

Record Number: 123000
Author, Monographic: Bernier, M.//Gauthier, Y.//Fortin, G.//El Battay, A.//Khalidoune, J.//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 4
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau, Terre & Environnement
Date of Publication: 2004
Original Publication Date: 31 mars 2004
Volume Identification:
Extent of Work: v, 16
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Terre & Environnement, rapport de recherche
Series Volume ID: 617 e4
Location/URL:
ISBN:
Notes: Rapport annuel 2003-2004
Abstract: Dépot fait le 18 mai 2004
Call Number: R000617 e4
Keywords: rapport / ok/ pdl

***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 de recherche No R-617-e4

Mars 2004

Rapport de recherche

2003-2004

**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

Monique Bernier

Yves Gauthier, Guillaume Fortin, Ali El Battay,

Jalal Khaldoune, Taha Ouarda (INRS-ETE)

et Eric Van Bochove (Agriculture et Agroalimentaire Canada)

Rapport de recherche N° R-617-e4

31 mars 2004

TABLE DES MATIÈRES

1	OBJECTIFS SCIENTIFIQUES DE LA RECHERCHE POUR 2003-2004	1
2	CONTRIBUTION AU PROGRAMME CRYSYS	2
3	BILAN DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DE L'ANNÉE 2003-2004	4
4	FORMATION DE CHERCHEURS	11
5	PUBLICATIONS RÉCENTES DÉCOULANT DES ACTIVITÉS FINANCÉES PAR CRYSYS	12

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : ACQUISITION D'IMAGES 2003-2004	7
TABLEAU 2 : CARACTÉRISTIQUES DES SITES EXPÉRIMENTAUX.....	8

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1 : PROFIL DE TEMPÉRATURES DU SOL POUR LES CHAMPS SÉLECTIONNÉS (NOVEMBRE 2003-FÉVRIER 2004).....9
- FIGURE 2 : IMAGES RADARSAT-1 EN MODE F1, LES POINTS ROUGES INDIQUENT LES SITES CHOISIS POUR NOTRE ÉTUDE. ENTRE LE MOIS DE NOVEMBRE ET LE MOIS DE JANVIER NOUS AVONS OBSERVÉ UNE NETTE RÉDUCTION DU COEFFICIENT DE RÉTRODIFFUSION. ...10

1 Objectifs scientifiques de la recherche pour 2003-2004

Volet #1 : Couvert nival

Mesure de 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.

Volet #2 : Glace de rivière

Développement d'une approche contextuelle pour la caractérisation et le suivi du couvert de glace de rivière à partir d'images RADARSAT-1.

Volet #3 : Gel du sol

Développement d'une méthode de mesure et de cartographie du gel du sol sous couvert de neige en milieu agricole à l'échelle d'un bassin versant à partir d'images radar monopolarisées (RADARSAT-1), multipolarisées (ENVISAT) et polarimétriques (RADARSAT-2/Convair-580).

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 trois volets proposés par notre équipe cette année, tout en s'inscrivant dans le programme de recherche de l'INRS-ETE sur le développement de nouveaux outils de télédétection en hydrologie, contribuent à ces trois principaux objectifs de CRYSYS. De plus, ils contribuent aux trois objectifs spécifiques suivants:

- L'amélioration des connaissances sur la variabilité spatiale et aussi temporelle des propriétés du couvert nival et leurs interactions avec le système climatique (volets 1 et 3).
- La récupération de relevés *in situ* sur les propriétés du couvert nival (volets 1 et 3).

- Le développement et le raffinement d'algorithmes pour estimer les propriétés de la glace de rivière à partir des données micro-ondes actives (volet 2).

3 Bilan des activités de recherche de l'année 2003-2004

Pour les trois volets, l'ensemble des activités s'est déroulé comme prévu. Le volet #1 sur le suivi des lentilles de glace dans le couvert de neige a été complété. Les volets #2 (Glace de rivière) et #3 (Gel du sol) se sont poursuivis normalement. Les activités réalisées lors de la dernière année sont résumées ici.

