Record Number: 122190
Author, Monographic: Bernier, M.//Fortin, J. P.//Gauthier, Y.//Turcotte, R.//Royer, A.
Author Role:
Title, Monographic: EQeau : Méthode opérationnelle d'estimation de l'équivalent en eau de la neige par imagerie RADARSAT. Rapport d'étape no 1
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1999
Original Publication Date: 31 mars 1999
Volume Identification:
Extent of Work: xi, 30
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 543 e1
Location/URL:
ISBN:
Notes: Rapport annuel 1999-2000
Abstract: Pour Prévisions et resspirces judroqies Hydro-Québec.
Déposé le 23 mars 2004.
Ancien R000543

Pas d'isbn, moins de 50 pages
Call Number: R000543 e1
Keywords: rapport/ ok

EQeau - Méthode opérationnelle d'estimation de l'équivalent en eau de la neige par imagerie RADARSAT

Rapport de recherche No R-543 ***31 mars 1999***

EQeau

Méthode opérationnelle d'estimation de l'équivalent en eau de la neige par imagerie RADARSAT

Rapport d'étape pour

Prévisions et Ressources Hydriques
Hydro-Québec

par

Monique Bernier, Jean-Pierre Fortin, Yves Gauthier
Richard Turcotte et Alain Royer

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

Rapport de recherche No R543

31 mars 1999

© INRS-Eau, 1999

L'ÉQUIPE DE RECHERCHE :

Monique Bernier, professeure en télédétection
Jean-Pierre Fortin, professeur en hydrologie
Yves Gauthier, agent de recherche en télédétection et géomatique
Richard Turcotte, ingénieur civil et spécialiste d'Hydrotel et de Physitel
Alain Royer, technicien en informatique

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES V

LISTE DES FIGURES VII

LISTE DES TABLEAUX IX

SOMMAIRE XII

1. INTRODUCTION 1

2. OBJECTIFS DU PROJET 3

3. BILAN DES ACQUISITIONS D'IMAGES DE L'HIVER 1998-1999 5

4. BILAN DES CAMPAGNES DE TERRAIN 7

4.1 MESURES AUX SITES D'ÉCHANTILLONNAGE 7

4.2 MESURES AUX STATIONS CLIMATOLOGIQUES 8

5. TRAITEMENT ET ANALYSE DES IMAGES 11

5.1 TRAITEMENT DES IMAGES WIDE 11

5.2 ANALYSE DES IMAGES WIDE 12

6. APPLICATION DE L'ALGORITHME 15

6.1 VÉRIFICATION ET RAFFINEMENT DE L'ALGORITHME 15

6.2 APPLICATION DE L'ALGORITHME AUX IMAGES DE JANVIER 1999 16

6.3 APPLICATION DE L'ALGORITHME AUX IMAGES DE MARS 1999 21

7. CONCLUSION 25

RÉFÉRENCES 27

LISTE DES FIGURES

FIGURE 3-1 : COUVERTURE DES IMAGES ACQUISES. 5
FIGURE 4-1 : DONNÉES DE LA STATION CLIMATOLOGIQUE DU SITE #2 SUD POUR L'AUTOMNE 1998-1999 8
FIGURE 5-1 : COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE RÉTRODIFFUSION MOYENS CALCULÉS LE 19 NOVEMBRE 1997 (1) ET LE 14 NOVEMBRE 1998 (W1) SUR LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE 13
FIGURE 5-2 : VARIATION DU COEFFICIENT DE RÉTRODIFFUSION SELON L'ANGLE D'INCIDENCE POUR L'IMAGE DU 14 NOVEMBRE 1998. LES COEFFICIENTS SONT MOYENNÉS PAR BLOC DE 3000 PIXELS ET DE 3000 LIGNES 14
FIGURE 6-1 : RELATION ENTRE LE RAPPORT DE RÉTRODIFFUSION ET LA RÉSISTANCE THERMIQUE EN MILIEU D'HIVER 15
FIGURE 6-2 : COMPARAISON DES ÉQUIVALENTS EN EAU MESURÉS ET ESTIMÉS AUX SITES D'ÉCHANTILLONNAGE EN JANVIER 1999 16
FIGURE 6-3 : CARTOGRAPHIE DES ÉQUIVALENTS EN EAU POUR JANVIER 1999 19
FIGURE 6-4 : CARTOGRAPHIE DES ÉQUIVALENTS EN EAU POUR MARS 1999 23

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 3-1 : BILAN DES ACQUISITIONS D'IMAGES DE L'HIVER 1998-1999 6
TABLEAU 4-1 : BILAN DES CAMPAGNES DE TERRAIN DE L'HIVER 1998-1999 7
TABLEAU 4-2 : CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES À LA STATION #2 9
TABLEAU 5-1 : TRAITEMENTS APPLIQUÉS AUX IMAGES ACQUISES 11
TABLEAU 5-2 : CARACTÉRISTIQUES DU MODE W1 12
TABLEAU 6-1 : COMPARAISON DES ÉQUIVALENTS EN EAU ESTIMÉS À PARTIR DES DONNÉES DE RADARSAT ET ESTIMÉS À PARTIR DES RELEVÉS D'HYDRO-QUÉBEC POUR JANVIER 1999 17
TABLEAU 6-2 : COMPARAISON DES ÉQUIVALENTS EN EAU ESTIMÉS À PARTIR DES DONNÉES DE RADARSAT ET ESTIMÉS À PARTIR DES RELEVÉS D'HYDRO-QUÉBEC POUR MARS 1999 21

SOMMAIRE

Au printemps 1998, Viasat Géo-Technologie et l'INRS-Eau ont obtenu du Programme des projets pilotes d'observation de la terre (EOP3) de l'Agence spatiale canadienne un appui financier pour démontrer l'efficacité de l'approche RADARSAT développée par l'INRS-Eau sur la moitié amont du bassin de la Rivière La Grande à l'hiver 1999, soit le projet pilote « *EQeau* » . Ce projet pilote vise aussi à démontrer les capacités opérationnelles du *prototype EQeau* développé conjointement par Viasat Géo-Technologie et l'INRS-Eau dans le cadre du projet *« Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT »* Dans ce but, l'acquisition d'une image en mode ScanSAR et de trois images RADARSAT en mode Wide (W1) a été programmé pour les 7, 11 et 14 novembre 1998, ainsi que les 18, 22 et 25 janvier 1999 et les 7, 11 et 14 mars 1999. Les images ScanSAR étant plus complexes et venant tout juste d'être étalonnées (1er février 1999), il a été prévu de ne les analyser qu'après le 1er avril 1999.

Les images en mode Wide qui couvre une superficie de 165 km X 165 km ont donc été utilisées pour faire la démonstration pré-opérationnelle de l'approche RADARSAT. Dès leur réception, les trois images Wide de janvier et les deux images Wide de mars ont été corrigées radiométriquement et géométriquement chez VIASAT Géo-Technologie. Par la suite, les fichiers images ont été transférés dans le *prototype EQeau* pour la production des cartes d'équivalent en eau. L'algorithme qui avait été développé dans le projet précédent à partir de l'analyse des images RADARSAT en mode Standard (couvrant une superficie de 100 km X 100 km) et dans des conditions de faible enneigement a été validé et raffiné à l'aide des données en mode W1 et des résistances thermiques mesurées au sol en janvier 1999. La carte résultante montre qu'il y a généralement une bonne concordance entre les valeurs de la carte et les équivalents en eau mesurés au sol. Le même algorithme a été appliqué aux images du 11 mars 1999. Cette seconde carte a aussi une bonne concordance avec les relevés de neige d'Hydro-Québec. De plus, ces cartes montrent qu'il y a significativement plus de neige au sol en 1999 que les hivers précédents.

En conclusion, il est pertinent de noter que l'algorithme « *EQeau* » performe aussi bien dans des conditions d'enneigement normales que dans des conditions d'enneigement faibles et qu'il peut être utilisé aussi bien avec des images en mode W1 qu'en mode Standard. De plus, les capacités opérationnelles du *prototype Eqeau* ont été démontrées.

