

Record Number: 18970
Author, Monographic: Bernier, M.//Fortin, J. P.//Gauthier, Y.//Royer, A.//Filion, R.//Bouchard, M. C.
Author Role:
Title, Monographic: EQeau : implantation d'EQeau sur l'ensemble du bassin de la rivière La Grande à l'hiver 2000
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 2000
Original Publication Date: 30 juin 2000
Volume Identification:
Extent of Work: ix,59
Packaging Method: pages incluant un annexe
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 568 e1
Location/URL:
ISBN: 2-89146-342-0
Notes: Rapport annuel 2000-2001
Abstract: Rapport d'étape préparé pour Prévisions et Ressources Hydriques, Hydro-Québec
Call Number: R000568 e1
Keywords: rapport/ ok/ dl

***Implantation d'EQueau sur l'ensemble du
bassin de la rivière La Grande à l'hiver 2000***

Rapport de recherche No 568-e1

30 juin 2000

EQeau

Implantation d'EQueau sur l'ensemble du bassin de la rivière La Grande à l'hiver 2000

**Rapport d'étape préparé pour
Prévisions et Ressources Hydriques,
Hydro-Québec**

Par

**Monique Bernier
Yves Gauthier
Jean-Pierre Fortin
Alain Royer
Rebecca Fillion
Marie-Claude Bouchard**

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

Rapport d'étape No 568-e1

30 juin 2000

© INRS-Eau, 2000

ISBN: 2-89146-342-0

L'ÉQUIPE DE R&D:

Monique Bernier, professeure en télédétection

Jean-Pierre Fortin, professeur en hydrologie

Yves Gauthier, agent de recherche en télédétection et géomatique

Alain Royer, technicien en informatique

Rebecca Fillion, stagiaire

Marie-Claude Bouchard, stagiaire

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	1
1. INTRODUCTION.....	3
2. OBJECTIFS DU PROJET <i>EQeau</i>	5
3. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES IMAGES.....	7
3.1 Acquisition des images.....	7
3.2 Traitement des images effectué par VIASAT Géo-Technologie	8
4. CALCUL DES ÉQUIVALENTS EN EAU	11
4.1 Application d' <i>EQeau</i> : image ScanSAR du 6 janvier 2000	12
4.2 Application du 30 janvier 2000	15
4.3 Application du 2 février 2000	18
4.4 Application du 23 février 2000	21
4.5 Application du 1 ^{er} mars 2000	24
4.6 Application du 18 mars 2000	28
4.7 Application du 21 mars 2000	31
4.8 Bilan	34
5. ANALYSE DES RÉSULTATS D' <i>EQeau</i> DE L'HIVER 2000	35
5.1 Analyse de la relation entre le rapport de rétrodiffusion des images RADARSAT et la résistance thermique du couvert de neige à l'hiver 2000.	35
5.2 Vérification de l'hypothèse 1 : Un hiver plus doux?.....	36
5.3 Vérification de l'hypothèse 2 : Des coefficients modifiés?.....	40
CONCLUSION	44
BIBLIOGRAPHIE	44
ANNEXE.....	44

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des orbites ScanSAR de l'hiver 2000	8
Figure 2 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 6 janvier 2000.....	13
Figure 3 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite .	14
Figure 4 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 30 janvier 2000.....	16
Figure 5 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite .	17
Figure 6 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 2 février 2000	19
Figure 7 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite .	20
Figure 8 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite .	21
Figure 9 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 23 février 2000	22
Figure 10 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite	25
Figure 11 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 1 ^{er} mars 2000	26
Figure 12 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 18 mars 2000	29
Figure 13 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite	30
Figure 14 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite	31
Figure 15 : Présence de neige humide dans le profil du couvert de neige au site #2 (secteur LG4-centre), le 21 mars 2000	32
Figure 16 : a) Image ScanSAR rehaussée du 2 février 2000, b) Image ScanSAR rehaussée du 21 mars 2000	33
Figure 17 : Comparaison des différentes mesures et estimations d'équivalents en eau.....	34
Figure 18 : Relation entre le rapport de rétrodiffusion des images RADARSAT et la résistance thermique du couvert de neige pour l'hiver 2000, comparée à la relation utilisée dans EQeau.	36
Figure 19 : Conditions environnementales moyennes des quatre derniers hivers	38
Figure 20 : Profils du couvert de neige au site #2 à l'hiver 1999 et à l'hiver 2000	39
Figure 21 : Variation temporelle des coefficients de rétrodiffusion des sites d'échantillonnage sur les images de l'hiver 2000.....	40
Figure 22 : Variation des coefficients de rétrodiffusion des images de l'orbite #3746 en fonction de l'angle d'incidence.....	41
Figure 23 : Variation des coefficients de rétrodiffusion des images de l'orbite #3151 en fonction de l'angle d'incidence.....	42
Figure 24 : Variation des coefficients de rétrodiffusion des images de l'orbite #3773 en fonction de l'angle d'incidence.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Images RADARSAT étalonnées de type ScanSAR Wide (SCWA) acquises à l'hiver 1999-2000	7
Tableau 2 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 6 janvier 2000	12
Tableau 3 : Résultats de l'application d'EQueau du 6 janvier 2000	13
Tableau 4 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 6 janvier 2000	14
Tableau 5 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 30 janvier 2000	15
Tableau 6 : Résultats de l'application d'EQueau du 30 janvier 2000	16
Tableau 7 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 30 janvier 2000	17
Tableau 8 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 30 janvier 2000	18
Tableau 9 : Résultats de l'application d'EQueau du 2 février 2000.....	19
Tableau 10 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 2 février 2000.....	20
Tableau 11 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 23 février 2000.....	21
Tableau 12 : Résultats de l'application d'EQueau du 23 février 2000.....	23
Tableau 13 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 23 février 2000.....	23
Tableau 14 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 1 ^{er} mars 2000.....	24
Tableau 15 : Résultats de l'application d'EQueau du 1 ^{er} mars 2000	26
Tableau 16 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 1 ^{er} mars 2000.....	27
Tableau 17 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 18 mars 2000.....	28
Tableau 18 : Résultats de l'application d'EQueau du 18 mars 2000	29
Tableau 19 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 18 mars 2000.....	30
Tableau 20 : Indices cumulés à la date des acquisitions d'images de l'hiver 2000	38

SOMMAIRE

Le projet pilote EQeau (1998-1999) a démontré l'efficacité de l'approche RADARSAT sur la moitié amont du bassin de la Rivière La Grande et les capacités opérationnelles du *prototype EQeau*. Nous avons recommandé à Hydro-Québec d'utiliser des images ScanSAR afin d'estimer l'équivalent en eau des vastes sous bassins de la rivière La Grande. L'automne dernier, le *Service de Prévisions et Ressource hydriques* a pris l'initiative d'utiliser l'imagerie RADARSAT à l'hiver 2000 pour cartographier l'équivalent en eau de la neige sur l'ensemble du bassin de la rivière La Grande. L'INRS-Eau a alors assisté le personnel d'Hydro-Québec pour planifier les acquisitions d'images du satellite RADARSAT et les campagnes de terrain de l'hiver 2000.

Neuf images ScanSAR ont été achetées par Hydro-Québec. Ces images proviennent de deux orbites différentes afin de couvrir l'ensemble du bassin de la rivière La Grande et des bassins avoisinants. Pour le secteur est, les images ont été acquises les 19 novembre 1999 (image de référence), 6 et 30 janvier, 23 février et 18 mars 2000. Pour le secteur ouest, les images ont été acquises les 22 novembre (image de référence), 2 février et 21 mars 2000. Une image d'une troisième orbite a aussi été acquise le 1^{er} mars. Deux campagnes de terrain ont été réalisées, l'une du 31 janvier au 3 février, l'autre du 20 au 23 mars.

Cette année, le suivi du couvert nival de la région de La Grande a été marqué par plusieurs nouveautés. Pour la première fois, l'analyse des images RADARSAT par le logiciel EQeau s'est faite en mode opérationnel. Aussi, plusieurs images ScanSAR ont été acquises au cours du même hiver ce qui nous a permis d'évaluer la stabilité du signal et la qualité radiométrique des images. De plus, le secteur cartographié était quatre fois plus étendu que celui des années passées donc plus diversifié du point de vue de l'occupation du sol et de la densité de la neige. Finalement, nous avons des données au sol que pour trois des sept images hivernales.

Ce rapport d'étape et discute les résultats de l'application d'EQeau sur l'ensemble des images acquises à l'hiver 2000. Nous avons constaté que ces images surestimaient l'équivalent en eau au sol. Deux causes expliqueraient ce biais systématique. D'une part, les conditions environnementales lors de l'acquisition des images de référence n'étaient pas optimales: le sol

était encore dégelé et il y a avait déjà une quarantaine de centimètres de neige au sol. D'autre part, des modifications auraient été apportées dans la production des images à la station de réception afin de réduire les artéfacts entre les limites des quatre faisceaux des images ScanSAR. Toutefois, ce processus aurait changé la dynamique du signal (radiométrie des images) ce qui nuit à la performance de l'algorithme EQeau développé antérieurement à ce changement. Cette deuxième hypothèse sera validée auprès du producteur d'ici l'automne.

Dans les prochains mois, nous poursuivrons l'analyse de ces images afin de vérifier l'applicabilité d'EQeau sur les bassins situés dans les basses terres de la Baie James et les bassins plus forestiers de la région du lac Mistassini. Nous ferons nos recommandations concernant le type (mode ScanSAR, mode Wide) et le nombre d'images RADARSAT à acquérir pour l'hiver 2001, dans le rapport d'étape du 30 septembre 2000.

1. INTRODUCTION

En 1999, le projet pilote « *EQeau* » a démontré 1) l'efficacité de l'approche RADARSAT sur la moitié amont du bassin de la Rivière La Grande et 2) les capacités opérationnelles du logiciel *EQeau*. Cette démonstration a été faite en janvier et mars 1999, à partir d'images du satellite canadien RADARSAT en mode ScanSAR (couvrant 500 km X 500 km) et en mode Wide (165 km X 165 km). Les écarts entre les estimations des équivalents en eau provenant des images ScanSAR et Wide sont inférieurs à 5% en janvier et 8% en mars. L'écart entre les estimations des équivalents en eau provenant de ces images et l'interpolation des mesures de terrain d'Hydro-Québec est généralement inférieur à 10%. Les estimations fournies par *EQeau* ont été intégrées avec succès dans le système de prévision des apports d'Hydro-Québec. Les détails de la phase 1999 du projet *EQeau* ont été présentés dans le rapport de juin 1999. Le compte-rendu des tâches connexes aussi réalisées par l'équipe de l'INRS-Eau lors de cette phase du projet (analyse d'images ScanSAR (non-étalonnées) de l'hiver 1998, une première évaluation de l'incertitude de l'algorithme d'*EQeau*, la préparation d'un atelier de formation pour le personnel d'Hydro-Québec, la diffusion des résultats au moyen d'articles scientifiques et de conférences et la rédaction en collaboration avec le personnel de Viasat Géo-Technologie du *Guide d'utilisation du logiciel EQeau*) ont été présentés dans les rapports de septembre 1999 et du 31 mars 2000.

De plus, dans notre rapport d'étape du 30 juin 1999, nous recommandions à Hydro-Québec d'utiliser dans leurs opérations courantes, les images ScanSAR (multi-faisceaux) afin d'estimer l'équivalent en eau sur les vastes sous-bassins de la rivière La Grande. À l'automne 1999, le *Service de Prévisions et Ressource hydriques* a pris l'initiative d'utiliser l'imagerie RADARSAT à l'hiver 2000 pour cartographier l'équivalent en eau de la neige sur l'ensemble du bassin de la rivière La Grande. Nous avons donc assisté le personnel d'Hydro-Québec dans la planification des acquisitions d'images du satellite RADARSAT pour la saison 1999-2000 et dans la planification des campagnes de terrain. Neuf images ScanSAR-Wide ont donc été achetées par Hydro-Québec. Cinq images couvrent le secteur LG3-Caniapiscau, trois images couvrent le secteur LG1-LG4 et une image couvre le secteur LG4-Caniapiscau.

Puisque le territoire d'application d'EQueau à l'hiver 2000, couvre une superficie trois fois plus grande que la superficie cartographiée à l'hiver 1999, 15 images TM du satellite américain Landsat-5 (acquises entre 1995 et 1999) ont été achetées par Hydro-Québec pour cartographier l'occupation du sol. L'INRS-Eau et VIASAT ont effectué conjointement le travail de correction géométrique, de classification et de création de la mosaïque d'occupation du sol. Ce travail constitue une activité complémentaire au projet EQueau (un rapport a été remis à Hydro-Québec sous plis séparé).

Le volet opérationnel du projet EQueau à l'hiver 2000 comprend l'acquisition et le traitement des images par VIASAT Géo-Technologie (Chapitre 3) et l'application d'EQueau en janvier, février et mars par Hydro-Québec avec l'appui de l'INRS-Eau.

Le volet R&D du projet EQueau, sous la responsabilité de l'INRS-Eau, comprend le support au personnel d'Hydro-Québec pour la production des cartes d'équivalents en eau à l'aide du logiciel EQueau et des images RADARSAT (Chapitre 4), la cueillette des mesures de terrain à des fins de validation (Chapitres 4 et 5), l'analyse et l'évaluation des résultats (Chapitre 5) et la diffusion scientifique des résultats du projet. Une autre section du volet R&D concerne l'applicabilité d'EQueau sur les bassins moins enneigés à l'ouest de LG4 et sur les bassins forestiers au sud de LG4. Ces sections seront traitées lors du prochain rapport d'étape du 30 septembre 2000. Finalement, ce volet comprenait la diffusion scientifique des résultats de l'hiver 1999, lors du symposium Remote Sensing in Hydrology 2000, qui se tenait à Santa Fe (EU), du 1 au 7 avril 2000. Le texte des comptes-rendus est joint en annexe de ce rapport.

2. OBJECTIFS DU PROJET *EQeau*

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 généraux du projet *EQeau* sont:

1. Démontrer l'exploitabilité des données de télédétection (RADARSAT et LANDSAT) pour l'estimation de l'équivalent en eau du couvert nival et démontrer l'efficacité du *prototype EQeau* en combinaison avec les méthodes actuelles de relevés sur le terrain.
2. Par rapport aux méthodes actuelles d'estimation, évaluer l'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.

Les objectifs spécifiques pour l'année 2000 sont :

1. Poursuivre la validation opérationnelle d'*EQeau* sur les sous-bassins LG4, Laforge et Caniapiscau ;
2. Cartographier les équivalents en eau sur l'ensemble du bassin de la Rivière La Grande ;
3. Vérifier l'applicabilité d'*EQeau* sur les bassins moins enneigés à l'ouest de celui de LG4 ;
4. Vérifier l'applicabilité d'*EQeau* sur les bassins forestiers au sud de celui de LG4 ;

3. ACQUISITION ET TRAITEMENT DES IMAGES

3.1 Acquisition des images

Suite aux excellents résultats du projet de démonstration *EQeau*, obtenus avec l'utilisation des images RADARSAT étalonnées de type ScanSAR Wide de l'hiver 1999 (Bernier *et al.*, 1999) et aux bons résultats obtenus avec l'utilisation des images RADARSAT non-étalonnées de type ScanSAR Wide de l'hiver 1998 (Bernier *et al.*, 1999a), il a été convenu d'utiliser à nouveau les images ScanSAR à l'hiver 2000 pour l'estimation de l'équivalent en eau de la neige dans un cadre opérationnel. Le tableau 3.1 énumère la liste des images acquises par Hydro-Québec.

Tableau 1 : Images RADARSAT étalonnées de type ScanSAR Wide (SCWA) acquises à l'hiver 1999-2000

Faisceau	Date	Heure GMT	Orbite	Mode	Centre d'image approximatif
SCWA	19 novembre 1999	22:31:40	#3746	ASC	53° 05' 39" N 71° 34' 16" W
SCWA	22 novembre 1999	22:43:30	#3151	ASC	52° 41' 57" N 74° 35' 40" W
SCWA	6 janvier 2000	22:31:40	#3746	ASC	53° 05' 39" N 71° 34' 16" W
SCWA	30 janvier 2000	22:31:40	#3746	ASC	53° 05' 39" N 71° 34' 16" W
SCWA	2 février 2000	22:43:30	#3151	ASC	52° 41' 57" N 74° 35' 40" W
SCWA	23 février 2000	22:31:40	#3746	ASC	53° 05' 39" N 71° 34' 16" W
SCWA	1 ^{er} mars 2000	22 :28 :27	#3773	ASC	53° 30' 00" N 70° 30' 00" W
SCWA	18 mars 2000	22:31:40	#3746	ASC	53° 05' 39" N 71° 34' 16" W
SCWA	21 mars 2000	22:43:30	#3151	ASC	52° 41' 57" N 74° 35' 40" W

Afin de couvrir l'ensemble du bassin de la rivière La Grande, des acquisitions ont été planifiées sur deux orbites ScanSAR (#3746 et #3151). Une troisième (#3773) s'est ajoutée en cours d'hiver dans le but de ré-utiliser l'image de référence de l'automne 1998. La Figure 3.1 présente la localisation des images acquises.

