

**TRAITEMENT D'IMAGES ERS-1 POUR LA
PRÉVISION HYDROLOGIQUE -
RAPPORT D'ÉTAPE**

Rapport de recherche No R-413 (phase II)

**TRAITEMENT D'IMAGES ERS-1 POUR LA PRÉVISION HYDROLOGIQUE -
RAPPORT D'ÉTAPE**

Rapport rédigé pour

Hydro-Québec

par

**Jean-Pierre Fortin
Monique Bernier
Yves Gauthier**

**Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau
2800, rue Einstein, Case postale 7500, SAINTE-FOY (Québec), G1V 4C7**

Rapport de recherche No R-413 (phase II)

Janvier 1995

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	iv
1 INTRODUCTION	1
2 ACTIVITÉS RÉALISÉES	3
2.1 Données recueillies	3
2.2 Campagnes de terrain	4
2.3 Analyse des images ERS-1	7
2.3.1 Étalonnage absolu	7
2.3.2 Extraction des coefficients de rétrodiffusion	8
2.3.3 Détermination des rapports de rétrodiffusion	10
2.3.4 Estimation de la résistance thermique des couverts de neige	10
2.3.5 Estimation de l'équivalent en eau des couverts	11
2.4 Résultats préliminaires	15
2.4.1 Étalonnage	15
2.4.2 Interprétation visuelle des images	16
2.4.3 Analyse des histogrammes des sous-images	18
2.4.4 Interprétation des coefficients de rétrodiffusion	19
3 OBTENTION DU FINANCEMENT DU PROGRAMME CRSNG-INDUSTRIE ...	33
4 ACTIVITÉS À RÉALISER	35
4.1 Campagnes de terrain à l'hiver 1995	35
4.2 Analyse des images ERS-1	35
4.3 Ébauche d'une stratégie de détermination de l'équivalent en eau de la neige	36
4.4 Programme ADRO	36
4.4.1 Objectifs	37
4.4.2 Critères d'évaluation	37
4.4.3 Appui financier	38
5 CONCLUSION	41
6 RÉFÉRENCES	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Caractéristiques des images ERS-1 acquises	4
Tableau 2.2	Campagnes de mesure	5
Tableau 2.3	Comparaison des coefficients de rétrodiffusion entre LG4 (hiver 1994) et Sodankyla, Finlande (hiver 1993)	15

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Localisation des sites de mesures	22
Figure 2.2	Évolution temporelle du profil du couvert nival à l'hiver 1994	23
Figure 2.3	Variation du facteur d'étalonnage en fonction de l'angle d'incidence	24
Figure 2.4	Photographie de la végétation au sol (site #20)	25
Figure 2.5a	Zone de tourbières et conifères sur l'image ERS-1 du 25/9/94	26
Figure 2.5b	Partie du réservoir de LG4 sur l'image ERS-1 du 25/9/94	27
Figure 2.5c	Section de la route (tronçon est-ouest) sur l'image ERS-1 du 4 mai 1994	28
Figure 2.6	Histogramme des sous-images ERS-1	29
Figure 2.7	Évolution temporelle du coefficient de rétrodiffusion de cinq classes d'occupation du sol	30
Figure 2.8	Coefficients de rétrodiffusion de cinq classes d'occupation du sol selon la couverture de neige	31

1 INTRODUCTION

Suite aux discussions entreprises entre Hydro-Québec et INRS-Eau sur l'intérêt de vérifier le potentiel du radar pour estimer l'équivalent en eau du couvert nival sur les bassins d'Hydro-Québec, l'INRS-Eau débutait en décembre 1993 le projet de recherche actuel. L'objectif du projet est effectivement d'estimer les caractéristiques de la neige au sol par un radar à antenne synthétique à bord du satellite ERS-1 et éventuellement du satellite canadien RADARSAT, dont le lancement est prévu pour septembre 1995.

Dans ce second rapport d'étape, nous ferons état des activités réalisées durant la première année de ce contrat de deux ans. Nous décrivons les données recueillies lors des campagnes de terrain à la Baie-James ainsi que les procédures d'analyse des images ERS-1. Nous présenterons aussi les premiers résultats qui sont encourageants.



2 ACTIVITÉS RÉALISÉES

2.1 Données recueillies

Le tableau 2.1 décrit les sept images ERS-1 de la région de LG4 acquises en 1993 et 1994. Toutefois, les changements successifs de phases du satellite ERS-1 en décembre 1993 et en avril 1994 impliquent des changements de paramètres des orbites (heures d'acquisition, angles de vue, angles d'incidence). Ainsi les sept images acquises proviennent d'orbites différentes selon les phases. Les images ont été acquises le jour à l'automne 1993 (phase C, orbite 240), la nuit à l'hiver 1994 (phase D, orbite 18), le jour au printemps 1994 (phase E, orbites 2135 et 255) et la nuit à l'automne 1994 (phase E, orbite 1783). De plus, les deux images du printemps sont décalées d'un degré de longitude vers l'ouest et ne couvrent que 50% du site expérimental.

Les images du 16 août et du 25 octobre 1993 ont été acquises même sans données de contrôle au sol (tableau 2.2) afin de pouvoir comparer l'apparence des sites sans couverture neigeuse (sol dégelé) ou avec une couverture de neige mince (sol gelé). Ces deux images serviront d'images de référence. Les images du 12 février et du 26 mars ont été acquises avant et après les relevés de terrain (tableau 2.2) parce que les images prévues, respectivement celles du 15 février et du 23 mars, n'ont pas été retenues dans la programmation finale du satellite. Heureusement, les conditions météorologiques n'étaient pas significativement différentes entre les jours d'acquisition et les jours de relevés et il n'y a pas eu de précipitation. Les images du 4 mai et du 10 juin représentent un couvert printanier en condition de fonte. Finalement, le 25 septembre 1994 le sol est humide, dégelé et sans couvert nival. Cette image d'automne servira aussi d'image de référence, toutefois, contrairement aux deux images de référence de l'année 1993, une campagne de terrain a été faite les jours suivants le passage du satellite ERS-1.

Tableau 2.1 Caractéristiques des images ERS-1 acquises

Saison 1993/1994 - Baie James				
Dates et heures d'acquisition	Coordonnées du centre d'image	Orbite relative	Type d'image	Dimension du pixel(m)
16 août 93, 10h49	54:00 N 72:12'O	240 (DES)	SGF	12.5
25 oct. 93, 10h49	54:00 N 72:12'O	240 (DES)	SGF	12.5
12 fév. 94, 21h50	54:00 N 72:12'O	18 (ASC)	SGF	12.5
26 mars 94, 21h50	54:00 N 72:12'O	18 (ASC)	SGF	12.5
4 mai 94, 11h15	54:00 N 72:56'O	2135 (DES)	SGF	12.5
10 juin 94, 11h15	54:00 N 73:05'O	255 (DES)	SGF	12.5
25 sept.94, 21h52	54:00 N 72:30'O	1783 (ASC)	SGF	12.5

2.2 Campagnes de terrain

Rappelons qu'à l'hiver 1994, nous nous sommes rendus à trois reprises à LG4, soit à la mi-février, fin mars, et début mai (tableau 2.2). Ces périodes coïncident, sauf pour la première, avec les dates des relevés nivométriques: 3 février, 17 mars, et 28 avril 1994.

Tableau 2.2 Campagnes de mesure

Hiver 1994 - Baie James				
Images ERS-1 acquises	Terrain	État du sol	État du couvert	Equivalent en eau moyen
16 août 93	-	Dégelé, peu de pluie depuis 7 jours	Pas de neige	-
25 oct. 93	-	gelé	Sec	< 2 cm
12 fév. 94	14-18 fév.	gelé	Sec et stratifié	21.8cm
26 mars 94	21-24 mars	gelé	Sec et stratifié	27.9cm
4 mai 94	2-5 mai	dégelé	Légèrement humide en surface (1 à 3%)	26.6cm
10 juin 94	-	dégelé	Humide mais partiel	< 25 cm
25 sept. 94	26 au 29 sept.	dégelé	Pas de neige	-

Lors du premier séjour (14-18 février 1994), messieurs Gauthier et Roy du Service Prévision accompagnaient monsieur Fortin et madame Bernier de l'INRS-Eau. Douze sites expérimentaux ont alors été sélectionnés, identifiés et photographiés (figure 2.1). Afin de déterminer l'équivalent en eau de la neige, 20 carottes de neige par site ont été relevées. Celles-ci sont réparties en deux lignes de neige (10 carottes par ligne) d'environ 270 m de longueur et sont recueillies à tous les 30 mètres. En tout, 24 lignes de neige ont été effectuées. Pour chacune de ces lignes, la température du sol d'un point d'échantillonnage était notée pour une épaisseur donnée.

Lors de cette première campagne nous avons aussi fait 8 profils du couvert nival (fosses) pour déterminer les paramètres suivants de la neige: l'épaisseur et la densité des couches, le type et la dimension des grains, la constante diélectrique et la teneur en eau de la

neige, et le profil de la température. La figure 2.2 illustre les profils types du couvert nival du site 11, relevés lors des trois campagnes de terrain. La densité moyenne du couvert en février était de 250 kg/m^3 , la différence de température entre la surface du couvert et le sol était importante, soit 13.6°C et la température du sol était en-dessous du point de congélation, soit -1.6°C .

Lors du second séjour, en mars, messieurs Gauthier et Tremblay accompagnaient le personnel de l'INRS-Eau. Un treizième site a alors été choisi. Nous avons effectué 26 lignes de neige et neuf profils du couvert nival. En comparaison avec le relevé précédent, nous avons constaté pour l'ensemble des sites une augmentation substantielle de l'épaisseur de neige (figure 2.2) d'où une augmentation de l'équivalent en eau et de la résistance thermique du couvert nival. Quant à la température du sol au mois de mars, elle voisine 1°C pour l'ensemble des sites. Cela reflète l'augmentation de la résistance thermique du couvert mais aussi le réchauffement des températures de l'air entre les deux dates. Effectivement la différence de température entre la surface du couvert et le sol était de $2,5^\circ\text{C}$ au lieu de $13,6^\circ\text{C}$ et les grains de neige ont été transformés par la fonte (figure 2.2).

La troisième campagne a eu lieu au début mai, en période de fonte. Messieurs Raymond Gauthier d'Hydro-Québec et Yves Gauthier de l'INRS-Eau ont relevé les données sur la condition du couvert nival. Le couvert nival était humide et plus dense qu'à l'hiver, mais la quantité de neige au sol et la température du sol étaient semblables à celles du mois de mars (tableau 2.2). L'augmentation de la densité du couvert s'est aussi traduite par une baisse de la résistance thermique par rapport au mois de mars. De plus, étant donné que la neige était humide, seulement 11 lignes de neige ont été effectuées car le signal radar en bande C ne pénètre pas plus que quelques centimètres dans un couvert humide dont la teneur en eau volumique est de 4%.

