

Record Number: 14550
Author, Monographic: Bernier, M.//Fortin, J. P.//Gauthier, Y.//Gendron, F.//Royer, A.
Author Role:
Title, Monographic: Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT. Rapport d'étape 1
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1998
Original Publication Date: 30 janvier 1998
Volume Identification:
Extent of Work: ii, 50
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 523 e1
Location/URL:
ISBN: 2-89146-349-8
Notes: Rapport annuel 1997-1998
Abstract: Rapport d'étape pour Prévisions et ressources hydriques, Hydro-Québec
Porte le numéro R523 en couverture
Call Number: R000523 e1
Keywords: rapport/ ok/ dl

***Suivi du couvert nival à l'aide des données de
RADARSAT (rapport d'étape, janvier 1998)***

Rapport de recherche No R-523

**SUIVI DU COUVERT NIVAL À L'AIDE
DES DONNÉES DE RADARSAT**

Rapport d'étape pour

**Prévisions et Ressources Hydriques
Hydro-Québec**

par

**Monique Bernier, Jean-Pierre Fortin, Yves Gauthier
Frédéric Gendron et Alain Royer**

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

Rapport de recherche No 523

30 janvier 1998

L'ÉQUIPE DE RECHERCHE :

Monique Bernier, professeure en télédétection

Jean-Pierre Fortin, professeur en hydrologie

Yves Gauthier, agent de recherche en télédétection et géomatique

Frédéric Gendron, assistant de recherche en informatique

Alain Royer, technicien en informatique

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	I
LISTE DES TABLEAUX	II
LISTE DES FIGURES.....	II
1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIFS DU PROJET	5
3. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DU SOUS-BASSIN DE LG4.....	7
4. DÉLIMITATION DU CONTOUR DU SOUS-BASSIN DE LG4	15
4.1 MODÈLE NUMÉRIQUE D'ALTITUDE	15
4.2 DÉLIMITATION DU CONTOUR ET DE LA STRUCTURE D'ÉCOULEMENT INTERNE DU SOUS-BASSIN LG4	16
5. PREMIÈRE VERSION DU PROTOTYPE EQEAU.....	21
5.1 DESCRIPTION DE LA FONCTIONNALITÉ D'EQUEAU	21
5.2 DLL DE CALCUL D'ÉQUIVALENT EN EAU	22
5.3 DLL DE CALCUL D'INTÉGRATION PAR MAILLES	25
5.4 DLL DE CALCUL D'INTÉGRATION PAR BASSIN.....	26
5.5 DLL DE VISUALISATION D'IMAGE.....	28
6. ANALYSE COMPLÉMENTAIRE DES IMAGES RADARSAT.....	31
6.1 ANALYSE DES MODES D'ACQUISITION	31
6.2 ANALYSE DE L'IMAGE DE RÉFÉRENCE	34
7. CAMPAGNE DE TERRAIN.....	39
8. TRAVAUX À VENIR ET ÉCHÉANCIER	43
8.1 LIVRABLES À DÉPOSER AU 30 JUIN 1998	43
8.2 ACTIVITÉS COMPLÉMENTAIRES	44
9. CONCLUSION.....	45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification de l'occupation du sol du sous-bassin de LG4.....	11
Tableau 2: Classes d'équivalents en eau pour affichage du bitmap	28
Tableau 3: Couples d'images Standard S1/S7 acquis en 1996-1997.....	31
Tableau 4: Différence des coefficients de rétrodiffusion moyens pour les 35 sites tests.....	31
Tableau 5: Différence moyenne de rétrodiffusion pour les 35 sites tests, par classe d'occupation du sol.....	33
Tableau 6: Conditions à 18h enregistrées aux stations climatologiques #11 et #19 (station #2 non disponible)	35
Tableau 7 : Précision de l'estimation de l'équivalent en eau pour le 4 février 1997, selon l'image de référence choisie.....	37
Tableau 8: Calcul de l'équivalent en eau pour deux rapports de rétrodiffusion différents	37
Tableau 9: Répartition des équipements de mesure sur les sites de terrain	39
Tableau 10: Sommaire des conditions environnementales prévalant le 20 novembre 1997.....	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Couverture des images TM	9
Figure 2 : Cartographie de l'occupation du sol pour 88% du bassin de LG4.....	13
Figure 3 : Schématisation de la déduction de la structure d'écoulement d'un bassin versant.....	18
Figure 4: Différence de rétrodiffusion des sites tests pour les images acquises les 4 et 10 février 1997.....	32
Figure 5: Coefficients de rétrodiffusion moyens extraits des 35 sites tests, pour les six images de l'automne 1996 ..	34
Figure 6 : Image ScanSar du 22 novembre 1997.....	41

