

Record Number: 26770
Author, Monographic: Bernier, M.//Ouarda, T. B. M. J.//van Bochove, E.
Author Role:
Title, Monographic: Suivi des caractéristiques du couvert nival, du sol et de la glace de rivière à l'aide des techniques de télédétection et de modélisation. Rapport d'étape no 2
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau, Terre & Environnement
Date of Publication: 2002
Original Publication Date: 5 décembre 2002
Volume Identification:
Extent of Work: iii, 14
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Terre & Environnement, rapport de recherche
Series Volume ID: 617 e2
Location/URL:
ISBN: 2-89146-496-6
Notes: Rapport annuel 2002-2003
Abstract: Numéro de rapport et ISBN demandés par Johanne le 20021210, attribué par jean-daniel 5.00\$
Call Number: R000617 e2
Keywords: rapport / ok

***Suivi des caractéristiques du couvert nival, du
sol et de la glace de rivière à l'aide des
techniques de télédétection et de modélisation***

Rapport d'étape R-617-e2

Décembre 2002

RAPPORT D'ÉTAPE

Suivi des caractéristiques du couvert nival, du sol et de la glace de rivière à l'aide des techniques de télédétection et de modélisation

Par

Dr Monique Bernier (PI) , INRS-ETE

Collaborateurs : Dr Taha Ouarda, INRS-ETE

Dr Eric Van Bochove, Agriculture Canada et INRS-ETE

Rapport de recherche No R-617-e2

5 décembre 2002

TABLE DES MATIÈRES

TABLES DES MATIÈRES	ii
LISTE DES FIGURES	iii
1. OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE LA RECHERCHE POUR 2002-2003	1
2. CONTRIBUTION AU PROGRAMME CRYSYS	2
3. BILAN DES ACTIVITÉS RÉALISÉES DE JUIN À NOVEMBRE 2002	4
4. ÉCHÉANCIER 2002-2003 RÉVISÉ	10
5. DISPONIBILITÉS DES DONNÉES DE TERRAIN (<i>DATA OUTPUTS</i>)	11
6. FORMATION DE CHERCHEURS	12
RÉFÉRENCES CITÉES	13

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : RELATION LINÉAIRE ENTRE LES VALEURS MOYENNES DE PERMÉABILITÉ ET DE DIFFUSION POUR DIFFÉRENTES COUCHES DE GLACE PRISES LORS DE L'HIVER 2001-2002	5
FIGURE 2 : MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DE CARACTÉRISATION DE LA GLACE DE RIVIÈRE	7
FIGURE 3 : ÉCHANTILLONNAGE DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA TENEUR EN EAU DU SOL	9

1. Objectifs scientifiques de la recherche pour 2002-2003

- 1) Mesurer l'importance relative de différents facteurs physiques et environnementaux affectant la présence des croûtes et des lentilles de glace dans le couvert nival ainsi que les échanges énergétiques, liquides et gazeux entre le sol et l'atmosphère et développer une méthode de suivi, en milieu naturel, des stades de formation et d'évolution des croûtes et lentilles de glace sur toute la période hivernale.
- 2) Dans la poursuite de nos études sur l'efficacité des radar à synthèse d'ouverture (RSO) pour la caractérisation et le suivi du couvert de glace des rivières du sud du Québec, évaluer l'efficacité des capteurs RSO multipolarisations (Convair-580, ENVISAT-1, RADARSAT-2).
- 3) Évaluer l'efficacité des capteurs RSO multipolarisations (Convair-580, ENVISAT-1, RADARSAT-2) pour le suivi du gel du sol en milieu agricole.

2. Contribution au programme CRYSYS

Le programme CRYSYS a été établi afin de reconnaître l'importance de la cryosphère dans les activités socio-économiques du Canada et le besoin de mieux comprendre les interactions cryosphère/climat. Il couvre cinq éléments de la cryosphère : la glace de mer, la neige, la glace de lac et de rivières, les glaciers et le pergélisol. Les activités de recherche menées par le programme CRYSYS utilisent la télédétection, la modélisation, les mesures de terrain et l'intégration de divers types de données ponctuelles (climatiques, hydrologiques, ...) afin de mieux suivre l'état de la cryosphère et de mieux comprendre les processus physiques et leur variabilité. Les trois principaux objectifs de CRYSYS (1999) sont :

- Développer le potentiel des capteurs satellitaires pour suivre et comprendre les variables de la cryosphère dans le temps et l'espace.
- Contribuer au développement et à la validation de modèles locaux, régionaux ou globaux afin de mieux comprendre le rôle de la cryosphère dans les changements climatiques.
- Assembler, maintenir et analyser des ensembles de données (historiques, expérimentales, ou autres) sur la cryosphère pour le développement et la validation de modèles et le suivi du climat.