1. INTRODUCTION

RADARSAT-I, le premier satellite de télédétection canadien, est opérationnel depuis trois ans (1er avril 1996). Il a été mis en orbite pour répondre aux besoins des scientifiques et des utilisateurs canadiens et internationaux en leur fournissant des images au moyen d'un radar à synthèse d'ouverture (RSO) pour une multitude d'applications. Le programme RADARSAT constitue l'une des composantes majeures du Programme spatial canadien. D'ailleurs, l'Agence spatiale canadienne travaille actuellement à la mise en place de RADARSAT- II afin de garantir la continuité des données RSO.

Ce projet *« EQeau »* constitue la suite prévue au projet *« Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT »* réalisé en 1997 et 1998, dont l'objectif principal était le développement d'un *prototype EQeau* pour l'estimation de l'équivalent en eau de la neige à partir des images RADARSAT. En effet, en décembre 1997, Viasat Géo-Technologie et l'INRS-Eau ont préparé, avec l'appui d'Hydro-Québec, une proposition pour le Programme des projets pilotes d'observation de la terre (EOP3) de l'Agence Spatiale canadienne, administré par le Centre canadien de télédétection. Cette proposition visait à obtenir du financement complémentaire pour la démonstration à l'hiver 1999 de l'efficacité de l'approche RADARSAT sur la moitié amont du bassin de la Rivière La Grande et de la faisabilité opérationnelle du *prototype EQeau*. Au printemps dernier, cette proposition a été acceptée et financée par le Programme des projets pilotes d'observation de la terre (EOP3) et vient compléter la contribution financière d'Hydro-Québec pour les années 1998 et 1999.

Ainsi, dans le cadre de ce projet *« EQeau »*, un plan d'acquisition d'images RADARSAT pour l'hiver 1999 a été préparé par l'INRS-Eau en septembre 1998. La cartographie de l'occupation du sol à partir d'images Landsat et le contour détaillé des trois sous-bassins amonts du complexe La Grande Rivière ont aussi été réalisés à l'automne 1998. Cette cartographie et ces contours détaillés des sous-bassins LG4, Laforge et Caniapiscau ont ensuite été intégrés au *prototype EQeau*. De plus, deux campagnes de terrain ont été réalisées à l'automne 1998, la première en octobre pour vérifier l'instrumentation au sol et valider la classification de l'occupation du sol et la seconde, du 9 au 12 novembre 1998, pour connaître les conditions environnementales lors de l'acquisition des images RADARSAT de référence. Pour les fins de la démonstration, l'acquisition de trois images RADARSAT en mode Wide (W1) et d'une image ScanSAR a été programmée pour trois périodes différentes: en novembre 1998 (images de référence) en janvier

et en mars 1999. Les images en mode W1 couvrent un superficie d'environ 165 km X 165 km alors que les images en mode ScanSAR couvrent une superficie de 500 km X 500 km.

Ce rapport d'étape décrit les travaux réalisés à l'INRS-Eau depuis le début de l'année 1999 : les campagnes de terrain, les cartographies de l'équivalent en eau dérivées des images Wide et l'analyse des résultats. Ce rapport d'avancement des travaux constitue le principal livrable attendu de l'INRS-Eau au 31 mars 1999. Les autres livrables sont :

1) La cartographie de l'équivalent en eau de la neige pour la moitié amont du complexe de la La Grande Rivière à partir du prototype EQeau et issue du traitement des trois images Wide acquises à la fin de janvier 1999, ainsi que l'analyse des résultats (Chapitre 6.2).

2) La cartographie de l'équivalent en eau de la neige pour la moitié amont du complexe de la La Grande Rivière à partir du prototype EQeau et issue du traitement des trois images Wide acquises en mars 1999, ainsi qu'une analyse préliminaire des résultats (Chapitre 6.3).

La cartographie de l'équivalent en eau issue des images en mode ScanSAR sera faite dans les trois prochains mois et les cartes résultantes seront présentées et comparées avec celles dérivées des images Wide dans le prochain rapport d'étape dû le 30 juin 1999.

2. OBJECTIFS DU PROJET

Le but du projet *EQeau* » est de permettre au Service Prévisions et Ressources hydriques d'Hydro-Québec d'utiliser de façon opérationnelle une méthode d'estimation de l'équivalent en eau de la neige à l'aide de l'imagerie RADARSAT.

Les objectifs qui en découlent sont:

1. Démontrer l'exploitabilité des données de télédétection (RADARSAT et LANDSAT) et la faisabilité du *prototype EQeau* supportant l'emploi d'une telle méthode en combinaison avec les méthodes actuelles de relevés sur le terrain.

2. Démontrer un accroissement de la précision (réduction de l'incertitude sur l'écart-type de la mesure) de l'estimation de la quantité d'eau stockée sur le territoire, basée sur les données RADARSAT.

3. Mettre en évidence les avantages économiques et stratégiques que procurent l'implantation d'une telle méthode (retour sur l'investissement) et sa commercialisation internationale.

Trois partenaires se sont associés pour réaliser ces objectifs: VIASAT Géo-Technologie, l'INRS-Eau et Hydro-Québec.

La compagnie VIASAT Géo-Technologie est responsable des traitements radiométriques et géométriques des images RADARSAT et LANDSAT afin qu'elles puissent être utilisables par le *prototype EQeau*. De plus, elle développe l'interface *du prototype EQeau* en étroite collaboration avec l'INRS-Eau, pour s'assurer de la compatibilité des routines et procédures. VIASAT réalise aussi l'ensemble des traitements géomatiques pour la production des modèles numériques d'altitude (MNA) utilisés pour la rectification géométrique et la délimitation des bassins versants. Enfin, VIASAT participe activement à la promotion de cette application, à la mise en évidence

des avantages économiques et stratégiques et elle devrait assumer un leadership important dans les efforts de commercialisation future.

L'INRS-Eau est responsable de l'adaptation aux images en mode Wide et ScanSAR des algorithmes d'estimation de l'équivalent en eau développés à partir des images Standard et de la vérification de la précision des algorithmes. L'INRS-Eau a aussi développé les modules de calcul du *prototype EQeau* et participera à leur optimisation. Il est aussi responsable de la cueillette des données de contrôle au sol, de leur informatisation et de leur interprétation. Ces données au sol permettent de valider les algorithmes et d'établir les conditions limites d'utilisation. Finalement, l'équipe de *l'INRS-Eau* assure avec VIASAT Géo-Technologie la formation du personnel d'Hydro-Québec.

Le Service Prévisions et Ressources hydriques d'Hydro-Québec est l'utilisateur final du *prototype EQeau*. Son personnel organise la logistique des campagnes de terrain et y participe. Hydro-Québec fournit aussi les données auxiliaires (données météorologiques, stations climatiques, lignes de neige, cartes numériques, ...) nécessaires à la validation des algorithmes. Hydro-Québec s'implique aussi dans la validation des cartes résultats et la diffusion commerciale du *prototype EQeau.*

3. BILAN DES ACQUISITIONS D'IMAGES DE L'HIVER 1998-1999

Le scénario retenu pour l'hiver 1998-1999 prévoyait trois périodes d'acquisition d'images RADARSAT : novembre 1998, janvier 1999 et mars 1999. À chaque période et à l'intérieur de trois jours, trois images en mode Wide 1 (165 km X 165 km) sont acquises pour couvrir 75% de la zone d'étude (Figure 3.1). De plus, une image en mode ScanSAR Large (500 km X 500 km) couvrant l'ensemble des trois sous-bassins est aussi acquise à chaque période.

