

**Record Number:** 20210  
**Author, Monographic:** Bernier, M./Gauthier, Y.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Description de l'approche de EQeau : Méthode opérationnelle d'estimation de l'équivalent en eau de la neige par imagerie RADARSAT. Rapport d'étape no 4  
**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1999  
**Original Publication Date:** 15 décembre 1999  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** ix, 25  
**Packaging Method:** pages  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 543 e4  
**Location/URL:**  
**ISBN:**  
**Notes:** Rapport annuel 1999-2000  
**Abstract:** Rédigé pour Prévisions et ressources hydriques Hydro-Québec  
Nonconfidentiel, **moins de 50 pages, pas de dépôt légal**  
Ancien R000543 d  
**Call Number:** R000543 e4  
**Keywords:** rapport/ ok

***Description de l'approche EQeau***

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

***Rapport de recherche No R-543d***

***15 décembre 1999***

# **Description de l'approche EQeau**

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

**préparée pour**

**Prévisions et Ressources hydriques  
Hydro-Québec**

**par**

**Monique Bernier et Yves Gauthier**

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

**Rapport de recherche No R543-d**

**15 décembre 1999**

## **L'ÉQUIPE R&D :**

### **INRS-Eau**

Monique Bernier, professeure en télédétection

Jean-Pierre Fortin, professeur en hydrologie

Yves Gauthier, agent de recherche en télédétection et géomatique

Richard Turcotte, ingénieur hydrologue

Alain Royer, technicien en informatique

### **VIASAT Géo-technologie**

Pierre Vincent, vice-président

Stéphane Hardy, spécialiste en télédétection

Marc Maurais, géomaticien

### **Hydro-Québec**

Raymond Gauthier et René Roy, conseillers

Prévisions et ressources hydriques

# TABLE DES MATIÈRES

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| TABLE DES MATIÈRES .....                           | V  |
| LISTE DES TABLEAUX .....                           | VI |
| LISTE DES FIGURES.....                             | IX |
| 1. INTRODUCTION .....                              | 1  |
| 2. DESCRIPTION DE L'APPROCHE EQEAU .....           | 3  |
| 2.1 PRINCIPES SOUS-JACENTS À L'APPROCHE EQEAU..... | 3  |
| 2.2 LES DONNÉES ESSENTIELLES .....                 | 4  |
| 2.3 LES IMAGES RADARSAT .....                      | 5  |
| 2.4 LE TRAITEMENT NUMÉRIQUE DES IMAGES .....       | 7  |
| 2.5 L'ALGORITHME D'EQEAU .....                     | 9  |
| 3. APPLICATION DE L'ALGORITHME .....               | 13 |
| 4. CONCLUSION .....                                | 17 |
| RÉFÉRENCES .....                                   | 19 |

## LISTE DES FIGURES

|            |                                                                                 |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURE 1:  | PRINCIPES SOUS-JACENTS DE L'APPROCHE EQEAU .....                                | 3  |
| FIGURE 2:  | MODES DE FONCTIONNEMENT DU ROS DE RADARSAT .....                                | 5  |
| FIGURE 3:  | COUVERTURE AU SOL DES DIFFÉRENTS TYPES D'IMAGES RADARSAT .....                  | 6  |
| FIGURE 4:  | CHAÎNE DE TRAITEMENTS APPLIQUÉE AUX IMAGES RADARSAT .....                       | 7  |
| FIGURE 5:  | OCCUPATION DU SOL OBTENUE À PARTI DES IMAGES LANDSAT-TM.....                    | 8  |
| FIGURE 6:  | EFFET DE LA RÉSISTANCE THERMIQUE DE LA NEIGE SUR LA TEMPÉRATURE DU SOL .....    | 9  |
| FIGURE 7:  | RELATION ENTRE LE RAPPORT DE RÉTRODIFFUSION ET LA RÉSISTANCE THERMIQUE .....    | 10 |
| FIGURE 8:  | RELATION ENTRE L'ÉQUIVALENT EN EAU ET LA RÉSISTANCE THERMIQUE DE LA NEIGE ..... | 11 |
| FIGURE 9:  | CARTOGRAPHIE DE L'ÉQUIVALENT EN EAU DE L'HIVER 1999.....                        | 14 |
| FIGURE 10: | ÉVALUATION DE L'INCERTITUDE SUR LES RÉSULTATS D'EQEAU (HIVER 1999).....         | 15 |

## LISTE DES TABLEAUX

|            |                                                                                                                             |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLEAU 1: | CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DE RADARSAT-1 ET 2 .....                                                                        | 5  |
| TABLEAU 2: | PARAMÈTRES D'ACQUISITION DE RADARSAT-1 .....                                                                                | 6  |
| TABLEAU 3: | DENSITÉS MOYENNES DE LA NEIGE AU SOL MESURÉES LORS DES CAMPAGNES DE TERRAIN<br>DE L'HIVER 1999 ET UTILISÉES PAR EQEAU ..... | 13 |

# 1 INTRODUCTION

---

EQeau est une application développée sous MapBasic™ pour estimer l'équivalent en eau de la neige au sol à partir des données du satellite canadien RADARSAT. EQeau a pour objectif de fournir à un coût abordable, une information fréquente et répartie spatialement, afin de réduire l'incertitude sur la mesure de l'équivalent en eau de la neige au sol.

L'application a été développée par VIASAT Géo-Technologie inc. et l'Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau) de l'Université du Québec, pour la Société Hydro-Québec. Ce projet a reçu le soutien technique et financier d'Hydro-Québec, de l'Agence Spatiale Canadienne et du Centre Canadien de Télédétection.