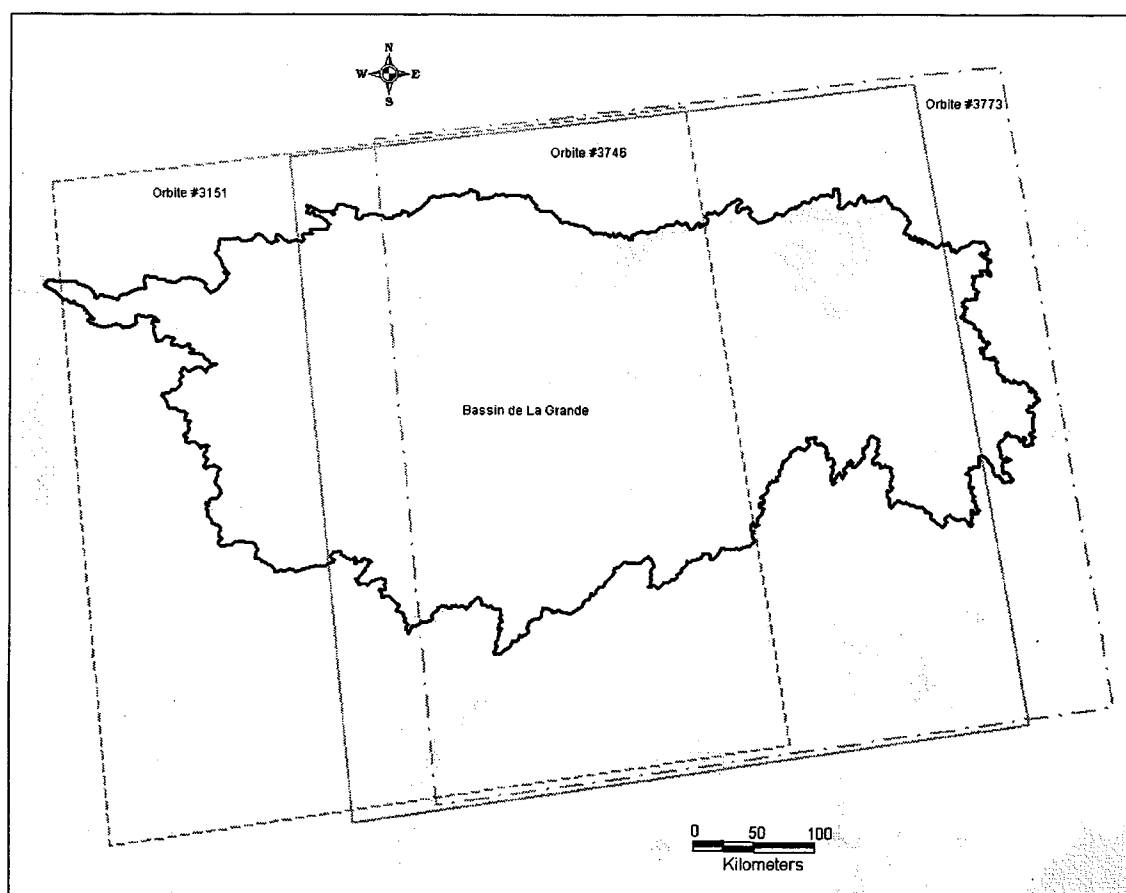


Figure 1 : Localisation des orbites ScanSAR de l'hiver 2000

3.2 Traitement des images effectué par VIASAT Géo-Technologie

Les neuf images ScanSAR de l'hiver 1999-2000 ont été traitées de façon identique aux images ScanSAR des deux hivers précédents (Bernier *et al.*, 1999). Après avoir transformé les valeurs brutes en valeurs d'intensités (puissances), les images ont été corrigées géométriquement à l'aide du logiciel SCR (Station Cartographique Radar) de VIASAT qui s'appuie sur le modèle de correction géométrique de précision des images RSO développé au Centre canadien de télédétection. À titre de rappel, cette méthode prend en considération les distorsions engendrées par la géométrie d'acquisition du capteur, la position de la plate-forme du satellite (attitude) et les déformations causées par le relief. Chacune des images ScanSAR est géocodée à partir d'un ensemble de points d'appui communs relevés sur les cartes, d'un MNA et des paramètres de

positionnement du satellite enregistrés au moment de l'acquisition de l'image. Cette approche permet la superposition précise des images radar prises à différentes dates.

Dans le cas des images RADARSAT de type ScanSAR Wide, VIASAT a dû adapter sa méthode pour prendre en compte la composition multi-faisceaux de ces images afin d'obtenir une meilleure précision planimétrique des ortho-images produites. En effet, les erreurs résiduelles, calculées pour chacun des points d'appui lorsqu'un seul modèle de correction est utilisé sur l'ensemble de l'image (bande de 500 km), sont supérieures (RMS en x et y plus grand que 100 mètres) à celles obtenues pour ces mêmes points lorsque que l'on modélise séparément la moitié gauche et la moitié droite de l'image (RMS en x et y inférieur à 50 mètres). Suite à cette constatation, VIASAT a procédé à la rectification géométrique des images ScanSAR en modélisant séparément les parties gauche et droite des images. La modélisation de chacune des parties suit la même démarche et utilise les mêmes paramètres d'orbite. On s'assure également de couvrir une zone de chevauchement sur les deux moitiés en utilisant quelques points d'appui communs aux deux modèles. Ceci permet une meilleure juxtaposition des ortho-images une fois qu'elles sont rééchantillonnées (filtrées) et mosaïquées.

En dernier lieu, les valeurs des images sont transformées en décibels (dB) , et les images sont exportées en format brut (raw), afin d'être utilisées par *EQeau*.

4. CALCUL DES ÉQUIVALENTS EN EAU

Le logiciel *EQeau* a été utilisé pour produire les cartes d'équivalents en eau de l'hiver 1999-2000. Les informations qui doivent être fournies à EQeau sont les suivantes :

Images d'hiver à traiter : Les images acquises entre le 6 janvier et le 21 mars 2000 et présentées au tableau 1.

Image de référence : L'image du 19 novembre 1999 a été utilisée comme image de référence pour l'orbite #3746 et l'image du 22 novembre 1999 a été utilisée pour l'orbite #3141. L'image du 7 novembre 1998 a été réutilisée pour l'orbite #3773.

Densité moyenne de la neige : La densité moyenne de la neige permet de relier la résistance thermique apparente du couvert de neige issue des images, à l'équivalent en eau. Lorsque des mesures de terrain sont disponibles, ces valeurs sont utilisées. Sinon, une valeur historique ou simulée peut être utilisée.

Occupation du sol : L'occupation du sol permet de distribuer spatialement la densité de neige sélectionnée et d'exclure les plans d'eau pour l'application de l'algorithme. L'occupation du sol utilisée est celle produite conjointement par VIASAT et l'INRS-Eau, à l'automne 1999, à partir d'une mosaïque de 20 images Landsat-TM (acquises entre 1995 et 1999).

Algorithme : L'opérateur d'EQeau a le choix entre deux algorithmes. L'un est adapté aux conditions habituellement froides de milieu d'hiver et l'autre, aux conditions généralement plus douces de fin d'hiver.

4.1 Application d'EQueau : image ScanSAR du 6 janvier 2000

La première image de l'hiver a été acquise le 6 janvier 2000 sur l'orbite #3746, c'est-à-dire le secteur couvrant l'est du bassin de la rivière La Grande (LG3-Caniapiscou). Les paramètres d'entrée sont les suivants :

Tableau 2 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 6 janvier 2000

Image de l'hiver 2000	Image de référence	Algorithme	Occupation du sol	Densités de neige utilisées [kg/m ³]
6 janvier	19 nov. 1999	Milieu d'hiver	Forêts	185
			Forêts ouvertes	190
			Landes, Tourbières	205
			Brûlis, Sols nus	205

Les densités de neige fournies à EQueau sont basées sur les relevés au sol du secteur de Churchill du 29 au 31 décembre 1999. Des densités entre 200 et 220 kg/m³ y ont été mesurées. Par contre, le couvert de neige étant historiquement plus dense dans le secteur de Churchill que dans le secteur de LG3-Caniapiscou, les densités utilisées (Tableau 2), sont inférieures d'environ 10% aux mesures de Churchill.

EQueau a été appliqué à l'échelle du pixel de l'image (50 m) et la carte résultante (Figure 2) a été ré-échantillonnée à une maille de 500m. On y remarque des valeurs généralement homogènes, dans la catégorie 151 à 200 mm. On retrouve des équivalents en eau plus faibles (101-150 mm) entre autres à la limite sud du bassin, de même que dans la partie est de l'image. Dans ce dernier cas, il s'agit plutôt d'un artefact relié au quatrième faisceau ScanSAR (S7), phénomène qui sera discuté dans le chapitre 5. Les moyennes calculées sur chaque bassin ou sous-bassin couvert par l'image ScanSAR sont présentées au Tableau 3.

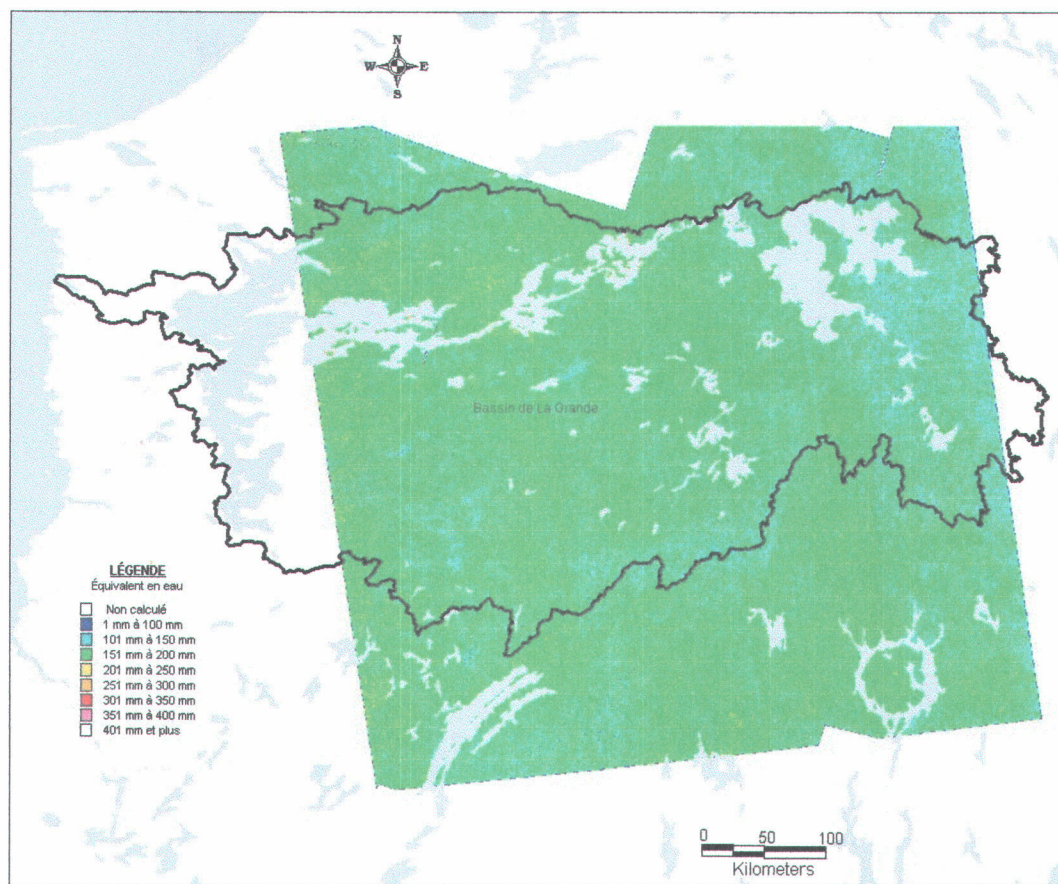


Figure 2 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 6 janvier 2000

Tableau 3 : Résultats de l'application d'EQeau du 6 janvier 2000

	Moyenne d'équivalent en eau [mm] par sous-bassins	% Superficie couverte
LG2	169	49
LG3	166	91
LG4	161	100
LA1	164	100
Caniapiscou	151	95
Eastmain	159	89
Opinaca	166	48
Outardes	164	
Manicouagan	161	73

Très peu de données sont disponibles pour valider les estimations du 6 janvier 2000. D'une part, les mesures du secteur de Churchill ne sont pas nécessairement représentatives du secteur LG3-Caniapiscou, et d'autre part, une seule de nos stations météorologiques sur le secteur fonctionnait à ce moment (Figure 3). Le tableau 4, basé sur les valeurs de Churchill et sur les données de la station météorologique indiquerait toutefois que les valeurs fournies par EQueau seraient surestimées.

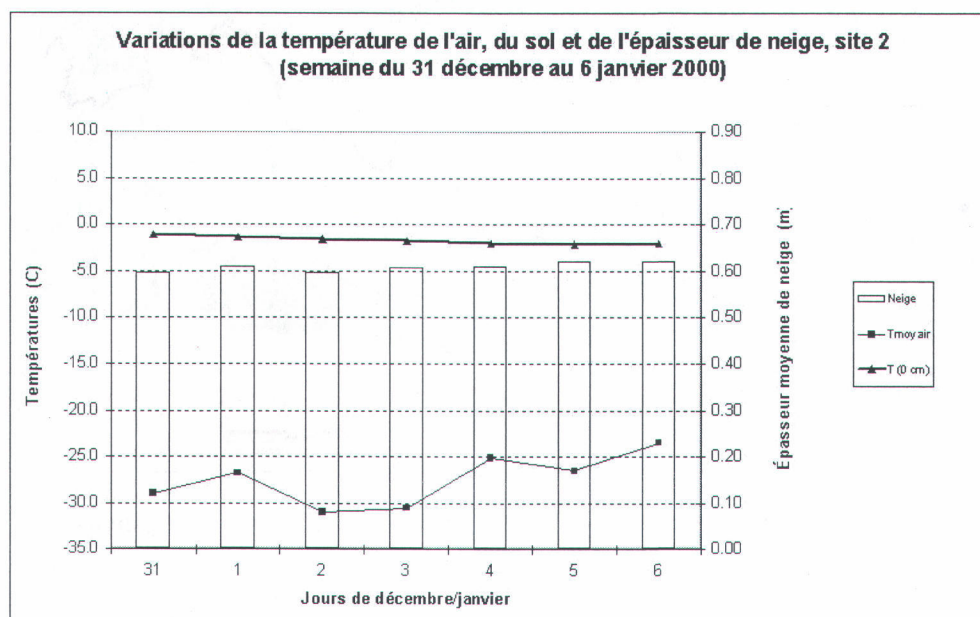


Figure 3 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite

Tableau 4 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 6 janvier 2000

Équivalents en eau [mm]			
Estimations RADARSAT	Interpolations Hydro-Québec	Mesures au sol (Churchill)	Station météorologique du site #2 (secteur LG4-Laforge)
160-170 mm	-	127-193 mm (moyenne 156 mm)	116 mm (basé sur une hauteur de 61 cm et une densité de 190 kg/m ³)

4.2 Application du 30 janvier 2000

La deuxième image de l'hiver a été acquise le 30 janvier 2000, toujours sur le secteur couvrant l'est du bassin de la rivière La Grande (LG3-Caniapiscau). Les paramètres d'entrée sont les suivants :

Tableau 5 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 30 janvier 2000

Image de l'hiver 2000	Image de référence	Algorithme	Occupation du sol	Densités de neige utilisées [kg/m ³]
30 janvier	19 nov. 1999	Fin d'hiver	Forêts	223
			Forêts ouvertes	241
			Landes, Tourbières	251
			Brûlis, Sols nus	261

Les densités de neige fournies à EQueau sont basées sur les relevés au sol effectués par l'INRS-Eau et Hydro-Québec entre le 27 janvier et le 7 février 2000, sur le secteur LG3-Caniapiscau. Des densités entre 220 et 260 kg/m³ y ont généralement été mesurées. Les relevés d'Hydro-Québec pour la même période, sur les secteurs plus à l'Ouest (LG2-LG3) et plus au sud-ouest (EOL-EM1) indiquent toutefois des densités plus près de 200 kg/m³. Dans sa version actuelle, EQueau ne peut tenir compte de cette disparité régionale des densités de neige.

EQueau a été appliqué à l'échelle du pixel de l'image (50 m) et la carte résultante (Figure 4) a été ré-échantillonnée à une maille de 500m. Les équivalents en eau obtenus se répartissent entre plusieurs classes, couvrant la gamme de 150 à 350 mm. Leur distribution spatiale est également très hétérogène. Les valeurs les plus faibles sont encore au sud du bassin et dans la partie est de l'image (faisceaux S7). On distingue d'ailleurs très bien les limites des quatre faisceaux ScanSAR. Dans les deux premiers cas (W1-W2 et W2-W3), il y a présence d'un artefact à la limite même des faisceaux mais pas d'effet notable avant ou après la limite. Dans le dernier cas (W3-S7), il y a une baisse des valeurs dès le passage au faisceau S7. Les moyennes calculées sur chaque bassin couvert par l'image ScanSAR sont présentées au Tableau 6.