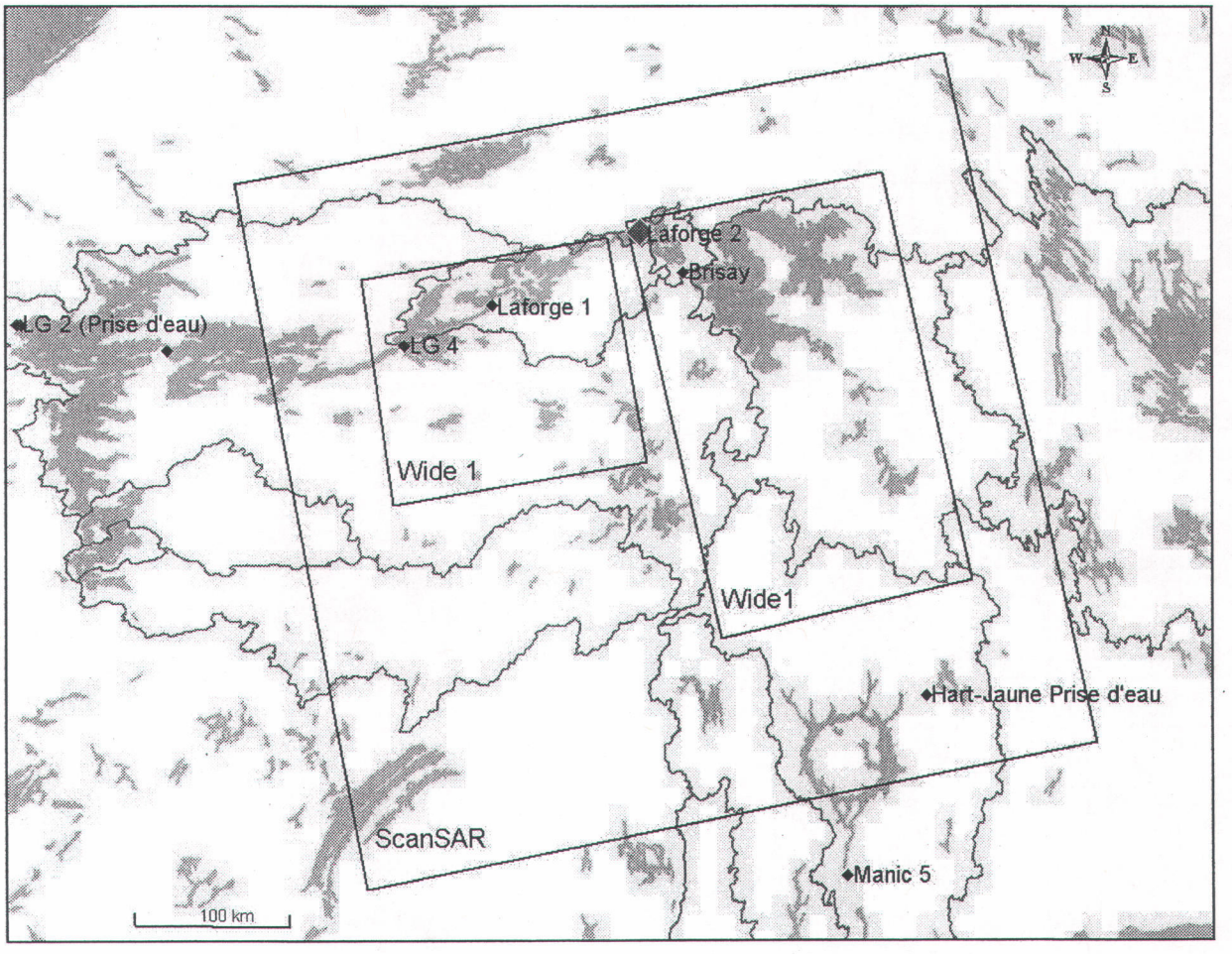

Figure 3-1 : Couverture des images acquises.

Le tableau 3.1 présente un bilan de ces acquisitions. Comme on peut le constater à la lecture de ce tableau, un problème technique du satellite a empêché l'acquisition de l'image du 14 mars 1999 (W1). Deux images ont été programmées en remplacement. Si le couvert de neige est sec au moment de l'acquisition, l'image du 7 avril 1999 (W1) sera retenue. Sinon, l'image ScanSAR du 31 mars pourrait être utilisée. De plus, comme des précipitations importantes de neige sont survenues depuis le 7 mars 1999, il sera intéressant de comparer les cartes résultantes de l'analyse des images ScanSAR des 7 et 31 mars 1999.

Tableau 3-1 : Bilan des acquisitions d'images de l'hiver 1998-1999

Date	Mode	Orbite	Couverture	État
7 novembre 1998	ScanSAR Large	Ascendant	LG4, LA1, Caniapiscau	Acquise
11 novembre 1998	Wide 1	Ascendant	Caniapiscau Nord	Acquise
11 novembre 1998	Wide 1	Ascendant	Caniapiscau Sud	Acquise
14 novembre 1998	Wide 1	Ascendant	LG4 ouest, LA1	Acquise
18 janvier 1999	ScanSAR Large	Ascendant	LG4, LA1, Caniapiscau	Acquise
22 janvier 1999	Wide 1	Ascendant	Caniapiscau Nord	Acquise
22 janvier 1999	Wide 1	Ascendant	Caniapiscau Sud	Acquise
25 janvier 1999	Wide 1	Ascendant	LG4 ouest, LA1	Acquise
7 mars 1999	ScanSAR Large	Ascendant	LG4, LA1, Caniapiscau	Acquise
11 mars 1999	Wide 1	Ascendant	Caniapiscau Nord	Acquise
11 mars 1999	Wide 1	Ascendant	Caniapiscau Sud	Acquise
**31 mars 1999*	*ScanSAR Large*	Ascendant	*LG4, LA1, Caniapiscau*	*Programmée*
**7 avril 1999*	*Wide 1*	Ascendant	*LG4 ouest, LAI*	*Programmée*

* Images programmées en remplacement de l'image non acquise du 14 mars 1999 (W1).

Tel que prévu dans le contrat, le présent rapport ne présentera que l'analyse des images en mode Wide 1. L'analyse des images ScanSAR et éventuellement celle de l'image en mode W1 du 7 avril 1999 ne seront faites qu'au printemps et discutées dans le rapport du 30 juin prochain.

4. BILAN DES CAMPAGNES DE TERRAIN

4.1 Mesures aux sites d'échantillonnage

À chaque période d'acquisition d'images, une campagne de terrain a été effectuée sur le territoire d'étude, entre LG4 et Brisay. La campagne de novembre 1998 a permis de mesurer la constante diélectrique, la profondeur de gel et la température du sol des sites d'échantillonnage, ainsi que la hauteur de neige lorsque présente. Les mêmes mesures ont été recueillies lors des campagnes de janvier et mars 1999 en plus, bien sûr, de la hauteur, de la densité et de l'équivalent en eau de la neige à chaque site et du profil vertical du couvert de neige sur cinq sites représentatifs du milieu. Le tableau 4.1 présente un bilan de ces campagnes de terrain.

Tableau 4-1 : Bilan des campagnes de terrain de l'hiver 1998-1999

Date des campagnes	Couvert de neige (valeurs moyennes)				Sol (valeurs moyennes)	
	H [cm]	Éq. Eau [mm]	Den. [kg/m³]	R.Th. [°Cms/J]	T°C	Cte Diél.
9 au 12 novembre 1998	10	-	-	-	0.2	8.4
25 au 28 janvier 1999	100	210	211	8.0	-0.7	3.5
8 au 11 mars 1999	111	261	236	7.3	-1.1	3.2

Il est à noter que lors de la campagne de mars 1999, les mauvaises conditions climatiques du mercredi 10 mars (vents de 30 à 60 km/h, accumulation de 15 à 30 cm de neige) n'ont pas permis d'effectuer les mesures aux sites #6, #7, #8, #30, #31, #32, #33, #34, et #35, situés à l'extrême est du territoire habituellement couvert. Les moyennes ne comprennent donc pas ces sites.

On remarque au tableau 4.1 une augmentation marquée de l'ordre de 50mm de l'équivalent en eau moyen du couvert de neige, entre le 28 janvier et le 8 mars 1999, suite à quelques chutes de neige significatives. Une baisse de la résistance thermique du couvert résulte pour sa part d'une densification du profil.

4.2 Mesures aux stations climatologiques

En raison de problèmes techniques, seule la station du site #2 a transmis des données durant tout l'hiver 1998-1999. La figure 4.1 présente un aperçu général du climat lors de cette période. On y voit clairement l'importance des chutes de neige en novembre et leur effet isolant sur la température à la surface du sol.