Finalement, une quatrième campagne de terrain a eu lieu à la fin de septembre 1994. Messieurs Raymond Gauthier d'Hydro-Québec et Yves Gauthier de l'INRS-Eau se sont rendus à LG4 pour photographier et filmer sur vidéo les sites sans couvert nival, prendre

note des conditions météorologiques et de celles de la végétation lors de l'acquisition du 25 septembre ainsi qu'installer huit sondes thermiques dans le sol (1 cm de profondeur) à différents sites. Ces sondes nous permettront de mesurer la température exacte à la surface du sol lors des relevés terrain de l'hiver 1995.

2.3 Analyse des images ERS-1

Tels que présentées dans la proposition de recherche, les étapes suivantes sont toujours retenues pour réaliser l'analyse des images ERS-1: (a) étalonnage absolu, (b) extraction des coefficients de rétrodiffusion, (c) détermination des rapports de rétrodiffusion, (d) estimation de la résistance thermique des couverts de neige, (e) estimation de l'équivalent en eau des couverts. Jusqu'ici, les étapes (a), (b), (d) et (e) ont été complètement ou partiellement réalisées. Nous expliquons dans les paragraphes qui suivent le détail de la méthodologie et l'état d'avancement de chaque étape.

2.3.1 Étalonnage absolu

Les sept images acquises depuis le début du projet ont été étalonnées afin de rendre possible la comparaison d'images prises avec des paramètres d'orbite différents et d'obtenir une valeur physique (coefficient de rétrodiffusion) au lieu d'une simple valeur numérique pour le signal. Ce traitement comprend une correction pour la variation transversale du signal à l'intérieur d'une scène (perte d'intensité du signal en fonction de l'éloignement du satellite et variation du patron d'antenne avec l'angle d'incidence), ainsi que l'utilisation d'une constante de proportionnalité ou constante d'étalonnage pour transformer l'intensité moyenne de l'image en coefficient de rétrodiffusion.

Source du programme d'étalonnage:

Le programme utilisé a été développé au Centre Canadien de Télédétection (Livingstone *et al*, 1992). La version fournie à l'INRS-Eau par le Centre canadien de télédétection ayant été programmée en langage C sur une station SUN/OS, nous avons dû l'adapter pour

qu'elle fonctionne sur le système d'opération AIX (IBM) de notre station actuelle RISK 6000. Cette étape a été faite à l'automne 1994 pour les fins de ce projet.

Fonctionnement du programme d'étalonnage:

Dans un premier temps, le programme extrait certains paramètres de vol sur le ruban d'origine (format SGF): distance oblique proche, distance oblique éloignée, latitude et longitude du premier pixel, latitude et longitude du dernier pixel. Ces informations sont extraites pour la ligne centrale de l'image (ligne 4000).

A partir de ces informations, du patron d'antenne désiré, du gain du processeur de Gatineau et de l'altitude moyenne du territoire, le programme génère le coefficient d'étalonnage pour chaque pixel de l'image. Ce coefficient est ensuite appliqué à l'ensemble de l'image (format PCIDSK de EASI/PACE) et les comptes numériques sont transformés en coefficients de rétrodiffusion normalisés (σ^0).

2.3.2 Extraction des coefficients de rétrodiffusion

Voici les différentes étapes de traitement des images nécessaires à l'extraction des coefficients de rétrodiffusion: création des sous-images, correction géométrique, localisation des sites de mesures et extraction des coefficients.

Création des sous-images:

La dimension des images ERS-1 (100km X 100km ou 8000 lignes X 8000 pixels) demande une très grande capacité de stockage informatique. Pour les besoins du projet, une sous-image de 4000 lignes par 4000 pixels a donc été extraite pour chacune des scènes, cette sous-image a aussi l'avantage de ne couvrir que deux cartes UTM au lieu des quatre nécessaires pour l'ensemble de l'image. Cette sous-image englobe le secteur d'étude compris entre le pont Polaris à l'ouest, l'intersection de la route vers LA1 à l'est et le complexe LA1 au nord. Malheureusement, les sites 5 à 8 sont à l'extérieur de cette zone et ils seront remplacés par de nouveaux sites lors des campagnes de 1995. Toutefois, leurs coefficients seront extraits sur une autre sous-image pour les scènes de l'hiver 1994.

Corrections géométriques:

Afin d'obtenir des images superposables et ayant la même projection qu'une carte UTM, chaque sous-image est géocodée à l'aide de points d'appui relevés sur la carte, d'un modèle d'élévation numérique (MNE) et des paramètres de positionnement du satellite. Cette approche permet la superposition précise des images ERS-1 prises à différentes dates et la correction des effets du relief sur la géométrie de l'image. Cette étape implique aussi un rééchantillonnage des images. Nous comptons rééchantillonner les données à 25m au lieu de 12.5m afin de permettre la superposition d'une image Landsat-TM à nos images ERS-1. Comme la résolution originale du satellite ERS-1 est de 26 mètres, la perte d'information sera minime. Cette approche a été utilisée avec succès par Edmond Nezry (1994) de l'Institut d'application de la télédétection, Centre conjoint de recherche (Italie).

Comme une correction géométrique précise requiert un logiciel spécialisé, nous nous sommes entendus avec Monsieur Pierre Vincent de VIASAT GÉOTECHNOLOGIES INC. (Montréal) pour que l'entreprise prenne cette partie en charge. VIASAT réalisera la correction à l'aide du logiciel qu'ils mettent conjointement au point avec Therry Toutin du Centre canadien de télédétection (Toutin, 1994) dans le cadre du module 1 du projet PREDIR, financé par le programme SYNERGIE (FTD). En effet, dans le cadre de ce projet PREDIR, mais dans le module 4 (Suivi du couvert nival), VIASAT collabore déjà avec nous au développement de méthodologies pour suivre les paramètres du couvert nival à l'aide des données SAR. Cette collaboration se traduit, entre autres, par la correction géométrique des images ERS-1 de la région de la Baie James et la production du MNE de cette même région. Ces traitements effectués par VIASAT seront faits en étroite collaboration avec le personnel d'INRS-Eau et sans frais pour la Société Hydro-Québec puisqu'ils seront assumés par VIASAT comme faisant partie de sa contribution financière au module 4 du projet PREDIR.

La version BETA du logiciel venant d'être transférée du Centre Canadien de Télédétection vers le système de traitement de VIASAT à Montréal, aucune de nos images ERS-1 n'a encore été corrigée. Toutefois, la correction devrait débuter dans les prochaines semaines et être complétée pour l'ensemble des images d'ici le prochain rapport d'étape.

Localisation des sites de contrôle

Une fois les images géométriquement corrigées et superposées, tous les sites où des mesures ont été effectuées seront localisés et tracés sur l'une des images, c'est un des avantages de la correction géométrique. Les relevés de position pris avec un système de positionnement par satellite (GPS) pourront aussi être utilisés pour bien localiser chaque site. La valeur moyenne du coefficient de rétrodiffusion de chaque site sera ensuite automatiquement extraite pour chacune des images. Toutefois, en attendant que les images soient corrigées, nous avons localisé temporairement les principaux sites sur chaque sous-image le mieux possible et extrait les coefficients de rétrodiffusion de ces sites. Ces valeurs sont présentées et analysées dans la section 2.4 "Résultats".

2.3.3 Détermination des rapports de rétrodiffusion

Cette étape sera réalisée une fois que les images seront géométriquement corrigées et que les valeurs des coefficients de rétrodiffusion seront extraits de ces images géoréférencées. Ces résultats seront donc présentés au prochain rapport d'étape.

2.3.4 Estimation de la résistance thermique des couverts de neige

Cette étape se faisant en parallèle avec le traitement numérique des images, la résistance thermique des couverts nivaux a déjà été calculée. Les informations contenues dans les profils verticaux des couverts permettent tout d'abord de déterminer l'épaisseur (h_i) et la densité (ρ_i) de chaque couche homogène de neige. La résistance thermique de chaque couche (R_i [$^{\circ}\text{Cm}^2\text{sJ}^{-1}$]) est ensuite calculée selon:

$$R_i = \frac{h_i}{k_i} \quad (1)$$

où h_i est l'épaisseur de chaque couche de neige en mètres et k_i est la conductivité thermique ($\text{J}^{\circ}\text{Cms}$) correspondante et calculée selon l'équation suivante:

$$k_i = A\rho_i^2 + B\rho_i + C \quad (2)$$

où $A=2.83056 \cdot 10^{-6}$, $B=-9.09947 \cdot 10^{-5}$ et $C=0.0319739$. La densité, ρ_i , est exprimée en kg/m^3 . Ce polynôme a été déterminé à partir des données de conductivité thermique du couvert nival tirées de U.S. Army Corps of Engineer (1956). Par la suite, la résistance thermique de tout le couvert (R) est obtenue en faisant la somme des résistances thermiques de chaque couche.

2.3.5 Estimation de l'équivalent en eau des couverts

Cette étape consiste essentiellement à développer le modèle qui permettra d'estimer l'équivalent en eau de la neige d'un bassin à partir du coefficient de rétrodiffusion. Un premier modèle permettant de relier le coefficient de rétrodiffusion (σ°) des parcelles enneigées aux caractéristiques physiques de la neige et du sol sous-jacent a été développé par Bernier (1991). Le modèle se présente sous la forme d'un rapport du coefficient de rétrodiffusion d'une parcelle enneigée [σ_h°] sur le coefficient d'une parcelle sans couverture nivale [σ_a°].

$$\frac{\sigma_h^\circ}{\sigma_a^\circ} = \frac{\sigma_{nv}^\circ + F * [A(\epsilon_{sh}) * B(r)]}{[A(\epsilon_{sa}) * B(r)]} \quad (3)$$

où:

- σ_{nv}° : diffusion de volume du couvert de neige;
- F : facteur tenant compte de la perte totale d'énergie à l'intérieur du couvert de neige (aller et retour) dépendant de la constante diélectrique de la neige;
- ϵ_{sh} et ϵ_{sa} : constantes diélectriques du sol à l'hiver et à l'automne (printemps);
- r : rugosité de l'interface sol/neige;
- $A(\epsilon_s)$: réflectivité de Fresnel et est fonction de la constante diélectrique du sol;
- B(r) : fonction de la rugosité de l'interface sol/neige et varie selon l'angle d'incidence;

Rappelons que la diffusion de volume (σ_{nv}°) existant à l'intérieur des couverts de neige étudiés précédemment (9 à 65 cm d'épaisseur) n'a pas été détectée par un RAS aéroporté opérant en bande C (HH) (Bernier et Fortin, 1991). En effet, le signal de rétrodiffusion de ces couverts provenait essentiellement du sol sous-jacent ($F=0,95$). Ainsi, le rapport des coefficients de rétrodiffusion diminuait en fonction de la température du sol gelé. Le lien entre la température du sol et la résistance thermique du couvert expliquait aussi la

relation logarithmique observée entre le rapport des coefficients et l'équivalent en eau du couvert nival sec. Ainsi, plus le couvert de neige est un bon conducteur (mince et dense), plus la température du sol descend sous le point de congélation, ce qui entraîne une baisse de ϵ_{sh} et, par conséquent, une baisse du rapport de rétrodiffusion. La distribution spatiale de ce rapport représenterait donc la distribution spatiale de la résistance thermique du couvert.

