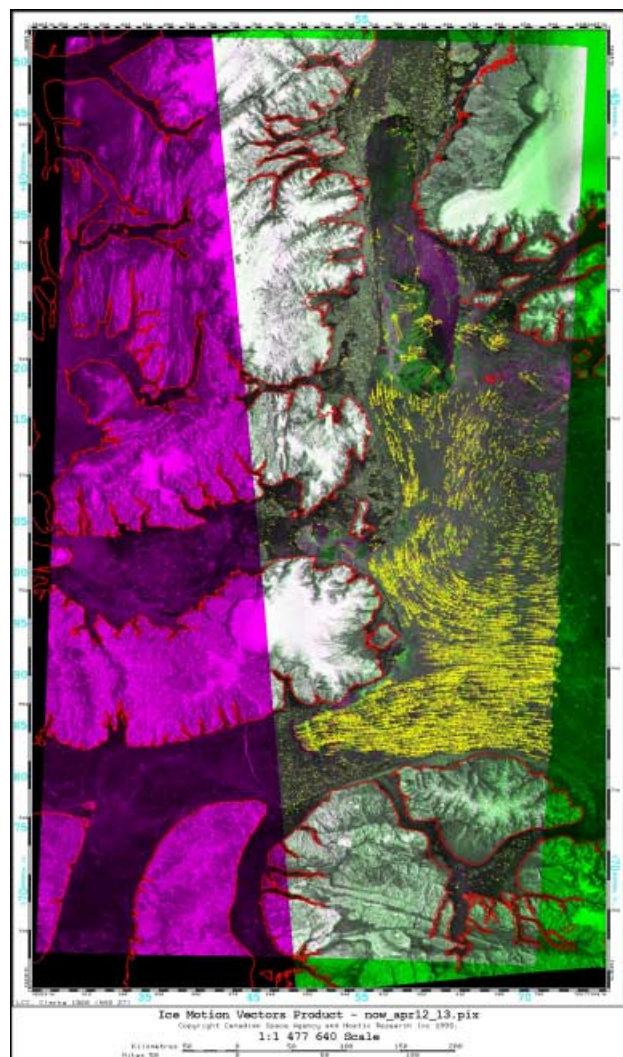
Le Service canadien des glaces (SCG) est un important partenaire de CRYSYS qui assume la responsabilité de la prévision et de la surveillance des conditions de la glace marine dans les eaux canadiennes. Les opérations du SCG s'appuient fortement sur les données de RADARSAT, mais elles font également appel aux données recueillies par d'autres satellites (dans le domaine du visible et hyperfréquences passives), par des aéronefs et par des observations en surface. Le SCG exerce de nombreuses activités de R-D dans le domaine des applications SAR (notamment pour l'extraction automatisée des données sur le mouvement des glaces et l'extraction des données vectorielles sur le vent de surface), dans la modélisation de la glace marine et l'évaluation/validation de nouveaux capteurs comme QuickSCAT, ENVISAT ainsi que des données SAR en polarisation multiple. Le SCG fournit également des données et de l'appui à l'équipe de CRYSYS; sa base de données numériques pour la production des cartes hebdomadaires des glaces contient les données les plus détaillées sur la glace marine dans les eaux canadiennes à des fins d'études climatologiques et appliquées. Ces données ont été utilisées de façon intensive dans le cadre du projet « Été 1998 » traité précédemment.

L'Institut des sciences de la mer (ISM) de Pêches et Océans Canada est également un partenaire du gouvernement fédéral de CRYSYS qui fournit des données et une expertise de modélisation de glace marine pour la région de la mer de Beaufort. L'ISM applique un programme de bouée sonar à vision vers le haut dans la mer de Beaufort pour mesurer l'épaisseur de la glace depuis 1990. Ces données sont extrêmement valables pour comprendre la dynamique des glaces et la variabilité interannuelle de l'épaisseur de la glace et de l'encrêtement.

Dans la communauté universitaire, CRYSYS appuie l'Université de Waterloo dans le développement de meilleures méthodes automatisées de démarcation de la lisière des glaces et de la classification des textures pour l'imagerie SAR. CRYSYS encourage également la recherche à l'Université du Manitoba visant la relation entre les variations saisonnières dans les signatures SAR et les processus physiques de surface. L'Université du Manitoba s'occupe d'un important site de glace marine près de Resolute (C-ICE). Le site est consacré à l'étude des processus se rapportant aux caractéristiques physiques et hyperfréquences. L'Université du Manitoba, le SCG et CRYSYS ont participé récemment à un imposant projet international de coopération visant à comprendre la polynie North Water (NOW). La **Figure 14** montre les vecteurs de mouvement des glaces dans la région NOW extraits de l'imagerie RADARSAT au moyen d'un algorithme de poursuite automatique de caractéristiques.

Figure 14: Exemple de vecteurs de mouvements des glaces obtenu dans la région NOW au moyen d'un logiciel de poursuite automatique de ces caractéristiques à l'aide d'images RADARSAT successives.

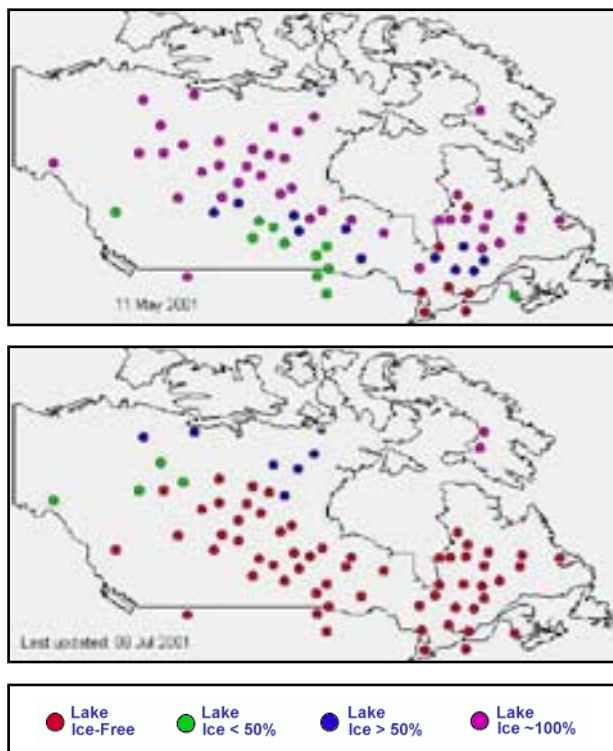
Source: K. Wilson, SCG.



5. Surveillance de la glace d'eau douce



Compte tenu de la diminution des observations manuelles de l'englacement et du déglacement de la glace lacustre et fluviale, les membres de l'équipe CRYSYS se sont tournés vers l'élaboration d'approches faisant appel aux satellites et à la modélisation pour la surveillance des conditions de la glace d'eau douce au Canada. Les activités de glace d'eau douces se déroulent sous l'égide de l'Université Laval qui a adopté une stratégie concertée consistant à combiner l'information in situ, les données satellitaires et la modélisation, afin de mettre les observations qui sont faites actuellement à partir des satellites dans le contexte de la variabilité historique qui est inférée des modèles observés et de glace. Cette recherche a entraîné la création d'une base nationale de données sur la glace lacustre et la mise au point d'un modèle thermodynamique de ce type de glace. Des chercheurs de Laval ont également mené des travaux dans la région de Churchill au Manitoba afin de déterminer l'épaisseur de la glace de lacs peu profonds au moyen d'ERS 1 et 2 et de Landsat, et d'établir les possibilités et les limites de l'imagerie RADARSAT-1 en faisceau standard dans la surveillance du couvert de glace lacustre et des processus connexes. Des scientifiques à L'INRS-Eau évaluent actuellement l'utilité des données RADARSAT pour surveiller la glace de rivières. Le Service météorologique du Canada mène une recherche sur la surveillance du couvert de glace des grands lacs canadiens au moyen des données hyperfréquences passives SSMI. Cette information a été utilisée dans le cadre de l'étude qui a porté sur l'été 1998 visant à documenter la variabilité interannuelle du déglacement du Grand lac des Esclaves. Des travaux sont également menés par l'Institut national de recherche sur les eaux (INRE) qui sont axés sur la compréhension des schémas spatio-temporels de la variabilité de l'englacement et du déglacement et de leur rapport avec la configuration de la circulation atmosphérique.



Depuis 1995, le Service canadien des glaces effectue la surveillance du couvert de glace de 118 lacs nord-américains afin de préciser les conditions de la couche limite de surface aux fins de modèles de prévision météorologique du Centre météorologique canadien. Cette surveillance hebdomadaire fait appel à une association de données RADARSAT et d'imagerie dans le visible. Une partie de cette information est fournie sous forme graphique sur le site Web « État de la cryosphère au Canada » et l'animation qui suit couvre la période de déglacement du printemps 2001.

Figure 15: Animation du déglacement des lacs au cours du printemps 2001. **Source :** Site web de l'ECC (données provenant du Service canadien des glaces).