Les quatre objectifs proposés par notre équipe cette année, tout en s'inscrivant dans le programme de recherche de l'INRS-Eau sur le développement de nouveaux outils de télédétection en hydrologie, contribuent à ces trois principaux objectifs de CRYSYS. De plus, ils contribuent à trois objectifs spécifiques de la composante neige de CRYSYS.

- L'amélioration des connaissances sur la variabilité spatiale et aussi temporelle des propriétés du couvert nival et leurs interactions avec le système climatique (objectifs 1, 3).
- La récupération de relevés *in situ* sur les propriétés du couvert nival (objectif 1).
- Le développement et le raffinement d'algorithmes pour estimer les propriétés de la glace de rivière à partir des données micro-ondes actives et passives (objectif 2).

3. Bilan des activités réalisées de juin à novembre 2002

Pour les trois objectifs, l'ensemble des activités se déroulent comme prévu (section 4.0).

Objectif 1 : Mesurer l'importance relative de différents facteurs physiques et environnementaux affectant la présence des croûtes et de lentilles de glace dans le couvert nival ainsi que les échanges énergétiques, liquides et gazeux entre le sol et l'atmosphère et développer une méthode de suivi, en milieu naturel, des stades de formation et d'évolution des croûtes et lentilles de glace sur toute la période hivernale.

En juin, une communication intitulée *Changes in the structure and permeability of artificial ice layers containing fluorescent tracer in cold and wet snow cover*, a été présentée par Guillaume Fortin au 59^{ième} Eastern Snow Conference, Stowe, Vermont, en juin. Dr. Martin Schneebeli du Swiss Federal Institute for snow and Avalanche Research est co-auteur de cette communication ainsi que G.H. Jones et M. Bernier de l'INRS-ETE..

Durant l'été 2002, les données recueillies à l'hiver 2001 et 2002 ont été analysées afin d'établir des liens entre certains paramètres environnementaux (vent, température et rayonnement) et les processus de formation, d'évolution et de désagrégation des couches de glace. De plus, le dosage des gaz et le calcul des données de perméabilité intrinsèque ont été terminés et analysés. Tel que mentionné dans la littérature les résultats obtenus démontrent qu'il existe peu de relation entre la perméabilité et la porosité. De plus, les résultats issus de l'hiver 2001-2002 suggèrent qu'il existe une relation entre la diffusion des gaz et la perméabilité intrinsèque des couches et des lentilles de glace (figure 1) par contre la quantité limitée des données disponibles actuellement n'est pas suffisante pour que cette relation soit clairement démontrée. C'est pour cette raison que des données supplémentaires seront acquises au cours de l'hiver 2002-2003 afin

de pouvoir statuer sur l'existence de telles relations entre ces deux paramètres. D'autre part, suite aux mesures et aux observations faites au cours des derniers hivers, il existe une relation entre les gradients de diffusion de certains gaz (O_2 , N_2O et CO_2) dans le sol et la neige et la présence de couches de glace de faible perméabilité dans le couvert nival. Bref, ce type de masses de glace peut modifier les patrons de diffusion de gaz, du moins pour une échelle spatiale limitée (de l'ordre de quelques mètres).

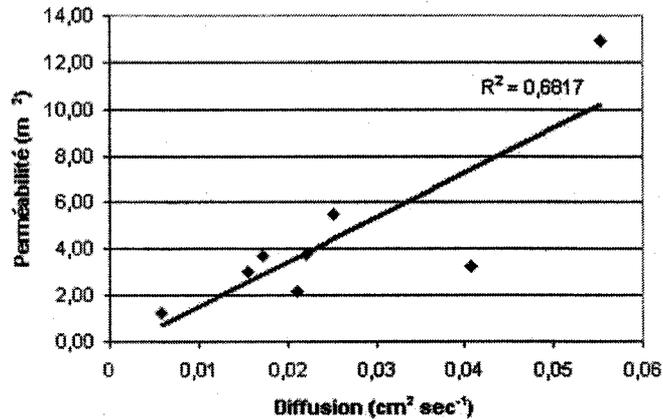


Figure 1 : Relation linéaire entre les valeurs moyennes de perméabilité et de diffusion pour différentes couches de glace prises lors de l'hiver 2001-2002.