Toutefois, dans le cas des données mesurées à la Baie-James à l'hiver 1994, le facteur F dans l'équation 3 est d'environ 0.85 au lieu de 0.95 ce qui entraîne une certaine contribution directe de la diffusion de volume (σ_{nv}^o). Afin de comprendre l'importance relative de la contribution du sol et celle de la diffusion à l'intérieur du volume de neige (σ_{nv}^o), nous avons programmé les modèles présentés par Ulaby et al. (1982 et 1986) pour la diffusion de volume d'un couvert de neige et celle de la surface du sol.

Précisons tout d'abord que la modélisation suivante s'applique essentiellement à un couvert de neige sèche. De façon à tenir compte de la variation verticale des caractéristiques de ce type de couvert de neige (densité, grosseur des grains, température), un modèle à cinq couches a été développé, afin de mieux estimer la rétrodiffusion de volume du couvert de neige, la rétrodiffusion du sol et la perte d'énergie dans le couvert. Le numérateur de l'équation 3 peut donc s'écrire:

$$\begin{aligned} \sigma_h^o = & \sigma_{nv1}^o(\theta_1) + F_1(\theta_1)\sigma_{nv2}^o(\theta_2) + \prod_1^2 F_i(\theta_i) \sigma_{nv3}^o(\theta_3) + \\ & \dots + \prod_1^4 F_i(\theta_i) \sigma_{nv5}^o(\theta_5) + \prod_1^5 F_i(\theta_i) \sigma_{sol}^o(\theta_5) \end{aligned} \quad (4)$$

où:

- σ_h^o : rétrodiffusion du couvert (neige et sol);
- σ_{nvi}^o : rétrodiffusion de volume de la couche i de neige;
- σ_{sol}^o : rétrodiffusion du sol;
- θ_i : angle d'incidence dans chaque couche et au sol, découlant de la loi de réfraction de Snell;
- F_i : perte d'énergie aller-retour dans chaque couche du couvert.

Chacun de ces termes peut être explicité davantage. Ainsi, la rétrodiffusion de volume en provenance de chaque couche du couvert peut s'écrire:

$$\sigma_{nvi}^o = \frac{\sigma_{vi} \cos(\theta_i)}{2k_e} (1 - \exp(k_e d \sec(\theta_i))^{-2}) \quad (5)$$

où:

- σ_{vi} : coefficient de rétrodiffusion de volume de la couche i , fonction de la taille des grains, de la constante diélectrique, de la densité de la neige et de la glace et de la longueur d'onde.
- d : épaisseur de la couche i ;
- k_e : coefficient d'extinction, qui découle des processus d'absorption et de diffusion dans le volume et dépend des mêmes caractéristiques de la couche que σ_{vi} .

L'exponentielle représente le terme F_i dans l'équation 4.

D'autre part, la rétrodiffusion du sol est aussi modélisée. Dans les micro-ondes, trois modèles sont habituellement utilisés, selon la rugosité des surfaces. Lorsque les surfaces sont très rugueuses, le modèle d'optique géométrique est appliqué. Pour des surfaces moyennement rugueuses, c'est le modèle d'optique physique qui est le plus adéquat, alors que le modèle des petites perturbations est utilisé pour les surfaces plus lisses. Les limites de validité des différents modèles sont définies en fonction des critères suivants:

Modèle d'optique géométrique:

$$k l > 6 ; l^2 > 2.76 \sigma \lambda ; (2 k \sigma \cos\theta)^2 > 10$$

Modèle d'optique physique:

$$k l > 6 ; l^2 > 2.76 \sigma \lambda ; m < 0.25$$

Modèle des petites perturbations:

$$k \sigma < 0.3 \quad ; \quad m < 0.3$$

Dans les critères précédents, λ est la longueur d'onde, k est le nombre d'onde ($2\pi/\lambda$), alors que σ , l et m sont des caractéristiques statistiques de la surface correspondant respectivement à la hauteur moyenne de la rugosité, la distance de corrélation et la pente ($m = 2^{0.5} \sigma / l$). La rétrodiffusion du sol dépend donc de la longueur d'onde du capteur radar, de l'angle d'incidence avec ou sans couvert de neige et de sa rugosité. De plus, tel que précisé à l'équation 3, la rétrodiffusion est aussi fonction de la réflectivité de Fresnel qui dépend de la constante diélectrique du sol et par conséquent de sa teneur en eau à une température T . En résumé, les modèles de rétrodiffusion de volume de couvert de neige et de rétrodiffusion à la surface du sol aideront à mieux saisir l'influence du couvert de neige sur la modification du signal en provenance du sol.

En complémentarité, nous avons obtenu le modèle SN THERM du U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (USACRREL). Ce modèle est un modèle multi-couches d'évolution et de fonte du couvert nival simulant la variation des caractéristiques des couches, aussi bien dans le couvert de neige que dans le sol. Il permettra en particulier de lier la température à la surface du sol aux caractéristiques du couvert de neige et aux conditions météorologiques antérieures. Rappelons que c'est de cette température que dépend la teneur en eau à la surface et par suite la constante diélectrique du sol. Le modèle permet de simuler l'accumulation et la modification des diverses couches du couvert de neige et fournit la température, l'épaisseur, la densité et la grosseur des grains de chacune de ces couches.

Avec ces modèles on pourra étudier l'effet du couvert de neige tant sur l'atténuation du signal en provenance du sol par absorption et diffusion dans les diverses couches du couvert de neige que l'influence de la résistance thermique de ce couvert sur la température à la surface du sol, en fonction des caractéristiques météorologiques antérieures en utilisant soit les données des campagnes de terrain soit les données fournies par le modèle SN THERM. Tout cela vise évidemment la mise au point d'une meilleure estimation de l'équivalent en eau du couvert nival.

2.4 Résultats préliminaires

2.4.1 Étalonnage

Réaliser un étalonnage absolu des images ERS-1 comporte deux grands avantages. D'une part, il permet de comparer l'intensité de rétrodiffusion d'objets mesurés à des angles différents (figure 2.3) et d'autre part, il permet de comparer les coefficients obtenus avec les valeurs déjà publiées dans la littérature et obtenus par d'autres capteurs radar.

Tableau 2.3 Comparaison des coefficients de rétrodiffusion entre LG4 (hiver 1994) et Sodankyla, Finlande (hiver 1993).

Conditions environnementales	Mois	Tourbières		Zones dégagées		Zones boisées	
		LG4	Sod.	LG4	Sod.	LG4	Sod.
Sol gelé	Octobre	-11.6	-11.5	-12	-12.2	-11.5	-12.4
Neige sèche	Mars	-9.5	-8.2	-9.8	-8.2	-8.0	-7.8
Neige humide	Mai	-10.8	-8.0	-11.1	-11.2	-11.2	-9.2

Toutefois, il existe certaines incertitudes quant aux coefficients obtenus puisque le processeur qui traite actuellement les données ERS-1 au Canada n'a pas été originellement conçu pour produire des données étalonnées et il fait parfois preuve d'instabilité (Lukowski, 1994). Nous avons d'ailleurs noté une telle variation (≈ 2 à 3 dB) dans un ensemble de données de La Pocatière (Bernier *et al.*, à paraître). Ainsi, dans le but de vérifier si l'instabilité temporelle du processeur n'a pas faussé l'étalonnage de nos images de la Baie James, nous avons comparé les coefficients de rétrodiffusion obtenus avec des valeurs publiées. Ces valeurs ont été tirées d'images ERS-1 de la région de Sodankyla, en Finlande, par l'équipe d'Hallikainen (Hallikainen *et al.*, 1994). Comme le montre le tableau 2.3, les valeurs des coefficients de rétrodiffusion sont du même ordre

de grandeur pour les trois types de conditions d'enneigement, soit sans neige, neige sèche et neige humide. Les quelques différences s'expliquent par le fait que chaque site possède des caractéristiques physiques ainsi que des conditions météorologiques et d'enneigement qui lui sont propres.

2.4.2 Interprétation visuelle des images

Comme les images ne sont pas géocodées, il est nécessaire d'effectuer une interprétation visuelle des différentes images acquises afin de se familiariser avec l'apparence des différentes utilisations du sol et ainsi pouvoir localiser les sites de mesure au sol. Il s'agit donc de voir quelles sont les caractéristiques de chaque image et quels objets y sont reconnaissables.

Sol et végétation

L'amplitude des niveaux de gris des images ERS-1 de la région LG4 est plutôt faible, mais plusieurs éléments sont généralement discernables. Les plus forts contrastes sont d'abord visibles sur les images sans neige du 16 août 1993 et du 25 septembre 1994. À ce moment, le sol est dégelé et couvert d'une abondante végétation (mousse, lichen, arbustes, herbacées) (figure 2.4). Il est donc possible de distinguer les tourbières (teinte sombre), les forêts plus denses (teinte claire), les zones dégagées (teinte sombre) et les brulis récents (teinte sombre en août et teinte claire en septembre) (figure 2.5a).

La teinte claire des conifères serait due à l'interaction entre le tronc et le sol. En terrain dégagé, le signal provient surtout du sol et lorsque la rugosité et l'humidité du sol ne sont pas trop élevés (août 93), la rétrodiffusion du signal est plus faible. Par contre, la teinte sombre des tourbières provient plutôt de la présence d'eau libre et calme qui retourne peu le signal vers le capteur. Les secteurs mixtes, bien que légèrement plus sombres que les boisés, se confondent généralement avec les brulis anciens et les limites n'en sont pas claires. La divergence de teinte de certains brulis entre août et septembre est probablement due à une différence dans l'humidité du substrat brûlé puisque que les jours

précédents le passage du satellite furent plutôt secs en août 1993 et assez humides en septembre 1994.