6. Surveillance des glaciers et des calottes glaciaires



La Commission géologique du Canada est un partenaire important de CRYSYS et est responsable du Programme national de glaciologie qui regroupe des activités de surveillance et de recherches menées dans des lieux de référence clés des Cordillères pacifiques et de l'Arctique canadien. Au nombre des activités de surveillance des glaciers qui se déroulent actuellement dans le cadre du Programme, on trouve des bilans massiques saisonniers et annuels réalisés à trois endroits des Cordillères et à six endroits des îles de l'Arctique. Le programme GSN fait appel à de vastes collaborations avec des partenaires du milieu universitaire pour la réalisation d'études au sol du bilan massique et fournit des observations en surface et des données historiques au centre GLIMS canadien sur l'Extrême-Arctique, qui est situé à l'Université de l'Alberta (voir ci-après). La CGC s'intéresse également à l'application des données de télédétection aux glaciers et a examiné les possibilités offertes par les données RADARSAT dans l'estimation du bilan massique des glaciers. On évalue actuellement l'ALTM (capteur cartographique laser aéroporté) en vue de la collecte d'information topographique à haute résolution sur un glacier au complet ou sur de vastes zones recouvertes de glaciers. Cette information topographique détaillée est nécessaire pour la correction géométrique et radiométrique de l'imagerie SAR aux fins des modèles hydrologiques et du bilan massique des bassins ainsi que de la validation des données altimétriques produites par les altimètres lasers satellitaires, comme CryoSat (ESA) et ICESat (NASA). La **figure 16** montre un relevé ALTM détaillé du champ de glace Wapta.

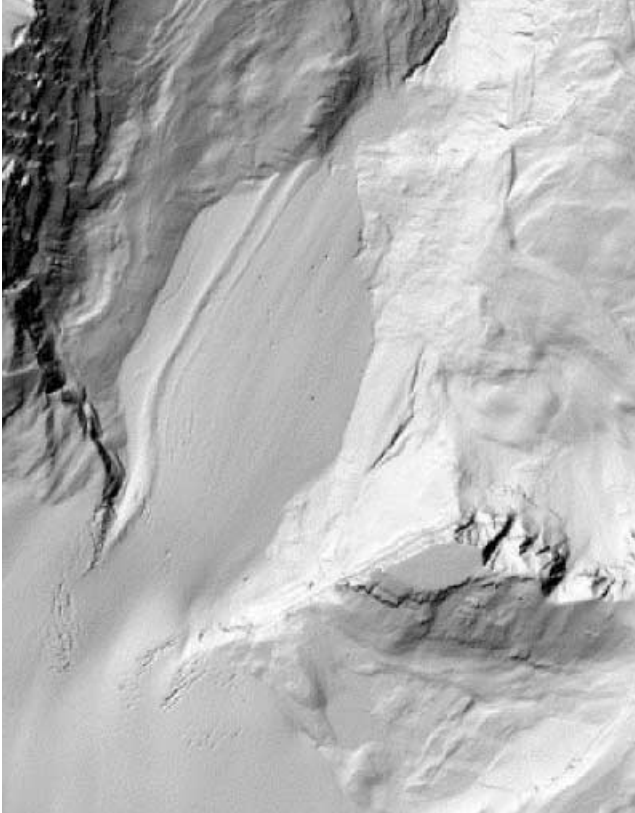


Figure 16: Partie d'un relief par ombres portées d'un modèle altimétrique numérique d'une résolution de 2 mètres (horizontale) obtenu par altimétrie laser du champ de glace Wapta dans les Rocheuses canadiennes. Au centre de l'image, on peut voir la langue du glacier Peyto qui pointe vers le coin droit supérieur. **Source :** M. Demuth, CGC.



7. Centre GLIMS canadien sur l'Extrême-Arctique



GLIMS (Global Land Ice Measurement from Space) est un projet international visant à dresser un inventaire mondial détaillé de la glace terrestre et qui servira de point de départ pour déceler les changements climatiques passés et à venir et pour déterminer la mesure où la glace terrestre contribue à l'élévation du niveau des océans. Le projet GLIMS mise sur une série de centres régionaux et, en 2000, un centre de l'Arctique canadien a été créé à l'Université de l'Alberta avec l'aide financière de l'Agence spatiale canadienne. Ce centre poursuit les principaux objectifs scientifiques suivants :

- > cataloguer la répartition et la géométrie actuelles des glaciers et des calottes glaciaires de l'Arctique;
- > évaluer le changement de superficie/volume des glaciers survenu de 1960 à 2000 à l'aide de photos aériennes prises en 1959-1960;
- > répertorier les glaciers en crue et les glaciers susceptibles d'autres avancées rapides qui se trouvent dans les îles de l'Arctique;
- > recueillir des données de télédétection sur les champs de vitesses des augeis et les flux de glace;
- > recueillir des données de télédétection sur les propriétés de la neige et de la glace ainsi que leur évolution saisonnière.

Depuis 2000, le centre GLIMS a constitué une base complète d'images numériques actuelles et passée sur toutes les régions englacées des îles de la Reine-Élisabeth. Cette base comprend des images recueillies par Landsat, ASTER, RADARSAT et ERS 1 et 2, plus 10 000 photographies aériennes numériques prises en 1959-1960 ainsi que les données numériques d'élévation du Canada (DNEC) avec un intervalle de quadrillage de 100 m. Ces données seront mises à la disposition de la communauté scientifique et une copie des archives sera disponible sur le CCIN. La comparaison de l'imagerie Landsat et des photographies aériennes de 1959-1960 a mené à la première étude systématique de la répartition des glaciers en crue dans l'Extrême-Arctique canadien. Au total, 56 glaciers susceptibles d'autres avancées rapides ont été identifiés, parmi lesquels 4 seulement avaient déjà été décrits dans la littérature. L'interférométrie SAR et la corrélation d'images ont également servi à cartographier la vitesse de surface de la calotte glaciaire de Devon et des vitesses de 200-300 m/an ont été observées, ce qui est d'un ordre de grandeur supérieur à ce qui avait été envisagé. Un exemple d'une carte de vitesses de surface est fourni dans la **figure 17**.

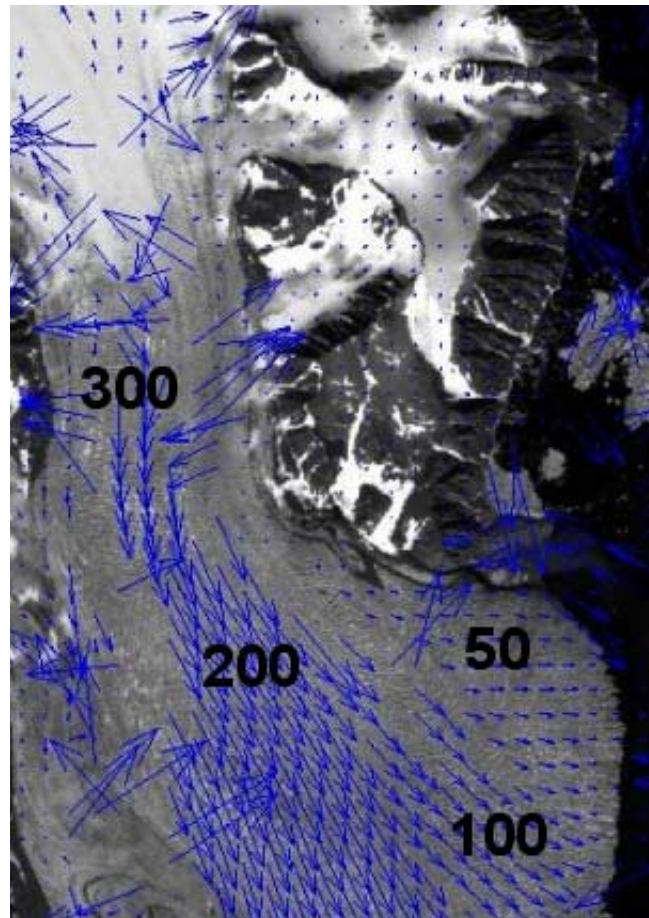


Figure 17. Vitesses de surface estimées (m/an) d'après des images corrélées de Landsat 7 de 1999 et 2000 sur un glacier en crue non identifié du champ de glace occidentale Manson, au sud de Clarence Head (76 40N, 77 55O).
Source : Luke Copland, Univ. de l'Alberta.



8. Surveillance du pergélisol



La Commission géologique du Canada est un partenaire important de CRYSYS et est responsable de la surveillance nationale du pergélisol au Canada. La CGC est également l'hôte du Réseau mondial de surveillance terrestre du pergélisol (GTN-P). La CGC soutient, avec le concours de plusieurs agences, un vaste réseau de sites de surveillance de la couche active et de la température du pergélisol (figure 17). La CGC assure également la maintenance d'une vaste base de données sur la couche active et les conditions thermiques du pergélisol sous-jacent, et une base de données nationales qui est accessible en ligne. Le ministère des ressources naturelles du Canada participe également à des travaux sur l'application des données recueillies par les satellites (p. ex., IKONOS) en vue de cartographier la réaction des caractéristiques topographiques du pergélisol au réchauffement (p. ex., activité de glissement de la couche active) et de déterminer la sensibilité des conditions du pergélisol canadien à un climat plus chaud au moyen d'études de modélisation. Ces travaux sont particulièrement nécessaires à certaines communautés du Nord où les glissements de terrain sont un risque.