Pour sa part, le tableau 4.2 indique les températures moyennes de l'air et l'épaisseur du couvert de neige dans les semaines, les jours et les heures précédant l'acquisition des images, à la station du site #2.

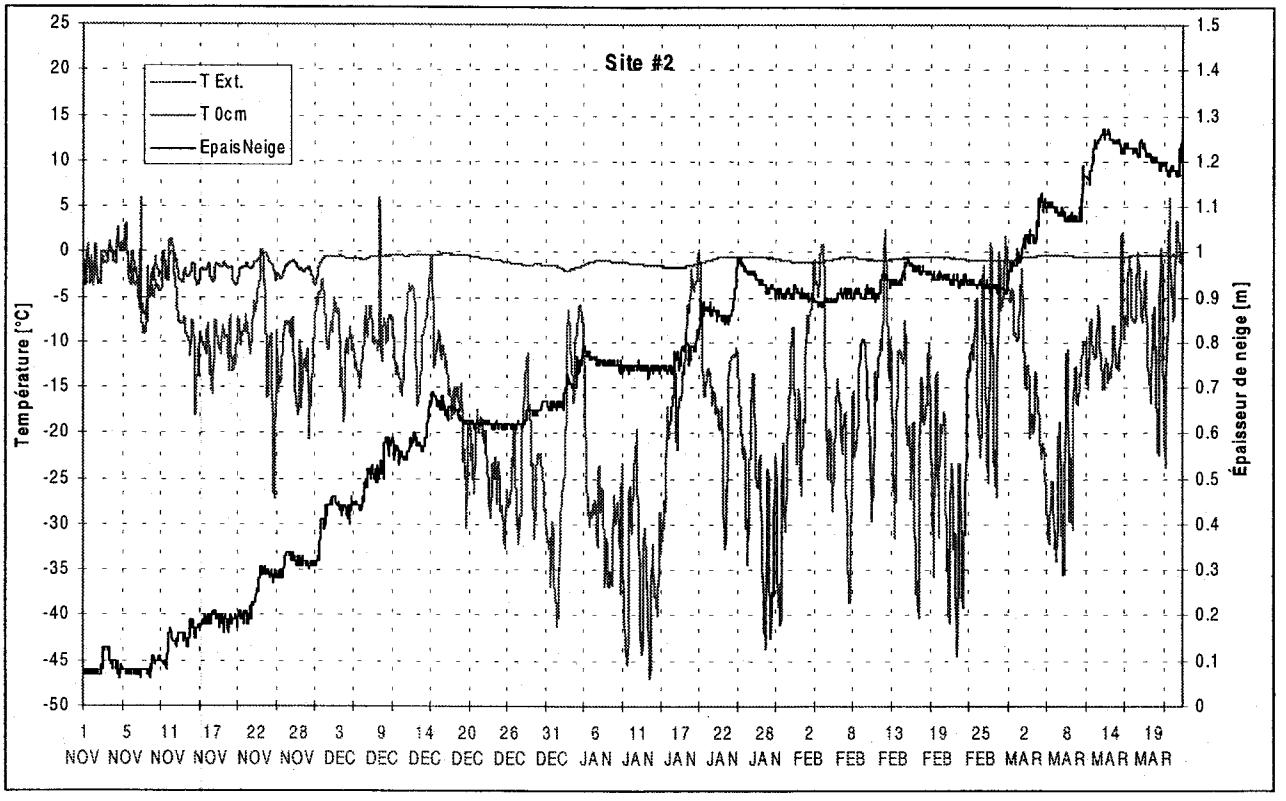

Figure 4-1 : Données de la station climatologique du site #2 sud pour l'hiver 1998-1999.

Tableau 4-2 : Conditions environnementales à la station #2

Images des 11 et 14 novembre 98			
	Épaisseur de neige [cm]	T°C surface du sol	T°C air
Moyenne des 4 semaines précédantes	9	-0.6	-1.2
Moyenne des 2 semaines précédentes	8	-1.3	-1.9
Moyenne de la semaine précédente	9	-2.0	-3.1
Moyenne des 24 dernières heures	13	-1.0	-1.0
Valeurs au moment de l'acquisition 1 (11-11-98)	16	0	1.0
Moyenne des 24 dernières heures	17	-2.0	-9.0
Valeurs au moment de l'acquisition 2 (14-11-99)	18	-1.0	-9.0

Images des 22 et 25 janvier 99			
	Épaisseur de neige [cm]	T°C surface du sol	T°C air
Moyenne des 4 semaines précédentes	74	-1.3	-23.6
Moyenne des 2 semaines précédentes	78	-1.3	-22.8
Moyenne de la semaine précédente	82	-1.2	-12.5
Moyenne des 24 dernières heures	86	-0.6	-18.9
Valeurs au moment de l'acquisition 1 (22-01-99)	85	-0.6	-26.4
Moyenne des 24 dernières heures	97	-0.6	-26.1
Valeurs au moment de l'acquisition 2 (25-02-99)	96	-0.6	-26.1

Images du 11 mars 99			
	Épaisseur de neige [cm]	T°C surface du sol	T°C air
Moyenne des 4 semaines précédentes	99	-0.6	-17.6
Moyenne des 2 semaines précédentes	104	-0.6	-15.7
Moyenne de la semaine précédente	110	-0.4	-20.9
Moyenne des 24 dernières heures	117	-0.5	-10.7
Valeurs au moment de l'acquisition 1 (11-03-99)	119	-0.6	-10.3

On y constate que les conditions précédant l'acquisition des images de janvier et de mars 1999 sont caractéristiques du milieu de l'hiver ($T°_{air}$ < -15°C), avec toutefois un couvert de neige plus élevé que les années passées (70-80 cm en 1997 et 1998) et un sol gelé, mais légèrement moins froid que par les années précédentes (-1 à –3°C en 1997 et 1998). Fait aussi à noter, une accumulation de 10 cm de neige entre les acquisitions du 22 et du 25 janvier 1999.

5. TRAITEMENT ET ANALYSE DES IMAGES

5.1 Traitement des images Wide

Toutes les images acquises ont été traitées par VIASAT Géo-Technologie Inc. à l'aide de leur propre logiciel de correction géométrique et du logiciel de traitement d'images EASI/PACE de la compagnie torontoise PCI Geomatics inc. Le tableau 5.1 présente les différentes étapes de traitement radiométrique et géométrique précédant l'utilisation des images par le prototype EQeau.

Tableau 5-1 : Traitements appliqués aux images acquises

Action	Module PCI	Programme	Commentaire
Lecture des images brutes	Radar Analysis	CDSAR	
Calcul des angles d'incidence	Radar Analysis	SARINCD	
Inversion du Look Up Table	Radar Analysis	SARSIGM	
Transformation des DN en amplitudes et calcul de l'angle d'incidence	Radar Analysis	SARSIGM	Choisir le paramètre AMP ». Résultat entre 0.0 et 1.0 (32 bits).
Transformation des amplitudes en puissances (intensités)	Multilayer Modeling	MODEL	Mettre l'image au carré ($I=A^2$). Résultat entre 0.0 et 1.0 (32 bits).
Changement de 32 bits à 16 bits pour la lecture par le logiciel de correction de VIASAT	Multilayer Modeling	MODEL	Multiplier l'image par 10000. Résultat entre 0 et 65535 (16 bits).
Exportation en binaire	Kernel	FEXPORT	Format : RAW
Correction géométrique, ré-échantillonnage, filtrage	Logiciel VIASAT		
Importation dans PCI	Kernel	FIMPORT	
Remise de l'image en 32 bits	Multilayer Modeling	MODEL	Diviser l'image par 10000. Résultat entre 0.0 et 1.0 (32 bits).
Transformation des intensités (I) en dB	Multilayer Modeling	MODEL	dB= 10 * log10 (I). Résultat entre -30.0 et 5.0 (32 bits) environ.
Transformation des dB en 16 bits	Multilayer Modeling	MODEL	Valeur = (dB*10)+400 Résultat entre 100 et 450 (16 bits).
Exportation en binaire pour utilisation par EQeau	Kernel	FEXPORT	Format : RAW

Une fois les images traitées, elles ont été transmises à Hydro-Québec afin qu'elles puissent être utilisées par le *prototype EQeau*. Notons toutefois qu'en raison de la faible puissance de calcul des ordinateurs de l'utilisateur principal, le traitement des images par *EQeau* a été effectué à l'INRS-Eau.

