

Record Number: 125130
Author, Monographic: Bernier, M.//Gauthier, Y.//Khalidoun, J.//Gherboudj, I.//El Battay, A.//Ouarda, T. B. M. J.//van Bochove, E.
Author Role:
Title, Monographic: Suivi du couvert de glace en rivière et du gel du sol à l'aide du radar, des SIG et de la modélisation. Rapport d'étape no 5
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: Septembre 2004
Volume Identification:
Extent of Work: iii, 17
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Terre et Environnement, Rapport de recherche
Series Volume ID: 617 e5
Location/URL:
ISBN:
Notes: Rapport annuel 2004-2005
Abstract: Projet CRYSYS
Numéro autoattribué par Yves Gauthier et Johanne Desrosiers, sept 2004
Rapport déposé 20040910
Call Number: R000617 e5
Keywords: rapport/ ok/ pdl

***Suivi du couvert de glace en rivière
et du gel du sol à l'aide du radar, des SIG
et de la modélisation***

Rapport de recherche No R-617-e5

Septembre 2004

Rapport d'étape

CRYSYS

**Suivi du couvert de glace en rivière et du gel du sol à l'aide du radar, des SIG
et de la modélisation**

Monique Bernier (PI)

Yves Gauthier, Jalal Khaldoune, Imen Gherboudj,

Ali El Battay, Taha Ouarda (INRS-ETE)

et Eric Van Bochove (Agriculture et Agroalimentaire Canada)

Rapport de recherche No R-617-e5

Septembre 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 EN DATE DU 1^{ER} SEPTEMBRE 2004.....	3
3.1	ACTIVITÉS TENUES DANS LE CADRE DU VOLET #1 : GLACE DE RIVIÈRE	3
3.2	ACTIVITÉS TENUES DANS LE CADRE DU VOLET #2 : MODÉLISATION.....	5
3.3	ACTIVITÉS TENUES DANS LE CADRE DU VOLET #3 : GEL DU SOL	7
4	PUBLICATIONS 2003 ET 2004 DÉCOULANT DES ACTIVITÉS FINANCÉES PAR CRYSYS	14

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : CARACTÉRISATION DE LA RIVIÈRE ST-FRANÇOIS	4
FIGURE 2 : TESTS PRÉLIMINAIRES DE CLASSIFICATION NON-SUPERVISÉE ET DE SEGMENTATION OBJET.....	4
FIGURE 3 : COMPARAISON ENTRE LE SIGNAL RADAR RÉEL ET LE SIGNAL STANDARDISÉ SUR LA GLACE DE RIVIÈRE :	6
FIGURE 4 : A) IMAGE ENVISAT (APP) POLARISATION VV DU 10/01/04 DE LA RÉGION D'ÉTUDE.....	10
FIGURE 5 : MOYENNE DES COEFFICIENTS DE RÉTRODIFFUSION POUR TROIS CHAMPS DIFFÉRENTS EN FONCTION DE: A) TEMPÉRATURE DANS LES 5CM DU SOL B) CONSTANTE DIÉLECTRIQUE MESURÉES À 7CM DE LA SURFACE.....	10
FIGURE 6 : IMAGE APP DU 10/01/04 A) POLARISATION HH, B) RAPPORT DE POLARISATION HH/VV.	11
FIGURE 7 : CONSTANTE DIÉLECTRIQUE MESURÉE AVEC LE MODÈLE DE DOBSON EN FONCTION DE L'HUMIDITÉ DU SOL POUR 4 CHAMPS SELON LEUR TEXTURE.	12

1 Objectifs scientifiques de la recherche pour 2003-2004

Volet #1 : Suivi du couvert de glace à partir d'images RADARSAT-1

Le suivi et la compréhension des processus reliés à la glace de rivière prennent toute leur importance lorsqu'on considère l'impact potentiel de ce phénomène sur le milieu naturel et humain. Il a été démontré que les données radar pouvaient être une source intéressante d'informations sur la glace de rivière, bien que certaines limitations surviennent lorsqu'on tente de caractériser la glace à partir du seul signal radar. Notre objectif est donc de développer une approche contextuelle pour la caractérisation et le suivi du couvert de glace de rivière à partir d'images RADARSAT-1.