CRYSYS appuie les travaux de recherche menés par l'Université Laval et par l'INRS-Eau qui visent à mettre au point des moyens de cartographier le gélisol saisonnier et le pergélisol ainsi que leurs caractéristiques connexes de façon à faciliter l'évaluation des changements futurs de la couverture aérienne. Des programmes de vérification au sol se déroulent actuellement à un certain nombre d'emplacements visant à fournir des données de référence pour l'élaboration de méthodes de cartographie satellitaires ainsi que la validation et l'amélioration des modèles d'échange thermique spatialement distribués. De tels modèles sont nécessaires à l'étude de l'impact des changements de la température de l'air et des conditions de surface sur le régime thermique de la couche active et

du pergélisol. Des configurations SAR multidimensionnelles (c.-à-d. fréquence, temps, polarisation, angle d'incidence multiple) sont également étudiées en vue d'améliorer les approches élaborées jusqu'ici, de façon à ce qu'il soit possible de produire des cartes du pergélisol d'autres sites des zones de pergélisol discontinu et continu du Canada. On s'intéresse également aux possibilités des données multitemporelles SAR (ERS 1 et 2, RADARSAT) dans la surveillance du cycle saisonnier de gel/dégel de la toundra et de la forêt subarctique en vue d'incorporer des cartes de gel/dégel aux modèles d'équilibre énergétique et hydrologique.

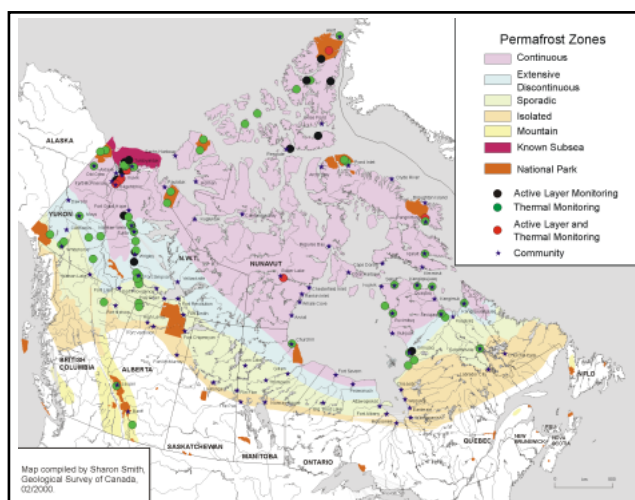


Figure 17: Emplacements canadiens actuels de surveillance thermique du pergélisol et de la couche active qui sont proposés ou qui contribuent au réseau mondial de surveillance du pergélisol GCOS/GTOS, le GTN-P ainsi que les sites de surveillance de la couche active du composant du réseau CALM du GTN-P. **Source :** M. Burgess.



9. Surveillance coordonnée de la cryosphère au Canada – Plan national du GCOS



La capacité de surveiller le changement et la variabilité de la cryosphère (neige, glace marine, glace d'eau douce, pergélisol, glaciers et calottes glaciaires) est essentielle au Canada, où la cryosphère est l'un des éléments les plus importants de l'environnement physique et biologique et où la réaction de la cryosphère au réchauffement du climat aura des répercussions socio-économiques et écologiques majeures.

Entre 1999 et 2001, les membres de l'équipe CRYSYS ont participé à l'élaboration d'une vaste stratégie d'observation en matière de surveillance de cryosphère qui permet au Canada de remplir ses obligations internationales concernant la surveillance du climat dans le cadre du Système mondial d'observation du climat (GCOS) et de répondre aux besoins intérieurs en information sur la cryosphère. Le processus a inclus plusieurs ateliers et de longues consultations auprès des spécialistes canadiens de la cryosphère. Les principaux objectifs du processus étaient de documenter les capacités d'observation actuelles, répertorier les lacunes graves, envisager des moyens de combler ces lacunes (p. ex., télédétection), cerner les problèmes relatifs au contrôle et à la gestion de la qualité

des données et, finalement, élaborer un plan des mesures à prendre. Le plan final et des copies des rapports des ateliers qui ont servi au plan sont disponibles sur le site Web de CRYSYS à l'adresse suivante : http://www.crysys.ca/science/documents/GCOS/cdn_gcosp_plan_title.htm.

Certaines des recommandations clés formulées dans ce rapport ont déjà été mises en œuvre dans le cadre du programme du Plan d'action 2000 afin d'améliorer la capacité de surveillance de la cryosphère dans l'Arctique canadien.



10. Conditions éventuelles de la cryosphère au Canada



Il existe plusieurs approches qui peuvent être utilisées pour obtenir de l'information concernant les conditions éventuelles de la cryosphère au Canada. Au nombre de ces dernières, mentionnons les études de sensibilité, la modélisation des processus à l'aide de données issues de simulations des modèles climatiques mondiaux et la simulation des conditions cryosphériques à l'aide de modèles climatiques couplés glaces / océans / atmosphère. Pour obtenir de plus amples renseignements sur ces diverses approches, consultez le site Web de l'État de la cryosphère au Canada et cliquez sur l'onglet « prévision » qui apparaît pour chacune des composantes de la cryosphère. Il faut toutefois noter que ces méthodes ont leurs propres limites et qu'elles sont axées sur des hypothèses différentes. C'est pourquoi il convient de se familiariser avec la documentation avant d'utiliser les résultats qui en découlent.

Au Canada, le Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCmaC) effectue des simulations à l'aide de modèles climatiques couplés mer / océan / atmosphère. Il est également possible de se procurer les résultats obtenus dans le cadre d'autres simulations sur le site Web de l'organisme. Le site Web du CCmaC renferme également des résultats de simulations haute résolution de modèles climatiques régionaux. En raison de la faible résolution de la plupart des modèles mondiaux, seuls des éléments de grande envergure de la cryosphère ont pu être

simulés jusqu'à ce jour (p. ex., le couvert nival, l'étendue des glaces marines et les principales calottes polaires). Toutefois, grâce à l'amélioration de la résolution, les modélisateurs de MCM intègrent de plus en plus des modèles de glace lacustres et de glaciers aux MCM.

La **Figure 19** ci-dessous présente des simulations de MCM canadiens portant sur les changements du couvert nival à l'échelle mondiale entre 1980 et 2050.

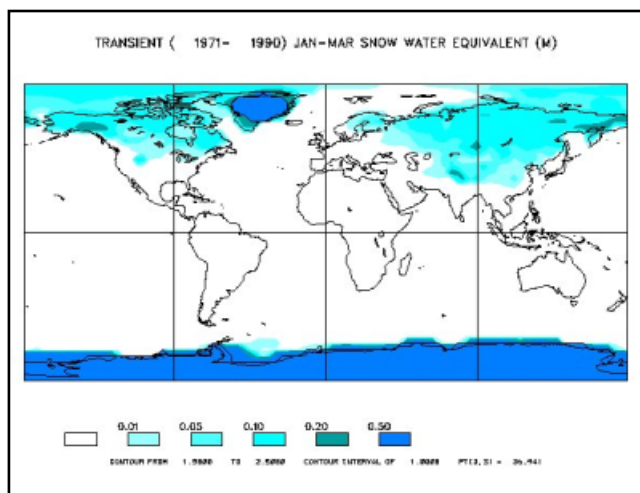


Figure 19a: Équivalent en eau de la neige (m) dérivé du modèle climatique mondial couplé effectué pour le mois de mars; valeurs moyennes des années 1971 à 1990.

Source : G. Flato, CCmaC.

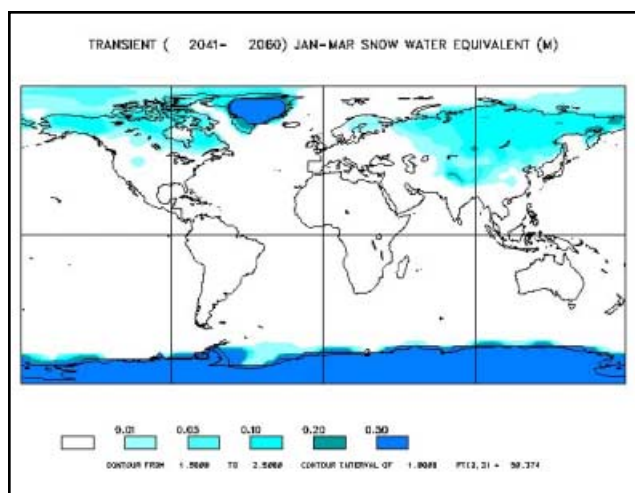


Figure 19b: Équivalent en eau de la neige (m) dérivé du modèle climatique mondial couplé effectué pour le mois de mars; valeurs moyennes des années 2041 à 2060.