3.1 Activités tenues dans le cadre du volet #1 : couvert nival

Ce volet a été réalisé par Guillaume Fortin dans le cadre de sa thèse de Doctorat en Science de l'eau. Ce dernier a complété et déposé sa thèse en août 2003 et l'a soutenue avec succès le 27 octobre 2003. Depuis le mois d'août 2003, il occupe un poste de professeur en géographie à l'Université de Hearst, en Ontario.

Résumé de la thèse

La présence de couches de glace et de croûtes de surface dans un couvert nival saisonnier est un phénomène récurrent dans l'Est du Canada. La présence de ce type de couches de glace peut modifier les échanges gazeux et liquide entre le sol, le couvert neigeux et l'atmosphère. Suite à ce constat, nous avons élaboré deux objectifs principaux pour cette recherche. Le premier objectif est de mesurer l'importance relative de différents facteurs physiques environnementaux régissant la formation, l'évolution et la désagrégation des masses de glace horizontales dans le couvert nival. Le second objectif est de développer des méthodes et des instruments qui puissent permettre d'effectuer le suivi des principales propriétés physiques des masses de glace horizontales, en milieu naturel, tout au long de l'hiver dans un contexte climatique tempéré caractéristique du Sud du Québec.

Grâce à des collectes intensives de données de terrain réalisées au cours de trois hivers consécutifs (entre 2000 et 2003), nous avons été en mesure de recueillir diverses informations quantitatives et qualitatives relatives aux conditions environnementales (stations météorologiques automatisées) et aux propriétés physiques des masses de glace. Parmi ces propriétés physiques,

nous avons mesuré quantitativement la perméabilité à l'air des couches de glace en utilisant un perméamètre, le coefficient de diffusion de ces mêmes couches en utilisant des chambres de diffusion et un gaz inerte, le gradient de diffusion du N₂O et du CO₂ pour l'ensemble du couvert neigeux en utilisant des sondes à niveaux multiples. Nous avons également pu étudier quantitativement et qualitativement les fluctuations de perméabilité de couches de glace artificielles contenant un traceur fluorescent. Certaines autres propriétés physiques, telles que la tortuosité et la porosité, ont été estimées indirectement.

Les deux objectifs de la thèse ont été atteints. Dans un premier temps, nous discutons des relations entre les conditions environnementales et les processus de formation, d'évolution et de désagrégation des masses de glace horizontales. Ces masses subissent des modifications importantes lorsqu'elles sont exposées à la surface (formation et désagrégation) où elles sont moins sujettes à des modifications morphométriques que lorsqu'elles sont enfouies dans le couvert nival. Les couches ensevelies seront modifiées soit par une hausse de la température du couvert (état d'isothermie) ou par un apport important en eau (fonte ou pluie), ces deux phénomènes étant intimement liés. Les méthodes et instruments que nous avons développés au cours de ces trois hivers se sont avérés efficaces et fiables ce qui nous a permis d'atteindre notre second objectif.

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cette thèse fournis des méthodes innovatrices (suivi avec le traceur, utilisation d'un perméamètre et de chambres de diffusion combinées et fonctionnelles en milieu naturel). De plus, une base de données expérimentales sur les propriétés physiques des masses de glace a été préparée. Ce type de d'information a été peu documenté. Nous avons donc démontré par le biais des résultats obtenus que les masses de glace horizontales modifiaient effectivement les échanges gazeux et liquides dans le couvert neigeux principalement en ralentissant la vitesse des échanges gazeux entre le sol, le couvert et l'atmosphère.

Communication présentée

G. Fortin, E. van Bochove, H.G. Jones, G. Thériault and M. Bernier, In-situ measurements of air permeability and gas diffusion through intra-pack ice layers in a seasonal snowpack, 5th Circumpolar Ecosystems International Workshop and Symposium, 25-28 février 2004.

3.2 Activités tenues dans le cadre du volet #2 : Glace de rivière

Ce volet est principalement réalisé par Ali El Battay dans le cadre de sa thèse de Doctorat en Science de l'eau.

Caractérisation du tronçon étudiée de la rivière

Le développement du système d'information géographique (plate-forme ArcView™) pour la caractérisation du chenal de la rivière est presque complété. En effet, les subdivisions en terme de largeur, sinuosité, pente générale et bathymétrie sont achevées. Il reste à faire le montage dans le SIG en prenant en compte les données de terrain et les données historiques.