L'approche EQeau passe par l'établissement d'une relation entre le signal radar enregistré par le satellite et la résistance thermique du couvert de neige, afin d'estimer l'équivalent en eau. Le présent document explique l'approche EQeau : les principes physiques sous-jacents, les méthodes de traitement des images RADARSAT et Landsat, l'algorithme et son application.

## 2 DESCRIPTION DE L'APPROCHE EQeau

### 2.1 Principes sous-jacents à l'approche EQeau

La Figure 1, illustre les prémisses générales sous-jacentes à la méthodologie d'EQeau :

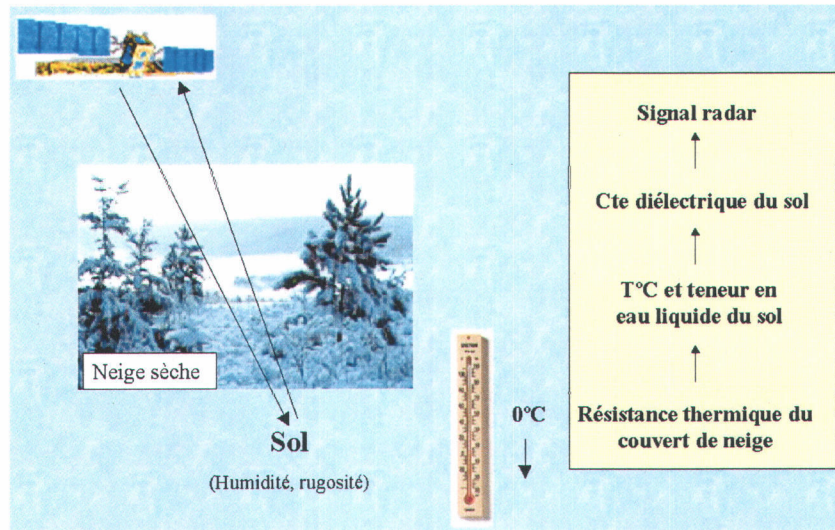


Figure 1 : Principes sous-jacents de l'approche EQeau

- En hiver, les caractéristiques d'un couvert de neige (épaisseur, densité) influencent les propriétés du sol sous-jacent (température du sol, profondeur de gel, teneur en eau, constante diélectrique);
- Lorsque la neige est sèche, le signal enregistré par le radar provient essentiellement du sol sous-jacent. Le radar est donc sensible aux changements des propriétés du sol;
- Les caractéristiques d'un couvert de neige (épaisseur, densité) influencent donc indirectement le signal radar, particulièrement lorsque le sol est gelé;
- Lorsque la neige est sèche, la caractéristique du couvert de neige ayant le plus d'influence sur le sol est la propriété d'isolation thermique du couvert de neige (résistance thermique);
- La résistance thermique est liée à l'équivalent en eau par la densité du couvert de neige.

## 2.2 Les données essentielles

L'application EQeau a besoin de quatre informations ou données principales pour produire sa cartographie de l'équivalent en eau de la neige au sol :

- 1) Une image RADARSAT de référence, acquise de préférence à la fin de l'automne, alors que le sol est gelé, mais qu'il y a peu de neige. La même image de référence peut-être utilisée pendant plusieurs années pour un territoire donné.
- 2) Une image RADARSAT d'hiver, acquise à la date pour laquelle on désire obtenir l'équivalent en eau de la neige au sol et obtenue selon les mêmes paramètres techniques que l'image de référence. La combinaison de ces deux images permet de réduire les effets dus à la topographie et à la végétation et de maximiser la détection des changements reliés aux caractéristiques du couvert de neige.
- 3) La densité moyenne du couvert de neige. Elle permet de calculer l'équivalent en eau de la neige à partir de la résistance thermique du couvert de neige estimée sur les images radar. Cette densité peut être obtenue par des mesures au sol, par une modélisation mathématique du couvert de neige ou par l'utilisation de données historiques.
- 4) La quatrième information utilisée par EQeau est l'occupation du sol. Elle permet d'abord de distribuer spatialement les valeurs de densité du couvert de neige disponibles. La densité du couvert de neige varie effectivement selon que l'on soit en secteur de forêt fermée, de forêt ouverte, de landes ou de brûlis. L'occupation du sol permet ensuite de déterminer les zones de lacs et de rivières. En effet, l'algorithme d'EQeau a été développé pour les secteurs terrestres seulement et dans sa version actuelle, il applique aux pixels d'eau, la valeur moyenne obtenue sur les pixels terrestres. L'occupation du sol peut être obtenue à partir de la classification d'images satellites de type Landsat. La même carte d'utilisation du sol peut-être utilisée pendant plusieurs années tant qu'il n'y aura pas de changements importants sur le territoire (feux de forêts majeurs, construction de nouvelles digues, ...).