Volet #2 : Développement d'un modèle de rétrodiffusion pour la glace de rivière

Contrairement aux glaces des mers, très peu d'études théoriques existent sur l'interaction du signal radar avec le couvert de glace d'eau douce. La rétrodiffusion du signal après sa pénétration dans le couvert de glace est liée à plusieurs mécanismes complexes de diffusion reliés à la présence d'air, d'eau, de glace, de neige et de sédiments, ainsi qu'aux paramètres du capteur. L'objectif de ce volet est donc le développement d'un modèle de rétrodiffusion pour caractériser la glace de rivière à partir des données radar (RADARSAT-1, ENVISAT, CONVAIR).

Volet #3 : Cartographie du gel du sol

Les surplus de phosphore et d'azote ajoutés à la surface des sols agricoles l'automne, surtout lorsque le sol est gelé au moment de l'établissement du couvert de neige, peuvent être transportés rapidement vers les cours d'eau lors des fontes partielles hivernales et de la fonte printanière. L'état de gel ou de non gel d'un sol agricole varie spatialement en fonction de sa texture, de sa teneur en eau et de sa protection des basses températures par le couvert de neige. Actuellement, la variation spatiale du gel d'un sol agricole n'est pas un paramètre intégré à l'étude du transport des éléments nutritifs à l'échelle d'un bassin versant agricole. L'objectif est donc de cartographier le gel du sol à l'échelle d'un sous-bassin à partir d'images RADARSAT, ENVISAT et CONVAIR.

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 et la récupération de relevés *in situ* sur les propriétés du couvert nival (volet 3).
- Le développement et le raffinement d'algorithmes pour estimer les propriétés de la glace de rivière à partir des données micro-ondes actives (volets 1 et 2).

3 Bilan des activités de recherche en date du 1^{er} septembre 2004

3.1 Activités tenues dans le cadre du volet #1 : 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 sous la direction des professeurs Bernier et Ouarda de l'INRS-ETE.

Objectifs spécifiques pour 2004-2005 :

1. Intégrer les données historiques disponibles sur la rivière Saint-François et les données de terrain et d'observation au SIG. Ainsi, une base complète sur le contexte morphologique, historique et temporel sera disponible pour le traitement de chaque image RADARSAT que nous avons;
2. Effectuer une étude sur les paramètres de texture les plus significatifs pour la discrimination des types de glace de rivière;
3. Réaliser une classification non supervisée qui servira de référence lors de l'évaluation des résultats obtenus avec la classification orientée objet;
4. Procéder à la classification O-O et évaluer ses résultats (e.g. déterminer parmi les couches du SIG et de textures celles qui sont essentielles pour la classification O-O);
5. Présenter une communication aux Xes Journées Scientifiques du Réseau Télédétection de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), Ottawa, 24-29 mai 2004;

Depuis avril, le 5^{ème} objectif a été complètement réalisé. Pour ce faire, les autres objectifs ont aussi été abordés.

Caractérisation de la rivière - SIG

Pour la caractérisation du contexte de la rivière, les couches de largeur, de sinuosité et de profondeur ont été complétées (Figure 1). Elles ont été créées à partir de données vectorielles et de données terrain et à l'aide d'un script développé en Visual Basic. Ces couches seront utilisées dans la classification orientée objet.