Classification contextuelle

L'élaboration de l'approche de classification contextuelle des images radar à partir du logiciel de classification contextuelle orientée-objet *Ecognition™* est en cours. Des tests préliminaires utilisant cette approche se sont avérés concluants. Cependant, il faut absolument choisir les paramètres de texture extraits des images radar qui au même titre que les données du SIG, forment les entrants d'une telle approche. Une nouvelle étape s'impose donc, l'analyse de texture des images et le choix des paramètres. .

Le 4 et 5 décembre 2003 un programme de formation spéciale sur le logiciel *Ecognition™* a été suivi par Ali El Battay, étudiant en doctorat travaillant sur ce volet.

Traitement des images polarimétriques

Les images polarimétriques acquises sur la rivière Saint-François à l'hiver 2003 n'ayant pas été livrées par le fournisseur, elles n'ont donc pas été traitées.

Communication présentée

Yves Gauthier, Ali El Battay, Monique Bernier et Taha Ouarda, Using contextual analysis to monitor river ice from RADARSAT data, *Eastern Snow Conference's 60th annual meeting*, Sherbrooke, Juin 4-6, 2003

3.3 Activités tenues dans le cadre de l'objectif #3 (gel du sol)

Ce volet est réalisé par Jalal Khaldoune dans le cadre de sa thèse de Doctorat en Science de l'eau.

Traiter et analyser les données de terrain acquises à l'hiver 2002-2003;

Le traitement de ces données a été effectué et leur analyse a été présentée dans une communication par affiche au dernier Symposium canadien de télédétection en octobre 2003.

Planifier l'acquisition d'images radar et les relevés terrain pour l'hiver 2003-2004, sur le site d'étude

Ces activités ont été réalisées. Le tableau 1 résume les acquisitions d'images planifiées et effectuées pour l'hiver 2003-2004 et le tableau 2 donne les principales caractéristiques des parcelles agricoles sites expérimentaux sélectionnés.

Tableau 1 : Acquisition d'images 2003-2004

Date	RADARSAT-1	ENVISAT/ASAR
8-11-03	F1 /Ascendant	
2-12-03	F1 /Ascendant	
21-12-03		S2/Descendant
26-12-03	F1 /Ascendant	
10-01-04		S3/Ascendant
19-01-04	F1 /Ascendant	
25-01-04		S2/Descendant
14-02-04		S3/Ascendant
29-02-04	F3N Ascendant	S2/Descendant
09-05-04		S2/Descendant

Tableau 2 : Caractéristiques des sites expérimentaux

Matériau	Région physiographique	Série sédimentaire	Drainage	Texture	Culture	n°. Champ
Till	Appalaches	Woodbridge	Moyen à imparfait	L-LS	Foin	9
	Appalaches	Woodbridge	Modéré	L-LS	Mais	10
	Basse terre	Mawcook	Mal drainé	LS	Foin	1
	Basse terre	Mawcook	Mal drainé	LS	Labour	2
Sédiments lacustres	Basse terre	Neubois	Modéré à imparfait	L-Lli	Foin	5
	Basse terre	Neubois	Modéré à imparfait	L-Lli	Avoine	6
	Basse terre	Le Bras	Mal drainé	L-LA	Foin	3
	Basse terre	Le Bras	Mal drainé	L-LA	Mais	4
Fluvatile	Basse terre	Beaurivage	Modéré	L-LS	Foin	7
Organique	Basse terre	Sol organique	Très mal drainé		Foin	11
	Basse terre	Sol organique	Très mal drainé		Labour	12

Chaque site a été caractérisé (profil pédologique, profil topographique, conductivité électrique) et instrumenté de 18 thermocouples et d'une sonde TDR à l'automne 2003.

Effectuer des relevés terrain sur les différentes parcelles expérimentales en 2003-2004

Lors de chaque acquisition d'image, la hauteur et la densité du couvert de neige, de même que la température et la constante diélectrique du sol ont été mesurées.