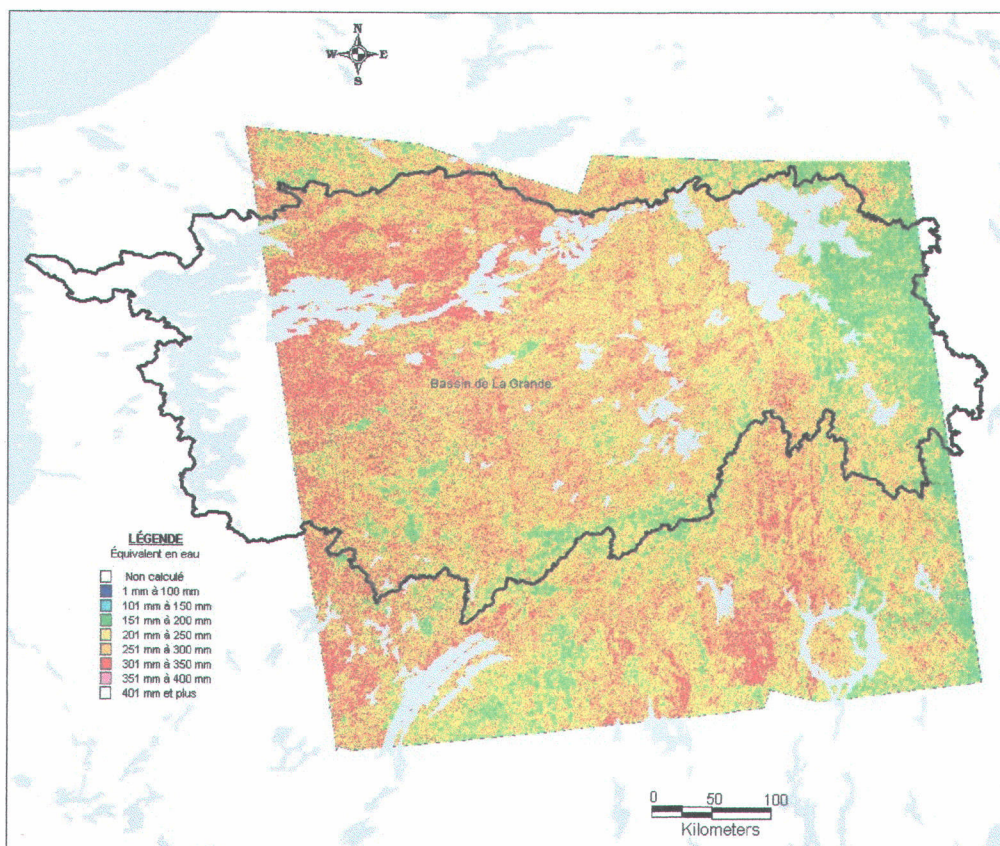


Figure 4 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQueau pour le 30 janvier 2000

Tableau 6 : Résultats de l'application d'EQueau du 30 janvier 2000

	Moyenne d'équivalent en eau [mm] par sous-bassins	Écart-type [mm]	% Superficie couverte
LG2	265	40	49
LG3	267	36	91
LG4	252	42	100
LA1	253	43	100
Caniapiscau	229	46	98
Eastmain	248	37	89
Opinaca	264	41	48
Outardes	259	98	56
Manicouagan	247	37	73

Contrairement à l'image précédente, plusieurs données sont disponibles pour vérifier la validité de ces résultats. D'abord, les relevés de terrain de l'INRS-Eau et d'Hydro-Québec pour le secteur LG4-Caniapiscou indiquent un équivalent en eau moyen de l'ordre de 210 mm. Celui des secteurs plus à l'ouest et au sud-ouest est encore plus faible, à environ 150 mm. Quant aux données de la station météorologique (Figure 5), elles permettent d'estimer un équivalent en eau de 182 mm. Le tableau 7 montre donc que les valeurs fournies par EQeau seraient très surestimées. Au chapitre 5, nous tenterons d'expliquer les causes de cette surestimation des équivalents en eau.

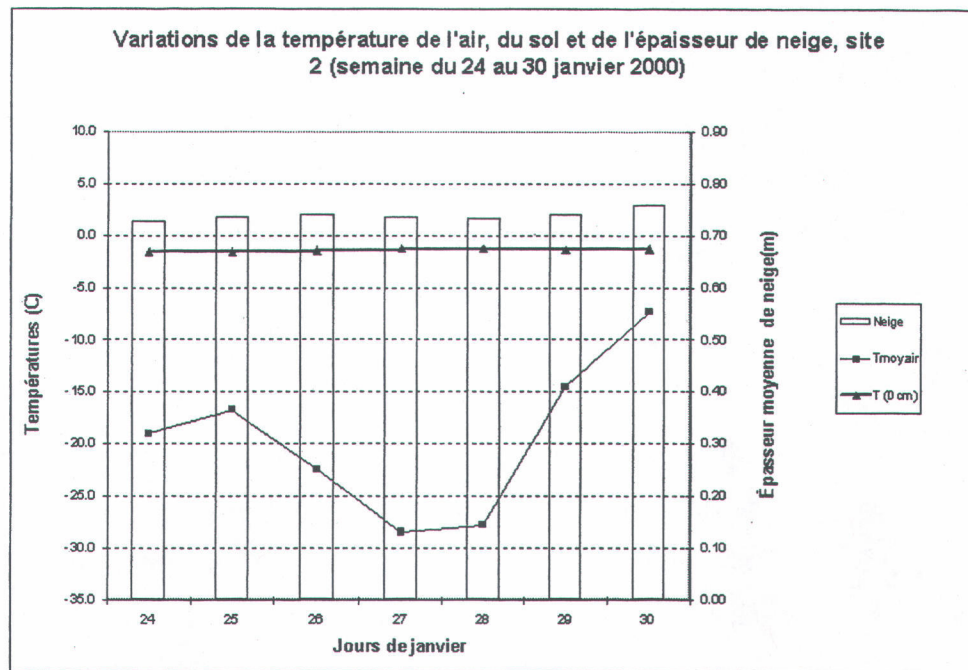


Figure 5 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite

Tableau 7 : Validation des équivalents en eau estimés par EQeau le 30 janvier 2000

Équivalents en eau [mm]			
Estimations RADARSAT	Interpolations Hydro-Québec	Mesures au sol (LG4-Caniap.)	Station météorologique du site #2 (secteur LG4-Laforge)
250-270 mm	-	174-251 mm (moyenne 214 mm)	182 mm (basé sur une hauteur de 76 cm et une densité de 240 kg/m ³)

4.3 Application du 2 février 2000

La troisième image de l'hiver a été acquise le 2 février 2000, sur le secteur couvrant cette fois l'ouest du bassin de la rivière La Grande (LG1-LG4). Les paramètres d'entrée sont les suivants :

Tableau 8 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 2 février 2000

Image de l'hiver 2000	Image de référence	Algorithme	Occupation du sol	Densités de neige utilisées [kg/m ³]
2 février	22 nov. 1999	Milieu d'hiver	Forêts	179
			Forêts ouvertes	188
			Landes, Tourbières	199
			Brûlis, Sols nus	201

Les densités de neige fournies à EQueau sont basées sur les relevés au sol effectués par l'INRS-Eau et Hydro-Québec entre le 27 janvier et le 7 février 2000, sur les secteurs LG2-LG3, LG4-Ouest et EOL-EM1. Des densités entre 180 et 230 kg/m³ y ont généralement été mesurées. Ces densités sont beaucoup plus faibles que celles du secteur LG4-Caniapiscau et par conséquent, les résultats devraient être différents de l'application du 30 janvier.

EQueau a été appliqué à l'échelle du pixel de l'image (50 m) et la carte résultante (Figure 6) a été ré-échantillonnée à une maille de 500m. Les équivalents en eau obtenus sur le bassin de La Grande se retrouvent principalement dans la classe 151 à 200 mm, alors que ceux obtenus au sud du bassin sont plutôt dans les classes 1-100 mm et 101-150 mm. Les limites entre les faisceaux ne sont pas apparentes mais les valeurs de la section couverte par le faisceau S7 (partie est) sont encore plus faibles que les parties plus à l'ouest. Les moyennes calculées sur chaque bassin couvert par l'image ScanSAR sont présentées au Tableau 9.

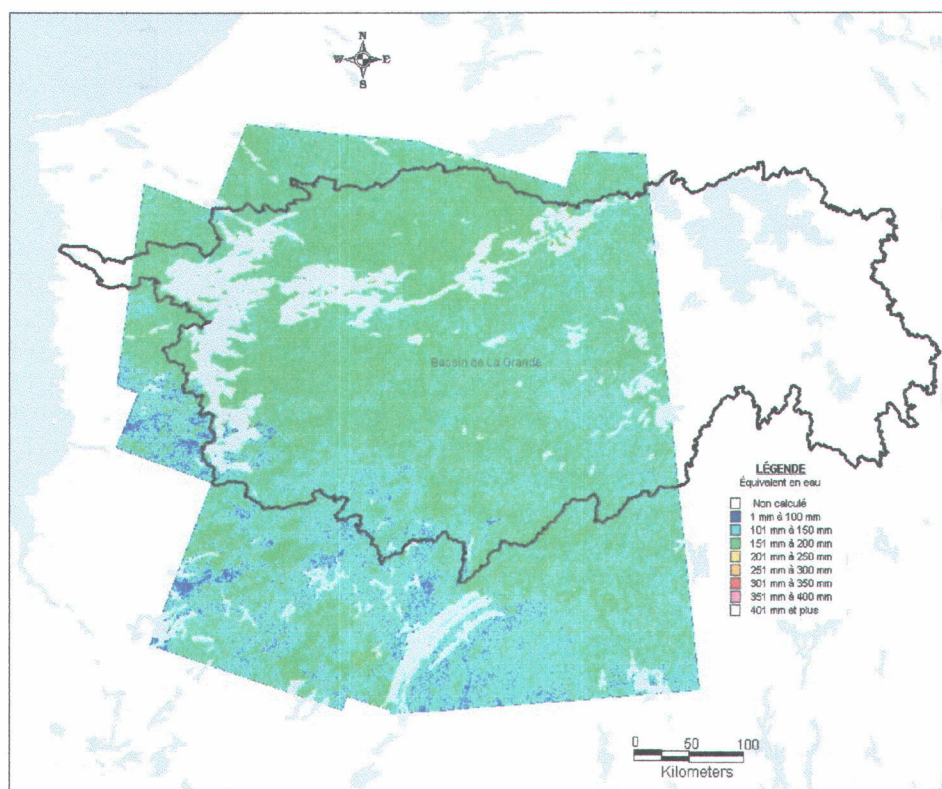


Figure 6 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 2 février 2000

Tableau 9 : Résultats de l'application d'EQeau du 2 février 2000

	Moyenne d'équivalent en eau [mm] par sous-bassins	Écarts-Types [mm]	% Superficie couverte
LG2	155	18	100
LG3	152	22	100
LG4	148	21	67
LA1	148	27	77
Eastmain	139	19	100
Opinaca	152	21	100
LG1	156	22	67

Les relevés de terrain d'Hydro-Québec pour les secteurs LG2-LG3 et EOL-EM1 indiquent un équivalent en eau moyen de l'ordre de 150 mm alors que les relevés de l'INRS-Eau sur le secteur LG4-Ouest indiquent un équivalent en eau moyen de l'ordre de 200 mm. La station météo du secteur LG3 ne fonctionnant pas, seule la valeur estimée à la station du secteur LG4-centre peut être utilisée. On remarque sur la Figure 7 qu'il n'y a pas eu d'accumulation de neige entre le 30 janvier et le 2 février. L'équivalent en eau estimé au 30 janvier (Tableau 7) sera donc ré-utilisé. En résumé, le tableau 10 montre que les valeurs fournies par EQueau pour l'image du 2 février seraient comparables aux mesures au sol pour ce secteur.

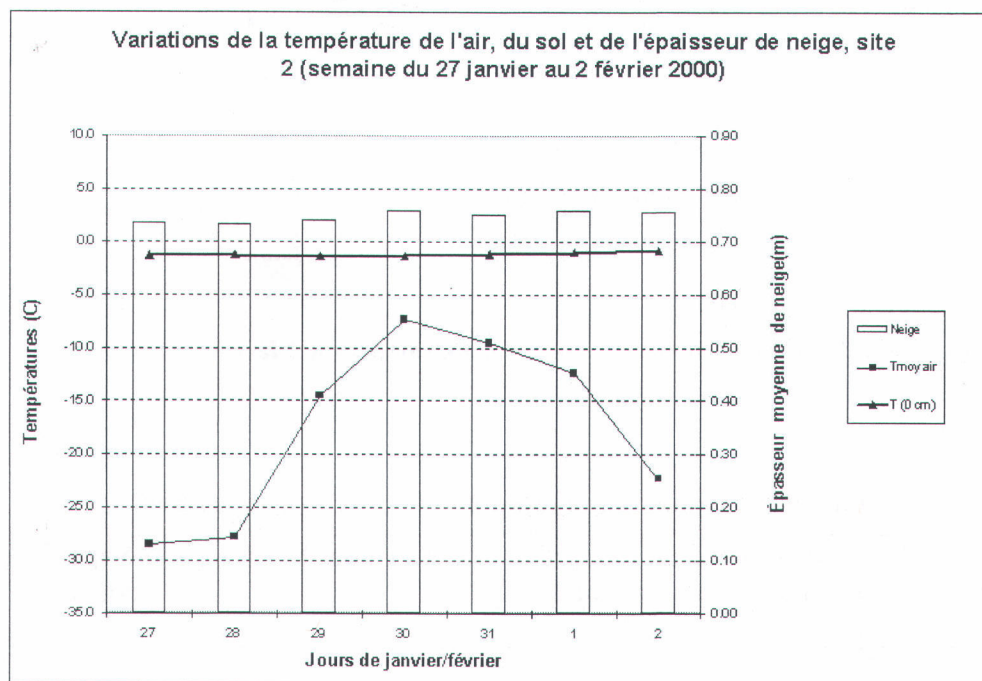


Figure 7 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite

Tableau 10 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 2 février 2000

Équivalents en eau [mm]			
Estimations RADARSAT	Interpolations Hydro-Québec	Mesures au sol (LG2-LG3, EOL-EM1)	Station météorologique du site #2 (secteur LG4-Laforge)
140-160 mm	-	139-180 mm (moyenne 152 mm)	182 mm (basé sur une hauteur de 76 cm et une densité de 240 kg/m ³)

4.4 Application du 23 février 2000

La quatrième image de l'hiver a été acquise le 23 février 2000, sur le secteur couvrant l'est du bassin de la rivière La Grande (LG3-Caniapiscau). Les paramètres d'entrée sont les suivants :

Tableau 11 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 23 février 2000

Image de l'hiver 2000	Image de référence	Algorithme	Occupation du sol	Densités de neige utilisées [kg/m ³]
23 février	19 nov. 1999	Fin d'hiver	Forêts	223
			Forêts ouvertes	241
			Landes, Tourbières	251
			Brûlis, Sols nus	261

Les densités de neige fournies à EQueau sont les mêmes que celles utilisées pour l'image du 30 janvier. En effet, les données de la station météorologique du secteur LG4-centre (Figure 8) nous indiquent très peu de changement au sol entre les deux acquisitions.

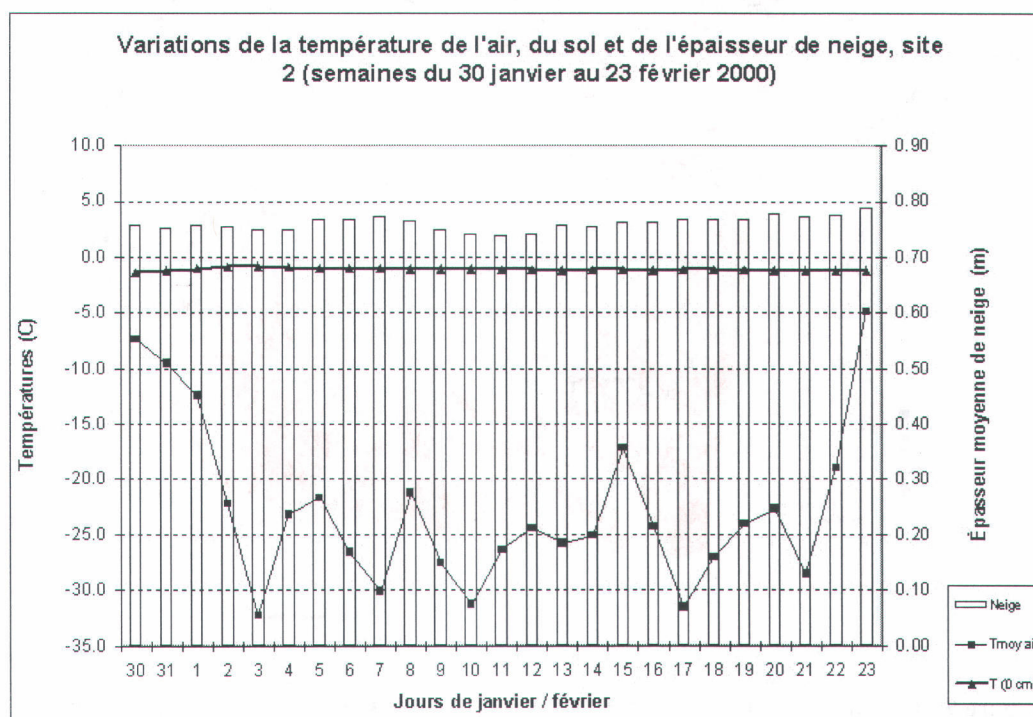


Figure 8 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite

De plus, en utilisant la fonction de compaction de la neige du modèle hydrologique HYDROTEL (Fortin *et al.*, 1995), nous estimons une densité stable et une légère augmentation de l'équivalent en eau (10-15 mm).