Lorsque le sol est gelé et qu'il y a présence de neige sèche (février et mars), les contrastes observés sur les images sont beaucoup plus subtils. A ce moment, les zones forestières sont encore les plus claires mais toutes les autres classes d'utilisation du sol se confondent dans une teinte poivre et sel grisâtre. Toutefois, lorsqu'un secteur comprend une forte concentration de lacs, il prend une teinte plus sombre que les zones forestières et les autres classes mentionnées plus haut.

Enfin, dans des conditions de neige humide (mai, juin), il est très difficile de discriminer les différentes classes d'utilisation du sol et même les boisés plus denses. En effet, la neige humide absorbant une grande part du signal radar, la rétrodiffusion est moins dépendante du type de sol ou de la végétation.

Lacs, bassins et rivières

Lorsque les plans d'eau sont dégelés, la rétrodiffusion du signal s'effectue tout en surface. Dans ce cas, si le lac est calme, la réflexion est spéculaire et il paraîtra noir sur l'image. Par contre, si le lac est agité ou ridé, la rugosité augmente la rétrodiffusion vers le satellite et le lac paraîtra blanchâtre. Comme exemple, en septembre 1994, le bassin de LG4 est agité et présente une teinte très claire. Il en est ainsi de la plupart des grands lacs. À ce moment, les limites de ces plans d'eau se confondent avec la terre ferme (figure 2.5b). Toutefois, certaines portions plus abritées des vents et plusieurs petits lacs ressortent en noir sur l'image (réflexion spéculaire du signal). Souvent, un lac à la surface rugueuse ne sera même pas discernable de son environnement terrestre. Il en est ainsi sur l'image du 16 août 1993. Quant aux rivières, elles sont rarement calmes et généralement de teinte claire. En hiver, alors que la surface des lacs est gelée et enneigée, les plus grands plans d'eau paraissent à nouveau très pâles alors que les plus petits se confondent complètement avec le territoire. La glace est responsable de cette rétrodiffusion. En mai, les grands lacs commencent à fondre et on y constate un morcellement sombre caractéristique de la présence d'eau libre ou de neige gorgée d'eau.

Infrastructures humaines

En ce qui concerne les infrastructures humaines, la route LG4/LaForge n'est généralement bien visible que si elle est perpendiculaire au signal. En effet, il semble que la rétrodiffusion de la route proviennent plus du talus surélevé que de la surface graveleuse. De par son orientation, le tronçon nord-sud est plus souvent visible et de teinte claire. Quant au tronçon est-ouest, il se confond généralement avec son environnement. Même le pont Polaris est invisible et seuls les forts rapides de la rivière La Grande permettent de repérer l'endroit. En mai par contre, toute la route paraît noire puisque la neige environnante est très humide. La présence de poussière salie la neige et augmente l'effet thermique du soleil (figure 2.5c). Suivant cette hypothèse, la neige près de la route serait plus humide que celle qui est située à une distance un peu plus grande de la route, de sorte que l'on pourra observer une rétrodiffusion plus faible de part et d'autre de la route par rapport au terrain environnant.

L'aéroport de LA1 est toujours visible et de teinte foncée. Sa surface plane et pavée est parallèle au radar et le retour du signal est donc faible (réflexion spéculaire). En février et mars le signal est plus fort, signe d'une augmentation probable de la rugosité de la surface pavée.

Enfin, les corridors de certaines lignes de transmission sont visibles sur les images de juin et de septembre. Le travail des machines y a probablement laissé un sol plus rugueux qui rétrodiffuse bien le signal lorsqu'il est dégelé et humide.

2.4.3 Analyse des histogrammes des sous-images

Trois facteurs majeurs semblent influencer les histogrammes des images à l'étude dont le premier est l'apparence de l'eau. Dans le cas où certains lacs sont calmes et apparaissent en noir, l'histogramme montre une augmentation des fréquences autour de -25dB (figure 2.6a). Par contre, si la surface des plans d'eau est rugueuse, la rétrodiffusion des lacs se confond au reste de l'histogramme et peut en fausser l'allure générale ou la moyenne. Il est difficile de savoir de quelle valeur de rétrodiffusion les lacs viendront augmenter la fréquence. Il est donc indispensable de masquer les plans d'eau pour avoir

une idée précise des valeurs moyennes de chaque scène. Cette étape sera réalisée après la correction géométrique des images.

Malgré tout, si l'on considère qu'au moins le maximum de l'histogramme demeure représentatif de la majorité de l'image, la température du sol serait alors un facteur pouvant en expliquer les variations. En effet, pour les trois scènes pour lesquelles le sol est dégelé (août, septembre et juin), le maximum de l'histogramme est à -9dB. En mars, le sol est près de zéro et le maximum de l'histogramme est entre -9 et -10dB. Enfin, en février, moment où le sol est sous le point de congélation, le maximum de l'histogramme est entre -10 et -11 (figure 2.6b).

Le troisième facteur à considérer est la présence de neige humide. En effet, dans les conditions plus printanières de mai, le maximum de l'histogramme est à -11 et la moyenne des rétrodiffusions est à -12 (figure 2.6c).

Dans le cas du mois d'octobre, l'histogramme montre un maximum d'occurrence à -12dB (figure 2.6d). Toutefois, des valeurs si faibles signifient que 1) le sol est très froid et que la neige est sèche ou que 2) la neige est humide. Selon les relevés météo, la température de l'air s'est maintenue sous zéro entre le 23 et le 26 octobre, avec un minimum de -14°C la nuit précédent le passage du satellite et un maximum de -2°C le jour même du passage. Puisque le couvert de neige est inférieur à 10cm, ces observations tendent à confirmer que le sol est froid et que la neige est sèche. Les conditions environnementales seraient donc semblables à celles observées par Hallikainen (1994) à la fin octobre 1993 en Finlande. De plus, il ne semble pas y avoir de problème concernant le gain du processeur, puisque les valeurs faibles des lacs sont au même niveau (-25dB) que sur l'image de septembre 94.

2.4.4 Interprétation des coefficients de rétrodiffusion

Si l'on exclut les plans d'eau et les infrastructures humaines, nous pouvons regrouper l'environnement de LG4 en cinq classes générales d'occupation du sol. La figure 2.7 présente l'évolution temporelle du coefficient de rétrodiffusion moyen de quelques sites appartenant à ces classes: tourbières, brulis, zones dégagées, zones mixtes, zones

boisées. Ce qui retient d'abord l'attention, ce sont les valeurs significativement plus faibles en mai et en octobre. Dans le premier cas, la neige humide empêche l'onde radar d'atteindre le sol, ce qui diminue la rétrodiffusion et confond les types d'occupation du sol. Même les boisés ont une faible rétrodiffusion de -11dB. Dans le cas du mois d'octobre, une faible neige recouvre le sol, mais la température de l'air étant bien sous le point de congélation depuis trois jours, l'eau dans la neige est sans doute sous forme de glace. La faible rétrodiffusion pourrait alors être due à une basse température du sol puisque la nuit précédente, le mercure est descendu à -14°C. En se refroidissant, le sol abaisse ainsi sa constante diélectrique et donc, sa rétrodiffusion.

Les cas de mai 1994 et d'octobre 1993 montrent tous deux que le phénomène de diffusion à l'intérieur des boisés d'épinettes noires peu denses (25%) est dominé par l'interaction entre le tronc et le sol et le retour direct du sol. En effet, la structure de l'arbre et sa faible densité permettent au signal radar d'atteindre le sol puisque les effets de neige humide ou de sol froid sont visibles même sur les sites de boisés. Cette observation est encourageante puisqu'elle nous laisse la possibilité d'obtenir de l'information sur le couvert nival même en zone boisée.

Le deuxième point qui retient l'attention est, comme l'ont déjà rapporté plusieurs auteurs (Rott *et al.*, 1988; Matzler, 1987; Hallikainen *et al.*, 1994), le peu de différence entre les signatures obtenues sans couverture nivale (août, septembre) et celles où la couverture de neige est sèche (février, mars). Toutefois, à l'été, c'est principalement la teneur en eau du sol qui fait varier l'intensité du coefficient de rétrodiffusion. À l'hiver, c'est la température du sol et l'épaisseur du couvert de neige qui jouent le plus grand rôle. Nous détaillerons ces phénomènes plus loin.

Concernant l'image de juin, la rétrodiffusion est surtout influencée par la forte teneur en eau du sol, là où la neige vient de fondre (tourbières, zones dégagées) et par la présence de neige humide par endroit (boisés). Certains algorithmes ayant été développés pour cartographier la présence de neige humide (Rott et Nagler, 1993), nous essaierons de les appliquer sur une image corrigée géométriquement d'ici la fin du projet.

Dans le but de comparer les signatures obtenues à la Baie James à celles obtenues en Finlande par Hallikainen *et al.* (1993), les coefficients de rétrodiffusion analysés

précédemment sont représentés à la figure 2.8 pour 4 dates distinctes (25 octobre, 12 février, 26 mars, 4 mai). Tout comme dans la publication d'Hallikainen *et al*, les valeurs dites automnales (pas de neige, sol gelé) sont les plus basses, soit -12dB, les valeurs printanières de neige humide sont moyennes (-11dB) et finalement, les valeurs hivernales sont les plus élevées (-11 à -8dB, dépendamment du type de sol et de la quantité de neige).

Par le fait même, si la différence est faible entre les coefficients de rétrodiffusion de février et de mars, elle va tout de même dans le sens d'une augmentation de la quantité de neige au sol (Δ 6cm d'équivalent en eau). Cette augmentation est aussi plus perceptible pour les secteurs dégagés (1dB). En effet, dans des conditions de neige sèche, le signal radar se rend au sol et environ 85% de sa rétrodiffusion dépend alors de la constante diélectrique du substrat (équation 3). Cette dernière dépend à son tour de la température du sol gelé qui elle, est influencée par l'épaisseur et la résistance thermique du couvert de neige. Puisque c'est dans les zones dégagées que l'augmentation de la température du sol fût la plus élevée entre le 12 février et le 26 mars (4°C), il est normal d'y observer une hausse plus importante du coefficient de rétrodiffusion. Par contre, dans les tourbières et les boisés, la température du sol et les coefficients de rétrodiffusion ont peu changé entre les deux dates.

Finalement, comme les quantités de neige au sol en mars sont importantes (plus de 1m), la diffusion à l'intérieur du volume de neige contribue en moyenne pour 15% du signal de retour et elle peut donc engendrer une augmentation de la rétrodiffusion. Ces hypothèses seront vérifiées au moyen des modèles théoriques présentés à la section 2.3.5.