1. INTRODUCTION

RADARSAT-I, le premier satellite de télédétection canadien, a été lancé le 4 novembre 1995 et a été déclaré opérationnel le 1er avril 1996. Il a été conçu pour répondre aux besoins des scientifiques et des utilisateurs canadiens et internationaux en leur fournissant rapidement des images au moyen d'un radar à synthèse d'ouverture (RSO) pour une multitude d'applications. Le programme RADARSAT constitue l'une des composantes majeures du Programme spatial canadien. D'ailleurs, l'Agence spatiale canadienne travaille actuellement à la mise en place de RADARSAT- II afin de garantir la continuité des données RSO.

En préparation à RADARSAT-1, de décembre 1993 à décembre 1995, l'équipe de télédétection de l'INRS-Eau évalua le potentiel des images RSO du satellite ERS-1 pour estimer l'équivalent en eau du couvert nival dans la région de la Baie James. Cette phase ERS-1 a démontré qu'il était possible de dériver un algorithme pour estimer l'équivalent en eau à partir d'une image hivernale et d'une image automnale et de la densité moyenne du couvert nival (Collectif 1996; Bernier *et al*, soumis). L'algorithme développé « *algorithme ERS* » sous-estime l'équivalent en eau mesuré lors des campagnes intensives de terrain de 10 à 30 mm (5 à 15%), avec une erreur type de 20 à 40 mm. (± 10 à 20%).

La phase RADARSAT, en cours, vise à adapter aux données de RADARSAT (bande C-HH) les algorithmes empiriques développés à partir d'ERS-1 (bande C- polarisation VV) afin d'estimer l'équivalent en eau de la neige au sol, ainsi que d'autres variables reliées au suivi du couvert nival, et de trouver le ou les modes d'images adaptés au contexte du bassin de la rivière La Grande. En effet, le satellite RADARSAT (bande C- polarisation HH) offre la possibilité d'acquérir les images sous différents modes. Par exemple, les images en mode Standard (résolution au sol de 30 m et une couverture de 100 km) peuvent être acquises dans sept gammes d'angles d'incidence entre 20° et 59° . Par opposition, ERS-1 opérait à un angle d'incidence médian de 23° (RSI, 1995). RADARSAT possède aussi le mode SCANSAR (résolution au sol de 100 m) qui peut balayer 350 km et même 500 km par orbite. Rappelons que cette phase RADARSAT bénéficie

du support du programme ADRO (*Application Development and Research Opportunity*) de l'Agence spatiale canadienne qui fournit les 20 images RADARSAT nécessaires à l'étude.