5.2 Analyse des images Wide

Les images en mode Wide 1 sont utilisées ici pour la première fois. Le tableau 5.2 en donne les principales caractéristiques et différences face au mode S1.

Tableau 5-2 : Caractéristiques des modes W1 et S1

	W1	S1
Angles d'incidence	20°-31°	20°-26°
Couverture au sol	165 km X165 km	100 km X 100 km
Résolution	30 m	30 m
Pixel	12.5 m	12.5 m

La plus grande gamme d'angles d'incidence permet au mode W1 de couvrir un plus grand territoire que le mode S1 mais, de façon générale, la radiométrie des deux modes devraient être comparable. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons d'abord comparé les coefficients de rétrodiffusion moyens calculés le 19 novembre 1997 (S1) et le 14 novembre 1998 (W1) sur les sites d'échantillonnage communs aux deux années. La figure 5.1 démontre que les valeurs sont tout à fait comparables. On ne distingue aucun patron régulier qui indiquerait un effet du changement de mode sur la radiométrie. Les variations aléatoires observées sont plutôt fonction des conditions du sol qui peuvent varier entre les deux années. Il y a ainsi des valeurs plus élevées et des valeurs plus faibles.

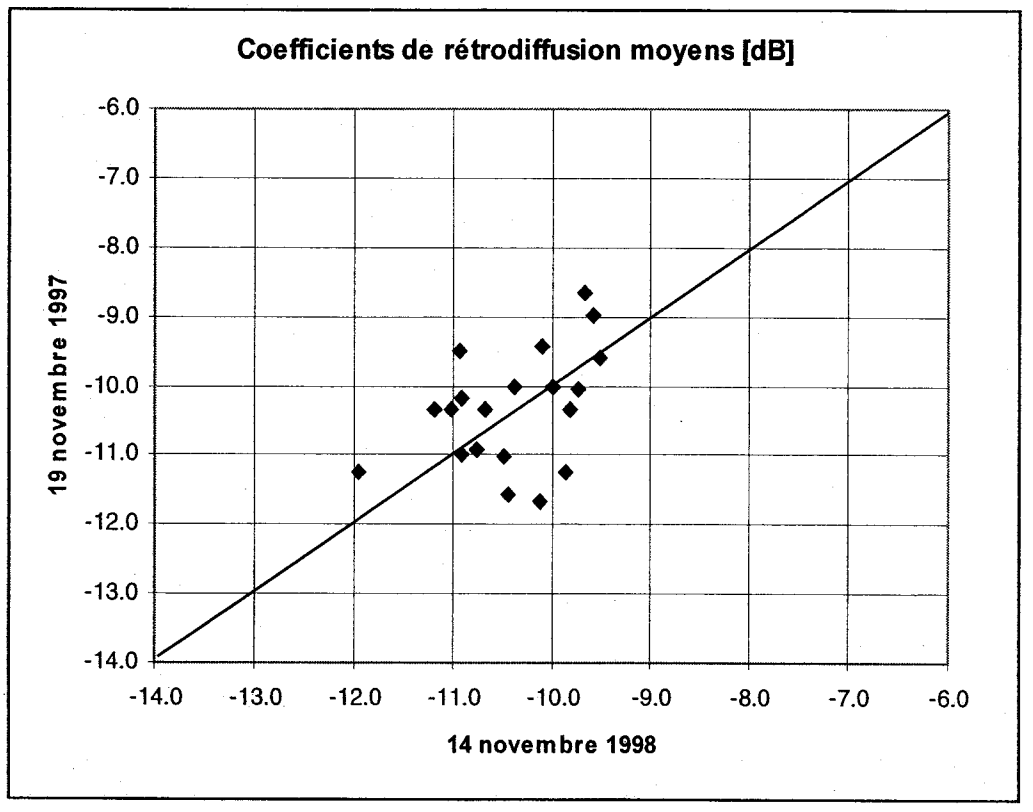

Figure 5-1 : Comparaison des coefficients de rétrodiffusion moyens calculés le 19 novembre 1997 (S1) et le 14 novembre 1998 (W1) sur les sites d'échantillonnage. La droite illustre où serait la concordance parfaite entre les deux dates.

Afin de vérifier plus spécifiquement l'influence que peut avoir la plus grande gamme d'angles d'incidence sur la radiométrie, nous avons ensuite étudié le profil transversal des coefficients de rétrodiffusion. Il faut d'abord spécifier que les angles d'incidence des images W1, tels qu'estimés par le logiciel de traitement EASI/PACE, vont en fait de 18° à 31°. Il y a donc une différence entre la largeur réelle du faisceau et sa configuration théorique.

La figure 5.2 montre que sur l'image du 14 novembre 1998, le coefficient de rétrodiffusion peut passer de –9 à –11.5 dB selon l'angle d'incidence. Il y a une forte baisse entre 18° et 20°, ce qui est prévisible pour de si faibles angles d'incidence. Entre 20° et 26° (angles de S1), la variation est inférieure à 1 dB. Elle est aussi inférieure à 1 dB entre 26° et 31° (angles spécifiques à W1). Dans tous les cas, en effectuant le rapport de rétrodiffusion entre deux images, les valeurs obtenues pour la portion située entre 20° et 31° devraient être comparables.

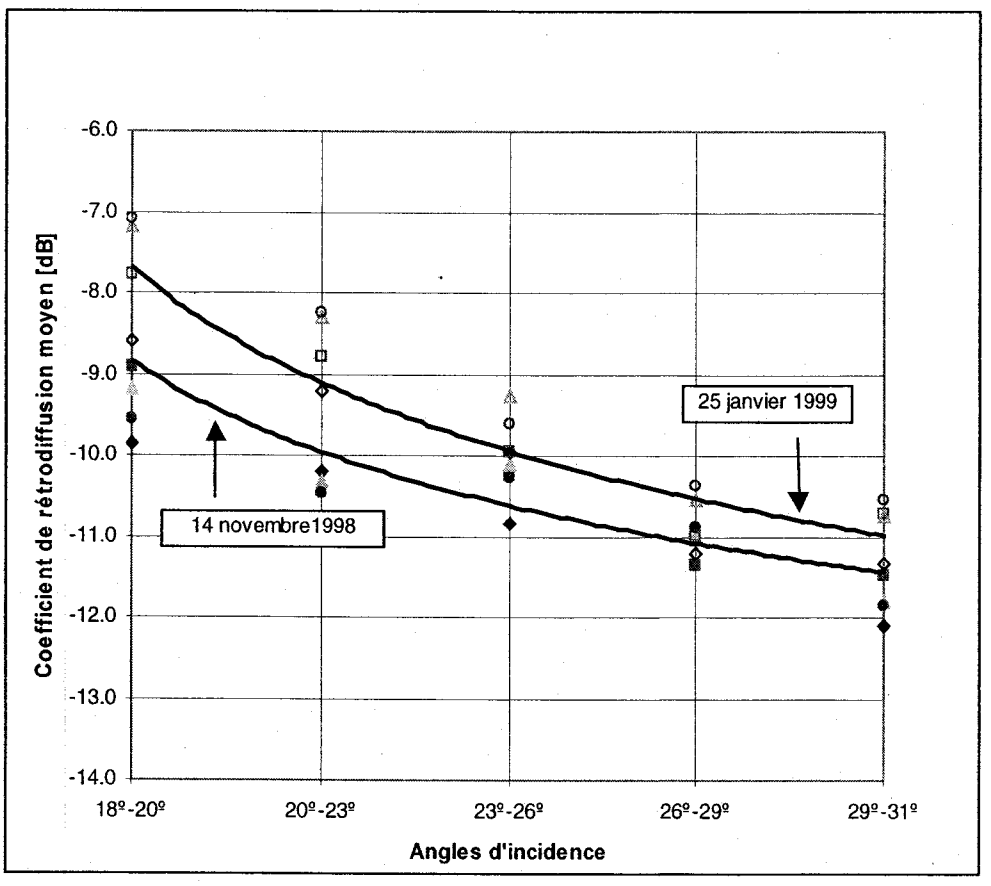

Figure 5-2 : Comparaison des variations du coefficient de rétrodiffusion selon l'angle d'incidence pour les images du 14 novembre 1998 et du 25 janvier 1999. Les coefficients sont moyennés par blocs de 3000 pixels et de 3000 lignes (symboles pleins = 25 jan 99; symboles vides = 14 nov 98). Le trait plein représente la régression entre ces points.