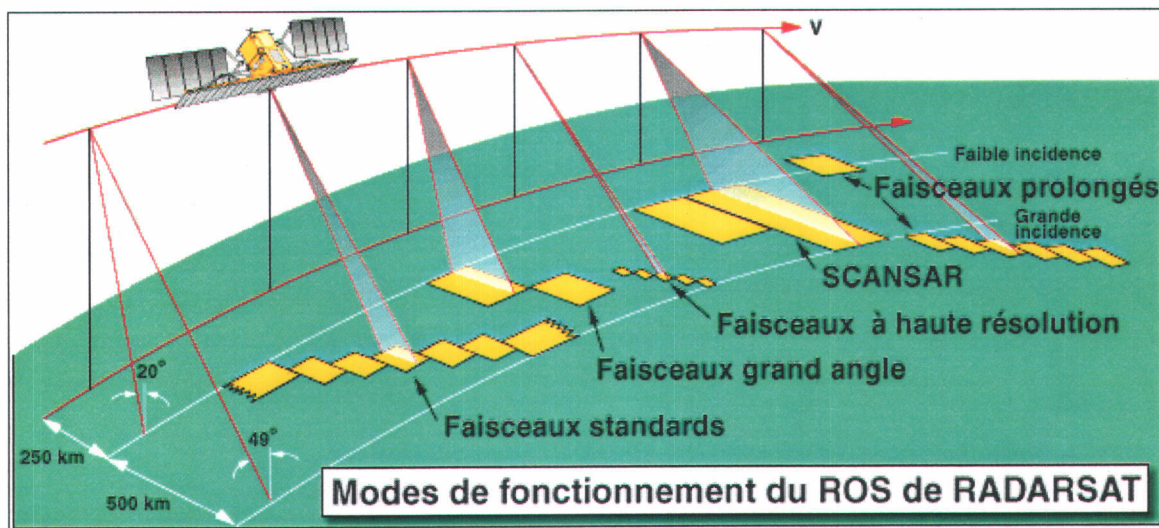
## 2.3 Les images RADARSAT

Les algorithmes utilisés dans la version actuelle d'EQeau sont basés sur les données extraites des images du satellite canadien RADARSAT-1 (tableau 1). Celui-ci a été lancé en novembre 1995 et est opérationnel depuis avril 1996. Il sera suivi de RADARSAT-2, dont le lancement est prévu pour 2001/2002.

**Tableau 1 : Caractéristiques techniques de RADARSAT-1 et 2.**

| Satellite  | Bande | Fréquence | Polarisation   | Résolution au sol |
|------------|-------|-----------|----------------|-------------------|
| RADARSAT-1 | C     | 5.3 GHz   | HH             | 10m à 100m        |
| RADARSAT-2 | C     | 5.3 GHz   | VV, HH, VH, HV | 3m à 100m         |

Les images de RADARSAT-1 peuvent être acquises selon diverses résolutions spatiales, sous différents angles d'incidence, selon une orbite ascendante ou descendante et selon une couverture variable, ce qui permet une grande gamme de produits (Figure 2).



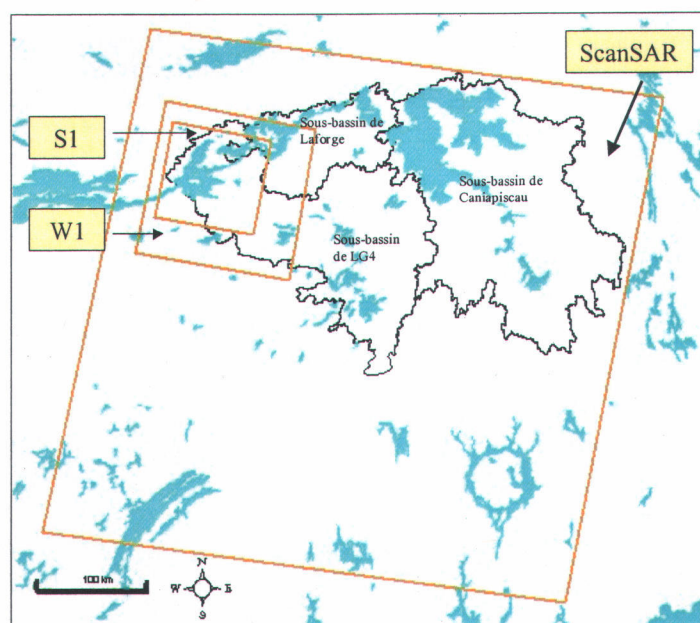
**Figure 2: Modes de fonctionnement du RADAR à ouverture de synthèse (ROS) de RADARSAT**

EQeau a été spécifiquement développé à partir des produits étalonnés Standard 1, Wide 1 (Grand angle) et ScanSAR Wide. Il est donc recommandé d'utiliser uniquement ce type de produit avec EQeau (tableau 2).

**Tableau 2 : Paramètres d'acquisition de RADARSAT-1.**

| Faisceau     | Angles d'incidence | Résolution spatiale | Couverture au sol | Orbite     |
|--------------|--------------------|---------------------|-------------------|------------|
| Standard 1   | 20°-27°            | 30m                 | 100 km X 100km    | Ascendante |
| Wide 1       | 20°-31°            | 30m                 | 165 km X 165 km   | Ascendante |
| ScanSAR Wide | 20°-49°            | 100m                | 500 km X 500 km   | Ascendante |

Comme on peut le voir dans le tableau 2, le mode ScanSAR offre un gain au niveau de la couverture du territoire, mais exige par contre une concession au niveau de la résolution spatiale des images (100 m) et de la précision radiométrique des données (8 bits). Toutefois, ce produit demeure le plus pertinent pour un suivi opérationnel de l'enneigement sur le bassin de la rivière La Grande (Figure 3).