EQueau a été appliqué à l'échelle du pixel de l'image (50 m) et la carte résultante (Figure 9) a été ré-échantillonnée à une maille de 500m. Les équivalents en eau obtenus se répartissent encore entre plusieurs classes, couvrant la gamme de 150 à 350 mm. Leur distribution spatiale est également très hétérogène mais cette fois, les valeurs situées au sud du bassin de La Grande ont augmenté fortement. Il y a encore une baisse des valeurs sur le faisceau S7. Les moyennes calculées sur chaque bassin couvert par l'image ScanSAR sont présentées au Tableau 12.

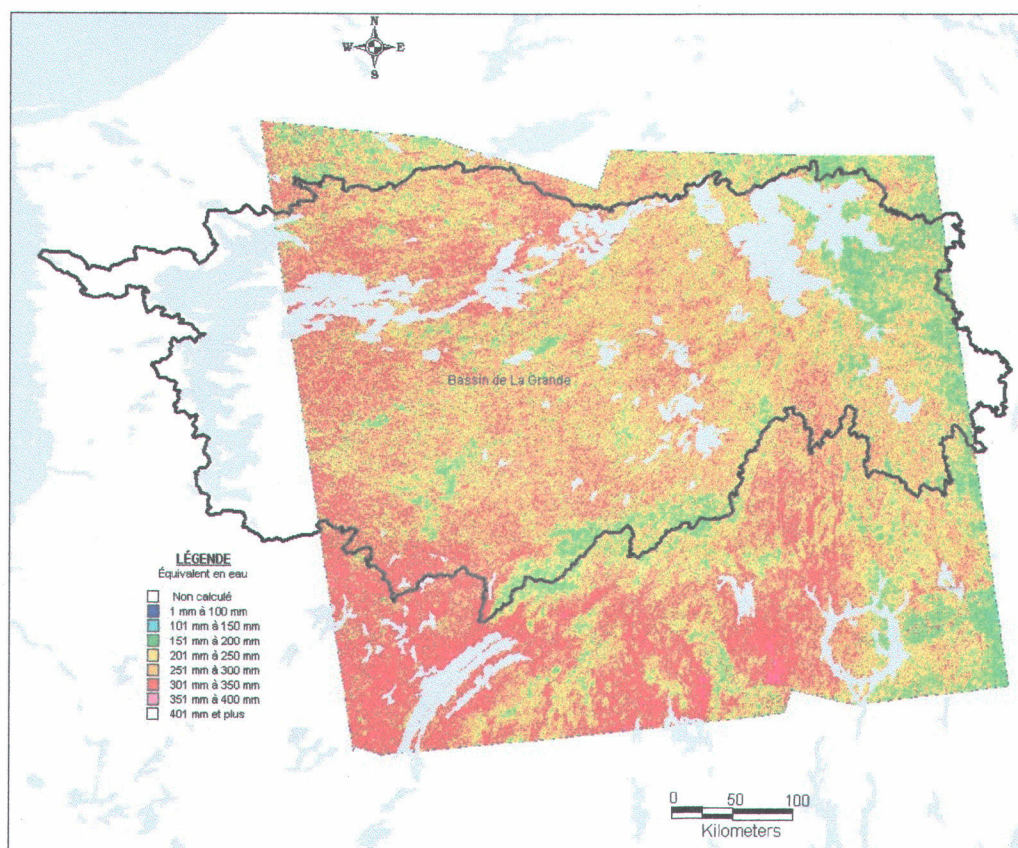


Figure 9 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQueau pour le 23 février 2000

Tableau 12 : Résultats de l'application d'EQueau du 23 février 2000

	Moyenne d'équivalent en eau [mm] par sous-bassins	Écart-type [mm]	% Superficie couverte
LG2	265	41	49
LG3	267	37	91
LG4	257	43	100
LA1	257	44	100
Caniapiscau	239	48	98
Eastmain	263	43	89
Opinaca	267	42	48
Outardes	-	-	-
Manicouagan	243	66	73

Les seules données de validation proviennent de la station météorologique du site #2 (LG4-centre) et comme l'a démontré la Figure 8, on devrait s'attendre à une légère augmentation de l'équivalent en eau. Le tableau 13 montre que les valeurs estimées par EQueau, à partir des images de l'orbite #3746 seraient à nouveau surestimées.

Tableau 13 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 23 février 2000

Équivalents en eau [mm]			
Estimations RADARSAT	Interpolations Hydro-Québec	Mesures au sol du début février (LG4-Caniap.) plus 10 mm	Station météorologique du site #2 (secteur LG4-Laforge)
240-265 mm	-	184-261 mm (moyenne 224 mm)	190 mm (basé sur une hauteur de 79 cm et une densité de 240 kg/m ³)

4.5 Application du 1^{er} mars 2000

La cinquième image de l'hiver a été acquise le 1^{er} mars 2000, toujours sur le secteur couvrant l'est du bassin de la rivière La Grande (LG3-Caniapiscou), mais encore un peu plus à l'est, sur l'orbite utilisée à l'hiver 1999 (Figure 1). Ce changement devait nous aider à identifier les causes de la mauvaise performance d'EQueau dans l'application aux trois images de l'orbite #3746 (6 jan., 30 jan., 23 fév.). Les paramètres d'entrée sont les suivants :

Tableau 14 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 1^{er} mars 2000

Image de l'hiver 2000	Image de référence	Algorithme	Occupation du sol	Densités de neige utilisées [kg/m ³]
1 ^{er} mars	7 nov. 1998	Fin d'hiver	Forêts	223
			Forêts ouvertes	241
			Landes, Tourbières	261
			Brûlis, Sols nus	251

Le calcul des densités de neige devant être fournies à EQueau pour l'image du 1^{er} mars se complique un peu. En effet, comme le démontrent les données de la station météorologique du secteur LG4-centre (Figure 10), un réchauffement notable des températures s'est produit les 26 et 27 février. La baisse rapide de la hauteur de neige est probablement attribuable à la pluie. Le profil de neige s'est donc densifié considérablement avec cette pluie. Toutefois, comme la température de l'air est demeurée douce et à même dépassé 0°C le 1^{er} mars, le changement de densité de la neige ne devrait pas avoir encore affecté la température du sol. Il est donc fort probable que les valeurs de l'image du 1^{er} mars correspondent encore aux conditions environnementales prévalant quelques jours plus tôt, avec possiblement, un léger réchauffement du sol. Considérant cela, nous avons fourni à EQueau les mêmes densités que celles utilisées pour les images du 30 janvier et du 23 février.

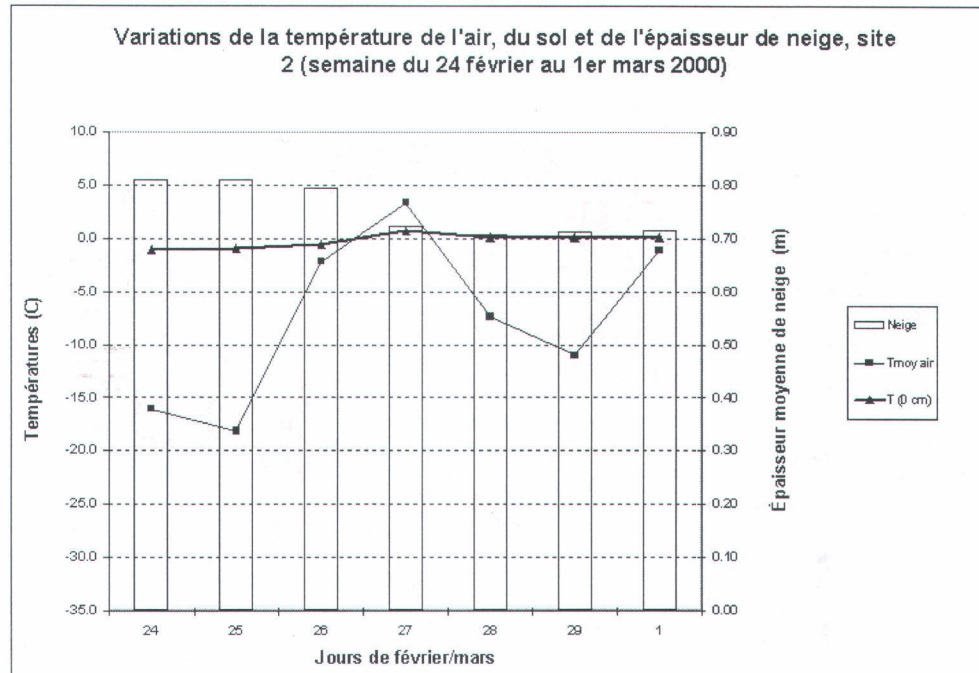


Figure 10 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite

EQeau a été appliqué à l'échelle du pixel de l'image (50 m) et la carte résultante (Figure 11) a été ré-échantillonnée à une maille de 500m. Les équivalents en eau obtenus couvrent à nouveau la gamme de 150 à 350 mm, mais leur distribution spatiale nous apparaît artificielle. En effet, de façon générale, la classe dominante est de 301 à 350 mm (rouge) pour le secteur correspondant au faisceau W1, elle est de 251 à 300 mm (orange) pour le secteur correspondant au faisceau W2, de 201 à 250 mm (jaune) pour le secteur correspondant au faisceau W3 et de 151 à 200 mm (vert) pour le secteur correspondant au faisceau S7. Il y a donc un problème évident survenu lors du calcul du rapport de rétrodiffusion entre l'image d'hiver et l'image de référence. Cette situation sera discutée au chapitre 5. Les moyennes calculées sur chaque bassin couvert par l'image ScanSAR sont néanmoins présentées au Tableau 15.

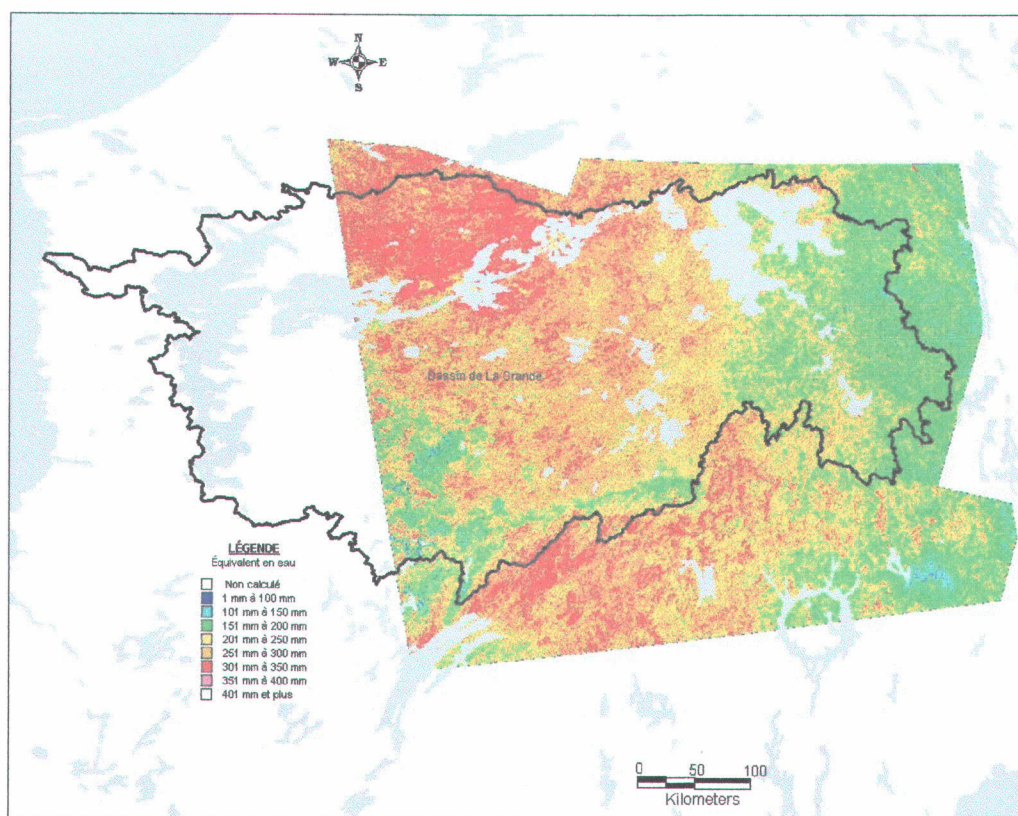


Figure 11 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQueau pour le 1^{er} mars 2000

Tableau 15 : Résultats de l'application d'EQueau du 1^{er} mars 2000

	Moyenne d'équivalent en eau [mm] par sous-bassins	Écart-type [mm]	% Superficie couverte
LG2	303	-	33
LG3	259	-	76
LG4	261	40	100
LA1	259	40	100
Caniapiscau	213	37	100
Eastmain	237	-	78
Opinaca	-	-	-
Outardes	259	-	36
Manicouagan	231	-	53

Tenant compte des observations précédentes, la validité de ces résultats est douteuse. Encore une fois, les seules données de validation proviennent de la station météorologique du site #2 (LG4-centre). Comme nous l'avons expliqué lors du choix des densités de neige, les valeurs de l'image devraient correspondre aux équivalents en eau présents avant le réchauffement de la fin février. Le tableau 16 montre que les valeurs fournies par EQeau seraient encore surestimées.

Tableau 16 : Validation des équivalents en eau estimés par EQeau le 1^{er} mars 2000

Équivalents en eau [mm]			
Estimations RADARSAT	Interpolations Hydro-Québec	Mesures au sol du début février (LG4-Caniap.) plus 10 mm	Station météorologique du site #2 (secteur LG4-Laforge) Données au 25 février
213-303 mm	-	184-261 mm (moyenne 224 mm)	194 mm (basé sur une hauteur de 81 cm et une densité de 240 kg/m ³)

4.6 Application du 18 mars 2000

La sixième image de l'hiver a été acquise le 18 mars 2000, toujours sur le secteur couvrant l'est du bassin de la rivière La Grande (LG3-Caniapiscou). Les paramètres d'entrée sont les suivants :

Tableau 17 : Paramètres d'entrée pour l'application d'EQueau du 18 mars 2000

Image de l'hiver 2000	Image de référence	Algorithme	Occupation du sol	Densités de neige utilisées [kg/m ³] (*I)	Densités de neige utilisées [kg/m ³] (**II)
18 mars	19 nov. 1999	Fin d'hiver	Forêts	243	206
			Forêts ouvertes	269	215
			Landes, Tourbières	267	240
			Brûlis, Sols nus	277	225

Les densités de neige fournies à EQueau ont d'abord été basées sur les relevés au sol effectués par l'INRS-Eau et Hydro-Québec entre le 17 et le 26 mars 2000, sur le secteur LG3-Caniapiscou (*I). Des densités entre 240 et 290 kg/m³ y ont généralement été mesurées. Les relevés d'Hydro-Québec pour la même période, sur les secteurs plus à l'ouest (LG2-LG3) et plus au sud-ouest (EOL-EM1) indiquent cette fois des densités généralement comparables.

EQueau a été appliqué à l'échelle du pixel de l'image (50 m) et la carte résultante a été ré-échantillonnée à une maille de 500m. La classe générale dominante de cette carte est de 351 à 400 mm. Compte tenu des applications précédentes de l'hiver 2000 et de la disponibilité des mesures au sol, il est évident que ces valeurs sont beaucoup trop élevées. Puisqu'il semble impossible dans ces conditions d'obtenir une valeur absolue réaliste, nous avons modifié les densités de neige fournies à EQueau (**II) afin d'obtenir pour le sous-bassin de LG4, une moyenne d'équivalent en eau comparable aux mesures de terrain (environ 220 mm). Après plusieurs tests, ces densités sont finalement basées sur les valeurs minimales mesurées pour chaque classe d'occupation du sol (secteur LG3-Caniapiscou), lors de la campagne de terrain de février 2000. EQueau a été appliqué à l'échelle du pixel de l'image (50 m) et la carte résultante (Figure 12) a été ré-échantillonnée à une maille de 500m. La classe dominante y est maintenant de 201 à 250 mm, mais les différences entre les faisceaux sont encore visibles.