Un problème survient lorsqu'une des deux images présente des variations plus élevées. C'est ce qui s'est produit dans le cas de l'image du 25 janvier 1999 (figure 5.2), où les valeurs sont significativement plus fortes dans la moitié ouest et l'extrême est de l'image et où la variation transversale atteint 3 dB. Les rapports calculés seront donc surestimés. La cause de ces fortes valeurs systématiques est pour l'instant inconnue et le phénomène n'est réellement apparant que sur une seule des cinq images W1 analysées, soit celle du 25 janvier 1999.

Cette analyse préliminaire des images en mode W1 indique qu'il faudra interpréter avec soin les résultats de la cartographie des équivalents en eau dans deux cas : dans la portion de l'image correspondant aux très faibles angles d'incidence (18° à 20°) , soit l'extrémité ouest des images, et dans le cas général de l'image du 25 janvier 1999.

6. APPLICATION DE L'ALGORITHME

6.1 Vérification et raffinement de l'algorithme

Dans un premier temps, l'algorithme développé à partir des données de RADARSAT (S1) de février 1997 et janvier 1998 (milieu d'hiver) est validé à partir des données en mode W1 de janvier 1999. La figure 6.1 présente donc la relation entre les rapports de rétrodiffusion extraits des images et la résistance thermique du couvert de neige mesurée sur le terrain pour ces trois années. À noter que pour le 25 janvier 1999, seuls les sites situés dans la partie centrale de l'image ont été utilisés (voir section 5.2) Pour les sites utilisés, les plus fortes résistances thermiques mesurées en janvier 1999 se traduisent aussi par de plus forts rapports de rétrodiffusion qui viennent confirmer la relation. Avec cette plus grande dynamique des valeurs, on peut aussi raffiner le polynôme utilisé jusqu'à maintenant (Bernier *et al.* 1999). Précédemment fixé à $y = 1.25x + 8$, il s'établit maintenant à $y = 1.1x + 7.4$, ce qui donnera des équivalents en eau légèrement plus faibles (10 à 15 mm) pour une même valeur du rapport de rétrodiffusion.

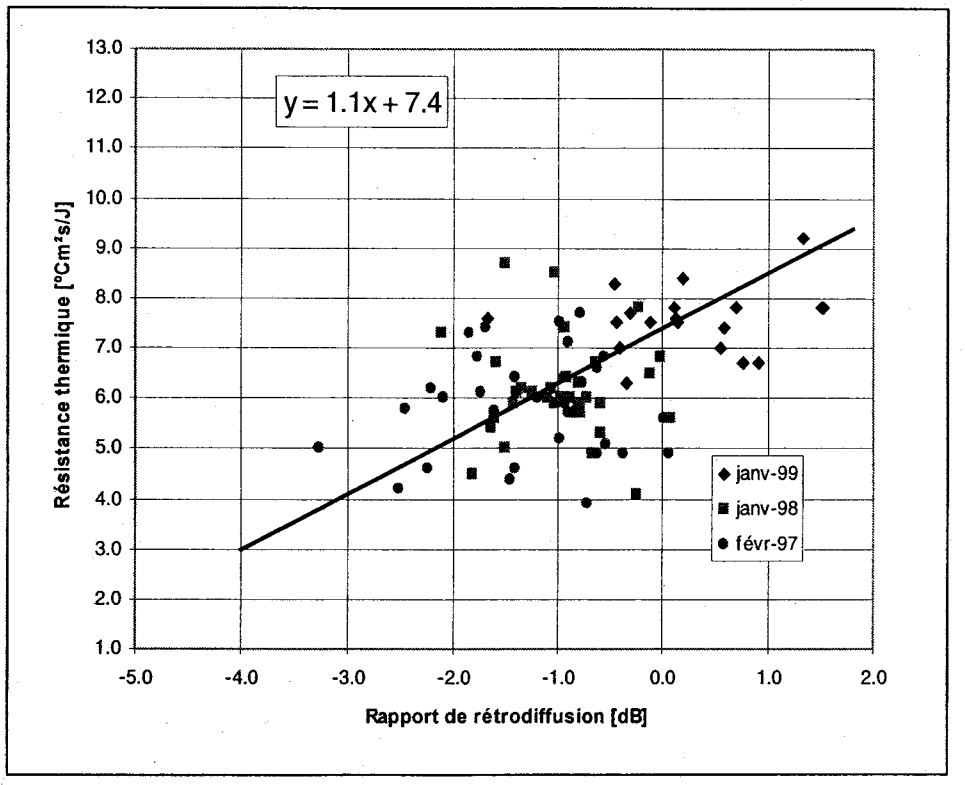

Figure 6-1 : Relation entre le rapport de rétrodiffusion et la résistance thermique en milieu d'hiver

6.2 Application de l'algorithme aux images de janvier 1999

Ce nouvel algorithme est d'abord appliqué directement aux rapports de rétrodiffusion extraits des sites d'échantillonnage. Présentés à la figure 6.2, les résultats confirment la justesse de l'algorithme, bien que l'écart-type soit plus important sur les données de janvier 1999. Ce phénomène est encore relié à l'incertitude qui prévaut sur l'image du 25 janvier 1999, où se retrouvent presque tous les sites d'échantillonnage. Notons que les six sites (#14, #15, #16, #17, #20, #1) de la partie ouest de l'image n'ont pas été inclus ici.

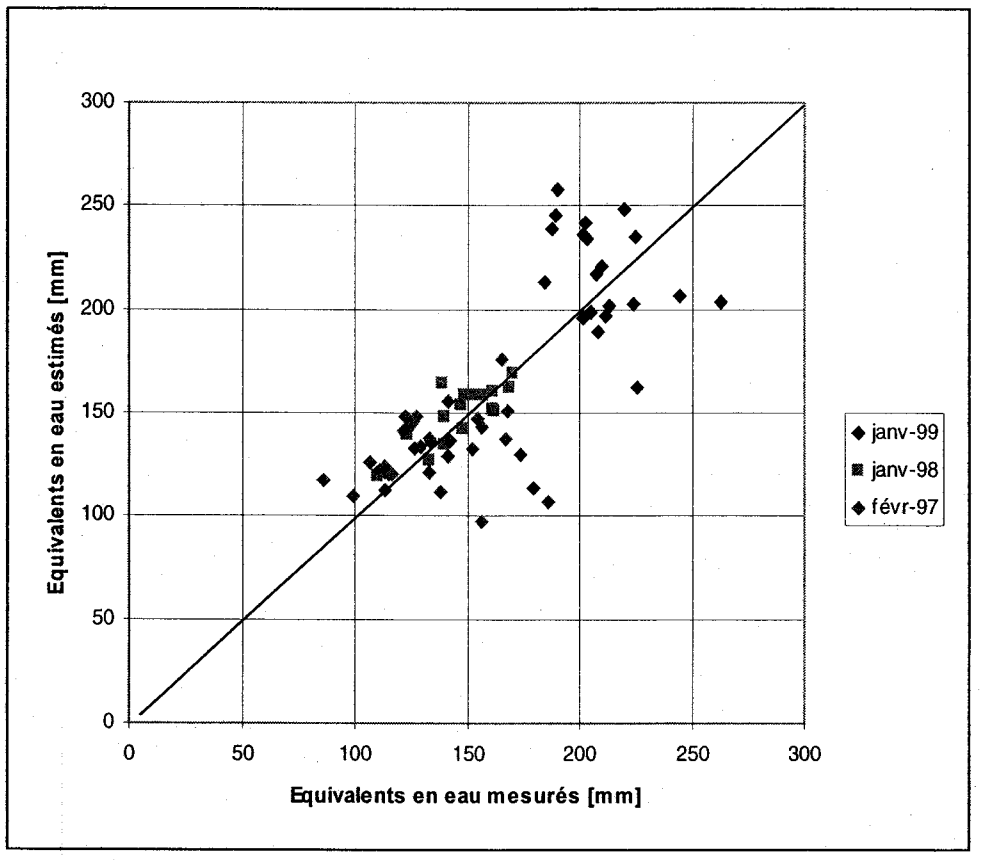

Figure 6-2: Comparaison des équivalents en eau mesurés et estimés aux sites d'échantillonnage en janvier 1999. Chaque site couvre environ 200m par 500 m.