Des analyses de la microstructure (porosité, densité ponctuelle et tortuosité) de la neige (Perla, 1982) ont aussi été faites en laboratoire sur des échantillons des couches de glace semi-poreuses qui ont été prélevés conjointement aux prises de mesures de données diffusion et de perméabilité durant l'hiver 2002. Malheureusement, aucune relation significative n'a pu être établit entre les valeurs de microstructure mesurées et les valeurs estimées. Le manque de concordance entre ces données est principalement attribuable au fait que les valeurs mesurées, issues des images macroscopiques, fournissent des valeurs ponctuelles provenant d'un plan (une image) et non d'une série d'images qui permettraient alors de faire des analyses stéréologiques, ce qui fournirait des valeurs moyennes pour un certain volume de glace (un échantillon de $3 cm^3$ par exemple). Par contre, les valeurs estimées de la microstructure, calculé à partir de la densité de la glace, fournissent une valeur moyenne pour l'ensemble de l'échantillon ce qui rend difficile, voire impossible la comparaison entre les deux méthodes. Pour que des analyses stéréologiques

soient possibles, il aurait fallu utiliser certains équipements dont nous ne disposons pas. Cette méthode ne sera donc pas utilisée au cours de l'hiver 2002-2003 et nous nous limiterons donc à estimer les paramètres structuraux à partir de la densité des échantillons de glace.

Une dernière campagne de mesures est prévue de la mi-décembre 2002 à la fin mars 2003 : profils stratigraphiques du couvert nival, mesures de diffusion et de la perméabilité intrinsèque des couches de glace, suivi de croûtes de glace artificielles. Cet automne, les chambres de diffusion et l'échantillonneur du perméamètre ont été modifiés afin de se conformer à la méthode standard de calcul de la diffusion décrite par Cussler (1984). Cela devrait nous amener à prendre des valeurs de diffusion des gaz plus fiables et constantes. De plus, 15 lysimètres ont été fabriqués et installés à la ferme expérimentale d'Agriculture et Agroalimentaire (Lévis, Québec) afin de recueillir l'eau de fonte sous les croûtes de glace artificielles ce qui nous permettra d'effectuer le bilan de perte de traceur durant l'ensemble de la période hivernale.

Objectif 2 : Dans la poursuite de nos études sur l'efficacité des radar à synthèse d'ouverture (RSO) pour la caractérisation et le suivi du couvert de glace des rivières du sud du Québec, évaluer l'efficacité des capteurs RSO multipolarisations (Convair-580, ENVISAT-1, RADARSAT-2).

Le survol du Convair-580 est prévu au-dessus de la rivière Saint-François vers le 10 février 2003, grâce à une entente de collaboration entre l'ASC et Agriculture et Agroalimentaire Canada, et auquel s'est joint l'INRS-ETE. De plus, pour faire le lien avec les images multipolarisations aéroportées et les images RADARSAT en mode HH, une image RADARSAT-1 en mode Fin sera acquise le 11 février.

Afin de pouvoir interpréter les données multipolarisations acquises par le Convair-580, une collecte intense de données sur l'état de la glace sera organisée simultanément au survol. Des collègues du CRREL (Brian Tracy, Steven Daly, Kathleen White, Steve Arcone), de BCHydro (Frank Weber, Martin Jasek) de l'Université de l'Alberta (Faye Hicks) et de Environnement Canada (Raymond Bourdages, Stuart Hamilton) se joindront à l'équipe de l'INRS-ETE pour cette campagne. La mesure de l'épaisseur et la caractérisation de la glace (profil) seront

effectuées sur une grille d'échantillonnage dense et sur certains transects représentatifs (forages et géoradar). La section expérimentale de la rivière (50 km) sera aussi survolée en hélicoptère afin d'identifier les types de glace, le pourcentage de couverture par la glace (eau libre) et de localiser les embâcles, le cas échéant. Ces données serviront à l'analyse des données RSO multipolarisations mais serviront aussi à la compréhension du signal des images RADARSAT-1 en mode Fin acquises les hivers précédents. Un *Atelier sur le suivi de la glace de rivière* se tiendra aussi la même semaine que les relevés de terrain afin de maximiser les échanges scientifiques entre les divers participants et d'élaborer des collaborations futures.

Parallèlement, les paramètres à intégrer dans le SIG ont été définis dans le cadre de la préparation de l'examen doctoral d'Ali Elbattay qui a eu lieu le 26 novembre dernier. Le principal objectif de cette thèse est la caractérisation de la glace d'une rivière moyenne à l'aide d'un système d'information géographique et des images du satellite RADARSAT.