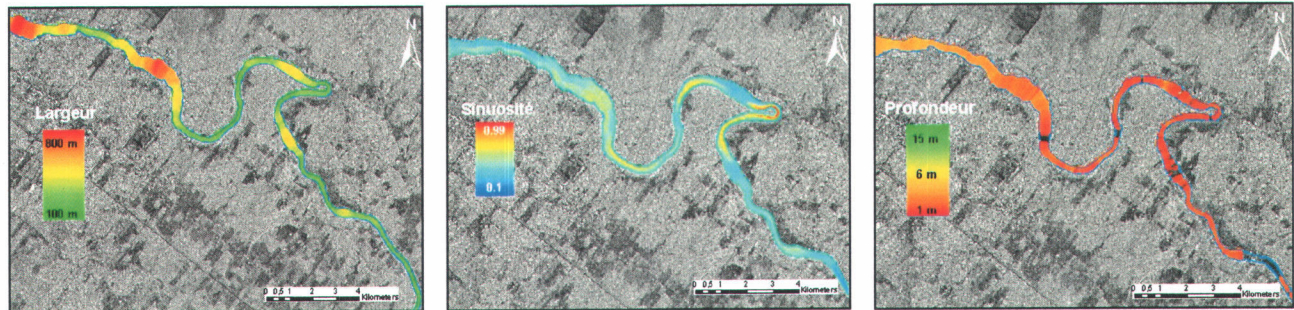


Figure 1 : Caractérisation de la rivière St-François

Paramètres de texture

Les images brutes ont été transformées en images de texture (12 paramètres). Ces images seront également intégrées à la classification orientée objet pour déterminer leur apport.

Classification contextuelle

Des tests de segmentation pour la création d'objets image ont été entrepris (Figure 2). Actuellement, nous travaillons à identifier les couches d'information contextuelle qui permettent la meilleure segmentation et la meilleure classification de la glace de rivière.

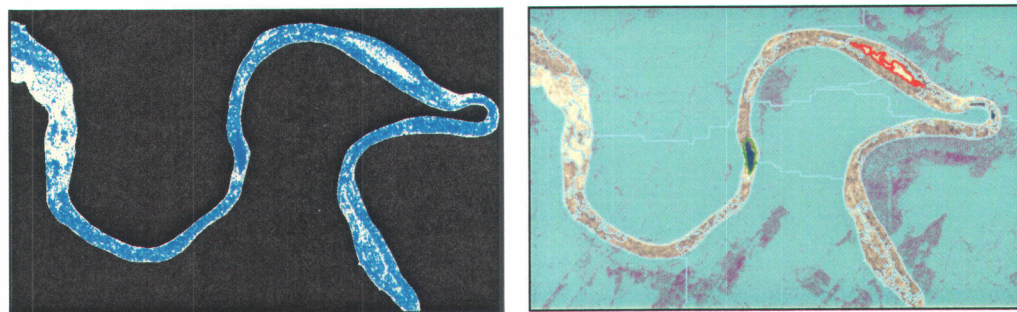


Figure 2 : Tests préliminaires de classification non-supervisée et de segmentation objet.

Communication présentée

EL BATTAY, A., GAUTHIER, Y. PHILIPPIN, M. et BERNIER M. (2004) *Caractérisation de la glace d'une rivière moyenne à l'aide d'un système d'information géographique et des images du satellite RADARSAT*, Xes Journées Scientifiques du Réseau Télédétection, Ottawa, 24-29 mai.

3.2 Activités tenues dans le cadre du volet #2 : Modélisation

Ce volet est réalisé par Imen Gherboujd dans le cadre de sa thèse de Doctorat en Sciences de l'eau sous la direction du professeur Monique Bernier.

Objectifs spécifiques pour 2004-2005 :

1. Standardisation du coefficient de rétrodiffusion des images radar (Radarsat et Envisat) acquises avec différents angles d'incidences et différentes directions de vue dans le but de connaître les paramètres qui affectent le signal radar en bande C.
2. Étude bibliographique des différents modèles électromagnétiques afin d'adapter un de ces modèles pour mieux comprendre l'interaction du signal radar avec la glace de rivière.
3. Étude théorique des données multi polarisées et polarimétriques.
4. Préparation de l'examen doctoral.

Depuis le mois d'avril, seul le premier objectif spécifique (standardisation du coefficient de rétrodiffusion des images) a été réalisé et complété.

Standardisation du coefficient de rétrodiffusion des images radar

Pour développer n'importe quelle méthode automatique capable d'identifier et de cartographier l'évolution de la glace, il est important de déterminer s'il y a une signature spécifique pour chaque type de glace (quantitative). Cependant, le signal radar de glace de rivière est affecté par plusieurs paramètres du capteur (fréquence, polarisation et angle d'incidence) et du couvert de glace

(constante diélectrique, épaisseur de glace, etc.). L'angle d'incidence est considéré comme le paramètre capteur qui affecte le plus le signal radar. De plus, les images radar ne sont pas toutes acquises avec le même mode d'acquisition ce qui rend l'étude multi-temporelle difficile, surtout qu'on ignore l'effet de l'angle d'incidence sur le signal radar de la glace.