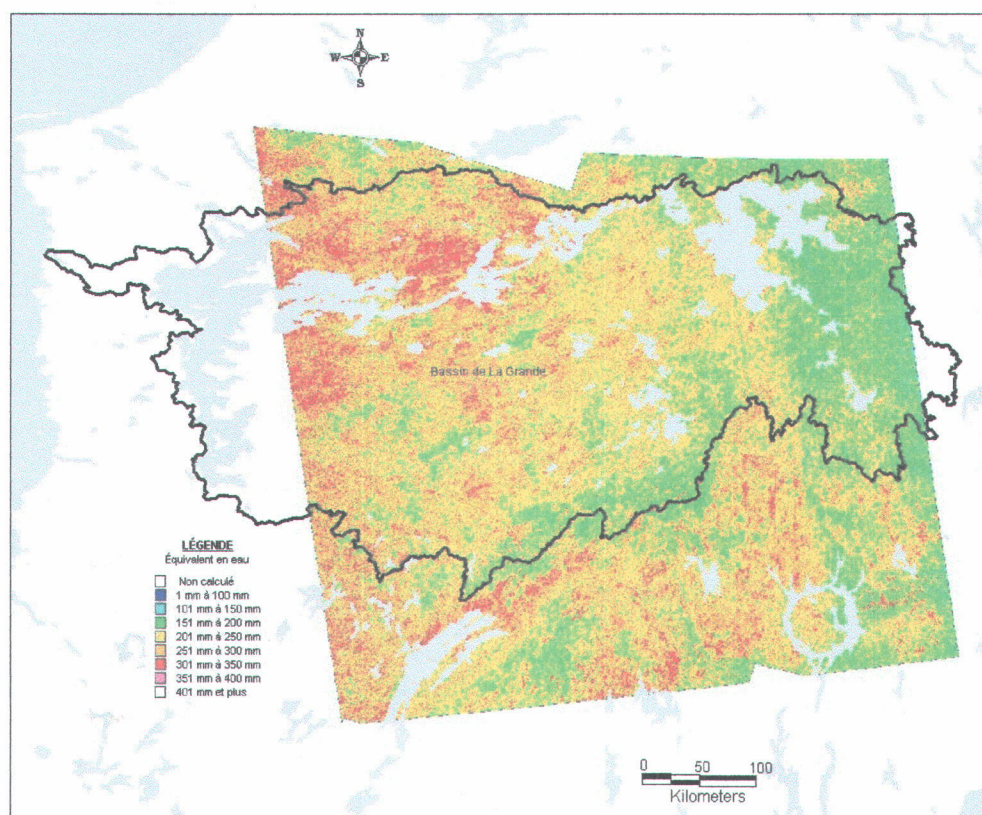


Figure 12 : Cartographie de l'équivalent en eau estimé par EQeau pour le 18 mars 2000

Les moyennes ainsi calculées sur chaque bassin couvert par l'image ScanSAR sont présentées au Tableau 18.

Tableau 18 : Résultats de l'application d'EQeau du 18 mars 2000

	Moyenne d'équivalent en eau [mm] par sous-bassins	Écart-type [mm]	% Superficie couverte
LG2	256	38	49
LG3	250	34	91
LG4	233	40	100
LA1	231	38	100
Caniapiscau	211	42	98
Eastmain	-	35	89
Opinaca	250	39	48
Outardes	-	-	56
Manicouagan	218	62	73

Les relevés de terrain de l'INRS-Eau et d'Hydro-Québec pour le secteur LG3-Caniapiscou indiquent un équivalent en eau moyen de l'ordre de 220 mm. Celui des secteurs plus à l'ouest et au sud-ouest est plus faible, à environ 170 mm. Quant aux données de la station météorologique (Figure 13), elles permettent d'estimer un équivalent en eau de 207 mm.

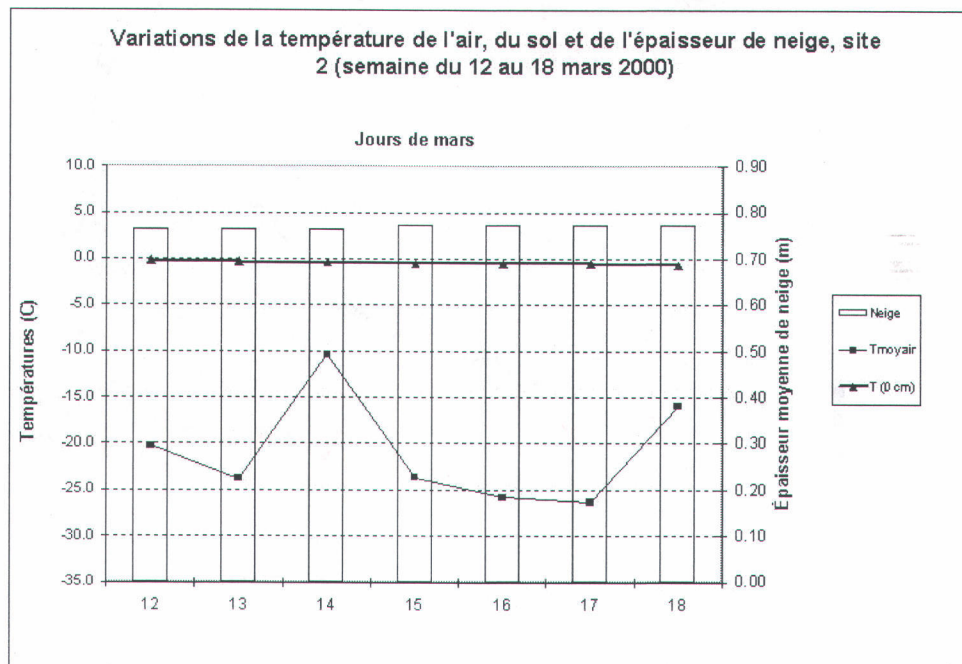


Figure 13 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite

Le tableau 19 montre que les valeurs obtenues avec les densités ajustées sont réalistes. Par contre, la figure 12 a bien démontré que même en ajustant la moyenne absolue de l'équivalent en eau, il n'est pas possible, dans les conditions prévalant à l'hiver 2000, d'obtenir une distribution spatiale fiable et sans artefact à partir de l'image ScanSAR.

Tableau 19 : Validation des équivalents en eau estimés par EQueau le 18 mars 2000

Équivalents en eau [mm]			
Estimations RADARSAT	Interpolations Hydro-Québec	Mesures au sol (LG3-Caniap.)	Station météorologique du site #2 (secteur LG4-Laforge)
211 à 256 mm	-	175-261 mm (moyenne 225 mm)	207 mm (basé sur une hauteur de 77 cm et une densité de 267 kg/m ³)

4.7 Application du 21 mars 2000

L'image du 21 mars a été acquise sur la portion ouest du bassin, tout comme l'image du 2 février. Cette image aurait pu confirmer la meilleure performance de l'orbite #3151 pour l'estimation de l'équivalent en eau de la neige à l'hiver 2000 mais ce ne fût pas possible. En effet, le 21 mars, un réchauffement des températures (Figure 14) et une pluie continue ont contribué à augmenter la température de la neige à la surface du couvert de neige (Figure 15), ce qui a rendu la neige humide en surface et atténué le signal radar dans le couvert de neige. Ainsi, il n'est pas possible d'appliquer EQeau pour estimer l'équivalent en eau de la neige.

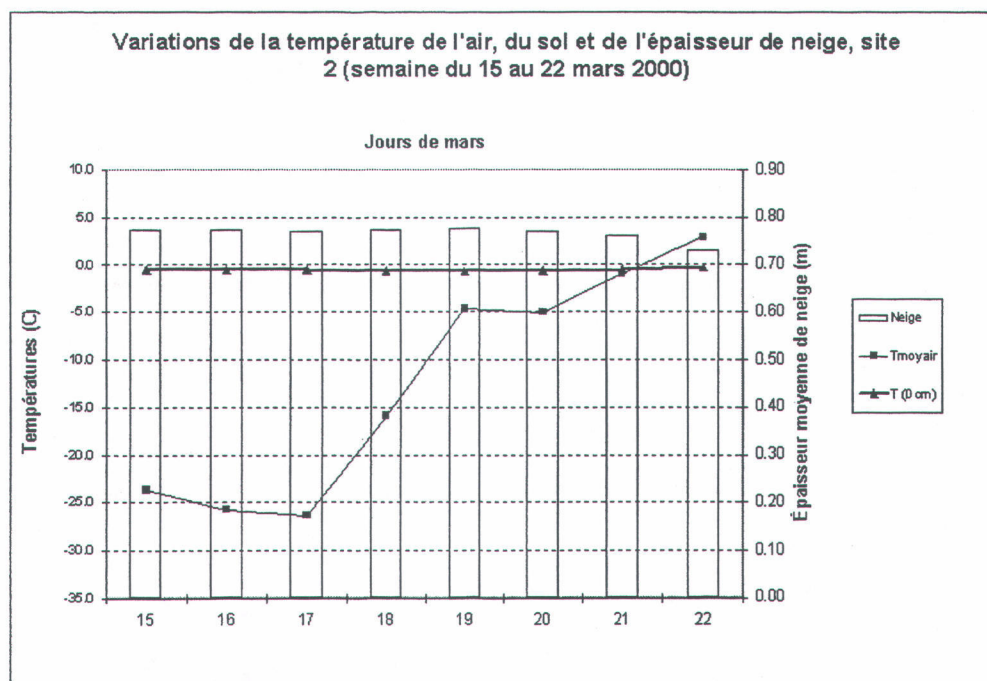


Figure 14 : Conditions environnementales prévalant avant et au moment du passage du satellite

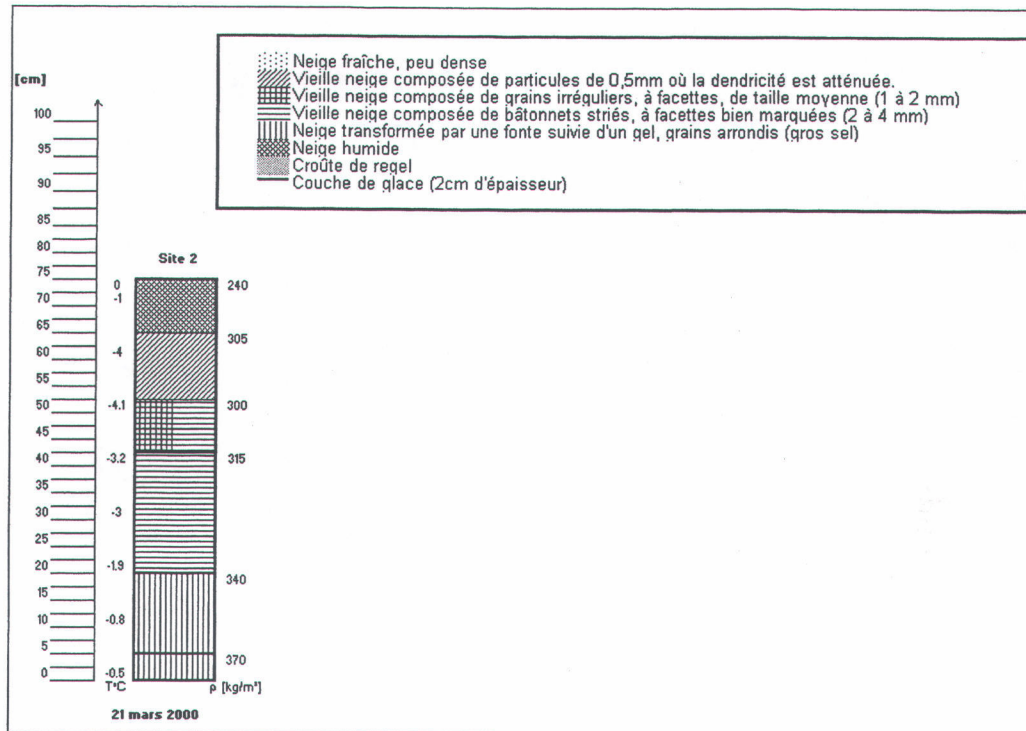
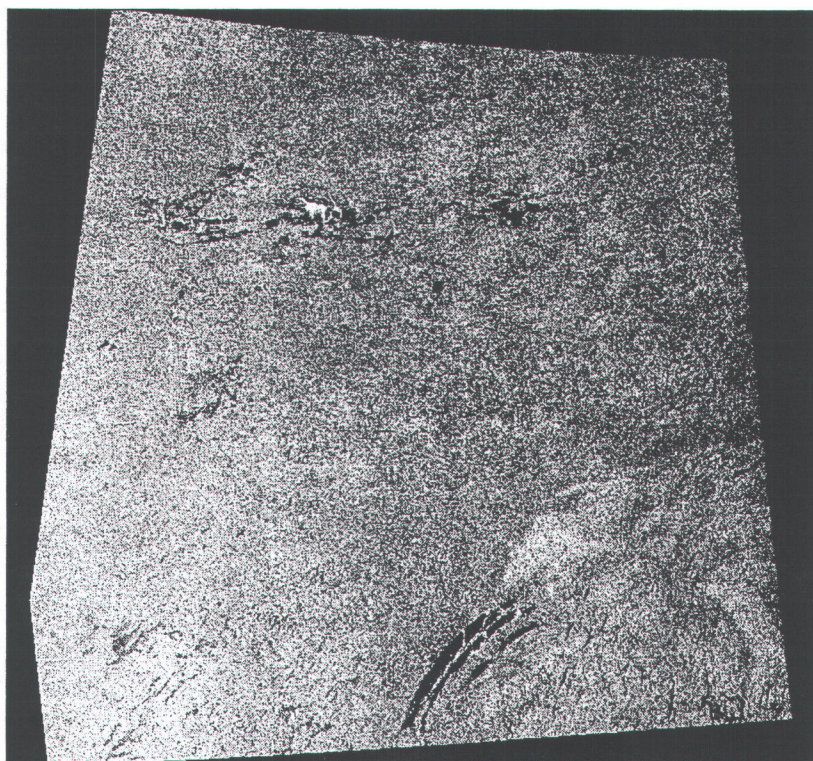


Figure 15 : Présence de neige humide dans le profil du couvert de neige au site #2 (secteur LG4-centre),
le 21 mars 2000

L'atténuation du signal radar par la présence de neige humide se traduit généralement par une baisse du coefficient de rétrodiffusion et par une augmentation du contraste entre les zones boisées et les zones dégagées (principalement les plans d'eau gelés) (Bernier *et al.*, 1998; Bagdadi *et al.*, 1999). En effet, la neige humide présente sur la glace des plans d'eau masque la rétrodiffusion de la glace et diminue fortement l'interaction du signal entre le sol et les arbres dans les zones dégagées (Magagi *et al.*, 2000). La figure 16 confirme ces observations puisque le 21 mars 2000, les lacs et réservoirs apparaissent en noir alors que les zones densément boisées y sont blanches. De même, les zones à dominance de brûlis, landes et tourbières ressortent en gris foncé alors que les forêts ouvertes sont en gris pâle. L'image RADSARSAT pourrait donc servir de complément aux images du visible et du proche infrarouge (AVHRR de la NOAA ou VEGETATION de SPOT-4) durant la période de fonte, par temps couvert (Bernier *et al.*, 2000).

a)



b)

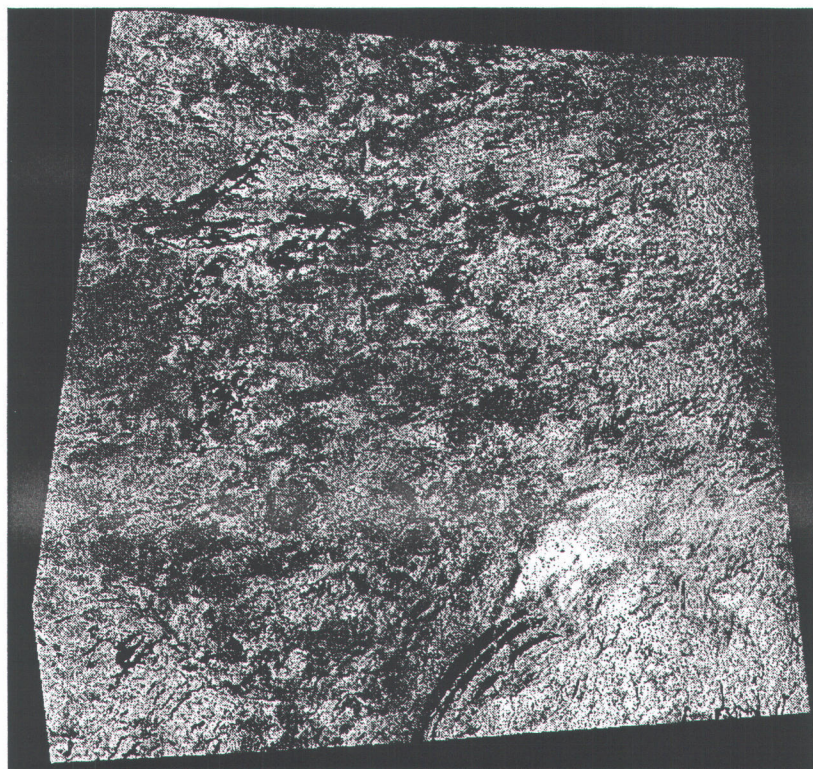


Figure 16 : a) Image ScanSAR rehaussée du 2 février 2000, b) Image ScanSAR rehaussée du 21 mars 2000

4.8 Bilan

La figure 17 présente le bilan des estimations d'équivalents en eau et des mesures au sol pour le secteur LG3-Caniaspiscau. On y retrouve également les données du secteur LG2-LG4, correspondant à l'acquisition du 2 février et celles du secteur LG4-Caniaspiscau correspondant à l'image du 1^{er} mars. Dans le cas du 18 mars, on retrouve les estimations effectuées avec les densités de neige réelles et celles obtenues avec des densités modifiées (Tableau 17). Cette figure confirme que les équivalents en eau fournis par E_Qeau sont généralement surestimés par rapport à l'information disponible sur les conditions au sol. Le chapitre 5 se penchera sur les causes possibles de cette surestimation.