La méthodologie (figure 2), prévoit l'utilisation des images RADARSAT (mode fin) et d'un système d'information géographique regroupant les données morphologiques, météorologiques et historiques pour caractériser la glace de rivière à l'aide de l'analyse contextuelle d'une classification orientée-objet.

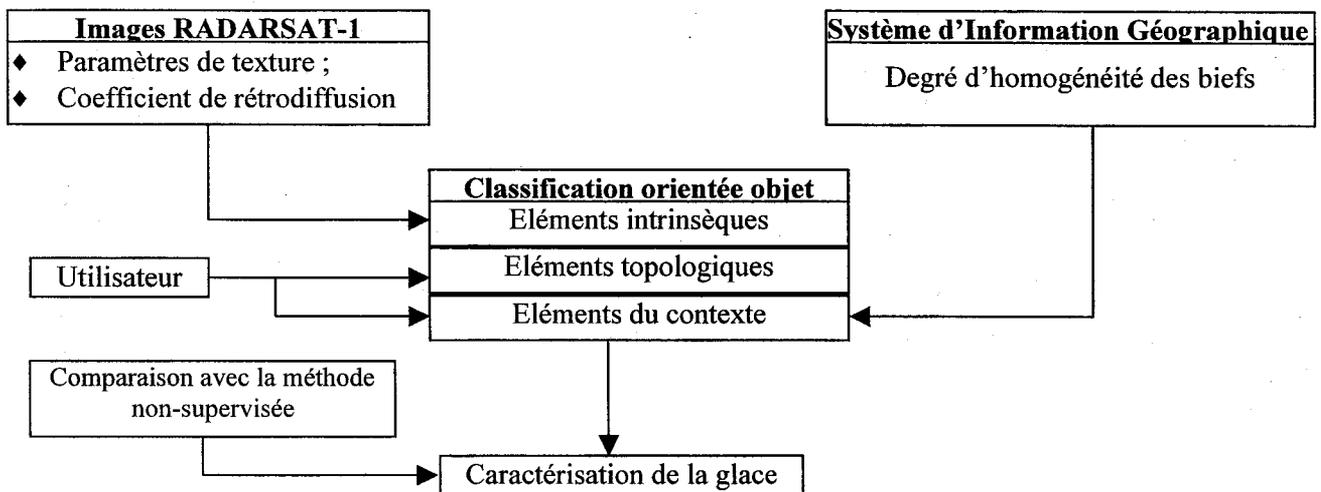


Figure 2 : Méthodologie générale de caractérisation de la glace de rivière

Les données polarimétriques du Convair-580 seront également intégrées à la méthode pour en valider l'apport supplémentaire d'information.

Objectif 3 : Évaluer l'efficacité des capteurs RSO multipolarisations (Convair-580, ENVISAT-1, RADARSAT-2) pour le suivi du gel du sol en milieu agricole.

En milieu agricole, le gel hivernal du sol cause souvent des dégâts considérables aux cultures telles les luzernières ce qui résultent en des pertes économiques (Asselin, 1991). Il a été établi que les conditions dangereuses pour la luzerne sont un faible couvert de neige, une exposition à de froides températures et une couche de glace au sol (Belzile, 1987). Dans ce contexte, ils seraient intéressants de connaître les secteurs de risque de gel, d'identifier les différents mécanismes de trappage de la neige, et d'informer les producteurs des mesures correctives à prendre. Une carte du risque de gel dérivé des capteurs RSO serait donc un bon outil d'analyse et de prévention. C'est pourquoi, nous évaluons l'efficacité des capteurs RSO multipolarisations pour le suivi du gel du sol dans le cadre du mémoire de maîtrise de Laurent Bonnifait.

De juin à septembre 2002, la revue de la littérature a été réalisé et portait sur l'utilisation des données RSO pour le suivi du gel du sol (ERS-1, RADARSAT-1), des données multipolarisations en agriculture (missions SIR-C), l'utilisation des SIG comme système de prévisions des risques en environnement. L'approche méthodologique a aussi été précisée.

Du début octobre à la mi-novembre des sondes de température ont aussi été fabriqués et installés à trois différentes profondeurs dans le sol à la ferme expérimentale de Chapais. Un premier survol aéroporté a eu le 13 novembre 2002 (sans neige). Des données de température, d'humidité volumique et de rugosité du sol ont été prises sur 5 parcelles agricoles.