Résultats préliminaires

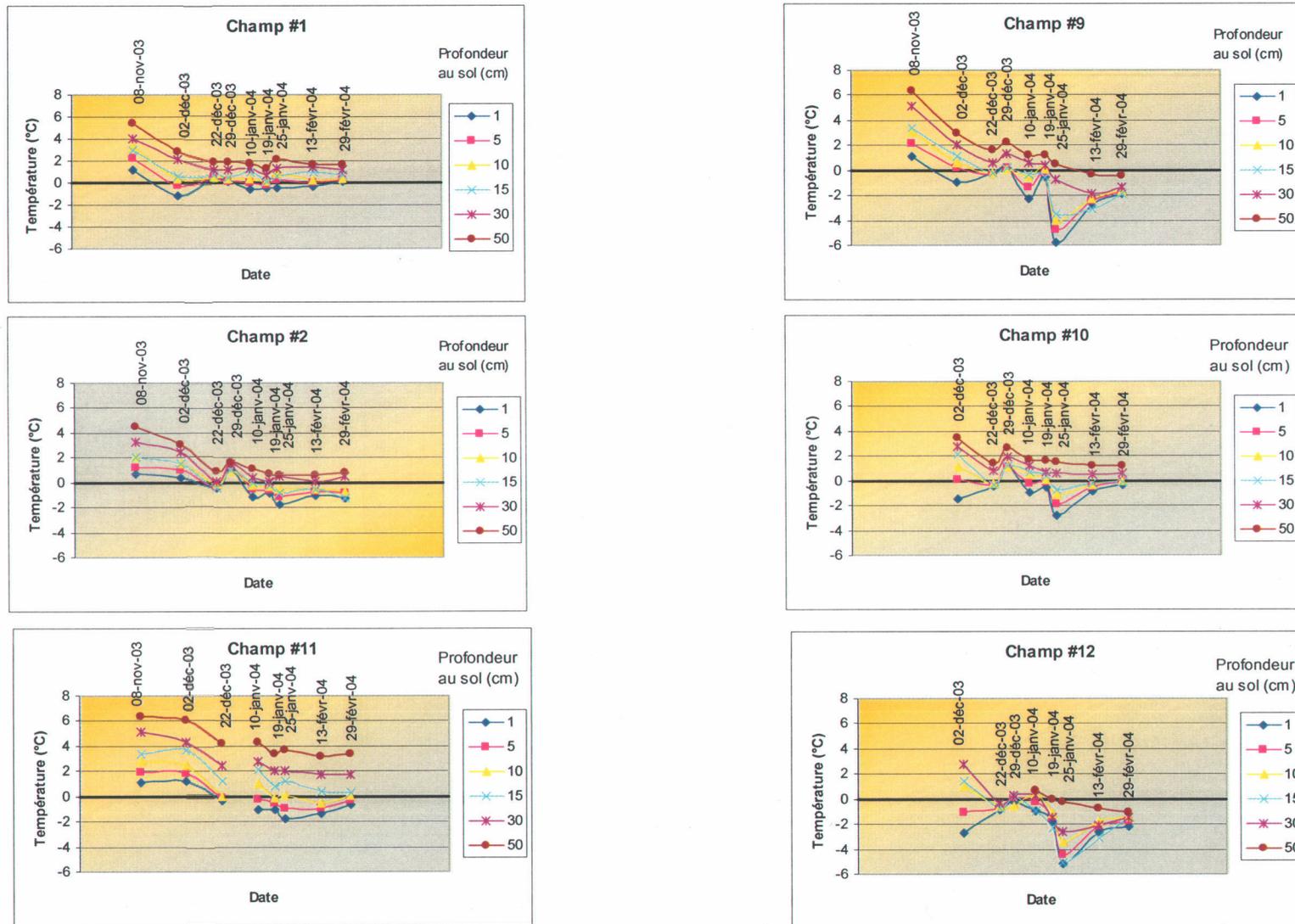


Figure 1 : Profil de températures du sol pour les champs sélectionnés (novembre 2003-février 2004).