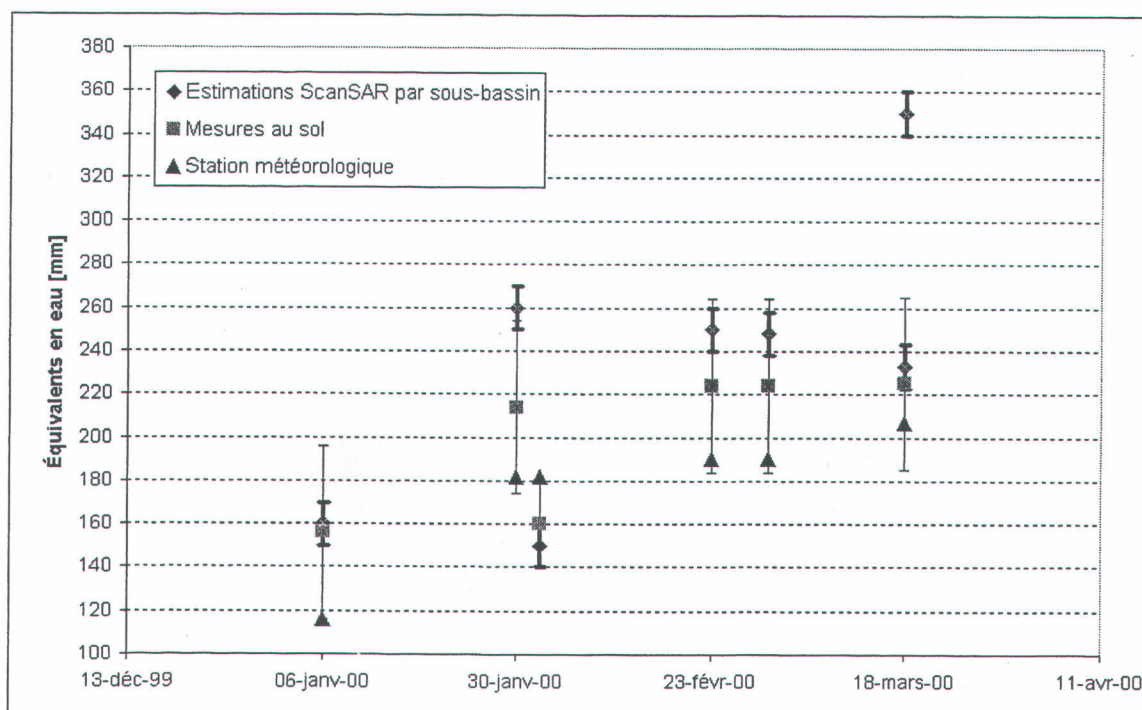


Figure 17 : Comparaison des différentes mesures et estimations d'équivalents en eau

5. ANALYSE DES RÉSULTATS D'EQueau DE L'HIVER 2000

À la base de l'approche EQueau, il y a l'algorithme utilisé par EQueau, c'est-à-dire la relation empirique établie au cours des dernières années, entre le rapport de rétrodiffusion des images RADARSAT et la résistance thermique du couvert de neige. Pour expliquer ce qui a pu affecter les résultats de l'hiver 2000, il faut d'abord valider la relation entre ces deux paramètres.

5.1 Analyse de la relation entre le rapport de rétrodiffusion des images RADARSAT et la résistance thermique du couvert de neige à l'hiver 2000.

La résistance thermique du couvert de neige fût mesurée sur plusieurs sites d'échantillonnage lors des campagnes de terrain INRS-HQ (31 janvier-3 février et 20-23 mars 2000). Pour les images de neige sèche correspondant aux dates des campagnes de terrain (30 janvier, 2 février et 18 mars), les rapports de rétrodiffusion ont été calculés sur ces même sites. Rappelons que les rapports de rétrodiffusion sont calculés en soustrayant les intensités en décibels d'une image d'hiver et les intensités en décibels d'une image de référence (automne). La figure 18 montre la relation précédemment établie entre les deux paramètres concernés, sur laquelle on a ajouté les valeurs de l'hiver 2000. De façon évidente, les valeurs de l'hiver 2000 ne correspondent pas du tout à ce qui a été observé au cours des dernières années. En utilisant l'algorithme actuel d'EQueau, les rapports de rétrodiffusion calculés cette année se traduisent par des résistances thermiques estimées nettement supérieures aux mesures de terrain, ce qui explique les équivalents en eau surestimés présentés au chapitre 4.

Deux hypothèses sont donc à vérifier :

Hypothèse 1.

En admettant que les mesures de terrain soient fiables, il se peut qu'en raison d'un automne et d'un hiver plus doux jumelé à une chute de neige précoce, l'impact de la résistance thermique du couvert de neige sur la température et la profondeur de gel du sol soit différent de celui observé

lors des années précédentes. Autrement dit, pour une même résistance thermique, on aurait cette année, un sol moins froid et gelé moins profondément qu'à l'habitude.

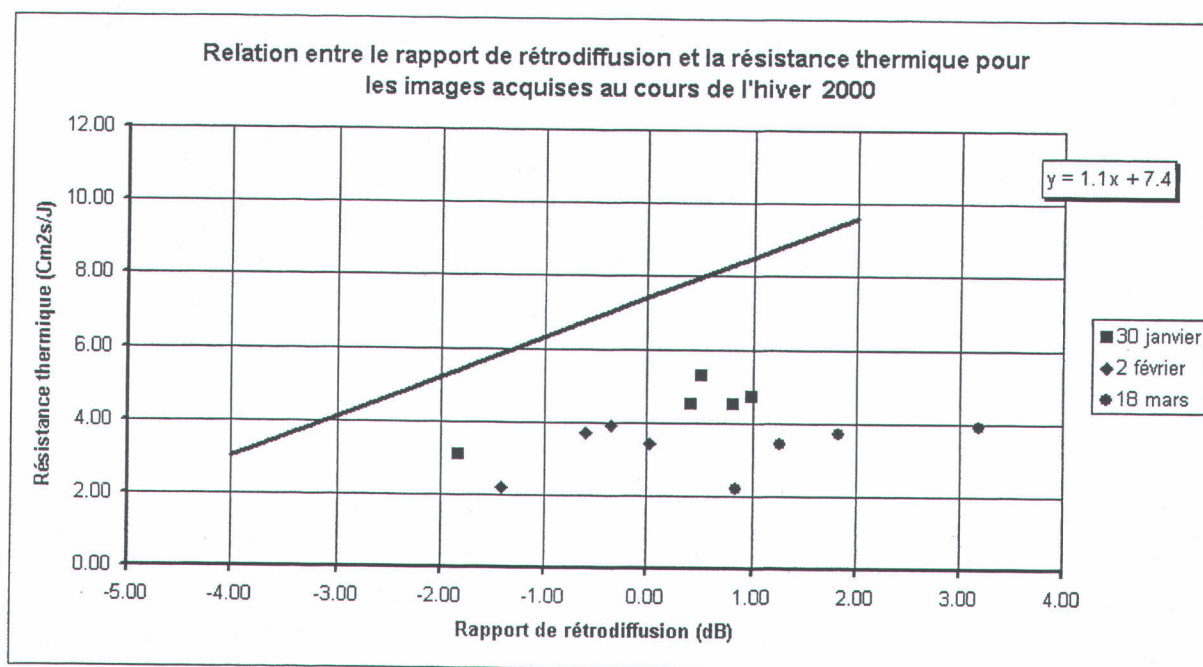


Figure 18 : Relation entre le rapport de rétrodiffusion des images RADARSAT et la résistance thermique du couvert de neige pour l'hiver 2000, comparée à la relation utilisée dans EQeau.

Hypothèse 2.

Les rapports de rétrodiffusion calculés sont trop élevés parce que l'une ou les deux images utilisées dans les calculs comportent des valeurs ne correspondant plus aux propriétés physiques du sol. Autrement dit, l'échelle des intensités radar sur les images ScanSAR a été modifiée depuis le développement de l'algorithme.

5.2 Vérification de l'hypothèse 1 : Un hiver plus doux?

Afin de vérifier si l'hiver 2000 était significativement différent des hivers précédents, nous disposons des données de trois stations météorologiques installées dans le secteur LG4-LA1 depuis décembre 1996. Toutefois, en raison de problèmes techniques, certaines données sont manquantes. Il arrive qu'une station ne fonctionne pas pour une courte période ou dans certains cas, pour une saison complète. Malgré tout, il a été possible d'établir un portrait général des

conditions environnementales de ce secteur pour les hivers 1996-1997, 1997-1998, 1998-1999 et 1999-2000. Les paramètres considérés sont : température de l'air (min, moy, max), température moyenne à la surface du sol et épaisseur de neige moyenne. La figure 19 montre qu'à l'échelle du mois, les températures de l'air à l'hiver 1999-2000 sont comparables à celles de 1998-1999 pour les mois de décembre et janvier. Par la suite, l'hiver 2000 est légèrement plus froid. Nous ne disposons toutefois pas de données pour les mois d'octobre à décembre 1999, ce qui nous aurait permis de voir le régime thermique de l'automne. Au niveau de l'épaisseur de neige, les mois de décembre 1999 et 2000 sont comparables mais il y a ensuite significativement moins de neige en 2000. Enfin, la température à la surface du sol semble un peu moins froide en 2000. À première vue, l'hiver 2000 n'est donc pas particulièrement doux, ni très différent des hivers précédents. Par contre, il nous manque des données pour la période octobre-décembre, qui peut être critique au niveau du régime thermique du sol. Des observateurs confirment toutefois que les 19 et 22 novembre, le sol n'est pas gelé et qu'il y a environ 40 cm de neige au sol entre LG4 et Caniapiscau. C'est d'ailleurs pour vérifier si les conditions particulières de l'automne 1999 pouvaient être à l'origine des résultats obtenus en janvier 2000 que l'image du 1^{er} mars a été acquise. Celle-ci est sur la même orbite que les images de l'hiver 1999 et nous pouvions ainsi utiliser l'image de référence du 7 novembre 1998. Les résultats n'ont toutefois pas été concluants. Il demeure que si l'image de référence de 1999 n'est pas acquise dans des conditions similaires à l'automne 1998, cela peut influencer la performance de l'algorithme.

Pour avoir une meilleure idée des différences entre les hivers 1997 à 2000, nous avons calculé un indice cumulé des températures de l'air moyennes quotidiennes, de la température à la surface du sol et de l'épaisseur de neige. Malheureusement, aucune donnée n'est disponible en octobre et novembre 1999. Les indices sont donc calculés à partir de la mi-décembre. Au tableau 20, nous présentons la valeur de ces indices, au moment de chaque acquisition d'image de l'hiver 2000.

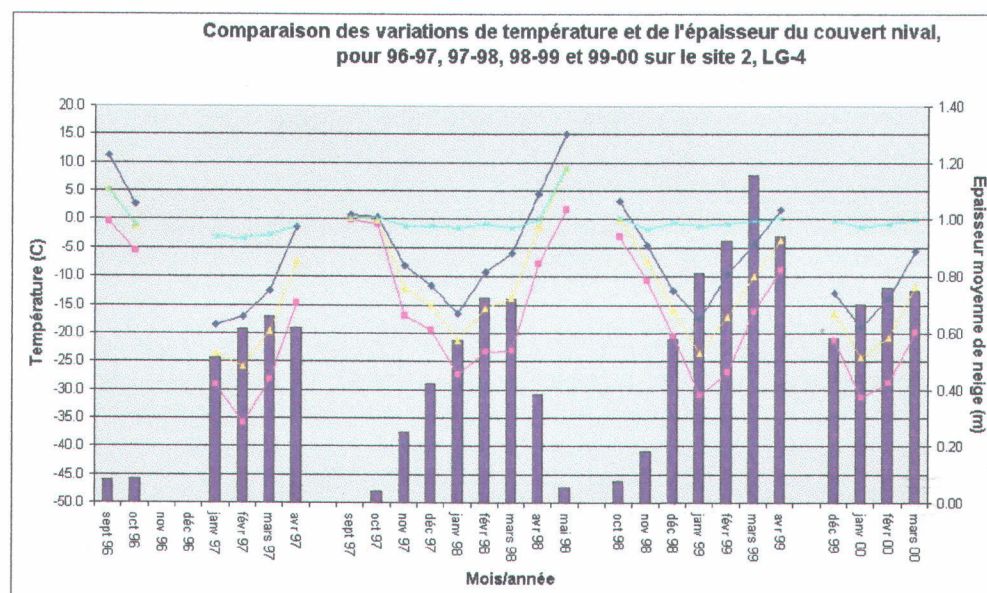


Figure 19 : Conditions environnementales moyennes des quatre derniers hivers

Tableau 20 : Indices cumulés à la date des acquisitions d'images de l'hiver 2000

	1996-1997			1997-1998			1998-1999			1999-2000		
	Tmoy	T 0cm	Neige	Tmoy	T 0cm	Neige	Tmoy	T 0cm	Neige	Tmoy	T 0cm	Neige
06-janv	-406	-89	11	-421	-33	12	-398	-24	16	-369	-15	15
30-janv	-820	-156	24	-777	-69	26	-837	-48	36	-824	-48	32
02-févr	-876	-166	25	-813	-71	28	-867	-51	39	-854	-51	34
23-févr	-1243	-238	38	-1054	-92	43	-1112	-66	58	-865	-53	50
01-mars	-1259	-239	42	-1075	-94	48	-1141	-68	64	-880	-55	56
18-mars	-1609	-311	53	-1188	-110	60	-1274	-80	84	-1376	-78	68

Pour l'indice de température de l'air (Tmoy), on remarque que pour un 6 janvier, c'est en 2000 qu'il est le plus haut. Donc la période du 13 décembre 1999 au 6 janvier 2000 est un peu plus douce que les années précédentes. Par rapport à 1999, l'indice 2000 demeure légèrement plus haut en janvier et février mais devient plus bas, en mars. C'est donc un hiver qui démarra doucement mais qui s'étira plus longtemps. Au niveau de l'épaisseur de neige, l'indice est plus élevé en 1999 et en 2000 qu'en 1997 et en 1998. Pour un 6 janvier, les indices 1999 et 2000 sont similaires mais par la suite, l'indice 1999 est toujours plus élevé. Ce qui signifie qu'en 2000, la neige est tombée tôt, mais qu'il y a eut peu de chutes de neige par la suite. Donc, la combinaison d'un début d'hiver plus doux et d'une chute de neige précoce fait qu'au 6 janvier 2000, l'indice de température à la surface du sol (T 0cm) est le plus haut des dernières années. Par contre, au 30 janvier, l'indice 2000 est comparable à l'hiver 1999. En résumé, l'hiver 2000 est assez semblable à l'hiver 1999, mais significativement plus doux que les hivers 1997 et 1998. Toutefois, si

l'algorithme a bien fonctionné auparavant, il n'y a pas d'indications sérieuses que les conditions de l'hiver 2000 soient différentes au point de donner des résultats erronés. Il demeure tout de même possible qu'en raison d'un automne plus doux, la profondeur du gel soit plus faible en 2000 et que cela puisse affecter les résultats. Une dernière comparaison possible entre les hivers de 1999 et 2000 peut se faire à partir des profils du couvert effectués sur le terrain. La figure 20 montre que pour les années 1999 et 2000, la stratification du couvert est similaire, à l'exception de mars 2000, où l'on détecte à la surface et dans le bas du profil, les effets de périodes plus chaudes.

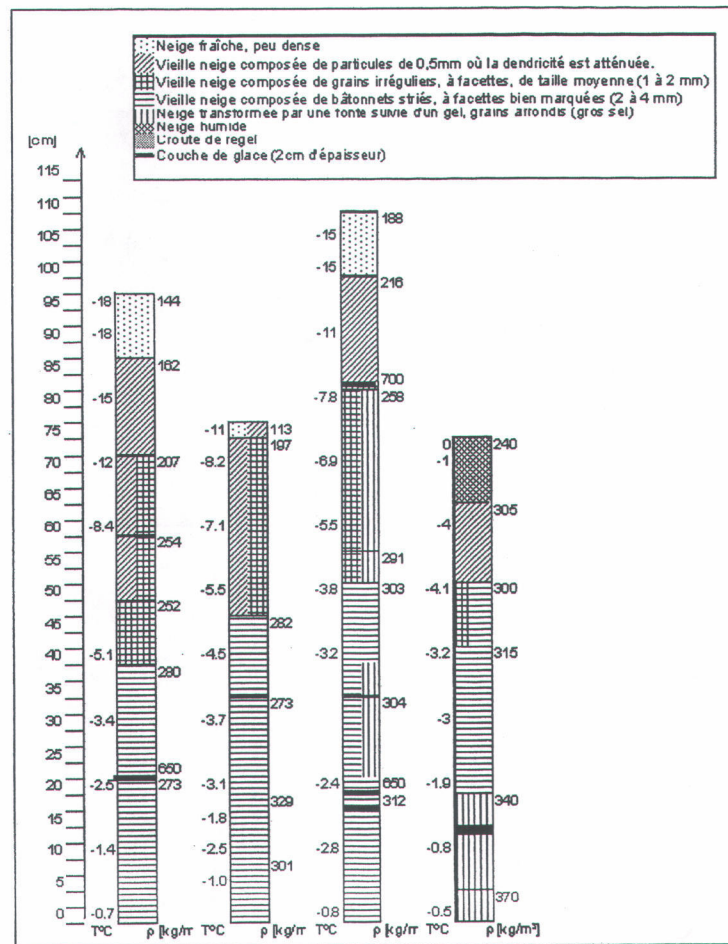


Figure 20 : Profils du couvert de neige au site #2 à l'hiver 1999 et à l'hiver 2000

5.3 Vérification de l'hypothèse 2 : Des coefficients modifiés?

La théorie sous-jacente à EQueau suppose que les coefficients de rétrodiffusion en début d'hiver sont bas parce que le temps froid sévit et que le couvert de neige est faible. Il en résulte un sol très froid et des coefficients de rétrodiffusion plus faibles. À mesure que le couvert de neige augmente, le sol gelé se réchauffe et les coefficients de rétrodiffusion augmentent. On devrait donc observer une certaine variation temporelle du signal radar entre les différentes images acquises au cours de l'hiver, comme ce fût le cas en 1999 (Bernier *et al.*, 1999). La figure 21 démontre toutefois que dans le cas des images de l'hiver 2000, les coefficients de rétrodiffusion extraits des sites d'échantillonnage sont demeurés similaires de novembre à février. Quelques différences sont visibles mais aucun patron significatif ne se dessine. Ce n'est que le 18 mars que l'on observe une hausse d'environ 1 dB du coefficient de rétrodiffusion. Cette hausse est d'ailleurs étrange puisque rien, dans les conditions environnementales, ne laisse présager une telle variation par rapport au 23 février.