Source : GFlato, CCmaC.



11. Réseau canadien d'information sur la cryosphère (CCIN)



Il est essentiel d'avoir accès à des informations fiables et opportunes sur l'état de la cryosphère canadienne pour la prise de décisions opérationnelles et stratégiques par le gouvernement et le secteur privé, l'appui à la communauté de recherche sur le climat, le développement continu et la validation des modèles et des processus climatiques et hydrologiques ainsi que la sensibilisation accrue du public à l'égard des changements environnementaux qui surviennent au Canada. Au nombre des sources de données nécessaires à l'atteinte de ces objectifs, mentionnons les observations historiques, les réseaux de mesure en surface, une quantité sans cesse croissante de données satellitaires et des projets spécialisés réalisés sur le terrain. Au Canada, les données sont dispersées parmi de nombreux pouvoirs administratifs et elles existent dans des formats divers, bien que dans certains cas le format numérique ne soit pas disponible. En 1995, un examen indépendant de la capacité du Canada à contribuer aux efforts internationaux en matière de surveillance de la cryosphère concluait que la situation des archives canadiennes était « décourageante ». (Barry, 1995).

Grâce au projet CRYSYS, plusieurs études de faisabilité ont été réalisées en 1997 et 1998 dans le but de trouver des façons d'améliorer la disponibilité des données sur la cryosphère canadienne et l'accès à ces dernières. L'option retenue consistait à créer un nœud virtuel de données qui servirait de système d'archivage central et de nœud de distribution de l'information et des données relatives à la cryosphère canadienne. En 1999, l'Université de Waterloo, en collaboration avec des partenaires de l'industrie canadienne (SGI Ltd.) et du secteur privé (Noetix Ltd., Compusult Ltd.), a présenté une proposition au SMC (Service météorologique du Canada) et à l'Agence spatiale canadienne visant la mise sur pied d'un réseau canadien d'information sur la cryosphère (CCIN pour Canadian Cryosphere Information Network) à l'université. La conception du CCIN reprend le concept « d'achat virtuel de données » propre au Réseau canadien d'observation de la Terre (CEONET). Le CCIN a été conçu à l'aide du matériel et des logiciels utilisés par le Service canadien des glaces dans le cadre du programme fédéral « GéoConnections ». Il répond aux requêtes Z39.50 et est relié au Service canadien des glaces et au CEONET. Au nombre des collaborateurs de données actuels, citons Environnement Canada (Service météorologique du Canada et Service canadien des glaces), Ressources naturelles Canada (Commission géologique du Canada, Géomatique Canada, Étude du plateau continental polaire), Pêches et Océans Canada (Centre de données du SDMM) ainsi que des intérêts privés et universitaires (p. ex., Université de Waterloo, Université McMaster et Université Laval).

Le sauvetage de données constitue une activité d'importance pour le CCIN. Au printemps 2002, un projet visant le sauvetage d'une importante quantité de données d'observations météorologiques des îles Reine-Elizabeth, enregistrées sur des bandes magnétiques à neuf pistes en pleine décrépitude, a été menée à terme.

La sensibilisation du public constitue également un objectif majeur du CCIN, ce qui témoigne de la demande sans cesse croissante de services gouvernementaux en ligne. Des services de cette nature seront offerts par le biais du site Web complémentaire « État de la cryosphère au Canada » (EEC) qui est conçu dans le but de fournir aux Canadiens un aperçu détaillé de la situation visant le couvert nival et les glaces au Canada. Des efforts sont actuellement déployés pour mettre en œuvre un certain nombre d'outils qui permettront d'afficher et d'analyser en temps quasi-réel, via le site Web de l'ECC, les données relatives à la cryosphère au Canada archivées dans le CCIN.

Pour consulter le site Web du CCIN, veuillez cliquer [ici](#).



12. Liens scientifiques



Le projet CRYSYS profite d'un nombre considérable de liens à d'autres projets scientifiques d'envergure nationale et internationale, grâce aux activités de ses membres. Voici une liste de quelques-uns des liens les plus importants :

AMIP II

Le **Atmospheric Model Intercomparison Project** (AMIP) est un protocole expérimental normalisé visant l'évaluation du rendement des modèles de circulation générale de l'atmosphère planétaire (MCGA). La quasi-totalité de la communauté internationale de modélisation climatique a participé à ce projet depuis son lancement en 1990. CRYSYS participe au projet AMIP par l'entremise du MCGA canadien et par le biais d'un projet d'élaboration de données de validation des conditions d'enneigement à l'aide d'observations spatiales portant sur l'épaisseur du couvert nival en Amérique du Nord.

BERMS

Le projet **Sites de recherche et de surveillance sur les écosystèmes boréaux** (BERMS) est une initiative conjointe réalisée par des organismes gouvernementaux canadiens et des partenaires de recherche nationaux et internationaux. Le projet BERMS vise principalement à déterminer le rôle de la forêt boréale canadienne dans le contexte du réchauffement climatique, par le biais de l'étude des cycles du carbone, de l'eau et de l'énergie. Le projet BERMS constitue une extension du projet BOREAS (étude de l'atmosphère et des écosystèmes boréaux) et est inspiré de l'infrastructure BOREAS existante. Le programme CRYSYS est lié au projet BERMS par l'utilisation de données servant à valider les algorithmes satellitaires de calcul d'EEN et par l'étude de l'incidence des sols gelés et du couvert nival sur les flux de carbone.

CALM

Le programme de **Surveillance de la couche active circumpolaire** (CALM pour Circumpolar Active Layer Monitoring) vise la surveillance et la modélisation des changements qui surviennent au niveau de l'épaisseur de la couche active qui se situe au-dessus du pergélisol. Le programme comporte actuellement 81 sites de recherche exploités par des chercheurs de l'Autriche, du Canada, de la Chine, du Danemark/Groenland, du Kazakhstan, de la Pologne/du Svalbard, de la Russie, de la Suède/du Svalbard, de la Suisse et des États Unis. Le Canada contribue actuellement à 20 sites de surveillance du réseau CALM.

CASES

Le projet **Canadian Arctic Shelf Exchange Study** (CASES) est un projet international axé sur la compréhension des conséquences biogéochimiques et écologiques des changements et de la variabilité des glaces marines de la plate-forme Mackenzie. Des chercheurs de CRYSYS de l'Université du Manitoba et du ISM du MPO participent au projet CASES.

C-ICE

Le projet **Collaborative Interdisciplinary Cryospheric Experiment** (C-ICE) est une expérience multidisciplinaire et pluriannuelle réalisée sur le terrain. Cette expérience donne suite au projet SIMMS (pour Seasonal Sea Ice Monitoring and Modeling Site) qui assure, chaque printemps, depuis 1990, une étude des glaces marines sur le terrain, près de Resolute. C-ICE intègre de nombreux projets individuels, chacun possédant ses propres objectifs qui vont de la compréhension des processus d'ablation des glaces marines à l'étude des écosystèmes. Le projet C-ICE est dirigé par l'Université du Manitoba et le programme CRYSYS a appuyé plusieurs projets réalisés dans le cadre de C-ICE depuis 1997.

CliC

Le projet **Climat et cryosphère** (CliC) a été créé par le Programme mondial de recherches sur le climat en mars 2000 dans le but d'étudier, à l'échelle planétaire, les processus en œuvre dans les régions froides. Le projet CliC vise la cryosphère dans son ensemble. Les chercheurs de CRYSYS ont participé très activement au développement du plan scientifique, du plan de coordination et du plan de mise en œuvre de la science du CliC.

EOS

Le projet **Earth Observing System** (EOS) constitue la pierre angulaire du Earth Science Enterprise (ESE) de la NASA. Ce projet, constitué d'un élément scientifique et d'un système de données appuyant un ensemble de satellites placés sur orbite polaire à faible inclinaison, vise l'étude à long terme des surfaces terrestres, de la biosphère, de la croûte terrestre, de l'atmosphère et des océans. Le programme CRYSYS est une étude scientifique interdisciplinaire réalisée dans le cadre du programme EOS de la NASA.



GEWEX/MAGS

L'étude **GEWEX (MAGS)** est la contribution du Canada à l'expérience mondiale sur les cycles de l'énergie et de l'eau (GEWEX pour Global Energy and Water Cycle Experiment). Le principal objectif de l'étude MAGS est d'améliorer la modélisation et les connaissances des régions froides, des processus météorologiques et hydrologiques qui prévalent aux latitudes septentrionales et de l'incidence de ces facteurs sur le système climatique mondial. Les participants au programme CRYSYS bénéficient d'importants liens à l'étude MAGS par le biais de la recherche sur la surveillance de la cryosphère et des processus liés aux climats froids.