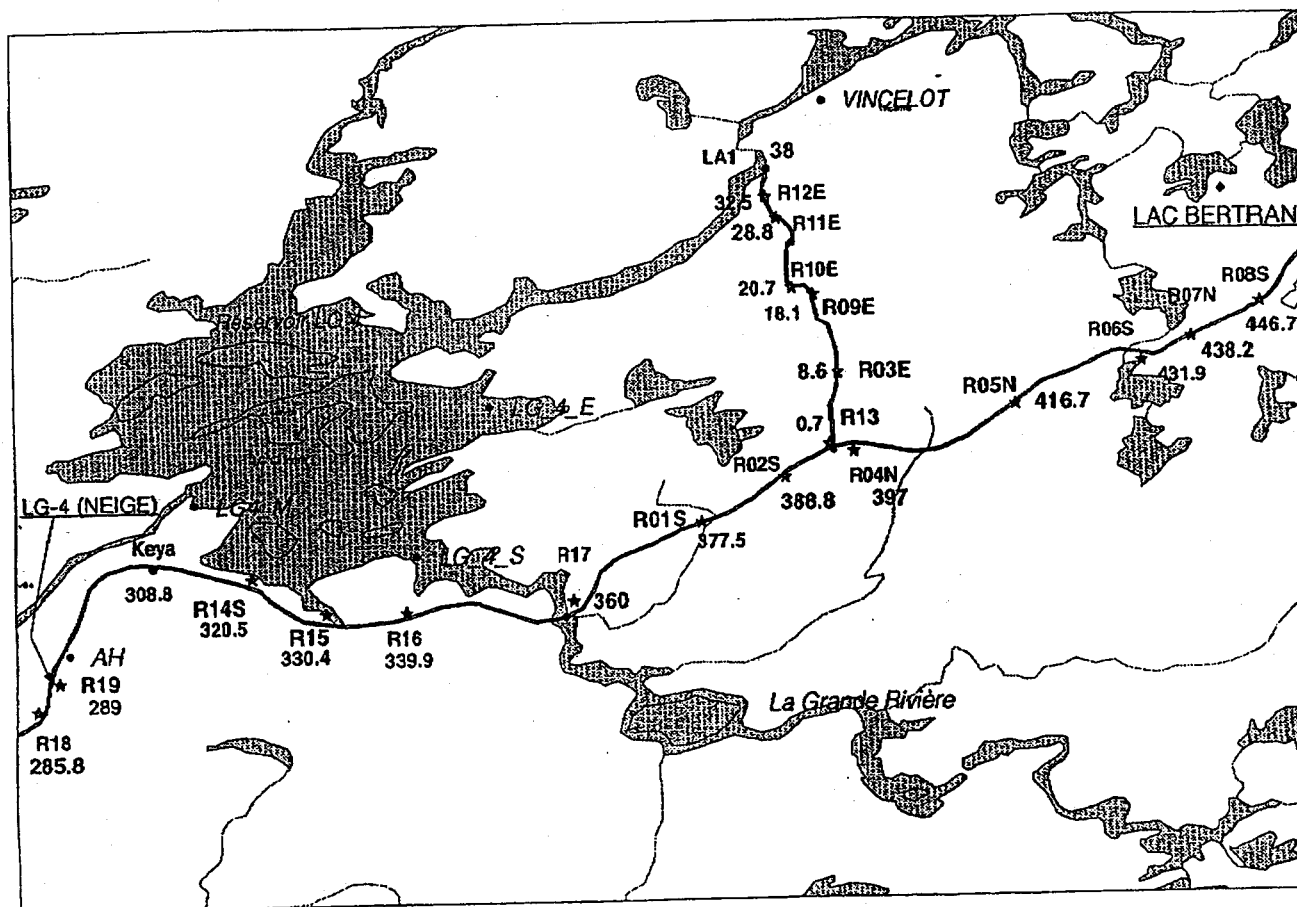
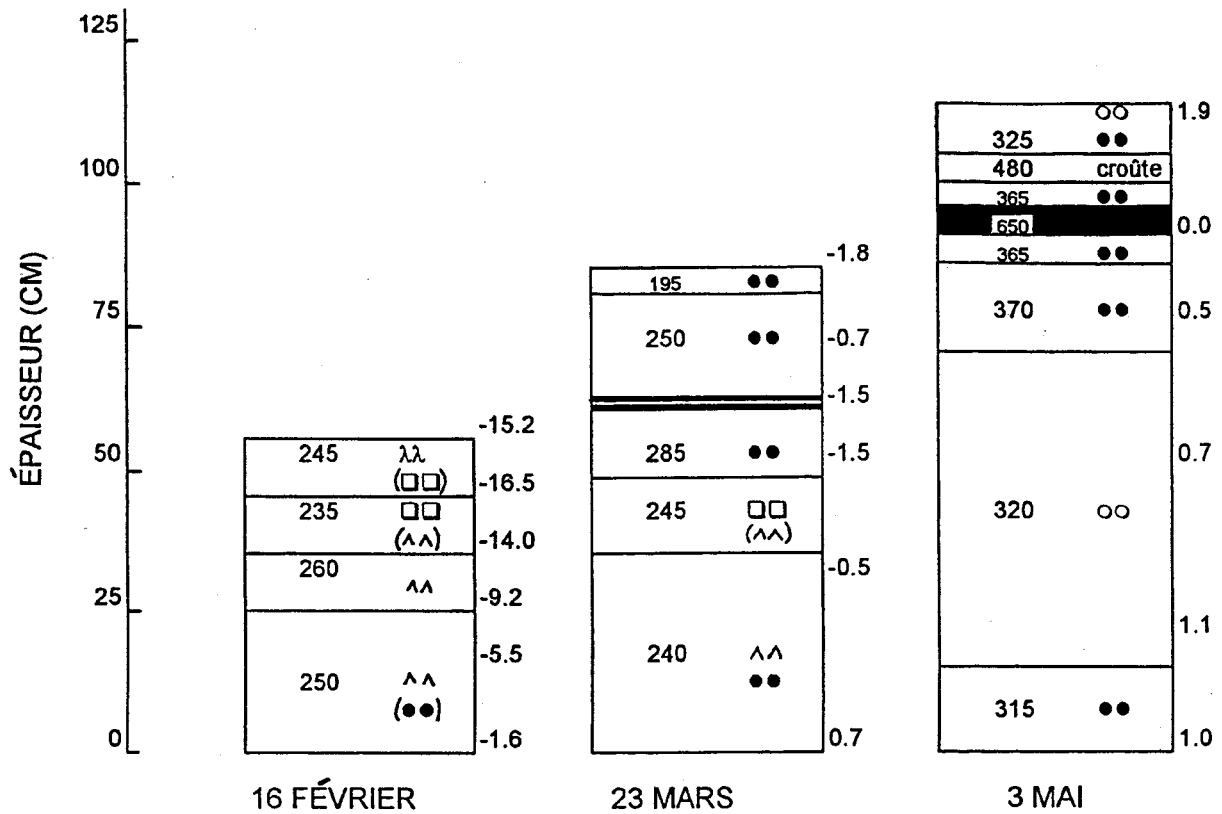


Figure 2.1 Localisation des sites de mesures

PROFILS DE NEIGE DU SITE 11 LG4 - HIVER 1994



LÉGENDE	
λλ	neige poudreuse
□□	neige à facettes (grains irréguliers)
^^	neige à facettes (bâtonnets striés)
●●	neige transformée
○○	neige mouillée
■	glace
260	densité (Kg/m ³)
-5.5	température (°C)