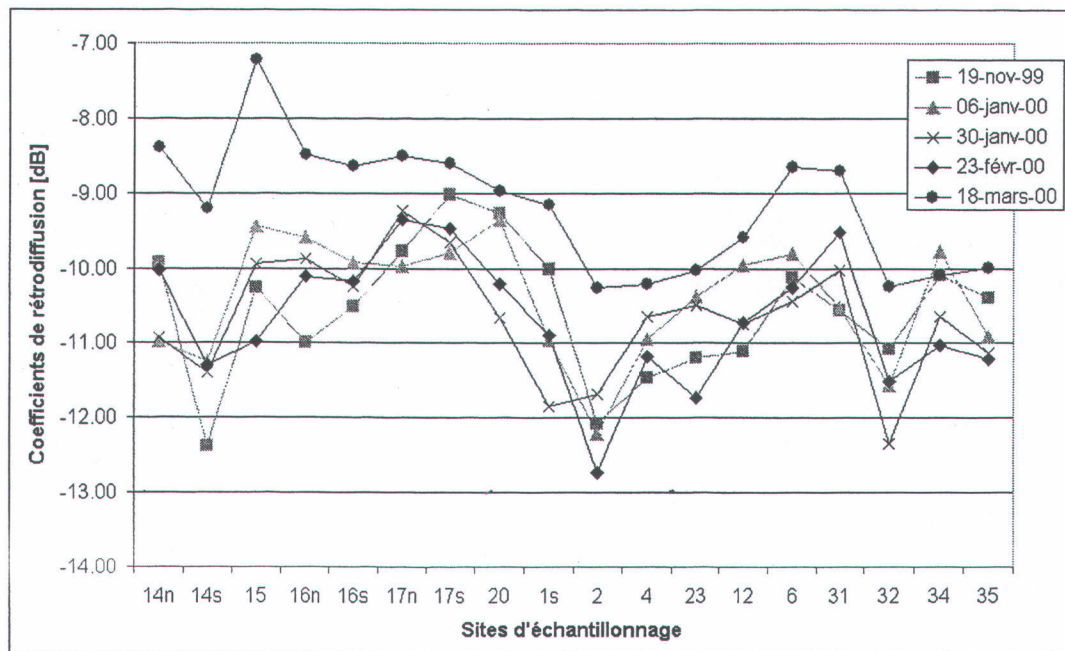


Figure 21 : Variation temporelle des coefficients de rétrodiffusion des sites d'échantillonnage sur les images de l'hiver 2000

Afin d'investiguer plus en détails le comportement des coefficient de rétrodiffusion, nous avons séparé chaque image en 30 bandes verticales d'environ 400 pixels de large chacune. Pour chaque bande, nous avons calculé la rétrodiffusion moyenne, obtenant ainsi un profil intégré verticalement du signal de rétrodiffusion d'une image, en fonction de l'angle d'incidence. La figure 22 présente les profils obtenus sur les 5 images de l'orbite #3746. Le comportement du signal en fonction de l'angle d'incidence y est identique pour chaque image. Ainsi, en calculant un rapport de rétrodiffusion entre deux images, on atténuera cet effet de l'angle d'incidence. Par contre, les coefficients du 18 mars sont de façon presque constante, 1.3 dB plus élevés que toutes les autres dates. Cela confirme donc les observations de la figure 21.

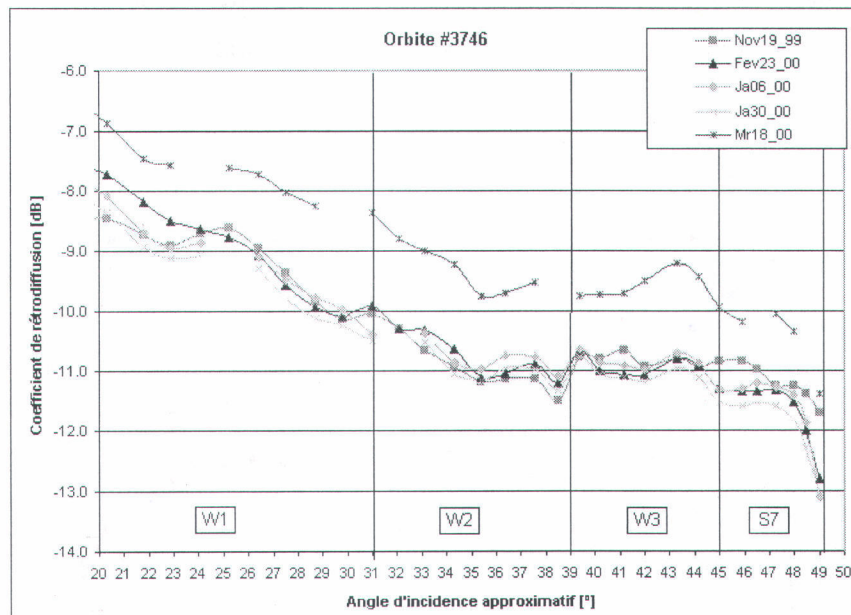


Figure 22 : Variation des coefficients de rétrodiffusion des images de l'orbite #3746 en fonction de l'angle d'incidence

Et si l'on fait abstraction du 18 mars, ce qui est inquiétant, c'est l'absence d'une variation temporelle significative du signal. Pourtant, même si l'automne 1999 fût plutôt doux, il y a une grande différence entre les conditions environnementales du mois de novembre (sol non-gelé) et celles du mois de mars 2000 (sol gelé). Les profils intégrés de la figure 22 nous montrent aussi qu'il existe quelques variations induites par la limite entre deux faisceaux, particulièrement entre W2 et W3, et de moindre façon, entre W3 et S7.

Sur l'orbite #3151 (Figure 23), les coefficients de rétrodiffusion des images du 22 novembre et du 2 février suivent un patron similaire à la figure 22, avec par contre, des différences un peu plus marquées entre les faisceaux. Toutefois, on remarque que les valeurs de l'image du 22 novembre (sol-non-gelé) sont systématiquement au-dessus des valeurs du 2 février, surtout pour les faibles angles d'incidence. Une baisse du signal correspond donc à une situation où le sol est plus froid en février qu'en novembre. Par contre, l'écart est généralement inférieur à 1 dB, ce qui est peu. Quant à l'image du 21 mars, la présence de neige humide fait disparaître l'effet de l'angle d'incidence. Des explications pourraient être apportées par les travaux de simulations de l'interaction du signal radar avec la végétation, le sol et la neige que mène actuellement le Dr Ramata Magagi (stagiaire post-doctorale) sur les images en mode Standard de 1996-1997. Le cas échéant, elles seront présentées dans le rapport de septembre 2000.

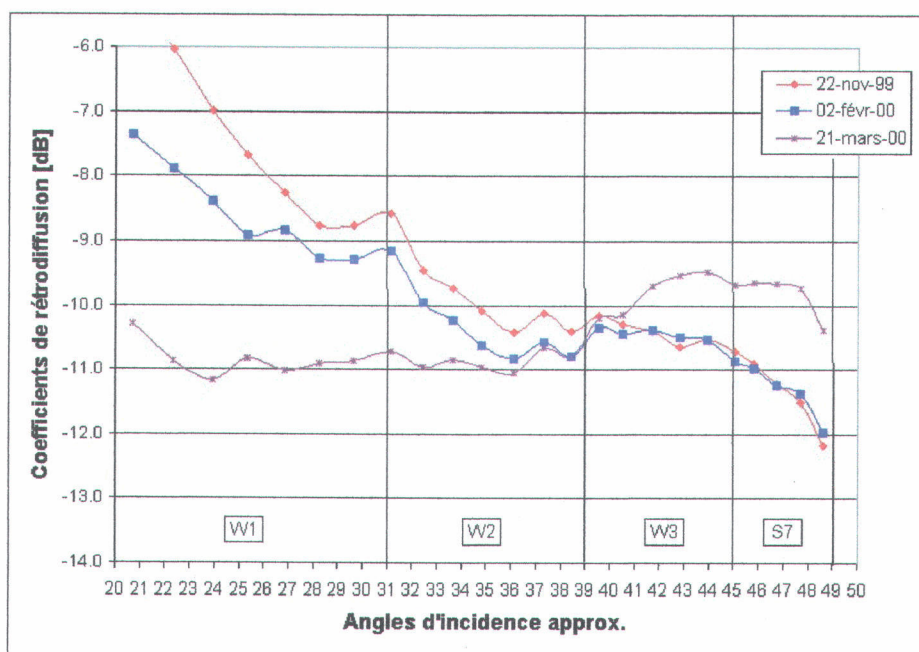


Figure 23 : Variation des coefficients de rétrodiffusion des images de l'orbite #3151 en fonction de l'angle d'incidence

Les observations faites à partir de ces profils intégrés sont primordiales puisque l'application d'EQueau est dépendante de la variation du signal en fonction des conditions environnementales. La question est maintenant de savoir pourquoi le signal varie maintenant si peu. En comparant le profil intégré de l'image du 1^{er} mars 2000 et celui du 7 novembre 1998, tous deux sur l'orbite

#3773, nous obtenons un élément de réponse (Figure 24). Le comportement du signal, donc la radiométrie, est significativement différent entre les deux dates. En novembre 1998, il y a de grandes variations attribuables aux limites de faisceaux. En 2000, le profil est beaucoup plus lisse et les limites de faisceaux moins évidentes. La carte des équivalents en eau sera donc biaisée par ces artefacts. Toutes ces observations portent à croire qu'un travail a été effectué par le producteur des données ScanSAR afin de réduire les artefacts inhérents à ces limites. Il se peut même que ce processus soit accompagné d'un certain lissage. Si c'est le cas, les valeurs des images ne sont plus représentatives des propriétés physiques du terrain et tout algorithme développé avant 2000 est difficilement applicable.

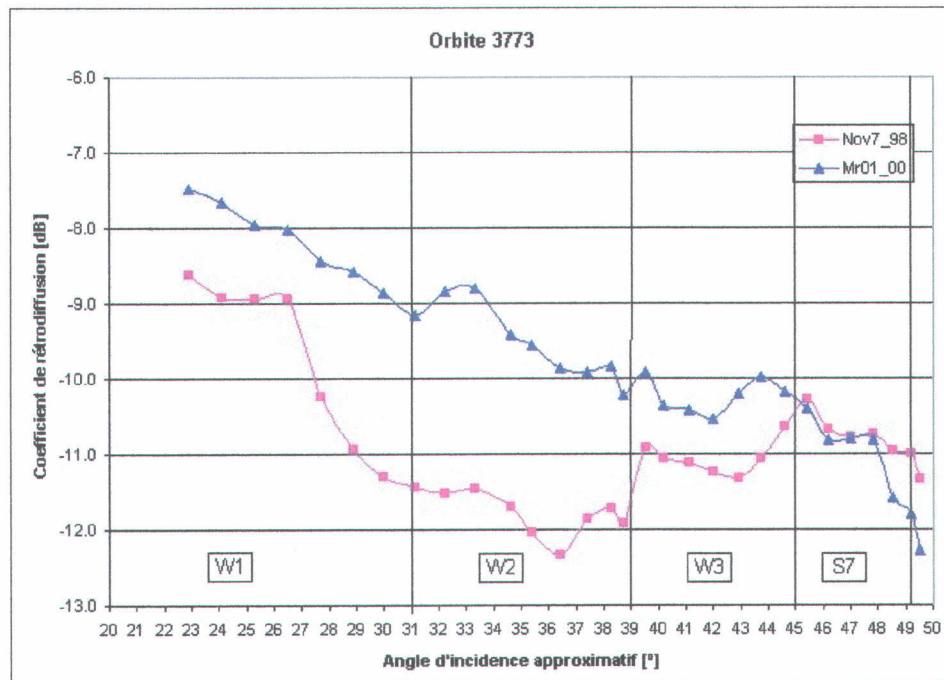


Figure 24 : Variation des coefficients de rétrodiffusion des images de l'orbite #3773 en fonction de l'angle d'incidence.

Des démarches ont été entreprises auprès du producteur de données ScanSAR afin de vérifier cette hypothèse. On nous confirme que certains travaux ont été effectués au niveau du contrôle de la qualité des images mais il est encore impossible au moment d'écrire ce rapport, de connaître la nature de ces travaux.

CONCLUSION

A l'hiver 2000, le suivi du couvert nival de la région de La Grande a été marqué par plusieurs nouveautés. Pour la première fois, l'analyse des images RADARSAT par le logiciel EQeau s'est faite en mode opérationnel donc les gestionnaires étaient aux aguets des résultats et leurs attentes élevées. Aussi, c'était la première année que plusieurs images ScanSAR étaient acquises au cours d'un même hiver ce qui nous a permis d'évaluer la stabilité du signal et la qualité radiométrique de ces images. De plus, le secteur cartographié était quatre fois plus étendu que celui des années passées donc plus diversifié du point de vue de l'occupation du sol et de la densité de la neige. De plus, nous avons des données au sol que pour trois des sept images.

Ce rapport d'étape a essentiellement présenté et discuté les résultats de l'application du logiciel EQeau sur l'ensemble des images acquises à l'hiver 2000 (objectifs spécifiques 1 et 2). Nous avons établi que les images surestimaient l'équivalent en eau de la neige au sol. Nous avons aussi tenté d'expliquer ce biais systématique. D'une part, les conditions environnementales lors de l'acquisition des images de référence n'étaient pas optimales: le sol était encore dégelé et il y avait une quarantaine de centimètres de neige au sol. D'autre part, des modifications auraient été apportées dans la production des images à la station de réception afin de réduire les artefacts entre les limites des faisceaux. Toutefois, ce processus aurait changé la dynamique du signal (radiométrie des images) ce qui diminue la performance de l'algorithme EQeau développé antérieurement à ce changement. Cette deuxième hypothèse sera validée auprès du producteur d'ici l'automne.

Dans les prochains mois, nous analyserons davantage la variation du signal à l'intérieur d'une image ScanSAR et l'effet des angles d'incidence. Nous étudierons la variabilité de la densité de la neige au sol sur l'ensemble du territoire de La Grande afin de vérifier l'applicabilité d'EQeau sur les bassins moins enneigés à l'ouest de celui de LG4 (objectif spécifique 3). Nous examinerons l'impact de la densité du couvert végétal sur la variation du coefficient de rétrodiffusion afin de vérifier l'applicabilité d'EQeau sur les bassins plus forestiers au sud de celui de LG4 (objectif spécifique 4).

Dans le rapport d'étape du 30 septembre prochain, nous ferons nos recommandations concernant le type (mode, orbites) et le nombre d'images RADARSAT à acquérir pour l'hiver 2001. Toutefois, déjà, nous sommes d'avis que de nouvelles images de référence devront être prises à l'automne 2000 et que des images en mode Wide devront aussi été acquises pour valider les images ScanSAR.

BIBLIOGRAPHIE

- BAGHDADI, N., GAUTHIER Y., BERNIER, M. et J.P. FORTIN (2000). Potential and limitations of RADARSAT SAR Data for Wet Snow Monitoring. *IEEE Transaction of Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 38, No. 1, pp. 316-320.
- BERNIER, M., J.P. FORTIN, Y. GAUTHIER, R. TURCOTTE et A. EL BATTAY (2000). Combined use of VEGETATION and RADARSAT data for updating areal distribution and water equivalent of snow cover, in the HYDROTEL hydrological forecasting model. Vegetation 2000, Belgirate, Italy, 3-6 April.
- BERNIER, M., J.P. FORTIN, Y. GAUTHIER, R. TURCOTTE et A. ROYER (1999). 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. INRS-Eau, rapport de recherche No R543, 30 juin 1999, 35 pages.
- BERNIER, M., J.P. FORTIN, Y. GAUTHIER, E. SALVANO et A. ROYER (1999a). 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. INRS-Eau, rapport de recherche No R543c, 30 septembre 1999, 32 pages.
- BERNIER, M., J.P. FORTIN, Y. GAUTHIER, R. TURCOTTE et A. ROYER (1998). Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT. Rapport d'étape pour Prévisions et Ressources Hydriques Hydro-Québec. INRS-Eau rapport de recherche No R523-C, 30 septembre.
- FORTIN, J.P., R. MOUSSA, C. BOCQUILLON et J.P. VILLENEUVE (1995). HYDROTEL, un modèle hydrologique distribué pouvant bénéficier des données fournies par la télédétection et les systèmes d'information géographique. *Revue des sciences de l'eau*, 8(1): 97-124.