**Figure 3 : Couverture au sol des différents types d'images RADARSAT.**

Une image RADARSAT vient sous la forme d'une matrice binaire dont chaque pixel contient la quantité de signal émise par le radar et qui est effectivement retournée au capteur par cette surface. Cette quantité peut être exprimée sous la forme d'un coefficient de rétrodiffusion et peut être représentée en amplitudes, en intensités ou en décibels (dB). Le coefficient de rétrodiffusion compare la puissance reçue à celle prévue pour une surface d'un mètre carré et est définie par rapport au plan horizontal. La différence entre deux coefficients de rétrodiffusion exprimés en dB est appelée le rapport de rétrodiffusion.

## 2.4 Le traitement numérique des images

Le traitement numérique des images RADARSAT ou Landsat est réalisé à l'extérieur de l'application d'EQeau. Donc, ce sont des images déjà traitées qui entrent dans EQeau sous la forme de fichiers de coefficients de rétrodiffusion d'images RADARSAT ou d'une carte de l'occupation du sol.

La procédure de traitement d'images adoptée pour l'application EQeau est présentée à la Figure 4. La table de rehaussement appliquée sur les images RADARSAT est d'abord inversée afin de rendre possible la comparaison d'images prises à des dates différentes et d'obtenir une valeur physique (coefficient de rétrodiffusion) au lieu d'une simple valeur numérique pour le signal.

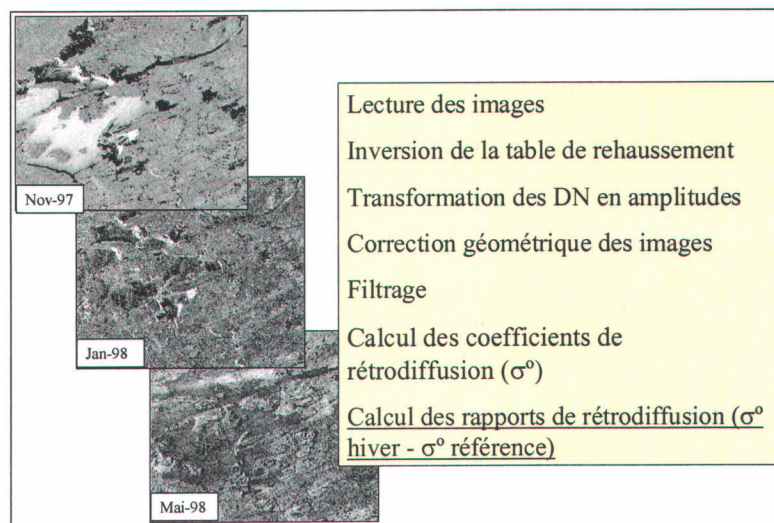
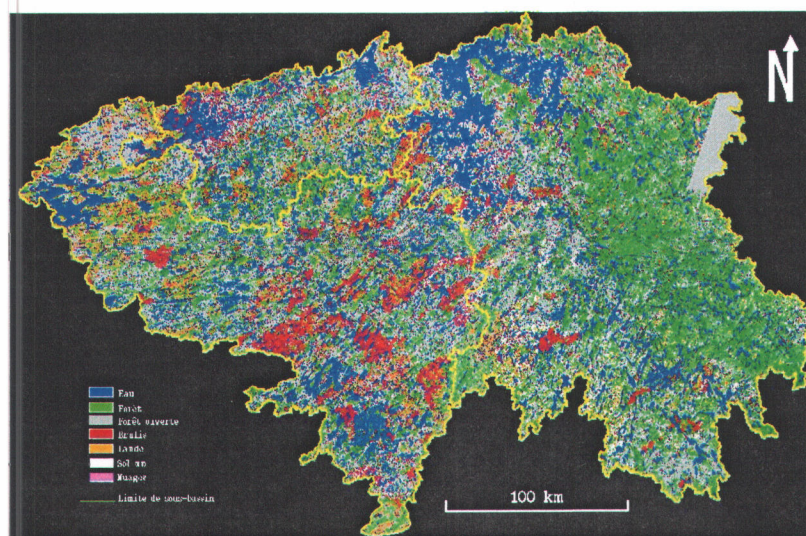


Figure 4 : Chaîne de traitements appliquée aux images RADARSAT

Les images RADARSAT sont ensuite corrigées géométriquement à l'aide du logiciel SCR (Station Cartographique Radar) de la firme montréalaise VIASAT Géo-Technologie qui s'appuie sur le modèle de correction géométrique de précision des images RSO développé au Centre canadien de télédétection. 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 est géocodée à partir d'un ensemble de points d'appui communs relevés sur les cartes, d'un Modèle numérique de terrain (MNA) et des paramètres de positionnement du satellite enregistrés au moment de l'acquisition de l'image. Cette approche permet la superposition précise d'images prises à différentes dates (de l'ordre de 1 à 2 pixels, c'est-à-dire 12.5 à 25 m pour les images Standard). La projection cartographique Lambert Conique est utilisée pour le territoire de la Baie de James. Cette étape implique aussi un rééchantillonnage à 50 m et un filtrage des images. Les fichiers résultants sont des fichiers de coefficients de rétrodiffusion compressés en 16 bits.