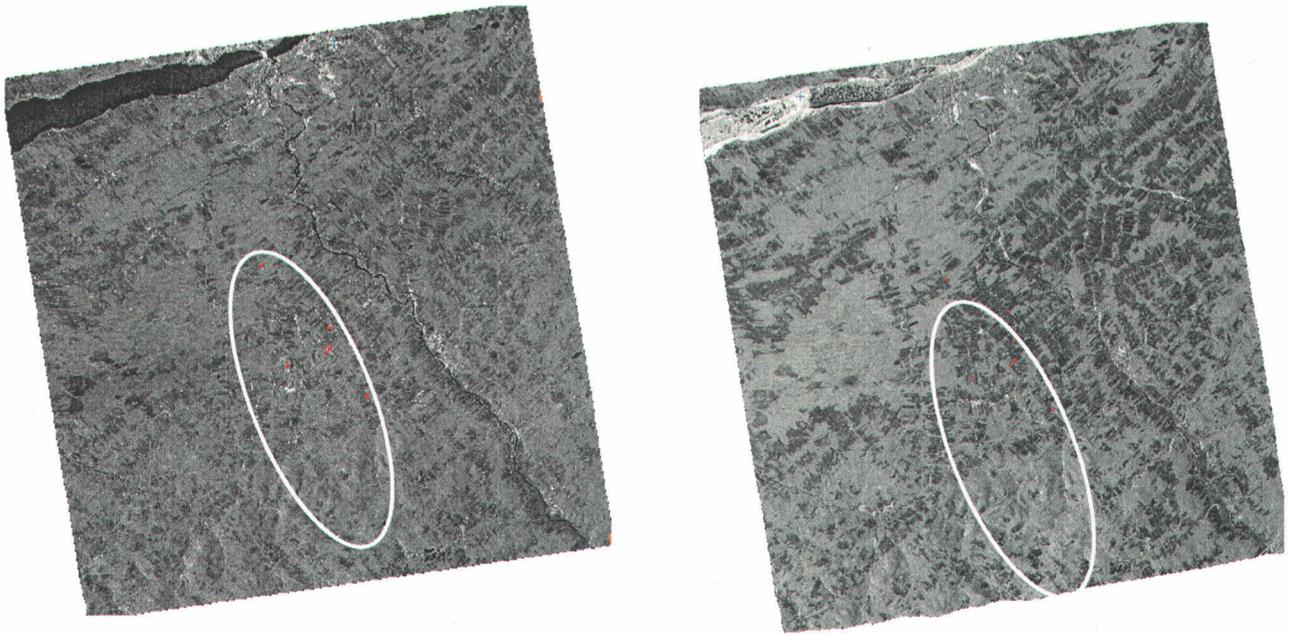


Figure 2 : Images RADARSAT-1 en mode F1, les points rouges indiquent les sites choisis pour notre étude. Entre le mois de novembre et le mois de janvier nous avons observé une nette réduction du coefficient de rétrodiffusion.

Selon nos résultats préliminaires, nous avons observé que les champs mal drainés gèlent plus rapidement que les champs bien drainés dû à la chaleur latente de l'eau qui est plus élevée.

La structure et la texture des sols ont un impact sur le taux d'infiltration de l'eau, sur le transport de l'eau dans le sol et, par conséquent, sur le gel du sol.

Le gel pénètre plus profondément dans le sol des champs 9 et 12 (figure 1) à cause d'une faible couverture de neige. Le champ 11, qui est un champ organique, est resté chaud comparé aux autres champs pendant la période très froide.

Communication présentée

Jalal Khaldoune, Laurent Bonnifait, Monique Bernier et Eric Van Bochove, *Une approche méthodologique pour la cartographie du gel du sol à partir de données RSO de RADARSAT-1..* du 25^{ème} symposium canadien de télédétection / 11^{ème} Congrès de l'AQT, Montréal, Octobre 2003 (Affiche).

4 Formation de chercheurs

Les trois volets ont été réalisés par des étudiants :

Le volet 1 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 Marc Philippin, professionnel de recherche à l'INRS-ETE.

Directeur : Dr. Monique Bernier Co-directeur : Dr Taha Ouarda

Le volet 2 est réalisé dans le cadre de la thèse d'Imen Gherboudj qui s'est inscrite au Doctorat en sciences de l'eau en septembre 2003.