GTN-G

L'initiative **Global Terrestrial Observing System Glacier Network (GTN-G)** a été créée en 1998 dans le but servir de base à la surveillance coordonnée et systématique du bilan massique des glaciers au moyen de la température et des dimensions de ces derniers. Le GTN-G est géré par le World Glacier Monitoring Service (WGMS). La CGC est le correspondant canadien au WGMS et fournit des données annuelles relatives au bilan massique et aux évaluations au nom du GTN-G. Le centre régional GLIMS de l'Extrême-Arctique canadien, parrainé par CRYSYS, contribuera également des données et des informations au GTN-G.

GTN-P

Le **Réseau mondial de surveillance terrestre du pergélisol** a été mis sur pied par la International Permafrost Association (IPA) dans le but d'organiser et de gérer un réseau mondial d'observatoires de la cryosphère servant à la détection, à la surveillance et à la prédiction des changements climatiques. Ce réseau, autorisé dans le cadre du Système mondial d'observation du climat (GCOS) et de ses organismes associés, surveille deux éléments, soit la couche active (la couche de surface qui gèle et dégèle annuellement) et l'état thermique du pergélisol qui se trouve sous la couche active. Le projet GTN-P est actuellement géré par la Commission géologique du Canada.

MAGICS

Le projet **Mass Balance of Arctic Glaciers and Ice Sheets in relation to Climate and Sea Level Changes (MAGICS)** a été lancé en 1996 par le Working Group on Arctic Glaciology (WGAG) sous l'égide du Comité international des sciences dans l'Arctique. L'objectif de cette initiative est de faciliter la compréhension de la réaction des glaciers aux changements climatiques et de quantifier la contribution de ces derniers à la hausse du niveau de la mer. Le National Glacier Program et le Centre régional GLIMS de l'Arctique canadien fournissent des données et des informations au projet MAGICS afin d'assurer l'atteinte des objectifs de ce dernier.

NOW

Le projet **International North Water Polynya Study (NOW)** fait partie du International Arctic Polynya Programme (IAPP) du Conseil scientifique de l'océan Arctique. Le programme de recherche a nécessité un effort concerté pendant plusieurs années (1997 à 1999) pour parvenir à comprendre le fonctionnement et l'importance de l'écosystème des eaux du Nord. Les chercheurs de CRYSYS ont joué un rôle prépondérant en ce qui a trait aux activités de recherche touchant la dynamique du manteau glaciaire.

SnowMIP

L'objectif principal de l'initiative **Snow Model Intercomparison Project (SnowMIP)** est de cerner les paramètres et les processus essentiels à la simulation du couvert nival dans diverses conditions climatiques. Pour ce faire, le projet mise sur une comparaison corrélative contrôlée d'une gamme de modèles d'enneigement aux degrés de complexité variables. CRYSYS participe au projet SnowMIP par le biais de son appui au Canadian Land Surface Scheme.

GLACE MARINE :

Agnew, T. A., H. Le, and M. Shokr, 1999: Characteristics of large winter leads over the Arctic Basin from 85.5 GHz DMSP SSM/I and NOAA/AVHRR imagery. *Journal canadien de télédétection*, **25**, 12-20.

Barber, D., J. Iacozza, and A. Walker, 2002: On the estimation of snow water equivalent (SWE) using microwave radiometry over first-year sea ice. *Remote Sensing of Environment (à l'examen)*.

Barber, D.G., E. Saczuk, and P. Richard, 2001: Examination of beluga-habitat relationships through the use of Telemetry and GIS. *Arctique*, **54**, 305-316.

Barber, D.G., J.J. Yackel, and J.M. Hanesiak, 2001: Sea ice, RADARSAT-1 and Arctic climate processes: A review and update. *Journal canadien de télédétection*, **27**, 53-63.

Barber, D.G., J.M. Hanesiak, W. Chan, and J. Piwowar, 2001: Sea-ice and meteorological conditions in northern Baffin Bay and the North Water Polynya between 1979 and 1996. *Atmosphère - Océan*, **39**, 343-359.

Barber, D.G., and J. Yackel, 1999: The physical, radiative and microwave scattering characteristics of melt ponds on Arctic landfast sea ice. *International Journal of Remote Sensing*, **20**, 2069-2090.

Barber, D.G., and S.V. Nghiem, 1999: The role of snow on the thermal dependence of microwave backscatter over sea ice. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **104(C11)**, 25789-25803.

Birch, J.R., D.B. Fissel, H. Melling, K. Vaudrey, K. Schaudt, J.C. Heideman, and W. Lamb, 2000: Ice Profiling Sonar. *Sea Technology (August 2000)*, 48-53.

Clausi, D.A., and Y. Zhao, 2002: Rapid co-occurrence texture feature extraction using a hybrid data structure. *Computers and Geosciences (sous presse)*

Clausi, D.A., 2002: K-means Iterative Fisher (KIF) unsupervised clustering algorithm applied to image texture segmentation. *Pattern Recognition (sous presse)*.

Clausi, D.A., 2002: An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization. *Journal canadien de télédétection (sous presse)*.

Clausi, D.A., and Y. Zhao, 2002: Grey level co-occurrence integrated algorithm (GLCIA): A superior computational method to determine co-occurrence texture features. *IEEE Geosciences and Remote Sensing (déposé)*

Clausi, D.A., 2001: Comparison and fusion of co-occurrence, Gabor and MRF texture features for classification of SAR sea-ice imagery. *Atmosphère - Océan*, **39**, 183-194.

DeAbreu, R., J. Yackel, D. Barber, and M. Arkett, 2001: Operational satellite sensing of Arctic first-year sea ice melt. *Journal canadien de télédétection*, **27**, 487-501.

Hanesiak, J., D.G. Barber, T. Papakyriakou, and R. Jordan, 2002: Utility of a coupled 1-D thermodynamic snow-sea ice model for microwave remote sensing. *Journal of Geophysical Research (Oceans) (à l'examen)*.

Hanesiak, J.M., J.J. Yackel, and D.G. Barber, 2001: Effect of melt ponds on first-year sea ice ablation - Integration of RADARSAT-1 and thermodynamic modelling. *Journal canadien de télédétection*, **27**, 433-442.

Hanesiak, J.M., D.G. Barber, R.A. DeAbreu, and J.J. Yackel, 2001: Local and regional albedo observations of arctic first-year sea ice during melt ponding. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **106(C1)**, 1005-1016.

Hanesiak, J.M., D.G. Barber, T.N. Papakyriakou, and P.J. Minnett, 2001: Parametrization schemes of incident radiation in the North Water Polynya. *Atmosphère - Océan*, **39**, 223-238.

Hanesiak, J.M., D.G. Barber and G.M. Flato, 1999: The role of diurnal processes in the seasonal evolution of sea ice and its snow cover. *Journal of Geophysical Research (Oceans)*, **104(C6)**, 13593-13604

Harouche, I.P.F., and D.G. Barber, 2002: Seasonal characterization of microwave emissions from snow-covered first-year sea ice. *Hydrological Processes*, **15**, 3571-3583.

Iacozza, J., and D.G. Barber, 2001: Ablation patterns of snow cover over smooth first-year sea ice in the Canadian Arctic. *Hydrological Processes*, **15**, 3559-3569.

Iacozza, J., and D.G. Barber, 1999: An examination of the distribution of snow on sea-ice. *Atmosphère-Océan*, **37**, 21-51.

Ingram, R.G., J. Bâcle, D.G. Barber, Y. Gratton, and H. Melling, 2002: A review of physical processes in the North Water. *Deep-Sea Research (sous presse)*.

Kreyscher, M., M. Harder, P. Lemke, and G.M. Flato, 2000: Results of the Sea Ice Model Intercomparison Project: Evaluation of sea ice rheology schemes for use in climate simulations. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **105(C5)**, 11299-11320.

GLACE MARINE :

Maslanik, J.A., M.C. Serreze and T. Agnew, 1999: Record reduction in western Arctic sea-ice cover in 1998: characteristics and relationships to atmospheric circulation. *Geophysical Research Letters*, **26**, 1905-1908.

McLaughlin, F.A., E.C. Carmack, R.W. MacDonald, H. Melling, and J.H. Swift, 2002: On the juxtaposition of Atlantic and Pacific origin waters in the Canada Basin 1997-1998. *Journal of Geophysical Research* (à l'examen).

Melling, H., 2002: Variation in the multi-year ice cover of the Northwest Passage: a contest between advection and melt (en préparation).

Melling, H., 2002: Sea ice of the northern Canadian Arctic Archipelago. *Journal of Geophysical Research* (sous presse).

Melling, H., Y. Gratton, and R.G. Ingram, 2001: Ocean Circulation within the North Water Polynya of Baffin Bay. *Atmosphère-Océan*, **39**, 301-325.

Melling, H., 2000: Exchanges of freshwater through the shallow straits of the North American Arctic. *The Freshwater Budget of the Arctic Ocean*. NATO/WCRP/AOSB, Kluwer Academic Publications, Amsterdam, 479-502. Proceedings of a WCRP/AOSB/NATO Advanced Research Workshop, Tallinn, Estonia, Avril 1998.

Schramm, J.L., G.M. Flato, and J.A. Curry, 2000: Toward the modeling of enhanced basal melting in ridge keels. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **105(C6)**, 14081-14092.