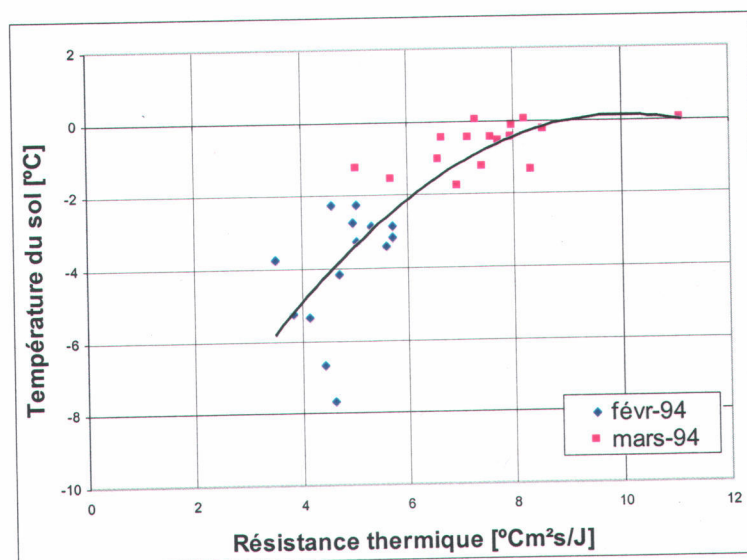
Parallèlement, la classification de l'occupation générale du sol du territoire d'étude (Figure 5) a été effectuée à partir d'images dans le domaine du visible et du proche-infrarouge prises par le capteur Thematic Mapper (TM) du satellite américain Landsat (bandes TM 3, 4, 5). Ces images ont d'abord été corrigées géométriquement avec le même algorithme que les images RADARSAT et rééchantillonnées à 50 m.



**Figure 5: Occupation du sol obtenue à partir des images Landsat-TM**

## 2.5 L'algorithme d'EQeau

La procédure mise de l'avant passe par l'établissement d'une relation entre le signal enregistré par le satellite (coefficients de rétrodiffusion) et la résistance thermique du couvert de neige, afin d'estimer l'équivalent en eau. A l'hiver, le signal de rétrodiffusion du couvert de neige provient essentiellement du sol sous-jacent. Tel qu'illustré par la figure 6, par temps froid, plus le couvert de neige est mince et dense (faible résistance thermique), plus la température des premiers centimètres du sol est basse (sous le point de congélation). Cela entraîne une baisse des propriétés diélectriques de ce sol et par conséquent, une baisse de la rétrodiffusion. Ainsi, le rapport des coefficients de rétrodiffusion diminue en fonction de la chute de la température des premiers centimètres du sol et la variabilité spatiale de ce rapport représente la variabilité spatiale de la résistance thermique du couvert nival.



**Figure 6: Effet de la résistance thermique de la neige sur la température du sol**

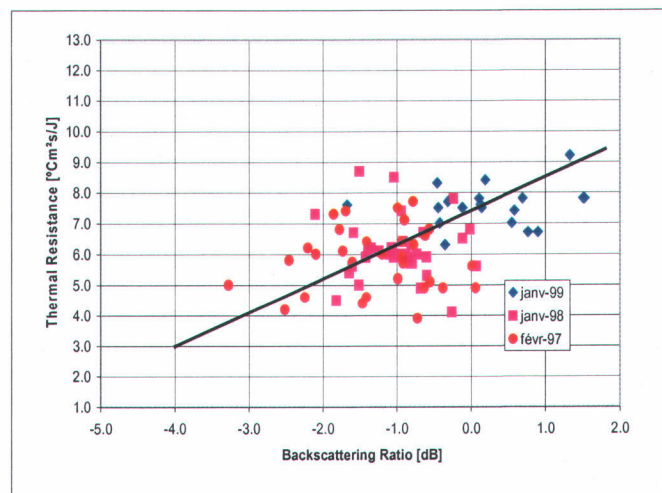
L'algorithme d'estimation de l'équivalent en eau comporte deux équations. Par la première, on estime la résistance thermique ( $R_{est}$ ) du couvert de la neige à partir d'un rapport du coefficient de rétrodiffusion d'une surface enneigée (extrait d'une image hivernale), sur le coefficient de rétrodiffusion d'un sol sans couverture nivale (extrait d'une image d'automne) :

$$R_{\text{est}} = m (\sigma_h/\sigma_a) + b \quad (1)$$

$\sigma_h/\sigma_a$ : rapport des coefficients de rétrodiffusion (extraits de l'image radar)

m et b: pente et ordonnée à l'origine de la relation linéaire entre la résistance thermique et le rapport de rétrodiffusion

Cette équation est déterminée de façon empirique à l'aide de la relation linéaire entre la résistance thermique et le rapport de rétrodiffusion des sites expérimentaux (figure 7), les valeurs de résistance thermique du couvert nival étant mesurées lors des campagnes hivernales de terrain. La valeur de l'ordonnée à l'origine (b) varie selon les conditions climatiques : la valeur de b est de 7,4 pour le mois de janvier et de 6,5 pour mars. En mars, la température maximale de l'air est généralement plus élevée que pour le mois de janvier ce qui a pour effet de modifier la relation entre la résistance thermique du couvert de neige et le rapport de rétrodiffusion. Ainsi, pour une même valeur de résistance thermique mesurée, le rapport de rétrodiffusion est plus faible en mars qu'en janvier.