Les images RADARSAT les plus adoptées pour l'étude de la glace de rivière sont acquises en mode fin. Ainsi et dans le but d'avoir plus de souplesse dans le choix du mode d'acquisition des images RADARSAT-1, une étude sur la standardisation du signal de la glace de rivière d'un mode à un autre (F1, F2, F3, F4, F5) a été proposée. Pour cela, deux couples d'image acquis en 2002 et 2003 sur la rivière Peace ont été formés. Chaque couple est composé de deux images supposées être acquises dans des conditions environnementales très proches avec des modes différents et ou des orbites différentes (24 et 30 janvier 2002; 25 février et 04 mars 2003). Par la suite, un algorithme empirique a été proposé pour estimer la rétrodiffusion d'un même site imagé à des angles d'incidence différents. Les résultats obtenus à partir de ces deux couples sont représentés à la Figure 1. Bien que les résultats du modèle soient très encourageants, il faut tout de même l'appliquer sur d'autres images afin de le valider.

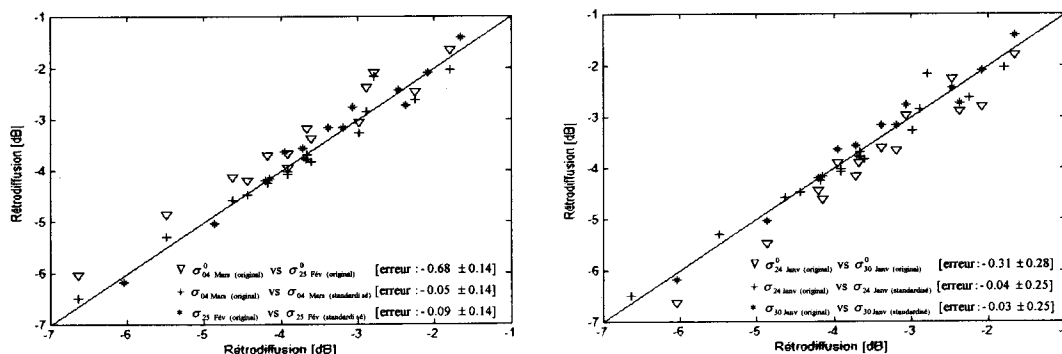


Figure 3 : Comparaison entre le signal radar réel et le signal standardisé sur la glace de rivière : (a) couple du 24 et 30 janvier 2002, (b) couple du 25 février et 4 mars 2003.

D'après les paramètres statistiques présentés sur les graphiques, on remarque qu'en utilisant les données extraites d'une image de référence acquise avec un mode fin donnée, l'algorithme arrive à estimer le signal radar de cette même image mais avec un autre mode fin. Cependant l'erreur observée, peut être causée soit par l'algorithme lui même soit par le couvert de glace qui peut évoluer durant la période qui sépare les dates d'acquisitions des images. Par ailleurs, ces travaux

sur la standardisation nous permettent également d'observer que pour une augmentation de l'angle d'incidence de 10° (entre 37° et 48°) le signal radar de glace diminue de moins de 3 dB. Cette constatation nous permet de supposer que le signal radar de la glace de rivière pourrait être affecté fortement par la rétrodiffusion surfacique à l'interface glace/eau.

Communication présentée

Une partie des résultats de l'étude de standardisation a été intégrée à une affiche présentée à la 6^{ème} conférence scientifique annuelle GEOIDE, qui s'est tenue du 30 mai au 1er juin 2004 à Gatineau (Québec) :

GAUTHIER, Y., BERNIER, M., PHILIPPIN, M., WEBER, F., GHERBOUDJ, I. AND JASEK, M. (2004). River Ice Monitoring with Synthetic Aperture Radar. Poster presented at the Annual GEOIDE Network Meeting, Ottawa, May 2004.

3.3 Activités tenues dans le cadre du volet #3 : Gel du sol

Ce volet est réalisé par Jalal Khaldoune dans le cadre de sa thèse de Doctorat en Sciences de l'eau sous la direction du professeur Monique Bernier et du chercheur Eric Van Bochove d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

Il est important de noter qu'Agriculture et Agroalimentaire Canada contribue au volet 3 du projet par l'achat d'équipement, la contribution de leur personnel à l'acquisition des données au sol ainsi que l'achat de six images ENVISAT et/ou RADARSAT. De plus, dans le cadre d'une entente de collaboration entre Agriculture et Agroalimentaire Canada et l'Agence Spatiale Canadienne (GRIP) des images polarimétriques pour les volets 2 et 3, ont été acquises en novembre 2002 et février 2003. Les images de février 2003 pour le volet 3 ont été reçues en août 2004.