Directeur : Dr. Monique Bernier

Le volet 3 est réalisé par Jalal Khaldoune qui s'est inscrit au doctorat en sciences de l'eau en septembre 2001

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.

Il est important de noter qu'Agriculture et Agroalimentaire Canada a contribué au volet 3 du projet en 2003 et contribuera en 2004 par l'achat d'équipement et la contribution de leur personnel à l'acquisition des données au sol ainsi que l'achat de cinq ou six images ENVISAT /RADARSAT.

De plus, dans le cadre d'une entente de collaboration entre Agriculture et Agroalimentaire Canada et l'Agence Spatiale Canadienne, des images polarimétriques pour les volets 2 et 3, ont été acquises en novembre 2002 et février 2003.

5 Publications récentes découlant des activités financées par CRYSYS

a) Articles publiés dans des revues avec comité de lecture (RAC)

LAGACÉ*, C., BERNIER, M. et Y. GAUTHIER* (2002). Comparaison du potentiel des images RADARSAT-1 et SSM/I pour la cartographie du gel saisonnier du sol en zone de taïga. *Téledétection*, 2 (3):161-175.

DE SÈVE*, D., M. BERNIER, J.P. FORTIN et A. WALKER (2001). Estimation de l'équivalent de la neige au sol dans un milieu taïga à l'aide des données SSM/I, *Téledétection*, 2(1) :13-28.

MARTIN*, D., M. BERNIER, J.L. SASSEVILLE et R. CHARBONNEAU (1999). Évaluation financière de l'intégration de technologies satellitaires pour le suivi du couvert nival, au sein d'une entreprise hydroélectrique. *International Journal of Remote Sensing*, 20 (6) : 2033-2048.

DE SÈVE*, D., BERNIER, M., FORTIN, J.-P. et A. WALKER (1997). Preliminary analysis of snowmicrowave radiometry using SSM/1 passive microwave data : The case of the watershed of La Grande Rivière (Québec) *Annals of Glaciology*, vol. 25: 353-361.

MARTIN*, D. et M. BERNIER (1997). Analyse multicritères des capteurs satellitaires pour le suivi du couvert nival. *Journal canadien de télédétection*, 23(3) : 264-275.

b) Conférences avec arbitrage (COF)

FORTIN G., VAN BOCHOVE, E. H.G. JONES, G. THERIAULT and M. BERNIER, (2004). In-situ measurements of air permeability and gas diffusion through intra-pack ice layers in a seasonal snowpack, 5th Circumpolar Ecosystems International Workshop and Symposium, 25-28 février 2004.

- GAUTHIER, Y., BATTAY, A. E., BERNIER M. et T. OUARDA (2003). Using contextual analysis to monitor river ice from RADARSAT data, *Eastern Snow Conference's 60th annual meeting*, Sherbrooke, Juin 4-6, 2003.
- FORTIN*, G., JONES, G.H., BERNIER, M. et M. SCHNEEBELI (2002). Changes in the structure and permeability of artificial ice layers containing fluorescent tracer in cold and wet snow cover. 59th Eastern Snow Conference, Stowe, Vermont, USA.
- LAGACÉ*, C. et M. BERNIER (2000). Développement d'une approche pour le suivi du gel saisonnier à partir de l'utilisation conjointe d'images RADARSAT et d'images SSM/I. Proceedings of Eastern Snow Conference, juin.
- DE SÈVE*, D., BERNIER, M., FORTIN, J.-P. et A. WALKER (1999). Analysis of radiometry of snow cover with SSM/I data in a taiga area : The case of James Bay area (Quebec). Proceedings of Eastern Snow Conference. Fredericton (New-Brunswick), 2-4 juin, pp. 31-42.
- DE SÈVE*, D., BERNIER, M., FORTIN, J.-P. et A. WALKER (1998). Spatio-temporal analysis of microwave radiometry of snow cover with SSM/I data in a taiga area. Proceedings of the 27th Int. Symp., on Remote Sensing of Environment, Tromso, Norvège, juin 1998.
- MARTIN*, D., BERNIER, M. et J.L. SASSEVILLE (1998). A decision making tool for remote sensing technology transfer. Case study : snow cover monitoring for an optimal management of hydroelectric reservoirs. Proceedings of the 27th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, Tromso, Norvège, juin 1998.
- MARTIN*, D., J.L. SASSEVILLE et M. BERNIER (1997). La diffusion commerciale des applications des technologies satellitaires : le cas de RADARSAT I pour la gestion des barrages. Symposium international : La géomatique à l'ère de RADARSAT. 25-30 mai, Ottawa, Canada.