Figure 2.2 Évolution temporelle du profil du couvert nival à l'hiver 1994

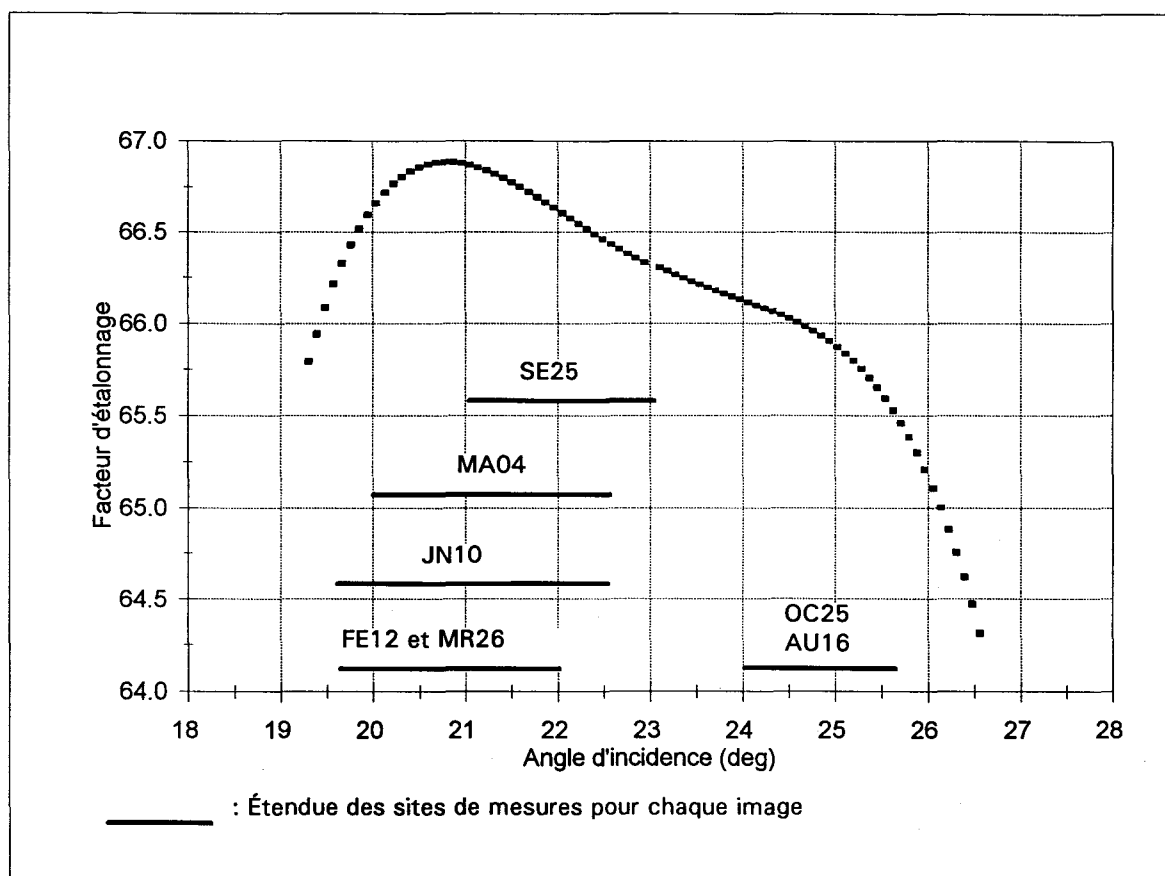


Figure 2.3 Variation du facteur d'étalonnage en fonction de l'angle d'incidence

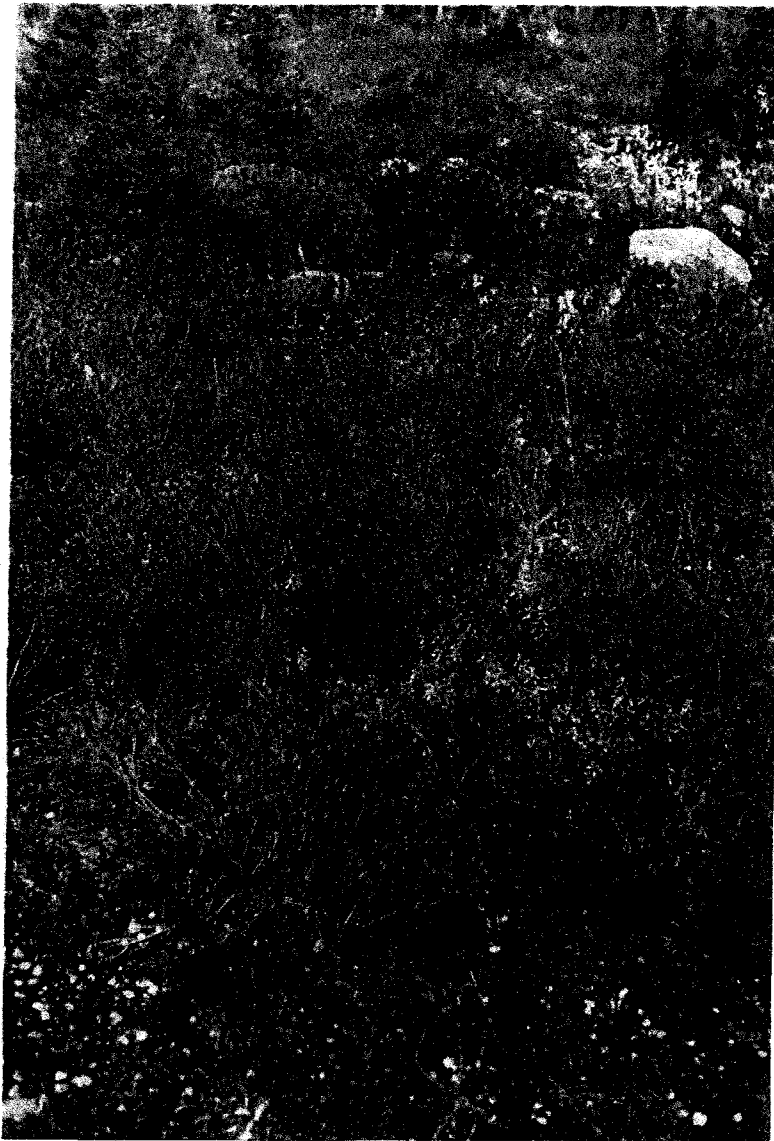


Figure 2.4 Photographie de la végétation au sol (site #20)

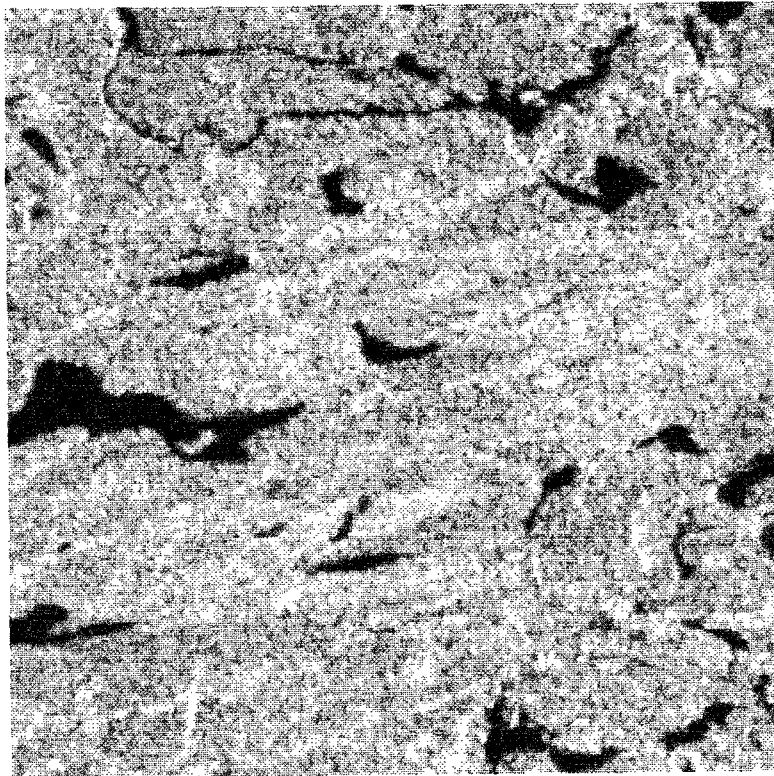


Figure 2.5a Zone de tourbières et conifères sur l'image ERS-1 du 25/9/94

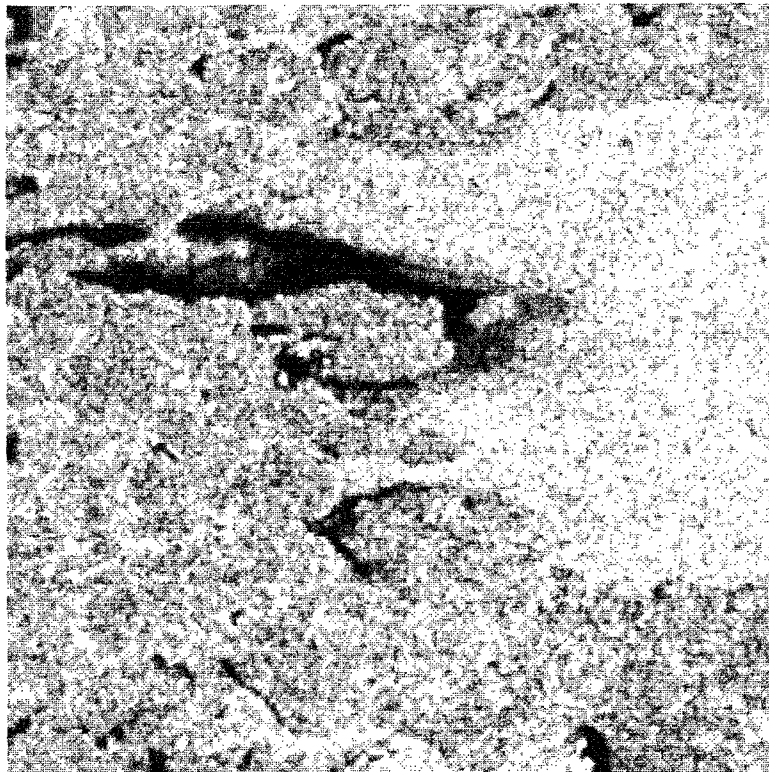


Figure 2.5b Partie du réservoir de LG4 sur l'image ERS-1 du 25/9/94

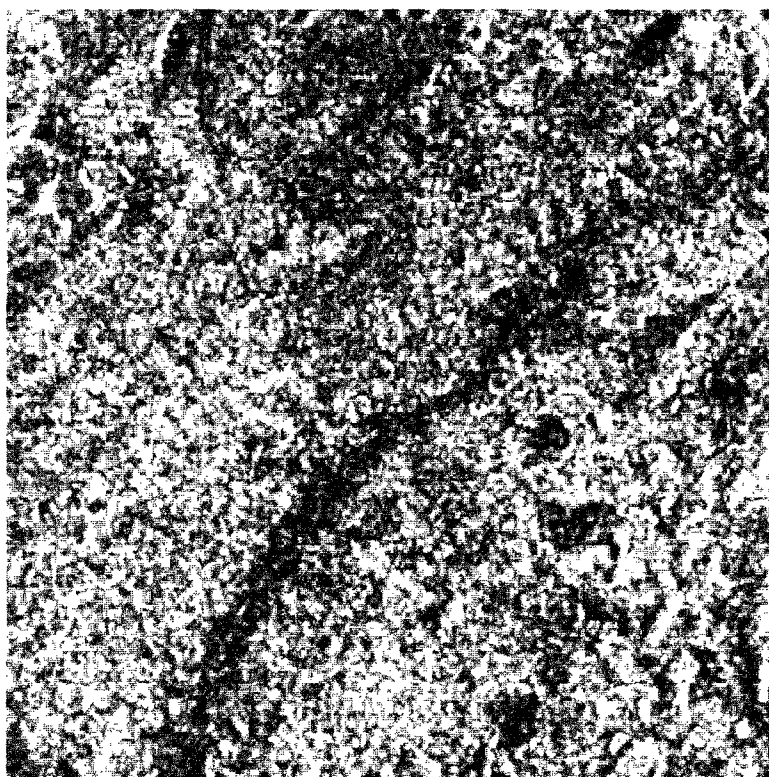
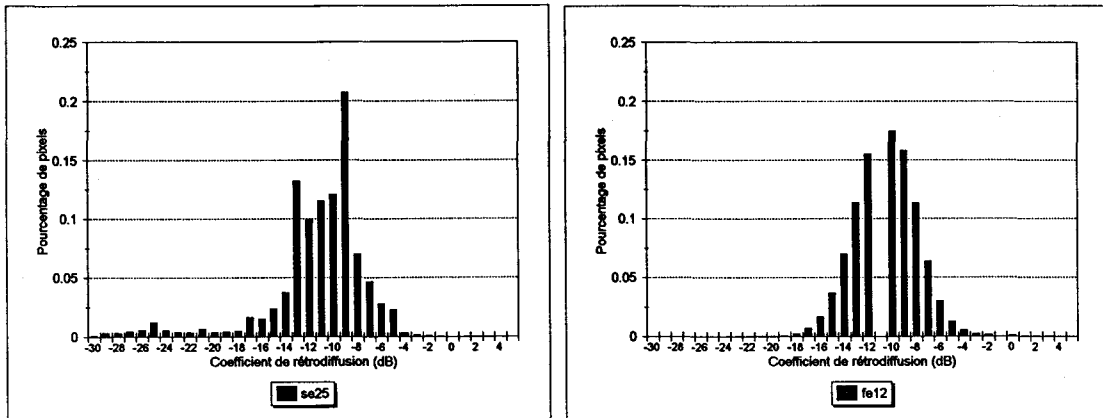
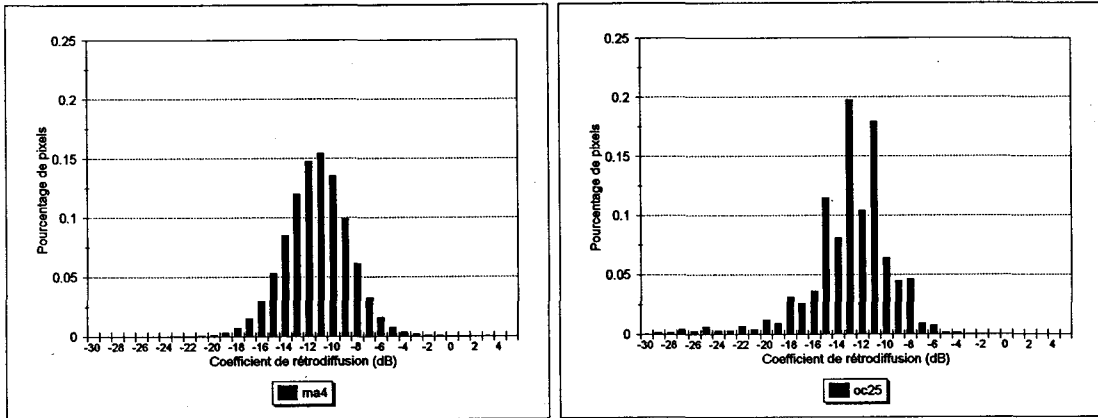