Objectifs spécifiques pour 2004-2005 :

1. Traitement des données acquises sur le terrain à l'hiver 2004
2. Traitement et interprétation des images acquises
3. Montage du SIG
4. Sélection et instrumentation des sites pour l'hiver 2005
5. Acquisition des données terrain et des images pour l'hiver 2005

Depuis le mois d'avril, seuls les deux premiers objectifs ont été abordés. Le premier a été complété. Quant au traitement des images, les résultats, jusqu'à ce jour, sont encourageants.

Traitement des données acquises sur le terrain à l'hiver 2004

Le traitement des données de terrain (température et constante diélectrique du sol à différentes profondeurs, épaisseur et densité de la neige, données météorologiques) débuté durant l'hiver a été complété en mai dernier. L'analyse de ces données de terrain a fait l'objet de deux présentations par affiche lors de la 6^{ème} conférence scientifique annuelle GEOIDE (30 mai au 1^{er} juin) et au 18^{ème} congrès de l'Association Québécoise des Spécialistes en Science du Sol (AQSSS) (7 au 9 juin 2004).

Traitement et interprétation des images ENVISAT acquises

Six images ENVISAT, de deux types différents (APP et APS), ont été acquises dans deux polarisations parallèles HH/VV (Tableau 1) à l'hiver 2004.

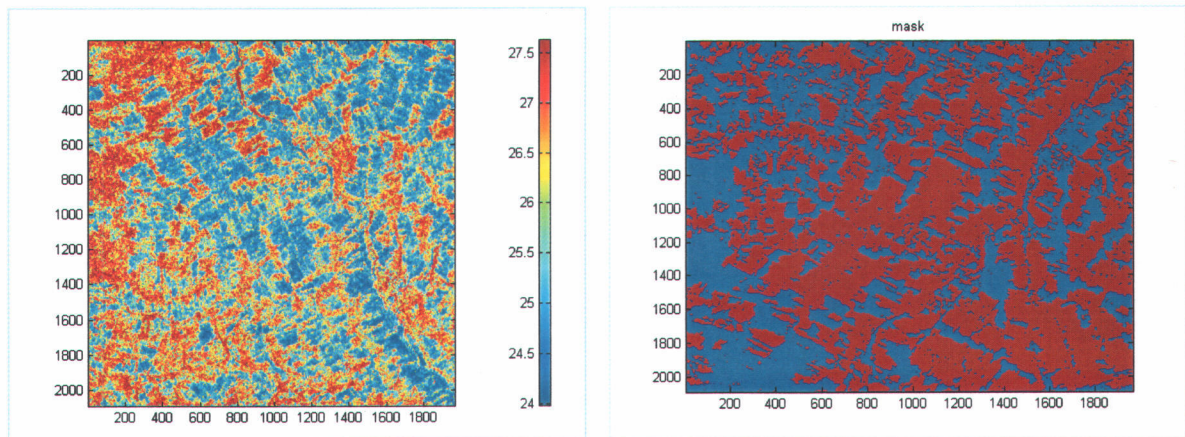
Tableau 1 : Caractéristiques de l'acquisition des images ENVISAT

Acquéreur	Type	Mode	Date d'acquisition	Nombre de visées	Angle	Orbite
AAC	ASA_APS_1P	Complexe	21 décembre 2003	1	S2	Desc.
CRYSYS	ASA_APP_1P	Précision	10 janvier 2004	1	S3	Asc.
AAC	ASA_APS_1P	Précision	25 janvier 2004	1	S2	Desc.
CRYSYS	ASA_APP_1P	Précision	14 février 2004	1	S3	Asc.
CRYSYS	ASA_APS_1P	Complexe	29 février 2004	1	S2	Desc.
AAC	ASA_APS_1P	Complexe	09 mai 2004	1	S2	Desc.