Sokol, J., T.J. Pultz, and A.E. Walker, 2002: Passive and Active airborne microwave remote sensing of snow cover. *International Journal of Remote Sensing* (déposé).

Vachon, P.W., P. Adlakha, H. Edel, M. Henschel, B. Ramsay, D. Flett, M. Rey, G. Staples, and S. Thomas, 2000: Canadian progress toward marine and coastal applications of synthetic aperture radar. *Johns Hopkins Apl. Technical Digest*, **21**, 33-40.

Wilson, K.J., D.G. Barber, and D.J. King, 2001: Validation and production of RADARSAT-1 derived ice-motion maps in the North Water (NOW) Polynya, Janvier-décembre 1998. *Atmosphère - Océan*, **39**, 257-278.

Wilson, K., D.G. Barber, and D. King, 2001: A case study in tracking 1998 spring ice dynamics in the Smith Sound, North Water Polynya Region using RADARSAT-1. *Annals of Glaciology*, **33**, 413-418.

Yackel, J.J., D.G. Barber, and T.N. Papakyriakou, 2001: On the estimation of spring melt in the North Water Polynya using RADARSAT-1. *Atmosphère - Océan*, **39**, 195-208.

Yackel, J.J., D.G. Barber, and J.M. Hanesiak, 2000: Melt ponds on sea ice in the Canadian Archipelago 1. Variability in morphological and radiative properties. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **105(C9)**, 22049-22060.

Yackel, J.J., and D.G. Barber, 2000: Melt ponds on sea ice in the Canadian Archipelago 2. On the use of RADARSAT-1 synthetic aperture radar for geophysical inversion. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **105(C9)**, 22061-22070.

NEIGE / HYDROLOGIE :

- Baghdadi, N., Y. Gauthier, M. Bernier, and J.P. Fortin, 2000: Potential and limitations of RADARSAT SAR data for wet snow monitoring. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **38**(1), 316-320.
- Baghdadi, N., J.P. Fortin, and M. Bernier, 1999: Accuracy of wet snow mapping using simulated Radarsat backscattering coefficients from observed snow cover characteristics. *Intl. J. Remote Sensing*, **20**, 2049-2068.
- Bernier, M., J.P. Fortin, Y. Gauthier, R. Gauthier, R. Roy, and P. Vincent, 1999: Determination of snow water equivalent using RADARSAT SAR data in eastern Canada. *Hydrological Processes*, **13**, 3041-3051.
- Brown, R.D., B. Brasnett, and D. Robinson, 2002: Gridded North American monthly snow depth and snow water equivalent for GCM validation. *Atmosphère-Océan (déposé)*.
- Brown, R.D., 2000: Northern Hemisphere snow cover variability and change, 1915-1997. *J. Climate*, **13**, 2339-2355.
- Derksen C., A. Walker, E. LeDrew, and B. Goodison, 2002. Time series analysis of passive microwave derived central North American snow water equivalent imagery. *Annals of Glaciology (sous presse)*.
- Derksen, C., and E. LeDrew, 2000: Variability and change in terrestrial snow cover: data acquisition and links to the atmosphere. *Progress in Physical Geography*, **24**, 469-498.
- Derksen, C., E. LeDrew, A. Walker, and B Goodison, 2000: Winter season variability in North American Prairie SWE distribution and atmospheric circulation. *Hydrological Processes*, **14**, 3273-3290.
- Derksen, C., E. LeDrew, A. Walker, and B Goodison, 2000: Influence of sensor overpass time on passive microwave-derived snow cover parameters. *Remote Sensing of Environment*, **71**, 297-308.
- Derksen, C., E. LeDrew, and B. Goodison, 2000: Temporal and spatial variability of North American prairie snow cover (1988-1995) inferred from passive microwave-derived snow water equivalent imagery. *Water Resources Research*, **36**, 255-266.
- De Sève, D., M. Bernier, J.-P. Fortin, et A. Walker, 2001: Estimation de l'équivalent en eau de la neige au sol dans un milieu de taïga à l'aide des données SSM/I. *Revue de Télédétection*, **2**, 13-28.
- Fassnacht, S.R., and E.D. Soulis, 2002: Implications during transitional periods of improvements to the snow processes in the land surface scheme - hydrological model WATCLASS. *Atmosphère-Océan (accepté)*.
- Fassnacht, S.R., N. Kouwen, and E.D. Soulis, 2001: Surface temperature adjustments to improve weather radar representation of multi-temporal winter precipitation accumulations. *Journal of Hydrology*, **253**, 148-168.
- Fassnacht, S.R., J. Innes, N. Kouwen, and E.D. Soulis, 1999: The specific surface area of fresh dendritic snow crystals. *Hydrological Processes*, **13**, 2945-2962.
- Fassnacht, S.R., E.D. Soulis, and N. Kouwen, 1999: Algorithm application to improve weather radar snowfall estimates for winter hydrologic modelling. *Hydrological Processes*, **13**, 3017-3039.
- Goïta, K., A.E. Walker, and B.E. Goodison, 2002: Algorithms development for the retrieval of snow water equivalent in the boreal forest using passive microwave data. *International Journal of Remote Sensing (à l'examen)*.
- Magagi, R., M. Bernier, and M.C. Bouchard, 2002: Use of ground observations to simulate the seasonal changes in the backscattering coefficient of the subarctic forest. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, (sous presse).
- Martin, D., M. Bernier, J.L. Sasseville, and R. Charbonneau, 1999: Financial evaluation of the integration of satellite technology for snow cover measurements at a hydroelectric plant. *International Journal of Remote Sensing*, **20**, 2033-2048.
- Pietroniro, A., and R. Leconte, 1999: A review of Canadian remote sensing applications in hydrology, 1995-1999. *Hydrological Processes*, **14**, 1641-1666.
- Pietroniro, A., T. Prowse, and D.L. Peters, 1999: Hydrologic assessment of an inland freshwater delta using multi-temporal satellite remote sensing. *Hydrological Processes*, **13**, 2483-2498.
- Roy, V., K. Goïta, A. Royer, A. Walker, and B. Goodison, 2002: A validation study of the HUT passive microwave snow emission model in the Canadian boreal forest. *International Journal of Remote Sensing (déposé)*.
- Woo, M.K., D.Q. Yang, and K.L. Young, 1999: Representativeness of arctic weather station data for the computation of snowmelt in a small area. *Hydrological Processes*, **13**, 1859-1870.
- Yang, D.Q., D.L. Kane, L.D. Hinzman, B.E. Goodison, J.R. Metcalfe, P.Y.T. Louie, G.H. Leavesley, D.G. Emerson, and C.L. Hanson, 2000: An evaluation of the Wyoming gauge system for snowfall measurement. *Water Resources Research*, **36**, 2665-2677.



GLACIERS ET CALOTTES GLACIAIRES :

- Arendt, A., and M. Sharp, 1999: Energy balance measurements on a high Arctic glacier and their implications for mass balance modelling. *IAHS Publications* **256**, 165-172.
- Blais, J.M., D.W. Schindler, D.C.G. Muir, M. Sharp, D. Donald, M. Lafreniere, E. Braekevelt, W.M.J. Strachan, M. Comba, and S. Backus, 2001: Melting glaciers: a major source of persistent organochlorines to subalpine Bow Lake in Banff National Park, Canada. *Ambio*, **30**, 410-415.
- Blais, J.M., D.W. Schindler, M. Sharp, E. Braekevelt, M. Lafreniere, D.C.G. Muir, and W. M.J. Strachan, 2001: Fluxes of semi-volatile organochlorines in Bow Lake, a remote high altitude, glacier-fed sub-alpine lake in the Canadian Rocky Mountains. *Limnology and Oceanography*, **46**, 2019-2031.
- Bourgeois, J.C., R.M. Koerner, K. Gajewski, and D.A. Fisher, 2000: A holocene ice-core pollen record from Ellesmere Island, Nunavut, Canada. *Quaternary Research*, **54**, 275-283.
- Burgess, D., and M. Sharp, 2002: Recent changes in the extent of the Devon ice cap, Nunavut, Canada. *Journal of Glaciology* (sur le point d'être déposé).
- Copland, L., and M. Sharp, 2001: Mapping thermal and hydrological conditions beneath a polythermal glacier with radio-echo sounding. *Journal of Glaciology*, **47**, 232-242.
- Demuth, M., and A. Pietroniro, 1999: Inferring glacier mass balance using RADARSAT - results from Peyto Glacier, Canada. *Geografiska Annaler Series A - Physical Geography*, **81A**, 521-540.
- Grumet, N.S.C.P. Wake, P.A. Mayewski, G.A. Zielinski, S.I. Whitlow, R.M. Koerner, D.A. Fisher, J.M. Woollett, 2001: Variability of sea-ice extent in Baffin Bay over the last millennium. *Climatic Change*, **49**, 129-145.
- Hubbard, A., I. Willis, M. Sharp, D. Mair, P. Nienow, B. Hubbard, and H. Blatter, 2000: Glacier mass balance determination by remote sensing and high resolution modelling. *Journal of Glaciology*, **46**, 491-498.
- Lamoureux, S. F., J. England, M. Sharp, and A. Bush. 2001. A varve record of Little Ice Age rainfall associated with volcanic activity, Arctic Archipelago, Canada. *The Holocene* **11**, 243-249.
- Moore, R.D., and M.N. Demuth, 2001: Mass balance and streamflow variability at Place Glacier, Canada, in relation to recent climate fluctuations. *Hydrological Processes*, **15**, 3473-3486.
- Munro, D.S., 2000: Progress in glacier hydrology: a Canadian perspective *Hydrological Processes*, **14**, 1627-1640.
- Sharp, M., R.A. Creaser, and M. Skidmore, 2002: Strontium isotope composition of runoff from a glaciated carbonate terrain. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **66**, 595-614.
- Sharp, M., M. Skidmore, and P. Nienow, 2002: Seasonal and spatial variations in the chemistry of a high Arctic supraglacial snowcover. *Journal of Glaciology* (sous presse)
- Sidjak, R.W., and R.D. Wheate, 1999: Glacier mapping of the Illecillewaet icefield, British Columbia, Canada, using Landsat TM and digital elevation data. *Int'l. Journal of Remote Sensing*, **20**, 273-284.
- Skidmore, M.L., and M. Sharp, 1999: Drainage system behavior of a high Arctic polythermal glacier. *Annals of Glaciology* **28**, 209-215.
- Zdanowicz, C.M., G.A. Zielinski, C.P. Wake, D.A. Fisher, and R.M. Koerner, 2000: A holocene record of atmospheric dust deposition on the Penny ice cap, Baffin Island, Canada. *Quaternary Research*, **53**, 62-69.