**Figure 7 : Relation entre le rapport de rétrodiffusion et la résistance thermique**

La deuxième équation calcule l'équivalent en eau ( $E_{est}$ ) à partir de la résistance thermique estimée ( $R_{est}$ ) du couvert de neige et d'une densité représentative du secteur:

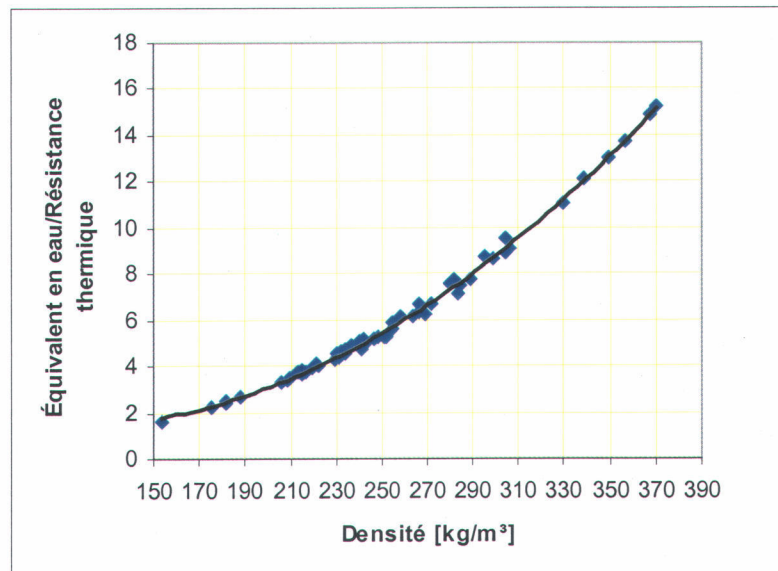
$$E_{est} = \alpha R_{est} \quad (2)$$

$\alpha$  : conductivité thermique,  $\alpha = A\rho^2 + B\rho + C$

où  $A = 2,83056 \times 10^{-6}$ ,  $B = -9,09947 \times 10^{-5}$  et  $C = 0,0319739$

$\rho$  : densité de la neige ( $\text{kg/m}^3$ )

La relation entre l'équivalent en eau et la résistance thermique de la neige est linéaire, mais la pente de la régression ( $\alpha$ ) varie en fonction de la densité de la neige (Figure 8). Cette variation provient du calcul de la conductivité thermique (équation 1). Cette densité moyenne du couvert nival est un paramètre mesuré lors des relevés de terrain (lignes de neige).



**Figure 8 : Relation entre l'équivalent en eau et la résistance thermique de la neige**

Une analyse de sensibilité des paramètres de l'algorithme a aussi été faite (SALVANO, 1999) afin de dégager les paramètres les plus sensibles donc ceux qui nécessitent une attention plus grande lors de l'utilisation de l'algorithme. C'est la densité de la neige qui est le paramètre qui a

le plus d'impact dans l'estimation de l'équivalent en eau (20 à 30%). L'utilisateur d'EQuau doit alors s'assurer d'utiliser des valeurs de densité représentatives des conditions réelles. Par la suite, c'est l'ordonnée à l'origine dans l'équation 1, et la résistance thermique estimée, dérivée de l'équation 1. En effet, la valeur de l'équivalent en eau varie respectivement de 10% et 12% lorsque l'on fait varier la résistance thermique ou l'ordonnée à l'origine de 10%. Bien que l'algorithme actuel a donné de très bons résultats, l'INRS-Eau poursuivra ses efforts pour établir la meilleure corrélation possible entre la résistance thermique et le rapport de rétrodiffusion, en fonction des conditions environnementales.

### 3 APPLICATION DE L'ALGORITHME

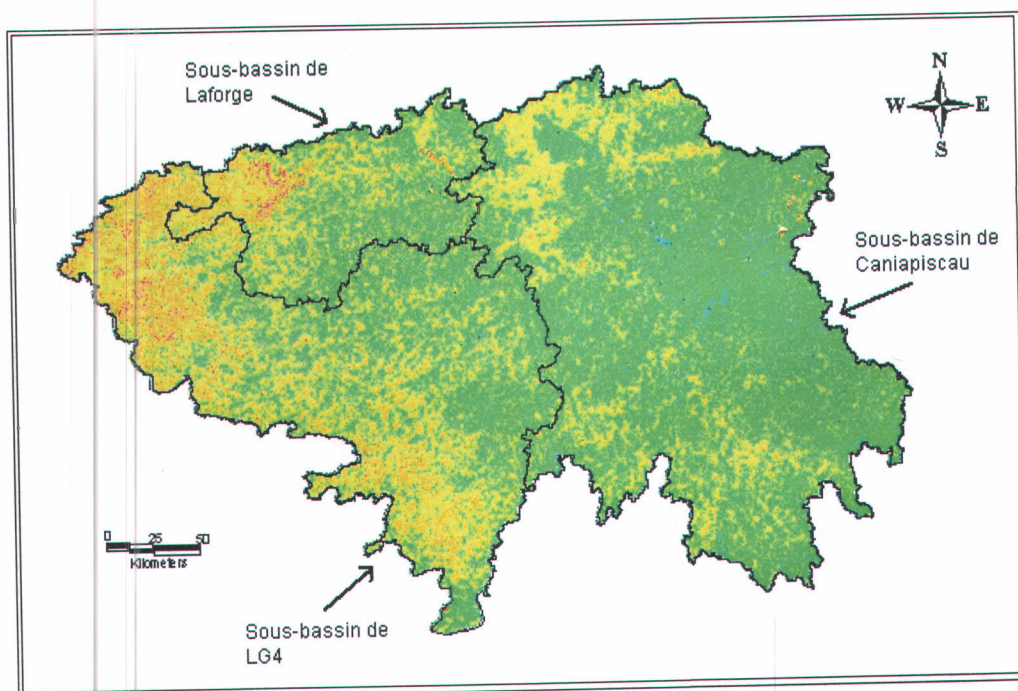
---

Une fois traitées, les images RARARSAT sont importées dans l'application EQeau. Pour les images ScanSAR de l'hiver 1999, l'image de référence est celle du 7 novembre 1999 et l'algorithme utilisé (équations 1 et 2 ) est celui illustré aux Figures 7 et 8. Les densités moyennes retenues sont celles mesurées lors des campagnes de terrain de l'hiver 1999 (tableau 3).