Figure 2.5c Section de la route (tronçon est-ouest) sur l'image ERS-1 du 4 mai 1994



a) Histogramme de la sous-image du 25 septembre 1994

b) Histogramme de la sous-image du 12 février 1994



c) Histogramme de la sous-image du 4 mai 1994

d) Histogramme de la sous-image du 25 octobre 1993

Figure 2.6 Histogramme des sous-images ERS-1

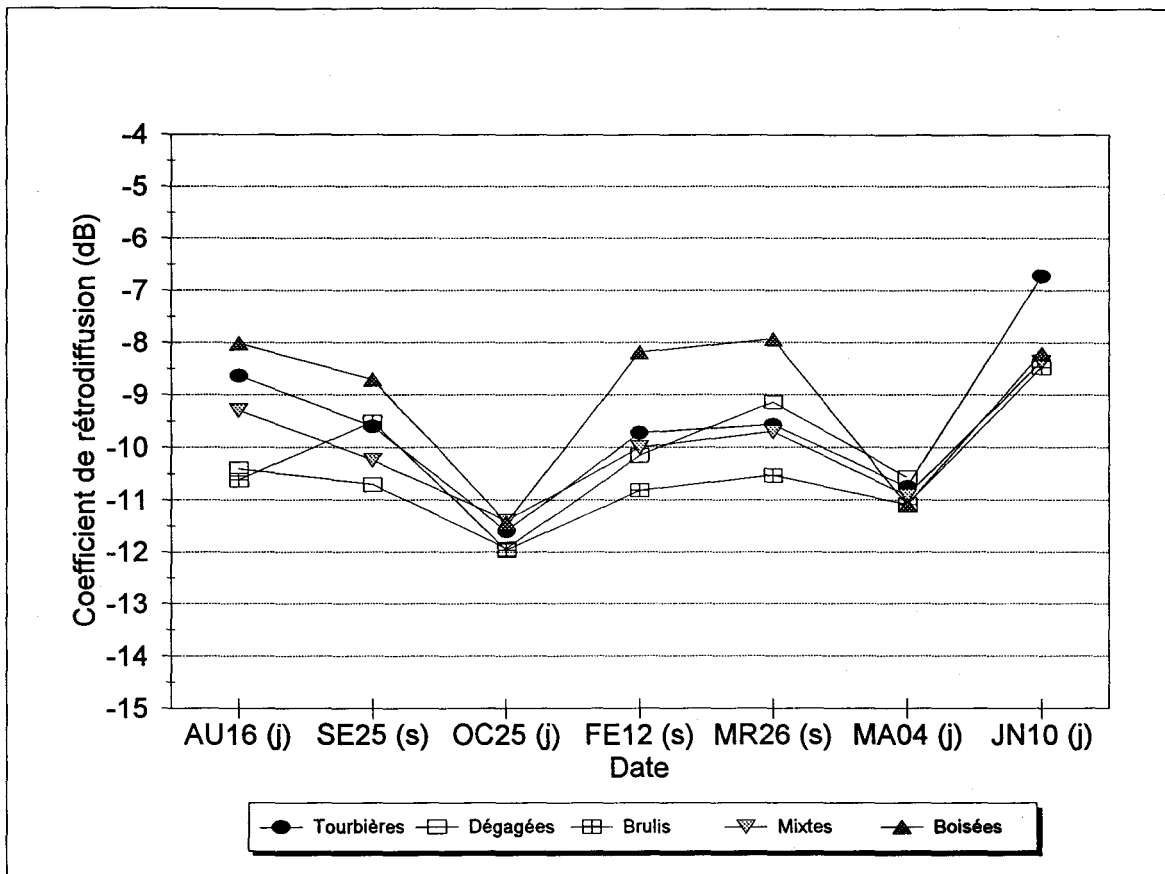


Figure 2.7 Évolution temporelle du coefficient de rétrodiffusion de cinq classes d'occupation du sol

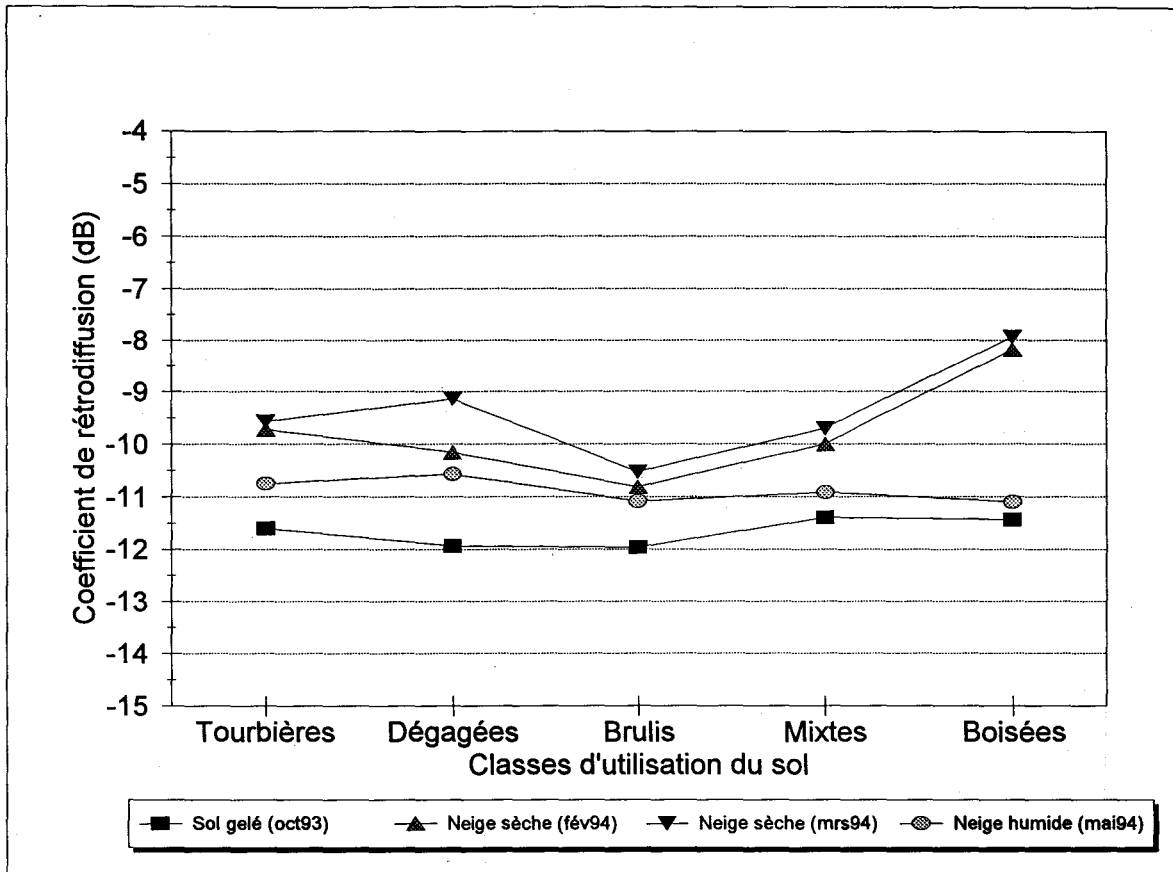


Figure 2.8 Coefficients de rétrodiffusion de cinq classes d'occupation du sol selon la couverture de neige



3 OBTENTION DU FINANCEMENT DU PROGRAMME CRSNG-INDUSTRIE

La semaine précédent le congé de Noël, nous avons appris que la demande de financement faite au programme CRSNG-Industrie en juin 1994 a été acceptée. Une somme de 19 486\$ a été obtenue pour la période allant du 15 janvier au 15 décembre 1995. Une somme additionnelle de 48 965\$ sera déboursée ultérieurement pour couvrir la période allant de la fin décembre 1995 au 31 mars 1996. Le dépôt du second montant est conditionnel aux résultats obtenus d'ici la mi-septembre aussi bien pour le volet RADAR (lequel est l'objet du présent rapport) que le volet micro-ondes passives pour lequel la subvention a été obtenue.

En effet, les objectifs spécifiques de la demande de subvention au programme CRSNG-Industrie sont:

- (a) d'évaluer avec quelle précision les capteurs radar à bord des satellites ERS-1 et, éventuellement RADARSAT, pourront estimer l'équivalent en eau du couvert nival dans la région de la Baie-James;
- (b) de vérifier la transférabilité à la Baie-James et d'adapter, au besoin, l'algorithme utilisé dans les Prairies canadiennes pour estimer l'équivalent en eau du couvert nival à partir des données du capteur SSM/I opérant dans les micro-ondes passives.

Les activités du volet micro-ondes passives porteront essentiellement sur: (a) l'analyse et la sélection d'algorithmes existants permettant d'estimer l'équivalent en eau du couvert nival à partir des données SSM/I, (b) l'acquisition et le pré-traitement des données SSM/I, (c) l'évaluation des algorithmes par comparaison avec les données au sol, (d) l'adaptation d'un algorithme à l'environnement de la taïga, en tenant compte du couvert végétal et du sol. Ces activités débuteront à la mi-février. Une copie de la demande de subvention a été remise à Hydro-Québec et fournit plus de détails sur l'approche suivie.