Afin d'atteindre le second objectif spécifique, soit le traitement des images ENVISAT et éventuellement des images polarimétriques du CONVAIR, un stage de deux mois a été réalisé par le doctorant Jalal Khaldoune à l'Université de Rennes 1 en France, sous la direction des professeurs Éric Pottier, directeur adjoint de l'Institut d'Électronique et de Télécommunications de Rennes et Laurent Ferro-Famil. Ce stage lui a permis de s'initier au nouveau logiciel de traitement d'images polarimétriques PolSARpro, développé et conçu par les deux professeurs mentionnés auparavant.

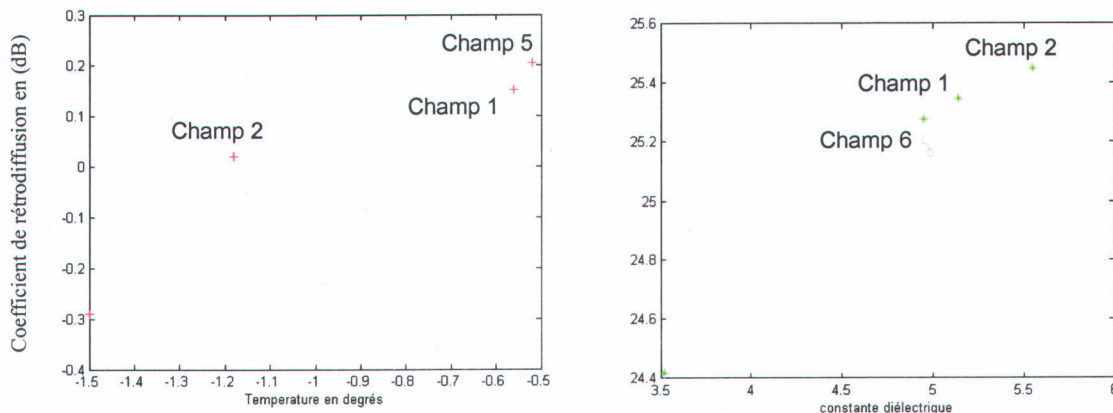
Après avoir visualisé les images sur PolSARpro, un programme a été mis au point à l'aide du logiciel MatlabTM afin de masquer les zones des forêts et tracer les contours des champs agricoles (figure 2). Ainsi, la moyenne des coefficients de rétrodiffusion de chaque champ a été extraite et des courbes illustrant la relation entre les coefficients de rétrodiffusion et la température mesurée à 5 cm dans le sol ainsi que la constante diélectrique du sol ont été réalisées (figure 3).

Les résultats préliminaires obtenus sont encourageants. Sur la figure 2, on peut distinguer clairement les zones agricoles des zones forestières et, au sein même des terres agricoles, on peut remarquer une hétérogénéité due à différents paramètres de la texture du sol de drainage ou à certaines pratiques agricoles.



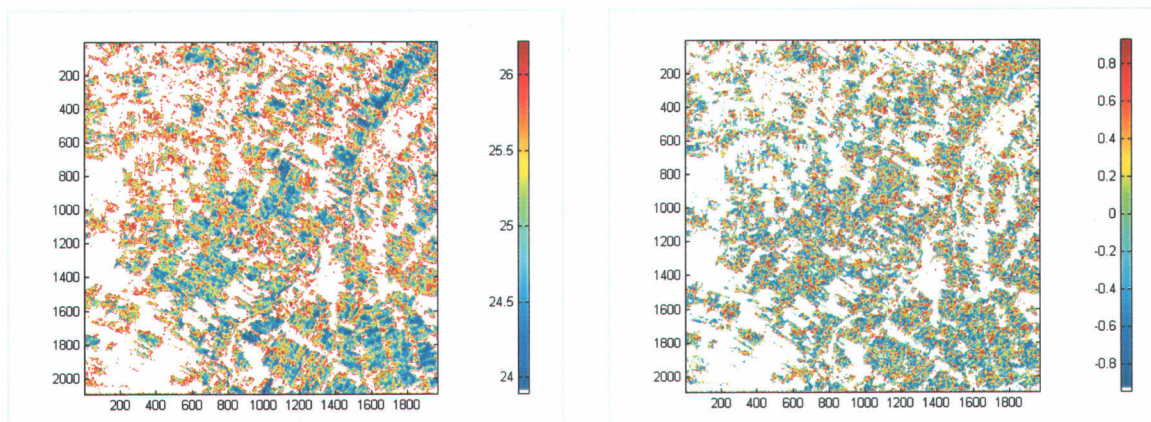
**Figure 4 : a) Image ENVISAT (APP) polarisation VV du 10/01/04 de la région d'étude.
b) Résultats de la classification non supervisée appliquée sur l'image APP du 10/01/04.
La forêt (masque bleu), sol agricole (masque rouge).**