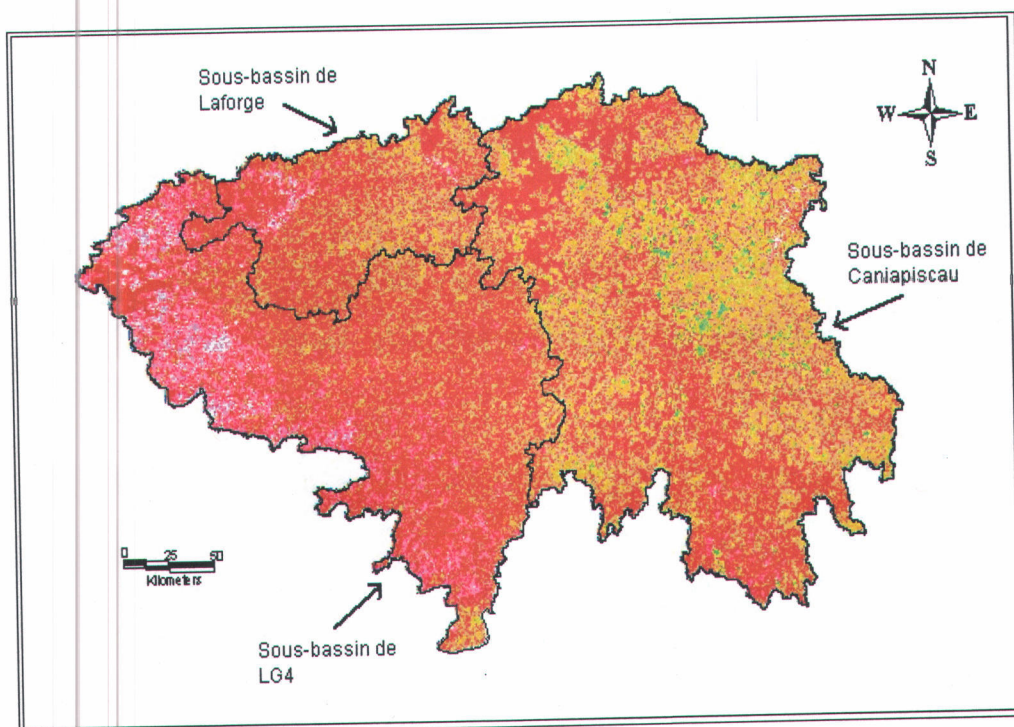
**Tableau 3: Densités moyennes de la neige au sol mesurées lors des campagnes de terrain de l'hiver 1999 et utilisées par EQeau.**

|               | Occupation du sol |             |              |
|---------------|-------------------|-------------|--------------|
|               | 18 janvier 1999   | 7 mars 1999 | 31 mars 1999 |
| Forêt         | 202               | 223         | 240          |
| Forêt ouverte | 211               | 238         | 250          |
| Brûlis        | 218               | 252         | 260          |
| Landes        | 222               | 244         | 270          |
| Sols nus      | 222               | 244         | 270          |

La figure 9 présente les cartographies de l'équivalent en eau de la neige sur les trois sous-bassins amonts de la rivière La Grande à partir des images ScanSAR du 18 janvier 1999 et du 7 mars 1999.



a) 18 janvier 1999



b) 7 mars 1999

**Figure 9 : Cartographie de l'équivalent en eau de l'hiver 1999**

Le degré d'incertitude des cartes d'équivalents en eau produites par EQeau a été évalué en comparant les résultats obtenus avec l'algorithme et l'interpolation des mesures *in situ*. La figure 10 présente les résultats obtenus lors de l'hiver 1999, sur trois grands sous-bassins de la région d'étude. L'échelle de comparaison est la moyenne d'équivalent en eau pour chaque sous-bassin. L'équivalent en eau de la neige au sol augmente entre la mi-janvier et la fin de mars 1999, suite à des chutes de neige régulières tout au long de l'hiver. Il est intéressant de noter la concordance entre les estimés d'équivalent en eau moyen des images ScanSAR et ceux des images Wide même si elles ont été prises à des dates différentes. Quelque soit la date d'acquisition des images, le sous-bassin 1 (Caniapiscau) a toujours moins de neige que les deux autres sous-bassins et le sous-bassin 3 (LG4) a toujours plus de neige à l'hiver 1999. La différence des résultats entre les deux modes d'images et les estimés des lignes de neige, nous donne une idée de l'incertitude des estimations extraites des images RADARSAT. Toutefois, il faut aussi tenir compte de la répartition spatiale des chutes de neige entre les dates d'acquisition des images et celles des relevés d'Hydro-Québec.