Néanmoins, la moyenne des équivalents en eau estimés le 25 janvier 1999 sur les sites situés dans la partie est de l'image est de 219 mm avec un écart-type de 25 mm, alors que la moyenne des équivalents en eau mesurés au sol lors de la campagne de terrain est de 213 mm, avec un écart-type de 18 mm.

À partir du logiciel *EQeau*, le nouvel algorithme est ensuite appliqué à l'ensemble des trois images de janvier 1999. La figure 6.3 présente la carte des équivalents en eau résultante. On y remarque immédiatement une discordance entre les images acquises le 22 janvier (Caniapiscau) et l'image acquise le 25 janvier (LG4). Sur cette dernière, les anomalies discutées à la section 5.2 se traduisent par des équivalents en eau surestimés (250 mm et plus), surtout à l'ouest et à l'extrême est de l'image. Par contre, les valeurs obtenues pour la partie centrale de l'image correspondent beaucoup mieux aux valeurs mesurées sur le terrain, soient des équivalents en eau entre 150 et 250 mm. Comme nous l'avons mentionné précédemment, les résultats obtenus à partir de l'image du 25 janvier 1999 doivent être utilisés prudemment. Sur les images du bassin de Caniapiscau, on remarque de plus grands équivalents en eau (201 à 250 mm) dans les régions plus élevées qui délimitent le sous-bassin à l'ouest et au sud. Dans les régions moins accidentées du centre, les équivalents en eau sont de l'ordre de 151 à 200 mm. On remarque aussi une bande de plus faibles valeurs (101 à 150 mm) près du réservoir de Caniapiscau.

La moyenne des équivalents en eau estimés est ensuite calculée pour chacun des trois sous-bassins et exprimée selon la superficie couverte. Le tableau 6.1 compare ces résultats aux moyennes obtenues par interpolation des lignes de neige d'Hydro-Québec. Pour le sous-bassin de Caniapiscau, il est important de noter que les images W1 ont été acquises le 22 janvier 1999, et que les relevés d'Hydro-Québec ont été effectués la semaine suivante. Puisqu'il y a eu des chutes de neige significatives (au moins 15 à 20 mm d'équivalent en eau) après le 22 janvier, il est normal que la moyenne extraite des images RADARSAT soit inférieure aux relevés au sol.

Tableau 6-1 : Comparaison des équivalents en eau estimés à partir des données de RADARSAT et estimés à partir des relevés d'Hydro-Québec pour janvier 1999

	Moyenne des équivalents en eau	
	À partir des images RADARSAT (22 et 25 janvier 1999)	À partir des relevés d'Hydro-Québec (22 au 30 janvier 1999)
LA1	216 mm (87% du bassin)	213 mm
LG4	225 mm (74% du bassin)	214 mm
Caniapiscau	189 mm (89% du bassin)	215 mm

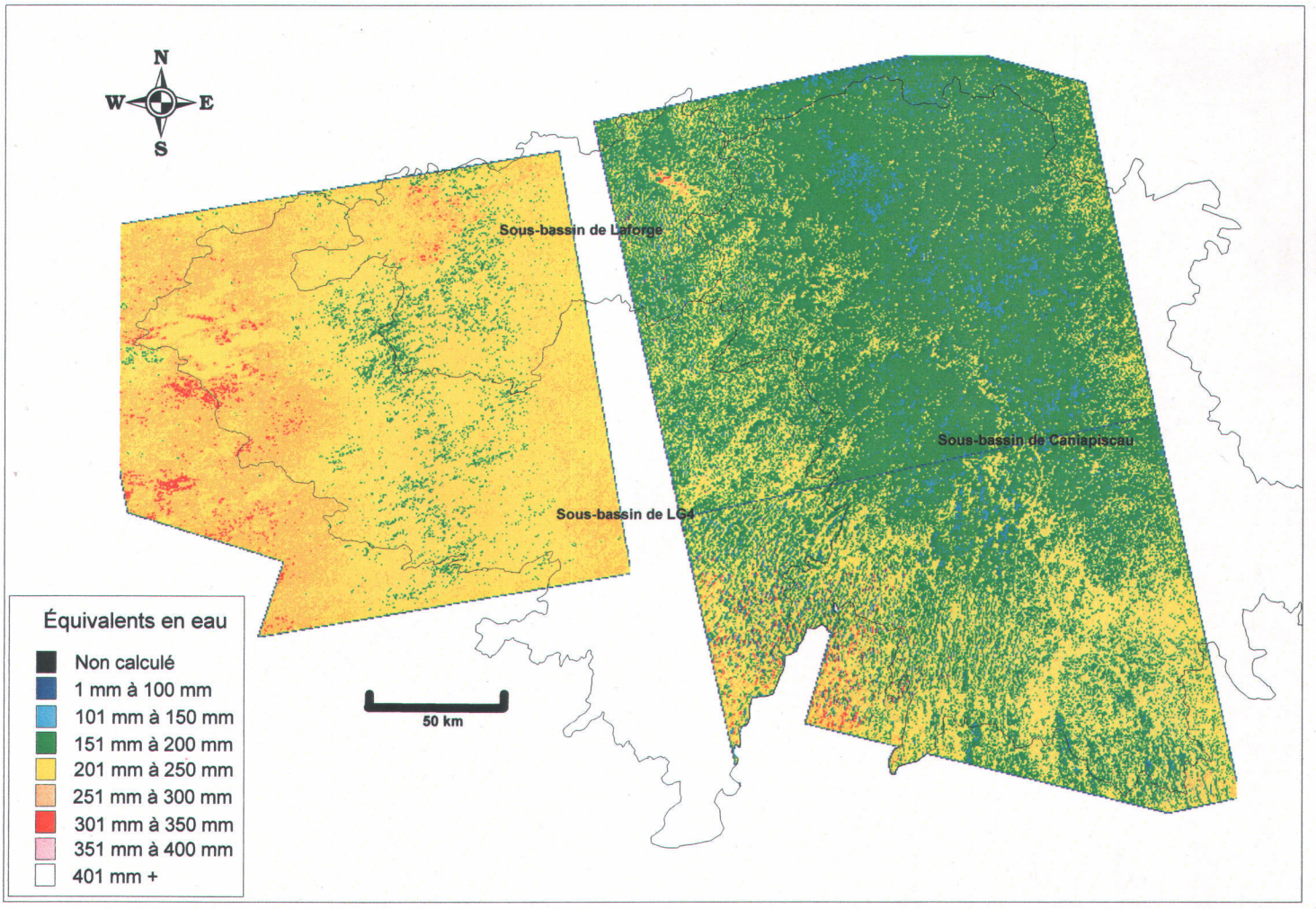

Figure 6-3 : Cartographie des équivalents en eau pour les 22 (LG4) et 25 (Caniapiscau) janvier 1999

6.3 Application de l'algorithme aux images de mars 1999

Comme on a pu le constater lors de l'analyse des données climatologiques des semaines précédant l'acquisition des images, les conditions prévalant le 11 mars 1999 ressemblent à celles du mois de janvier et peuvent être qualifiées de « conditions de milieu d'hiver ». L'algorithme validé et utilisé pour les images de janvier a donc été utilisé pour celles du 11 mars.