Les coefficients de rétrodiffusion pour les trois champs différents sont présentés sur la figure 3, en fonction de la température mesurée à 5 cm de la surface du sol (a) et de la constante diélectrique du sol mesurée à 7 cm de la surface du sol (b). Lorsque la constante diélectrique diminue, le comportement des coefficients de rétrodiffusion diminue aussi. Le même scénario se répète pour la température du sol; c'est-à-dire, plus un champ est froid, plus son coefficient de rétrodiffusion est bas.



**Figure 5 : Moyenne des coefficients de rétrodiffusion pour trois champs différents en fonction de:
a) température dans les 5cm du sol b) constante diélectrique mesurées à 7cm de la surface.**

À la figure 4, un masque en blanc est appliqué pour les zones forestières (a), seul les sols agricoles sont visibles, un rapport de polarisation (HH/VV) a été calculé (b).



**Figure 6 : Image APP du 10/01/04 a) polarisation HH, b) rapport de polarisation HH/VV.
La forêt est masquée (masque blanc).**

Le rapport de polarisation HH/VV a été calculé pour réduire l'effet de la rugosité des champs agricoles étudiés. Ainsi, seul l'effet de la température du sol est mis en évidence.

À la figure 5, les parties réelles et imaginaires de la constante diélectrique, obtenues avec le modèle de Dobson, sont présentées pour la bande de fréquence 5,3 GHz et pour différentes textures du sol. Comme on pouvait s'y attendre, la constante diélectrique augmente avec l'humidité du sol, par contre, seule la partie réelle de la constante diélectrique semble affectée par la texture du sol.

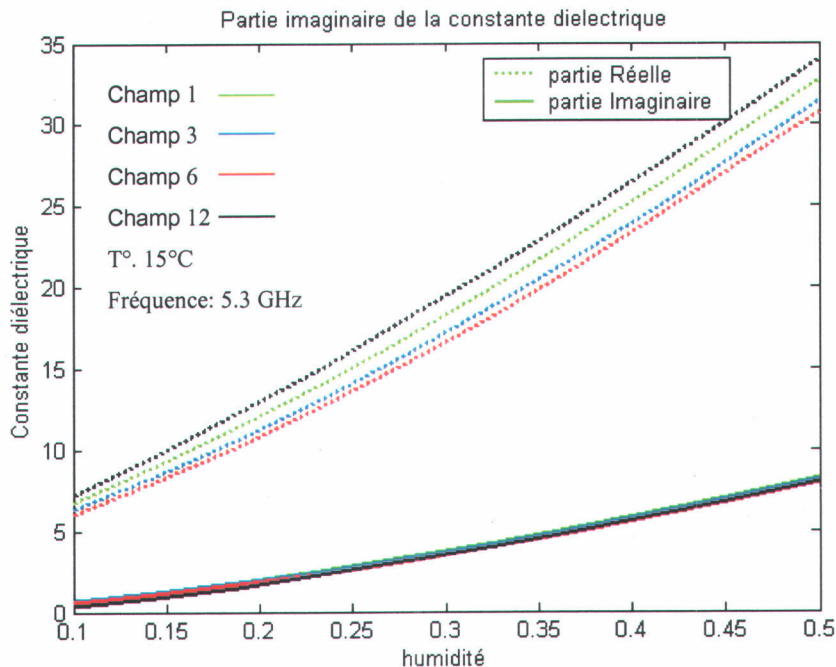


Figure 7 : Constante diélectrique mesurée avec le modèle de Dobson en fonction de l'humidité du sol pour 4 champs selon leur texture.

Finalement, le traitement des images RADARSAT et ENVISAT se poursuivra à l'automne 2004.