4 ACTIVITÉS À RÉALISER

4.1 Campagnes de terrain à l'hiver 1995

Actuellement, deux campagnes de terrain sont prévues pour l'hiver 1995 lors des survols du territoire par ERS-1, soit l'une au début de février (3 et 10 février) et la seconde au début de mars (12 mars). Toutefois, avec le lancement de ERS-2 en avril, l'Agence spatiale européenne pourrait changer le mode orbital d'ERS-1 dès le début de mars ce qui retarderait la seconde campagne de 3 à 5 semaines. Une troisième campagne pourrait être réalisée en avril si le satellite ERS-1 est opérationnel.

Les données terrain seront ensuite informatisées et traitées.

Nous avons aussi demandé un survol aéroporté dans la région de LG4 pour le début mars. Les données seront alors prises en bande C et X ainsi qu'en polarisation HH (Radarsat) et VV (ERS-1) par le Convair-590 du Centre canadien de télédétection. Ces données permettront de comparer l'effet d'angles d'incidences plus élevés (20-49°) des images de RADARSAT (C-HH) ainsi que mieux cerner l'effet de la diffusion de volume à l'intérieur du couvert nival en bande X.

4.2 Analyse des images ERS-1

D'abord, suite à la correction géométrique des images ERS-1 de l'hiver 1994 réalisée par VIASAT inc., les coefficients de rétrodiffusion seront extraits et les rapports de rétrodiffusion calculés et interprétés. Par la suite et si possible avant la fin juin, les images ERS-1 de 1995 seront analysées en suivant les étapes énumérées et décrites à la section 2.3, soit: (1) Étalonnage absolu; (2) Extraction des coefficients de rétrodiffusion; (3) Détermination des rapports de rétrodiffusion; (4) Estimation de la résistance thermique des couverts de neige; (5) Estimation de l'équivalent en eau des couverts.

4.3 Ébauche d'une stratégie de détermination de l'équivalent en eau de la neige

Dans le projet de recherche présenté au programme CRSNG-Industrie, nous avons présenté un programme en deux phases. La Phase I vise à vérifier le potentiel du Radar (projet actuel) et des micro-ondes passives (volet CRSNG) et la Phase II à intégrer les informations fournies par ces capteurs dans une stratégie opérationnelle d'estimation de l'équivalent en eau du couvert nival sur les bassins d'Hydro-Québec. Rappelons que seule la Phase I est actuellement financée.

Dans ce contexte, la stratégie de détermination de l'équivalent en eau de la neige, parce qu'elle pourrait impliquer la combinaison de données micro-ondes passives, actives et des données d'autres sources, ne sera effectivement réalisée qu'à la Phase II. Toutefois, dans la phase I, nous commencerons à situer la problématique. En effet, en septembre dernier, un étudiant au doctorat, Daniel Martin, s'est joint à notre équipe de recherche. Co-dirigé par Madame Bernier et Monsieur Sasseville, le thème de sa thèse est: *Évaluation du coût/efficacité des techniques de mesure de l'équivalent en eau du couvert nival.*

Pour spécifier les objectifs de sa thèse, Monsieur Martin sera appelé à rencontrer le personnel du Service Prévisions dans les prochains mois.

4.4 Programme ADRO

Le Programme de Développement d'applications et possibilités de recherche ADRO (acronyme pour Application Development and Research Opportunity) sollicite des propositions visant la conduite de projets de recherche à l'aide des données RSO de RADARSAT. Le programme ADRO est parrainé conjointement par l'Agence spatiale canadienne, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis et par RADARSAT International inc. Le programme ADRO a été divisé en trois sous-programmes dont le programme canadien pour les applications. Ce sous-programme

parrainé par l'ASC est ouvert à toutes les équipes de projet dirigées par des organismes canadiens.

Dans le cadre de la Phase II du présent projet de recherche, l'INRS-Eau souhaiterait soumettre en collaboration avec Hydro-Québec une proposition au programme ADRO. La date limite pour la soumission est le 31 mars 1995. Nous discuterons donc des possibilités de réalisation de ce projet avec le personnel d'Hydro-Québec dans les prochaines semaines. Les informations qui suivent proviennent de la brochure: Annonce du programme ADRO, volume 1 (ASC, 1994).

4.4.1 Objectifs

Les objectifs particuliers de ce sous-programme sont:

- a) Démonstration de techniques permettant d'extraire des informations géophysiques utiles des données RADARSAT pour diverses applications, au Canada et à l'étranger.
- b) Développement et démonstration de produits de données ou d'information dérivés de l'imagerie RADARSAT et qui offrent des possibilités commerciales ou opérationnelles.

Ce sous-programme a pour but de donner aux entreprises et aux chercheurs canadiens un accès rapide aux données de manière à encourager l'utilisation efficace du système RADARSAT au Canada et aider au développement d'un marché canadien d'exportation de produits et services se rapportant à RADARSAT. Ses objectifs ont été formulés de manière que tant les projets à caractère scientifique que ceux à caractère commercial puissent profiter du programme ADRO.

4.4.2 Critères d'évaluation

L'évaluation des propositions soumises se fera selon un système de cotation. Elle sera basée sur le contenu des volets technique et organisationnel des propositions. Seules les

propositions dont les deux volets auront été jugés acceptables seront admises à l'étape de la sélection finale au cours de laquelle seront évaluées les propositions de financement. L'organisme parrain choisira les propositions de manière à obtenir un programme équilibré qui répondra à l'ensemble des objectifs et couvrira plusieurs disciplines.

Critères d'évaluation des propositions:

- Volet technique des propositions (60 points)
 - . Énoncé des objectifs et pertinence de ceux-ci dans le cadre du sous-programme,
 - . Description des techniques et de la démarche proposées,
 - . Validité technique/scientifique des techniques et de la démarche proposée,
 - . Faisabilité des techniques et de la démarche proposées,
 - . Disponibilité de données additionnelles (au besoin),
 - . Résultats prévus et produits à livrer,
 - . Probabilité de succès.

- Volet organisationnel du projet (40 points)
 - . Qualifications pertinentes du chef de projet et de l'équipe, y compris les publications et d'autres activités,
 - . Disponibilité des installations et de l'équipement requis,
 - . Preuve de la disponibilité des fonds nécessaires pour mener à bien le projet,
 - . Calendrier du projet,
 - . Participation d'un utilisateur ou connaissance du marché potentiel (le cas échéant).

4.4.3 Appui financier

Le sous-programme canadien des applications a pour but de fournir des données aux équipes de recherche dont le projet répond aux objectifs du sous-programme, et non de financer un projet de recherche. Les projets des équipes qui pourront faire la preuve

qu'elles disposent d'un financement suffisant provenant d'autres sources jouiront d'une évaluation plus favorable que ceux qui nécessiteront des fonds de la part de l'organisme parrain. Toutefois, l'ASC a demandé des fonds pour assurer un financement partiel de la recherche. On prévoit que l'appui financier pour chaque projet ne dépassera pas 50 000\$. Pour y être admissible, le proposant doit prouver qu'un minimum de 50% du financement provient d'une source autre que les organismes parrains, sous forme de contribution non financière du proposant lui-même, soit de contribution d'une tierce partie.

5 CONCLUSION

D'après les résultats préliminaires, il semble possible de pouvoir obtenir de l'information sur le couvert nival au moyen des données RAS en bande C dans la région de la Baie-James. Toutefois, afin de pouvoir quantifier cette information, il faudra l'intégrer à d'autres sources de données: images LANDSAT (pour masquer les lacs, par exemple), données météorologiques et relevés nivométriques.

La modélisation des phénomènes de diffusion permettra aussi de mieux comprendre les phénomènes physiques en jeu et de développer un algorithme opérationnel pour déterminer l'équivalent en eau de la neige.

La collaboration de la firme de consultants en télédétection et géomatique Viasat inc. nous aidera à développer une approche opérationnelle pour non seulement la correction géométrique mais aussi l'ensemble des étapes du traitement numérique des images.

6 RÉFÉRENCES

- Bernier, M., Fortin, J.P. et Y. Gauthier (à paraître). The Potential and Limitations of ERS-1 SAR Data to Estimate the Snow Water Equivalent, Comptes-rendus de Application of Remote Sensing in Hydrology. 18-20 octobre 1994, Saskatoon, 10 pages.
- Bernier, M. et Fortin, J.P. (1991). Suivi du couvert nival par radar: résultats obtenus dans le Sud du Québec. Comptes rendus du 7^e Congrès de l'Association québécoise de télédétection, octobre 1991, Montréal, pp. 83-92.
- Kurvonen, L., Koskinen, J. et Hallikainen, M. (1994). Combined Use of Microwave Radiometer and Radar in Remote Sensing of Snow, Finnish-Russian Seminar on Remote Sensing, Septembre 1th, Helsinki.
- Lukowski, T.I., Hawkins, R.K., Moucha, R.Z., Khandelwal, T.C., Neeson, I.A. (1994). Spaceborne SAR Calibration Studies: ERS-1. In: International Geoscience and Remote Sensing Digest, pp. 2218-2220.
- Hallikainen, M., Kurvonen, L., Jääskeläinen, V., Koskinen, J., Herland, E.A. et Perälä, J. (1993). Microwave Remote Sensing of Snow using radar and radiometer. Comptes-rendus de Second ERS-1 Symposium, 11-14 octobre, Hamburg, pp. 977-982 (ESA SP-361).
- Mätzler, C. (1987). Applications on the Interaction of Microwaves with the Natural Snow-Cover. Remote Sens. Rev., 2: 259-387.
- Nerzy, E. (1994). Restoration and Enhancement of Textural Properties in SAR Images using Second Order Statistics. Comptes-rendus de Remote Sensing Symposium, Rome, Septembre.

Rott, H. et T. Nagler (1993). Capabilities of ERS-1 SAR for Snow and Glacier Monitoring in Alpine Areas, Second ERS-1 Symposium, Hamburg, Germany, 11-14 octobre, (ESA 5P-361). pp. 965-970.

Rott, H., C. Mätzler, D. Strobl (1988). The Potential of SAR in a Snow and Glacier Monitoring System. Workshop on Thematic Applications of SAR Data; 16-18 sept., Franscati, Italie, pp. 25-35.

Toutin, T. (1994). Cartographie à partir d'images radar. Journal canadien de télédétection, 20(2): 171-179.

Ulaby, F.T., R.K. Moore, A.K. Fung (1986). Microwave Remote Sensing: Active and Passive. From theory to Applications. Artech House inc. ed., III: 1065-2137.

Ulaby, F.T., R.K. Moore, A.K. Fung (1982). Microwave Remote Sensing: Active and Passive. Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory. Adison-Wesley Publishing Company inc., II: 457-1064.

U.S. Army Corps of Engineers (1956). Snow Hydrology, Porland, Oregon.