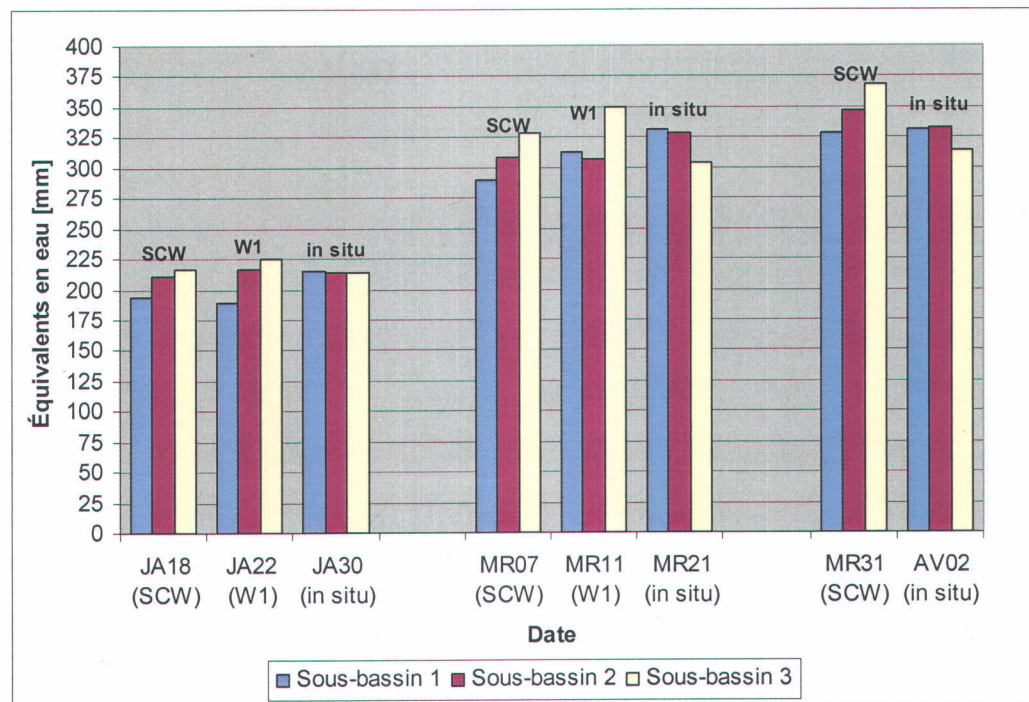


Figure 10 : Évaluation de l'incertitude sur les résultats d'EQeau (hiver 1999)



## 4 CONCLUSION

---

La version actuelle d'EQueau a été développée pour le nord du Québec (région de la Baie James), c'est-à-dire un milieu de taïga au relief ondulé. Le sol morainique y est généralement homogène et recouvert de lichen. L'occupation du sol dominante est la forêt ouverte (densité < 40%) d'épinettes noires. Les principes sous-jacents à EQueau sont valides pour le milieu terrestre seulement et l'algorithme ne peut être appliqué directement sur les plans d'eau.

L'efficacité de l'algorithme est maximale en début et en milieu d'hiver, alors que les froides températures de l'air maximisent la fonction d'isolation thermique du couvert de neige, qui est à la base de l'approche d'EQueau. L'algorithme fonctionne encore très bien en fin d'hiver, en autant que les températures de l'air demeurent froides. Un réchauffement généralisé des températures de l'air sur plusieurs jours peut augmenter l'incertitude des résultats. De même, lorsque le couvert de neige dépasse 120 cm, sa résistance thermique est telle que les effets de la température de l'air sont très lents à se faire sentir et que tout ajout de nouvelle neige ne modifie plus significativement les propriétés du sol. L'algorithme atteint donc sa limite. Enfin, s'il y a présence de neige humide (fonte ou pluie), le couvert de neige absorbe alors une bonne quantité du signal radar et l'algorithme n'est plus valide.

Tel que mentionné précédemment, l'algorithme a été spécifiquement développé à partir des produits RADARSAT étalonnés Standard 1, Wide 1 et ScanSAR Wide de RADARSAT et seuls ces produits devraient être employés avec la version actuelle d'EQueau. Aussi, l'algorithme est très sensible à la valeur de densité de la neige et il faut porter une attention particulière à la qualité de cette donnée.

Bien que l'algorithme a donné des résultats satisfaisants, l'INRS-Eau poursuivra ses efforts pour établir la meilleure corrélation possible entre la résistance thermique et le rapport de rétrodiffusion, en fonction des variations des conditions environnementales (température de l'air, densité de la forêt, variabilité du couvert de neige).



# RÉFÉRENCES

---

L'approche et la méthodologie détaillée d'EQueau sont décrites dans ces documents :

- **Publications scientifiques**

BERNIER, M. and J.P. FORTIN, 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.

BERNIER, M., J.P. FORTIN, Y. GAUTHIER, R. GAUTHIER, J.L. BISSON and P. VINCENT, 1999. "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., J.P. FORTIN, Y. GAUTHIER, R. GAUTHIER, R. ROY et P. VINCENT, 1999. "Pre-operational Determination of snow Water Equivalent using RADARSAT SAR data". *Proceedings of Eastern Snow Conference*, Fredericton, Canada, juin 1999.

BERNIER, M., J.P. FORTIN, Y. GAUTHIER, R. GAUTHIER, R. ROY et P. VINCENT (sous presse). "Determination of Snow Water Equivalent using RADARSAT data in Eastern Canada" *Hydrological Processes*, Wiley, décembre 1999.

- **Guide de l'utilisateur d'EQueau**

GAUTHIER, Y. et M. MAURAS, 1999. Guide de l'utilisateur du logiciel EQueau, INRS-Eau et Viasat Géo-Technologies, 30 septembre 1999, 30 pages.

- **Rapports techniques**

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 N° R543, 30 juin 1999, 35 pages.

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 N° R543, 31 mars 1999, 28 pages.

SALVANO, E., 1999. Analyse de sensibilité des paramètres du modèle EQeau, Rapport de travail dirigé, INRS-Eau, août 1999, 25 pages.