Figure 3 : Échantillonnage de la température et de la teneur en eau du sol

Un second survol est prévu en février 2003, lors du survol de la rivière Saint-François (objectif 2). Les paramètres du couvert nival seront mesurés (hauteur, densité) mais aussi plusieurs sondes thermiques seront installés dans le sol. Une parcelle en fourrage sera même tenu dégagée (sans neige) jusqu'au passage du Convair-580 afin de bien identifier le rôle du couvert nival.

En complément aux données aéroportées et au cas d'impossibilité du survol, nous avons aussi prévu l'acquisition de deux images RADARSAT en mode Fin, l'une en novembre 2002 et l'autre en février 2003. Celle de novembre n'a pu être prise.

4. Échéancier 2002-2003 révisé

<p>Objectif 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Traitement et analyse statistique des données recueillies à l'hiver 2002. - Analyse de la microstructure. - Présentation d'une communication à <i>Eastern Snow Conference</i>. - Préparation des instruments en vue de la campagne de l'hiver 2003. - Dernière campagne de terrain. - Rédaction de la thèse et d'articles. - Préparation et présentation d'une communication à CRYSYS. 	<p>Juin – octobre 2002</p> <p>Mai – octobre 2002</p> <p>Juin 2002</p> <p>Novembre 02</p> <p>Décembre 02 – Mars 03</p> <p>Juin 2002 – Juin 2003</p> <p>Mars 2003</p>
<p>Objectif 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Préparation de la campagne de terrain et de l'Atelier. - Cueillette des données en conjonction avec le survol et tenue de l'atelier. - Poursuite de l'analyse des images RADARSAT des hivers antérieurs, définition des paramètres à intégrer dans le SIG. - Examen doctoral d'Ali El-Battay. - Préparation et présentation d'une communication au Centre d'études nordique. - Préparation et présentation d'une communication à CRYSYS. 	<p>Octobre 2002 – février 2003</p> <p>Février 2002</p> <p>Mai 02 – Février 2003</p> <p>26 novembre 2002</p> <p>18 décembre 2002</p> <p>Mars 2003</p>
<p>Objectif 3 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Revue de la littérature. - Planification des campagnes et installation des sondes thermiques - Survol aéroporté d'automne et cueillette des données de température et d'humidité du sol - Survol aéroporté d'hiver et cueillette des données de température et d'humidité du sol - Préparation et présentation d'une communication à CRYSYS 	<p>Mai – août 2002</p> <p>Octobre-novembre 2002</p> <p>13 novembre 2002</p> <p>Février 2003</p> <p>Mars 2003</p>

5. Disponibilités des données de terrain (*data outputs*)

Les données de terrain sur la neige acquises dans la région de Saint Romuald (2001, 2002, 2003) et celles sur le couvert de glace de la rivière Saint-François, seront transférées ultérieurement dans la base de données du CCIN.

Les images RADARSAT en mode Wide acquises ont été transférées à la base de données CCIN à la fin de l'été 2002.

6. Formation de chercheurs

Les trois objectifs sont réalisés par des étudiants :

L'objectif 1 est réalisé dans le cadre de la thèse de Guillaume Fortin qui est inscrit au Doctorat en sciences de l'eau depuis septembre 1998.

Directeur : Dr. Monique Bernier

Co-directeur : Dr Éric Martin (Météo-France)

L'objectif 2 est réalisé en partie, dans le cadre des activités doctorales d'Ali El Battay qui a débuté un doctorat en sciences de l'eau à l'été 2001, en partie par Yves Gauthier et d'autres collaborateurs.

Directeur : Dr. Monique Bernier

Co-directeur : Dr Taha Ouarda

L'objectif 3 est réalisé par Laurent Bonnifait qui s'est inscrit à la maîtrise en sciences de l'eau en mai 2002.

Directeur : Dr. Monique Bernier

Co-directeur : Dr Éric Van Bochove

Tous les étudiants seront aussi encadrés et assistés par M. Yves Gauthier, agent de recherche spécialisé en télédétection et en système d'information géographique.

Références citées :

- Asselin, R. (1991). La survivance des luzernières en sols aplanis. Rapport d'étude, MAPAQ, Bureau régional de Nicolet, 24 p.
- Belzile, L., Michaud, R., Dupuis, G., Genest, J., Jacob, J.-P. et W. Mason (1987). Les dommages d'hiver au luzernières; comment les atténuer. Bulletin d'extension, 1. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, 20 p.
- Cussler, E.L. (1984). Diffusion and Mass Transfer in Fluid Systems. Cambridge University Press, pp. 62-65.
- Perla, R. 1982. Preparation of section planes in snow specimens. Journal of Glaciology 28(98), pp. 199-204.