c) Actes de colloque

KHALDOUNE, J., BONNIFAIT, L., BERNIER, M. et E. Van BOCHOVE (2003). *Une approche méthodologique pour la cartographie du gel du sol à partir de données RSO de RADARSAT-1*. 25^{ème} symposium canadien de télédétection / 11^{ème} Congrès de l'AQT, Montréal, Octobre 2003 (Affiche).

MARTIN*, D., BERNIER, M. et J.L. SASSEVILLE (1996). Survey on expectations of actual and potential users of remote sensing technologies in hydrology, *Proceeding of the Third International Workshop on application of Remote Sensing in Hydrology*, october 16-18, 1996. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA.

e) Ateliers / Séminaires

FORTIN, G., Van BOCHOVE, E., BERNIER, M. and G. JONES (2003). Relationship between permeability and gaz diffusion through ice layers in snow cover at an agricultural field near Quebec city. CRYSYS Annual Science Meeting, Montreal, March 23-25, 2003.

EL BATTAY, A., GAUTHIER, Y, BERNIER, M. and T.B.M.J. OUARDA (2003). Using contextual analysis to monitor river ice from RADARSAT data. CRYSYS Annual Science Meeting, Montreal, March 23-25, 2003

BERNIER, M. (2003). Remote Sensing of the Cryosphere. Réunion annuelle de CRYSYS (Environnement Canada), Montréal, 24-25 mars 2003.

GAUTHIER, Y, EL BATTAY, A., OUARDA, T.B.M.J. and M. BERNIER (2003). Using contextual analysis to monitor river ice from RADARSAT data. Special workshop on monitoring and analysis of river ice processes, Ste-Foy, February 2003.

f) Rapports de recherche

BERNIER, M., GAUTHIER, Y., FORTIN, G., EL BATTAY, A., KHALDOUNE, J., OUARDA, T. et E. Van BOCHOVE (2004). 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 de recherche No R-617-e4, mars, 15 pages.

BERNIER, M., GAUTHIER, Y., FORTIN, G., EL BATTAY, A., BONNIFAIT, L., OUARDA, T. et E. Van BOCHOVE (2003). 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 de recherche No R-617-e3, mars, 25 pages.

BERNIER, M., GAUTHIER, Y., EL BATTAY, A., FORTIN, G., BONNIFAIT, L., OUARDA, T. et E. Van BOCHOVE (2002). 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 de recherche No R-617-e2, décembre, 13 pages.

MARTIN*, D. et M. BERNIER (1997). Enquête destinée à connaître et à quantifier les attentes des utilisateurs de technologies satellitaires en vue du suivi du couvert nival. Rapport soumis à Environnement Canada dans le cadre du projet CRYSYS, Rapport de recherche INRS-Eau No R-491, 77 pages.

g) Thèses et mémoires

FORTIN, G. (2003). Conceptualisation des processus de formation, d'évolution et de désagrégation des couches de glace dans un couvert nival saisonnier. Thèse de doctorat en Sciences de l'eau.

EL BATTAY, Ali (2001). Estimation de la distribution spatiale du couvert nival dans le sud du Québec, à l'aide du capteur VEGETATION. Mémoire de maîtrise en Sciences de l'eau.

CATHERINE LAGACÉ (2000). Suivi temporel de la distribution spatiale du gel du sol à partir des capteurs micro-ondes. Mémoire de maîtrise en Sciences de l'eau.

DANIELLE DE SÈVE (1999). Utilisation des micro-ondes (données SSM/I) passives pour le suivi du couvert nival en milieu de taïga. Thèse de doctorat en Sciences de l'eau.

DANIEL MARTIN (1998). Potentiel de transfert des applications des technologies satellitaires pour la mesure du couvert nival. Thèse de doctorat en Sciences de l'eau.