GLACE LACUSTRE :

Duguay, C.R., G.M. Flato, M.O. Jeffries, P. Ménard, and K. Morris, 2002: Ice cover variability on shallow lakes at high latitudes: Model simulations and observations. *Hydrological Processes* (déposé).

Duguay, C.R., P.M. Lafleur, T.J. Pultz, W.R. Rouse, and Y. Crevier, 2002: Monitoring ice freeze-up/ break-up and related processes of subarctic lakes using ERS-1 SAR data. *Remote Sensing of Environment* (à l'examen).

Duguay, C.R., T.J. Pultz, P.M. Lafleur, and D. Drai, 2002: RADARSAT backscatter characteristics of ice growing on shallow sub-arctic lakes, Churchill, Manitoba, Canada. *Hydrological Processes*, **14** (sous presse).

Duguay, C.R., and P.M. Lafleur, 2002: Estimating depth and ice thickness of shallow subarctic lakes using spaceborne optical and SAR data. *International Journal of Remote Sensing* (sous presse).



PERGÉLISOL ET GÉLISOLS :

Bartleman, A.-P., K. Miyanishi, C.R. Burn, and M.M. Côté, 2001: Development of vegetation communities in a retrogressive thaw slump near Mayo, Yukon Territory: a 10-year assessment. *Arctic*, **54**, 149-156.

Burn, C.R., 2000: The thermal regime of a retrogressive thaw slump near Mayo, Yukon Territory. *Revue canadienne des sciences de la terre*, **37**, 967-981.

Côté, M.M., and C.R. Burn, 2002: The oriented lakes of Tuktoyaktuk Peninsula, western Arctic coast, Canada: a GIS-based analysis. *Permafrost and Periglacial Processes*, **13** (sous presse).

Duguay, C.R., W.R. Rouse, P.M. Lafleur, L.D. Boudreau, Y. Crevier, and T.J. Pultz, 1999: Analysis of multi-temporal ERS-1 SAR data of subarctic tundra and forest in the northern Hudson Bay Lowland and implications for climate studies. *Journal canadien de télédétection*, **25**, 21-33.

Kokelj, S.V., and A.G. Lewkowicz, 1999: Salinization of permafrost terrain due to natural geomorphic disturbance, Fosheim Peninsula, Ellesmere Island. *Arctic*, **52**, 372-385.

Kotler, E., and C.R. Burn, 2000: Cryostratigraphy of the Klondike "muck" deposits, west-central Yukon Territory. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **37**, 849-861.

Lagacé, C., M. Bernier, et Y. Gauthier, 2002: Développement d'une approche pour le suivi du gel saisonnier à partir de l'utilisation conjointe d'images RADARSAT et d'images SSM/I. *Revue de Télédétection* (sous presse).

Lauriol, B., C.R. Duguay, and A. Riel, 2002: Response of the Porcupine and Old Crow rivers in northern Yukon, Canada, to Holocene climatic change. *Holocene*, **12**, 27-34.

Lewkowicz, A.G., and S.V. Kokelj, 2002: Slope sediment yield in and lowland continuous permafrost environments, Canadian Arctic Archipelago. *Catena*, **46**, 261-283.

Lewkowicz, A.G., and C.R. Duguay, 1999: Detection of permafrost features using SPOT panchromatic imagery, Fosheim Peninsula, Ellesmere Island, N.W.T. *Journal canadien de télédétection*, **25**, 34-44.

Mackay, J.R., and C.R. Burn, 2002. The first 20 years (1978/79 to 1998/99) of ice-wedge growth at the Illisarvik experimental drained lake site, western Arctic coast, Canada. *Revue canadienne des sciences de la terre*, **39**, 95-111.



CRYOSPHERE / MODÉLISATION CLIMATIQUE :

Barber, D., R. Marsden, P. Minnett, G. Ingram, and L. Fortier, 2001: Processus physiques dans la polynie des eaux du nord (NOW). *Atmosphère-Océan*, **39**, 167-171.

Flato, G.M., G.J. Boer, W.G. Lee, N.A. McFarlane, D. Ramsden, M.C. Reader, and A.J. Weaver, 2000: The Canadian Center for Climate Modelling and Analysis global coupled model and its climate. *Climate Dynamics*, **16**, 451-467.

Goodison, B.E., R.D. Brown, M.M. Brugman, C.R. Duguay, G.M. Flato, E.F. LeDrew, and A.E. Walker, 1999: CRYSYS - Use of the cryospheric system to monitor global change in Canada: Overview and progress. *Journal canadien de télédétection*, **25**, 3-11.



14. Équipe de projet CRYSYS



Chercheur principal :

Barry E. Goodison Service météorologique du Canada

Co-chercheurs : (liste présentée à la NASA en septembre 1997)

David Barber	Université du Manitoba
Monique Bernier	INRS-EAU, Université du Québec
Mindy Brugman	Service météorologique du Canada
Margo Burgess	Commission géologique du Canada
Ross Brown	Service météorologique du Canada
Mike Demuth	Commission géologique du Canada
Claude Duguay	Université Laval
Mike English	Université Wilfrid Laurier
Greg Flato	Service météorologique du Canada
Roy Koerner	Commission géologique du Canada
Ellsworth LeDrew	Université de Waterloo
Terry Pultz	Centre canadien de télédétection
Bruce Ramsay	Service canadien des glaces
Martin Sharp	Université de l'Alberta
Ric Soulis	Université de Waterloo
Anne Walker	Service météorologique du Canada

Autres membres du réseau CRYSYS jouant un rôle important au niveau de la recherche :

Tom Agnew	Service météorologique du Canada
Bea Alt	Balanced Environments Associates
Chris Burn	Université Carleton
Tom Carrieres	Service canadien des glaces
David Clausi	Université de Waterloo
Chris Derksen	Service météorologique du Canada
Steven Fassnacht	Université de Waterloo
Kalifa Goita	Université de Sherbrooke
Tom Hirose	Noetix Research Inc.
Antoni Lewkowicz	Université d'Ottawa
Humfrey Melling	Ministère des Pêches et des Océans (ISM)
Dan Moore	Université de la Colombie-Britannique
Scott Munro	Université de Toronto
Joe Piwowar	Université de Waterloo
Terry Prowse	Institut national de recherches hydrologiques
Alain Royer	Université de Sherbrooke
Sharon Smith	Commission géologique du Canada
Roger Wheate	Université du Nord de la C.-B.
Katherine Wilson	Service canadien des glaces
Hok Woo	Université McMaster
John Yackel	Université de Calgary





1. Neige :

Service météorologique du Canada

(programmes nationaux de surveillance de la neige; cartes indiquant l'équivalent en eau de la neige pour les Prairies; radiomètres de surface et aéroportés et variabilité du couvert nival)

Anne Walker
Division des observations de la Terre et des processus climatiques
Service météorologique du Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
CANADA
M3H 5T4

Tél. : (416) 739-4357
Courriel : anne.walker@ec.gc.ca

INRS-Eau:

(cartographie satellitaire du couvert nival; études du couvert nival sur le terrain et modélisation du couvert nival)

Monique Bernier
INRS-Eau
2800, rue Einstein, suite 105
Case postale 7500
Sainte-Foy, Québec
CANADA
G1V 4C7