Communications présentées

Une première affiche a été présentée à la 6^{ème} conférence scientifique annuelle GEOIDE, qui s'est tenue du 30 mai au 1er juin 2004 à Gatineau (Québec). L'affiche portait sur le : « *Suivi du gel du sol sous couvert de neige dans un milieu agricole à l'échelle d'un bassin versant à l'aide d'images RSO et intégration des données dans un réseau ouvert sur la toile (web)* ». L'affiche a été réalisée par le doctorant en collaboration avec ses collègues Stéphane Savary (assistant de recherche) et Niang Mohamed (stagiaire post-doctoral) sous la direction de la professeure Monique Bernier et des chercheurs Michel Nolin et Eric van Bochove d'AAC.

Une seconde affiche a été présentée au 18^{ème} congrès de l'Association Québécoise des Spécialistes en Science du Sol qui s'est tenue du 7 au 9 juin 2004, à Baie St-Paul (Québec).

L'affiche ayant comme titre : «*Soil freezing monitoring in agriculture region using Synthetic Aperture Radar*» a été entièrement réalisée par Jalal Khaldoune sous la direction de la professeure Monique Bernier et des chercheurs Michel Nolin et Eric van Bochove d'AAC.

Jalal Khaldoune a aussi présenté une conférence (séminaire) à la fin de son stage à l'Université de Rennes, (le 12 juillet). Celle-ci a porté sur son sujet de doctorat ainsi que sur les résultats préliminaires obtenus.

4 Publications 2003 et 2004 découlant des activités financées par CRYSYS

b) Conférences avec arbitrage (COF)

EL BATTAY, A., GAUTHIER, Y. PHILIPPIN, M. et M. BERNIER (2004). *Caractérisation de la glace d'une rivière moyenne à l'aide d'un système d'information géographique et des images du satellite RADARSAT*, Xes Journées Scientifiques du Réseau Télédétection, Ottawa, 24-29 mai 2004.

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., EL BATTAY, A., BERNIER, M. and T.M.J. OUARDA (2003). *An approach using contextual analysis to monitor river ice from RADARSAT data*, 60th Eastern Snow Conference, Sherbrooke, Canada, pp 151-158.

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).

e) Ateliers / Séminaires

KHALDOUNE, J. (2004). *Cartographie du gel du sol dans un milieu agricole à l'échelle d'un bassin versant à partir d'images RSO monopolarisées (RADARSAT-1) et multipolarisées (ENVISAT)*, séminaire donné le 12 juillet 2004 à l'université de Rennes I, France.

KHALDOUNE, J., NOLIN, M., VAN BOCHOVE, E. et M. BERNIER (2004). *Soil freezing monitoring in agriculture region using Synthetic Aperture Radar*. 18^{ème} congrès de l'AQSSS, 7 au 9 juin 2004, Baie St-Paul, Québec. (Affiche).

KHALDOUNE, J., SAVARY, S., NIANG, M., BERNIER, M., NOLIN, M. et E. VAN BOCHOVE (2004). *Suivi du gel du sol sous couvert de neige dans un milieu agricole à l'échelle d'un bassin versant à l'aide d'images RSO et intégration des données dans un réseau ouvert sur la toile (web)*, 6^{ème} Conférence scientifique annuelle GEOIDE, 30 mai au 1er juin 2004, Gatineau (Québec) (Affiche).

GAUTHIER, Y., BERNIER, M., PHILIPPIN, M., WEBER, F., GHERBOUDJ, I. AND M. JASEK (2004). *River Ice Monitoring with Synthetic Aperture Radar*. 6^{ème} Conférence scientifique annuelle GEOIDE, 30 mai au 1er juin 2004, Gatineau (Québec) (Affiche).

FORTIN, G., VAN BOCHOVE, E., BERNIER, M. and G. JONES (2003). *Relationship between permeability and gas 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, Sainte-Foy, February 2003.

f) Rapports de recherche

BERNIER, M., GAUTHIER, Y., EL BATTAY, A., FORTIN, G., BONNIFAIT, L., OUARDA, T.B.M.J. 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 2003.

BERNIER, M , GAUTHIER, Y , FORTIN, G., EL BATTAY, A., KHALDOUNE, J., OUARDA, T.B.M.J., 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 2004.

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.