MAGAGI, R. and M. BERNIER (2000). Understanding the vegetation effect over snow-covered areas. Proceedings of IGARSS 2000, Hawai, USA.

ANNEXE

Texte à paraître dans les Comptes-rendus du Remote Sensing in Hydrology 2000 Symposium, Santa Fe, USA, 2-7 Avril 2000.

Operational determination of snow water equivalent using Radarsat data over a large hydroelectric complex in Eastern Canada

YVES GAUTHIER, MONIQUE BERNIER, JEAN-PIERRE FORTIN

INRS-Eau, Université du Québec, 2800 rue Einstein, C.P. 7500, Sainte-Foy (Québec), Canada, G1V 4C7

e-mail: gautyves@inrs-eau.quebec.ca

RAYMOND GAUTHIER, RENÉ ROY

Prévisions et Ressources Hydriques, Hydro-Québec, 75 René-Lévesque Ouest, 9ième étage, Montréal (Québec), Canada, H2Z 1A4

e-mail: gauthier.raymond@hydro.qc.ca

PIERRE VINCENT

Viasat Géo-Technologie, 419 boul. Rosemont, Montréal (Québec), Canada, H2S 1Z2

e-mail: pvincent@viasat-geo.com

Abstract For the 1998-1999 winter, we have demonstrated the operational feasibility of using RADARSAT ScanSAR data to estimate the spatial distribution of Snow Water Equivalent (SWE) in the La Grande River basin, a large hydroelectric complex located in a subarctic climatic region (Northern Québec, Canada). The algorithms and procedures developed in this project have been implemented within a MapInfoTM application that has been named *EQeau*. Analysis and use of ScanSAR images have shown that they could yield results similar to Wide mode images, despite their lower resolution. On a sub-basin level, *EQeau* and ScanSAR images have given similar SWE ($\pm 1-12\%$) than those derived from Hydro-Quebec snow lines for January and March 1999.

INTRODUCTION

Determining the Snow Water Equivalent (SWE) on large and remote basins constitutes an everyday challenge for hydrologists and hydroelectric complex managers. Such is the case for the

La Grande River basin (Northern Québec, Canada), a large hydroelectric complex covering 184 000 km² above the 52nd parallel. Located in a subarctic climatic region, the La Grande River basin receives most of its precipitation as snow. Obtaining an accurate estimation of the SWE for this region can have great economical repercussions by optimizing dam operations as well as affecting marketing strategies. However, since the basin is so large and in a remote and hardly accessible area, direct measurements of the SWE are costly and generally very sparse.

Consequently, the goal of this project was to demonstrate the operational feasibility of using RADARSAT SAR data to estimate the spatial distribution of SWE in a large hydroelectric complex such as the La Grande River basin. The objectives were not only the development of a reliable estimation method, but also the development of a MapInfoTM application (*EQeau*) to apply the method and facilitate the integration of the results into the existing Hydro-Quebec water supply forecasting process. The scope of this paper is to briefly present and discuss the 1999 results obtained by *EQeau* with ScanSAR images, which are more interesting for their large coverage and higher cost-benefit ratio (Martin *et al.*, 1999).

THE APPROACH

The method and algorithms behind *EQeau* are based on studies conducted by INRS-Eau in agricultural areas of southern Québec (Bernier & Fortin, 1998) and in open forest areas of northern Québec with ERS-1 SAR images (Bernier *et al.*, 1999) and adapted for RADARSAT SAR data in the same open forest environment (Bernier *et al.*, 1999b). The underlying physical principles are the following:

- The snow cover characteristics, mainly its insulation properties (further called thermal resistance (R)) influence the underlying soil temperature.
- The dielectric constant of the soil varies with the soil temperature under 0°C. The colder the soil surface is, the lower is the dielectric constant.
- The backscattering signal from the soil is influenced by the soil dielectric constant and by the penetration depth of the frost in the soil.
- Consequently, the snow cover characteristics, influence the backscattering signal recorded by the SAR sensor.

Following this development, the algorithm used to recover the SWE from SAR data is derived from two equations documented in Bernier & Fortin (1998) and Bernier *et al* (1999). The first equation is the linear relationship between the snow thermal resistance and the backscattering ratio between a winter image and a reference (snow-free) image ($\sigma_w^\circ - \sigma_r^\circ$) in dB. The second

equation of the algorithm infers the SWE from the estimated snow thermal resistance and a function of the mean density of the snow cover (obtained from snow lines or snow models). This density is spatially distributed according to the land cover, obtained by the classification of Landsat-5 images.

DATA AND STUDY SITE

The experimental phase of the project (1996-1998) was carried out over a section of the LG4 sub-basin, which could be covered by a single Radarsat Standard-1 type image (100 km X 100 km). The pre-operational phase of 1998-1999 was carried out over the three uppermost sub-basins of the La Grande River: LG4, LA1 and Caniapiscou (total area of 75 000 km²) (Fig.1). This area consists of moderately dense black spruce forest, open land, burned areas and peat bogs. Three Radarsat Wide-1 type images (150 km X 150 km) were used to cover 75% of the area within three days (Bernier *et al.*, 1999). However, when calibrated ScanSAR Wide products (SCW) became available for the same time frames, we were also able to acquire ScanSAR images, which completely cover the three sub-basins (Fig.1). Table 1 shows the general characteristics and differences of each Radarsat product and the dates of acquisition of the 1998-1999 images.

All images are processed with the following sequence: inversion of the Look-up table, transformation of DN values into power values, geometric correction using a DEM, image filtering and computation of the backscattering coefficient (σ°_i) for each pixel. Thereafter the image can be imported within *EQeau*, where the backscattering ratio is calculated for each pixel. The backscattering contribution of vegetation and topography being generally similar on both images, this ratio ($\sigma^{\circ}_w - \sigma^{\circ}_r$) is used to reduce their impact and to isolate the signal variations induced by the snow cover characteristics.

Concurrent to the image acquisitions of November, January and early March, detailed field measurements (snow lines or snow pits) were done on 30 test-sites and used in the validation and in the interpretation of the results.

ANALYSIS OF SCANSAR IMAGES AND SWE ESTIMATIONS

The four images were first analyzed to detect any artificial effect due to the ScanSAR mode. A first look at the images reveals a significant change of backscattering, between the W2 and W3 beams. There is a clear and sudden increase of signal at this point. A horizontal transect of all four images confirms this observation and detects more subtle changes between the W1 and W2 beams as well as between the W3 and S7 beams. However, these shifts are generally similar on all images and should therefore be canceled by the backscattering ratio, having no significant influence on the SWE estimations.

The next step is to evaluate the temporal variation of the backscattering coefficients. Mean values extracted from different areas of all images confirm a gradual 2 dB increase of the signal between early November and the end of March. This is consistent with a gradual warming of the soil, caused by the constant accumulation of snow and also by the less extreme air temperatures of March.

The last analysis before the actual estimation of SWE is to compare the ScanSAR backscattering coefficients with the ones obtained from the Wide images acquired in the same period. This comparison gives only a general idea for three reasons: 1) there are seven days between a ScanSAR and a Wide acquisition, 2) a certain area can be imaged with higher incidence angles with ScanSAR than with Wide beam and 3) there is a 70 m difference of resolution between both images. Nonetheless, comparisons indicate a good correlation between the signal of Wide and ScanSAR images, as well as more homogeneous coefficients from ScanSAR data.

Being satisfied with the quality of the ScanSAR data, we integrated them into *EQeau* to estimate the SWE for January 18, March 7 and March 31. The November 7 image was used as the reference image. The SWE was estimated for every non-water pixel and maps were created by interpolating at the 500 m resolution. *EQeau* also calculated the mean SWE for the three sub-basins of the study area. Results for ScanSAR data, Wide mode data and interpolations from Hydro-Quebec's field data are shown in Table 2.

For January 1999, results from RADARSAT data are almost identical to the ones obtained by conventional methods, particularly for the LG4 and LA1 sub-basins. Fig. 2 also shows a good correlation between the SWE estimated from ScanSAR and Wide images at this date. SWE are slightly underestimated (-10%) on the Caniapiscou sub-basin, if we consider the Hydro-Quebec values as a guide. The relief of this sub-basin is more accentuated than for the others and it is possible that snow lines are less representative of the area. For early March, RADARSAT data from the LG4 and LA1 basins differs by $\pm 6\%$ from the Hydro-Quebec values. Again it is on the Caniapiscou sub-basin that the SWE are underestimated (12%). However, in this case, Hydro-Quebec's measurements were done much later in the month. Finally, results for the end of March are still relatively good despite the fact that there was some snow melt a few days before and that the air temperature is warmer. However, these are limiting conditions for an effective and reliable use of *EQeau*.

CONCLUSION

This phase of the *EQeau* project has demonstrated that ScanSAR images can give similar SWE estimations as the ones obtained with Wide images and that these values were consistent with

mean SWE obtained from conventional snow line interpolation. Furthermore, results were successfully integrated within the Hydro-Quebec water supply forecasting process. The next step of the study is to apply *EQeau* on the entire La Grande River basin and to estimate SWE based on land cover classes and altitudes.

REFERENCES

- Bernier, M., Fortin, J.P., Gauthier, Y., Gauthier, R., Roy, R., & Vincent, P. (1999) Determination of Snow Water Equivalent Using Radarsat SAR Data in Eastern Canada. *Hydrol. Processes*, **13**, 3041-3051.
- Bernier, M., Fortin, J.P., Gauthier Y., Gauthier, R., Bisson J.L. & Vincent P. (1999b) Estimation de l'équivalent en eau du couvert nival au moyen d'images radar satellitaires, *Revue des sciences de l'eau*, **12** (2), 407-423 .
- Bernier, M. & Fortin J.P. (1998) The Potential of Times Series of C-band SAR Data to Monitor Dry and Shallow Snow cover. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **36** (1), 226-243.
- Martin, D., Bernier, M., Sasseville, J.L., & Charbonneau R. (1999) Évaluation financière de l'intégration de technologies satellitaires pour le suivi du couvert nival , au sein d'une entreprise hydroélectrique *Int. Journal of Remote Sensing*, **20** (10), 2033-2048.

Table 1 Characteristics of some Radarsat-1 products and dates of image data acquisitions.

Radarsat-1 beam mode	ScanSAR Wide	Wide 1	Standard 1
Coverage	500 km X 500 km	165 km X 165 km	100 km X 100 km
Nominal Resolution	100 m	30 m	30 m
Pixel size	50 m	12.5 m	12.5 m
Beam number	4	1	1
and incidence angles	W1 (20°-31°)	W1 (20°-31°)	S1 (20°-27°)
	W2 (31°-38°)		
	W3 (39°-45°)		
	S7 (45°-49°)		
Recording format	8 bit	16 bit	16 bit
Calibrated data	Yes	Yes	yes
Date of image acquisition	11/07/98	11/11 & 11/14/98	-
	01/18/99	01/22 & 01/25/99	-
	03/07/99	03/11/99	-
	03/31/99	-	-

Table 2 Mean SWE obtained from ScanSAR data, Wide mode data and field data in the winter of 1999.

Sub-basin	Mean SWE		
	From ScanSAR data	From Wide mode data	From field data
	Jan. 18, 1999	Jan. 22 & 25, 1999	Jan. 22-30, 1999
LA1	211 mm (100% of sub-basin)	216 mm (87% of sub-basin)	213 mm
LG4	216 mm (100% of sub-basin)	225 mm (74% of sub-basin)	214 mm
Caniapiscau	193 mm (100% of sub-basin)	189 mm (89% of sub-basin)	215 mm
	March 7, 1999	March 11, 1999	March 19-20, 1999
LA1	308 mm (100% of sub-basin)	307 mm (27% of sub-basin)	328 mm
LG4	328 mm (100% of sub-basin)	350 mm (23% of sub-basin)	304 mm
Caniapiscau	289 mm (100% of sub-basin)	312 mm (89% of sub-basin)	331 mm
	March 31, 1999		April 2-4, 1999
LA1	347 mm (100% of sub-basin)		332 mm
LG4	369 mm (100% of sub-basin)		314 mm
Caniapiscau	329 mm (100% of sub-basin)		331 mm

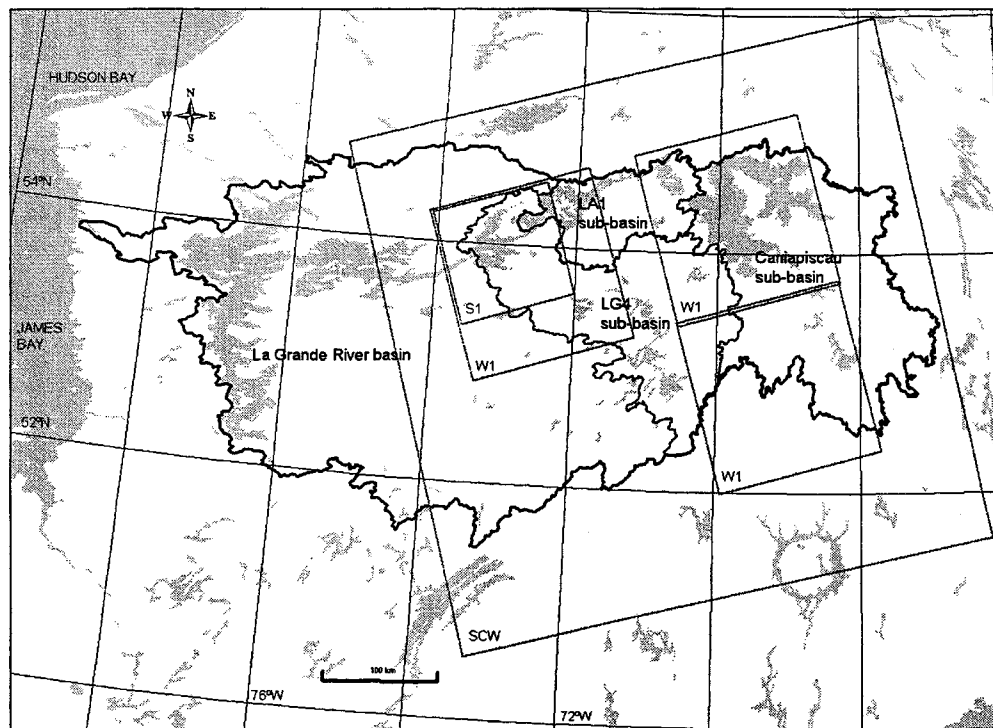


Fig.1 Study site and coverage of Radarsat images

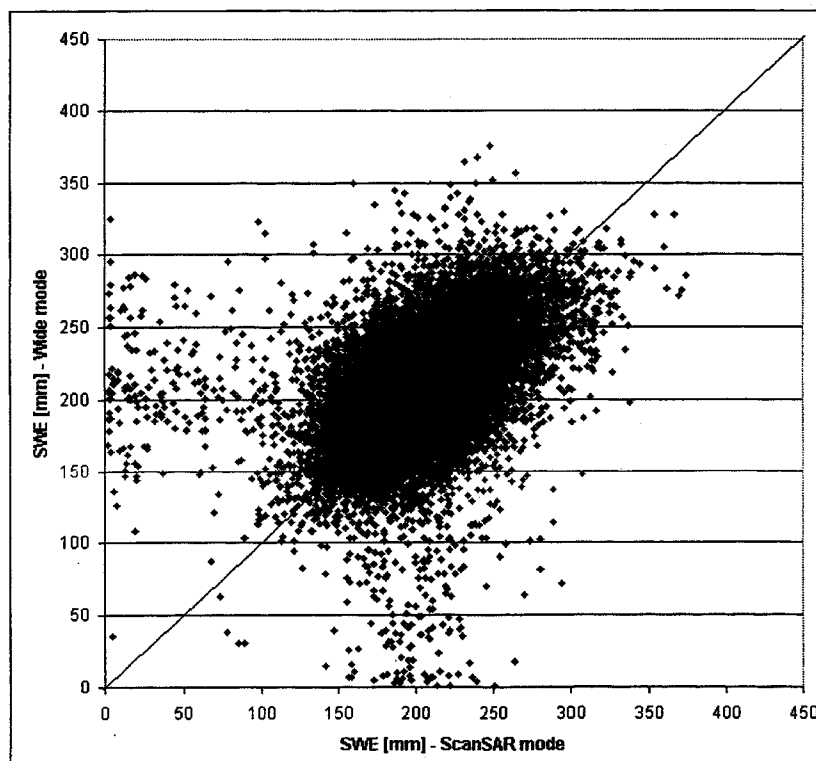


Fig.2 Comparison of SWE from ScanSAR and Wide mode data in January 1999