Tél. : (418) 654-2585,
Courriel : Monique_Bernier@inrs-eau.quebec.ca

Université du Manitoba :

(télétection et modélisation de la neige recouvrant la glace marine; neige et écosystèmes arctiques)

David G. Barber
Directeur, Centre for Earth Observation Science
Université du Manitoba
Winnipeg, Manitoba
CANADA
R3T 2N2

Tél. : (204) 474-6981
Courriel: dbarber@Ms.UManitoba.CA





2. Glace marine :

Service canadien des glaces :

(programme national de prévision des glaces marines;
bases de données canadiennes sur les glaces marines;
applications satellites et modélisation des glaces marines)

RADARSAT - Dean Flett
Applications satellites - Katherine Wilson
Modélisation des glaces marines – Tom Carrieres

373, promenade Sussex
Bloc E, 3e étage
Ottawa, Ontario
K1A 0H3
Canada

Tél. : (613) 996-1550
Courriel : cis.client@ec.gc.ca
URL : www.cis.ec.gc.ca

Université du Manitoba:

(télédétection et modélisation des processus liés aux
glaces marines; glaces marines et écologie arctique, projet
NOW (North Open Water); projet CASES et programme C-
ICE sur le terrain)

David G. Barber
Directeur, Centre for Earth Observation Science
Université du Manitoba
Winnipeg, Manitoba
CANADA
R3T 2N2

Tél. : (204) 474-6981
Courriel : dbarber@Ms.UManitoba.CA



3. Glaces d'eau douce :

Institut national de recherches hydrologiques :

(englacement et déglacement des rivières et des lacs; contrôles climatiques à grande échelle du déglacement des rivières et des lacs; processus hydrologiques propres aux rivières et aux fleuves couverts de glace et inondations causées par des embâcles)

Terry D. Prowse
Chef de projet et chercheur scientifique principal
Institut national de recherche sur les eaux du CNRH
11 Innovation Blvd.
Saskatoon, Saskatchewan
CANADA
S7N 3H5

Tél. : (306) 975-5737
Courriel : Terry.Prowse@ec.gc.ca

Université Laval :

(base de données nationale sur les glaces lacustres; télédétection et modélisation des glaces lacustres et étude des glaces lacustres sur le terrain)

Claude R. Duguay
Université Laval
Laboratoire de télédétection et de modélisation
des environnements froids,
Département de géographie et
Centre d'études nordiques
Université Laval
Québec, Québec
G1K 7P4 Canada

Tél. : (418) 656-2131, poste : 3461
Courriel : claude.duguay@ggr.ulaval.ca

4. Glaciers et calottes glaciaires :

Programme national de glaciologie :

(réseau national portant sur le bilan massique des glaciers; correspondant canadien au World Glacier Monitoring Service; applications RADARSAT et d'altimétrie laser servant à la cartographie des glaciers; hydrologie des glaciers et étude des variations climatiques d'autrefois à l'aide de carottes de glace)

Michael N. Demuth
Glaciologue, spécialiste de la neige et des glaces
Commission géologique du Canada
Division de la science des terrains
601, rue Booth
Ottawa, Ontario
K1A 0E8
CANADA

Tél. : (613) 996 0235
Courriel : mdemuth@nrcan.gc.ca

Centre régional GLIMS sur l'Extrême-Arctique canadien :

(répertoire des glaciers de l'arctique canadien créé par satellite dans le cadre du programme Global Land Ice Monitoring from Space; interférométrie SAR; modélisation du bilan massique des glaciers; observations sur le terrain et étude des processus, surveillance à l'aide de géoradars; hydrologie des glaciers et réaction des glaciers aux régimes de circulation atmosphérique)

Martin J. Sharp
Département des sciences de la Terre et atmosphériques
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta
T6G 2E3

Tél. : (780) 492-4156
Courriel : Martin.Sharp@ualberta.ca



5. Pergélisol et sols gelés :

National Permafrost Monitoring Program:

(carottages et réseaux de surveillance de la couche active; bases de données nationales sur le pergélisol; études sur la sensibilité du pergélisol; utilisation de la télédétection pour la cartographie de la réaction du pergélisol au réchauffement climatique et correspondant canadien à la International Permafrost Association)

Margo Burgess et Dr Sharon Smith
Division de la science des terrains
Commission géologique du Canada
601, rue Booth
Ottawa, Ontario
CANADA
K1A 0E8

Tél. : (613) 996-9317/ (613) 947-7066
Courriel : mburgess@nrcan.gc.ca / ssmith@nrcan.gc.ca
URL : <http://sts.gsc.nrcan.gc.ca/permafrost/>

Université Laval :

(utilisation de la télédétection pour la cartographie des sols gelés)

Claude R. Duguay
Université Laval
Laboratoire de télédétection et de modélisation
des environnements froids,
Département de géographie et Centre d'études nordiques
Université Laval
Québec, Québec
CANADA
G1K 7P4

Tél. : (418) 656-2131, poste 3461
Courriel : claudeduguay@ggr.ulaval.ca





6. Réseau canadien d'information sur la cryosphère :

Portail donnant accès à des données sur la cryosphère canadienne; sauvetage de données cryosphériques et informations sur les variations des conditions cryosphériques au Canada.

Ellsworth LeDrew
Faculté des études environnementales,
Université de Waterloo
Waterloo, Ontario
CANADA
N2L 3G1

Tél. :
Courriel : ells@watleo.uwaterloo.ca
URL : www.ccin.ca





7. Projet CRYSYS :

Chercheur principal

Barry Goodison
Division des observations de la Terre et des processus cli-
matiques
Service météorologique du Canada
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
CANADA
M3H 5T4

Tél. : (416) 739-4357
Courriel : barry.goodison@ec.gc.ca

Secrétariat du CRYSYS

Ross Brown
Service météorologique du Canada
2121, route Transcanadienne
Dorval, Québec
CANADA
H9P 1J3

Tél. : (514) 421-4772
Courriel : ross.brown@ec.gc.ca
URL : www.crysys.ca, www.socc.ca



16. Acronymes



ALTM	Airborne LASER Terrain Mapper
AMIP	The Atmospheric Model Intercomparison Project
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer (EOS)
ASTER	Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (EOS)
BERMS	Boreal Ecosystem Research and Monitoring Sites
CALM	Circumpolar Active Layer Monitoring
CASES	Canadian Arctic Shelf Exchange Study
CCAF	Climate Change Action Fund
CCCma	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (MSC)
CCIN	Canadian Cryospheric Information Network
CCRP	Climate Processes and Earth Observation Division (MSC)
CCRS	Canadian Centre for Remote Sensing (NRCan)
CEONet	Canadian Earth Observation Network (now "GeoConnections")
C-ICE	Collaborative Interdisciplinary Cryospheric Experiment
CIS	Canadian Ice Service (MSC)
ClIC	Climate and Cryosphere Program (WCRP)
CryoSat	Cryosphere Satellite (ESA)
CRYSYS	Cryospheric System in Canada (www.crysys.ca)
CSA	Canadian Space Agency
DFO	Department of Fisheries and Oceans
EASE-Grid	Equal-Area Scalable Earth Grid
EC	Environment Canada
ENVISAT	Environmental Satellite (ESA)
EOS	Earth Observing System (NASA)
ERS 1-2	European Remote-Sensing Satellite (SAR)
ESA	European Space Agency
GCOS	Global Climate Observing System
GCM	Global Climate Model / General Circulation Model
GEWEX	Global Energy and Water Cycle Experiment (WCRP)
GLIMS	Global Land Ice Measurements from Space
GSC	Geological Survey of Canada (NRCan)
GTN-G	Global Terrestrial Network for Glaciers (GTOS network)
GTN-P	Global Terrestrial Network for Permafrost (GTOS network)
GTOS	Global Terrestrial Observing System (of GCOS)
HUT	Helsinki University of Technology
ICESat	Ice, Cloud and land Elevation Satellite (EOS)
ICSI	International Commission on Snow and Ice
IDS	Interdisciplinary Science Project (EOS)
IOS	Institute of Ocean Sciences (DFO)
INRS-Eau	Institut national de la recherche scientifique, U. Québec.
NASA	National Aeronautics and Space Administration (U.S.)
NRCan	Natural Resources Canada
MAGICS	Mass Balance of Arctic Glaciers and Ice Sheets in relation to Climate and Sea Level Changes
MAGS	Mackenzie GEWEX Study
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (EOS sensor)



16. Acronymes



MSC	Meteorological Service of Canada (EC)
NOW	North Water Polynya Study
NWRI	National Water Research Institute (EC)
QuickSCAT	Quick Scatterometer (NASA)
RADARSAT	Radar Satellite (CSA)
RCM	Regional Climate Model
SAR	Synthetic Aperture Radar
SnowMIP	Snow Model Intercomparison Project (ICSI)
SOCC	State of the Canadian Cryosphere (www.socc.ca)
SSM/I	Special Sensor Microwave Imager
SWE	Snow water equivalent
WCRP	World Climate Research Programme