Par contre, puisque l'image couvrant le secteur de LG4 n'a pas été acquise et que les sites d'échantillonnage situés sur l'image de Caniapiscau n'ont pu être visités, il est impossible de faire une première validation par sites, comme au chapitre 6.1.

Toutefois, à partir du logiciel EQeau, l'algorithme est appliqué à l'ensemble des deux images de mars 1999 et la carte résultante est présentée à la figure 6.4. La forte augmentation des équivalents en eau mesurés sur le terrain se traduit aussi par de plus forts équivalents en eau calculés à partir des images. Encore une fois, ce sont les régions de plus hautes altitudes où l'on retrouve les plus forts équivalents en eau et le secteur du réservoir de Caniapiscau où l'on retrouve les plus faibles valeurs.

La moyenne des équivalents en eau estimés est ensuite calculée pour chacun des trois sous-bassins et exprimée selon la superficie couverte. Le tableau 6.2 compare ces résultats aux moyennes obtenues par interpolation des lignes de neige d'Hydro-Québec prises du 19 au 21 mars 1999, soit après une autre chute de 5 à 10 cm de neige.

Tableau 6-2 : Comparaison des équivalents en eau estimés à partir des données de RADARSAT et estimés à partir des relevés d'Hydro-Québec pour mars 1999

	Moyenne des équivalents en eau	
	À partir des images RADARSAT (11 mars 1999)	À partir des relevés d'Hydro-Québec (19 au 21 mars 1999)
LA1	307 mm (27% du bassin)	328 mm
LG4	350 mm (23% du bassin)	304 mm
Caniapiscau	312 mm (89% du bassin)	331 mm

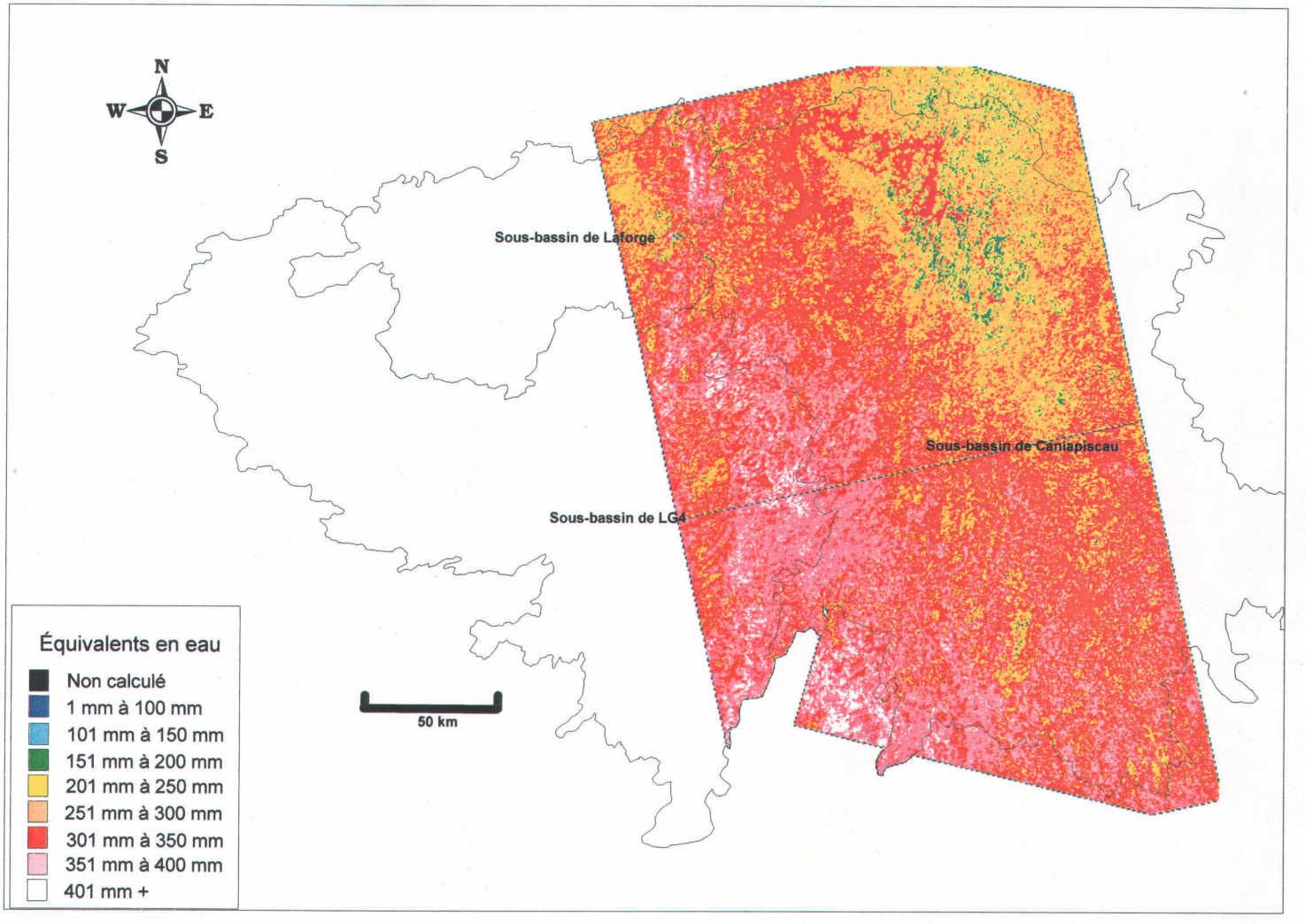

Figure 6-4 : Cartographie des équivalents en eau pour le 11 mars 1999

7. Conclusion

Durant les trois derniers mois, la principale activité a été la cartographie des équivalents en eau de la neige au sol pour la moitié amont du complexe de La Grande Rivière à partir du *prototype Eqeau,* soit :

1) La cartographie des équivalents en eau de janvier dérivée du traitement des trois images Wide acquises les 22 et 25 janvier 1999 (figure 6.3).

2) La cartographie des équivalents en eau de mars dérivée du traitement des deux images Wide acquises le 11 mars 1999 (figure 6.4).

L'algorithme qui avait été développé dans le projet *« Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT »* précédent à partir d'images en mode Standard et dans des conditions de faible enneigement a été validé et raffiné à l'aide des données acquises en mode W1 et des résistances thermiques mesurées au sol en janvier 1999. La carte résultante montre qu'il y a généralement une bonne concordance entre les équivalents en eau mesurés au sol et ceux estimés à partir des images. Toutefois, des anomalies radiométriques notées sur l'une des trois images, celle du 25 janvier, se traduisent par des équivalents en eau surestimés à l'ouest et à l'extrêmité est de la carte correspondante. Le même algorithme a été appliqué aux images du 11 mars 1999. Cette seconde carte a aussi une bonne concordance avec les relevés de neige d'Hydro-Québec.

Les mesures au sol et les deux cartes produites par le *prototype EQeau* montrent qu'il y a significativement plus de neige au sol en 1999 que lors des hivers précédents. Ces conditions d'enneigement plus fortes nous ont permis de raffiner l'algorithme afin de le rendre plus performant, lorsque la résistance thermique de la neige est plus élevée. Les capacités opérationnelles du *prototype EQeau* ont aussi été démontrées.

Dans les trois prochains mois, les images ScanSAR de l'hiver 1998 et de l'hiver 1999 seront analysées. Une cartographie des équivalents en eau de la neige au sol à partir des images en mode ScanSAR sera réalisée pour les mois de janvier et de mars 1998 et 1999. La performancce de l'algorithme et la précision des cartes résultantes seront discutées et comparées avec celles dérivées des images Wide. Ainsi, le prochain rapport d'étape, dû le 30 juin 1999, portera essentiellement sur l'analyse des images ScanSAR.

Références

Bernier, M., J.P. Fortin, Y. Gauthier, R. Turcotte et A. Royer (1999). Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT. Rapport rédigé pour l'Unité Prévisions et Ressources hydriques d'Hydro-Québec. INRS-Eau rapport de recherche No RE-523f, janvier 1998, 56 pages.