Durant les six premiers mois de la phase RADARSAT, l'analyse des données terrain et des images RADARSAT de l'hiver 1997 a permis d'établir un *algorithme RADARSAT* provisoire. Cet algorithme ne diffère de celui d'ERS que par la valeur des paramètres. Ainsi, *l'algorithme RADARSAT* appliqué aux deux images Standard en mode S7 (45-49°) surestime l'équivalent en eau mesuré lors des campagnes intensives de 15 à 30 mm (12 à 18 %) avec un erreur type de 26 à 32 mm. Ce même algorithme appliqué à l'image en mode S1 (20-27°) du 4 février 1997 donne une très bonne estimation de l'équivalent en eau moyen du couvert nival (une sous-estimation de moins de 1%) avec une erreur type de 28 mm. De plus, *l'analyse fonctionnelle* du prototype EQEAU qui permettra d'intégrer et d'utiliser les algorithmes développés par l'INRS-Eau a été réalisée conjointement par VIASAT Géo-Technologie et l'INRS-Eau. Notre partenaire, VIASAT Géo-Technologie est responsable de l'implantation d'une interface MapInfo™ pour le prototype. Pour sa part, l'INRS-Eau réalise les modules pour le calcul de l'équivalent en eau et l'intégration des volumes d'équivalent en eau sur une grille réduite variable.

Ce second rapport d'étape résume les activités réalisées du 7^{ième} mois au 12^{ième} mois de la phase RADARSAT. Il constitue, par lui-même, l'un des livrables du projet et décrit aussi les trois autres livrables attendus au 30 janvier 1998 :

- 1) La cartographie de l'occupation du sol du sous-bassin de LG4 à partir d'images du satellite LANDSAT qui est décrite au Chapitre 3.
 - 2) Le contour du sous-bassin de LG4 sous forme numérique à l'aide du logiciel Physitel (un logiciel complémentaire à Hydrotel) et d'un modèle numérique d'altitude (Chapitre 4) .
 - 3) La réalisation de quatre modules de calcul (DLL) entrant dans la configuration de la première version du prototype EQEAU (Chapitre 5).
-

De plus, l'analyse des données RADARSAT de la saison 1996-1997 s'est poursuivie durant l'automne 1997 afin de mieux déterminer l'effet des changements d'angles d'incidence (mode S7 vs mode S1) et de la date d'acquisition des images d'automne (Chapitre 6). Une campagne de terrain a été réalisée au début de septembre afin de vérifier les appareils de mesure (stations climatologiques et sondes TDR) pour l'hiver 1998 ainsi que de récolter les données climatologiques prises par les stations temporaires depuis le mois d'avril. Une seconde campagne de terrain a aussi été réalisée fin novembre afin de récolter des informations sur l'état du sol au moment du passage de RADARSAT (image de référence) et de finaliser la mise en opération du système de transmission automatique via le satellite GOES des données climatologiques des trois stations temporaires (chapitre 7).

2. OBJECTIFS DU PROJET

Rappelons ici les trois objectifs de la phase RADARSAT :

- 1) Estimation de la distribution spatiale, à une date donnée, des paramètres suivants:
 - a) l'équivalent en eau du couvert nival;
 - b) la neige humide (neige sèche vs neige humide ou neige humide et absence de neige);
 - c) le sol gelé;

et cela à des fins de prévisions hydrologiques pour la gestion des stocks énergétiques, la planification de la production hydroélectrique et la détermination des risques d'inondation.
- 2) Détermination du produit ou de la combinaison de produits du satellite RADARSAT susceptible(s) de fournir les estimations définies ci-dessus avec la précision souhaitée.
- 3) Mise en place d'un prototype fonctionnel (EQEAU) pour l'estimation de l'équivalent en eau de la neige via des images satellitaires (ERS-1 ou RADARSAT).

Le but ultime de cette recherche est de faire en sorte que les nouvelles méthodes utilisant les produits du satellite canadien RADARSAT soient intégrées au système de prévision hydrologique d'Hydro-Québec et ce pour l'ensemble du bassin de La Grande dans les prochaines années.

3. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DU SOUS-BASSIN DE LG4

La cartographie de l'occupation du sol du sous-bassin hydrographique de LG4 est effectuée à partir d'images du capteur Thematic Mapper (TM) du satellite Landsat. La méthode consiste à attribuer une classe d'occupation du sol à chaque pixel de l'image à partir de sa réflectance apparente dans les bandes spectrales TM3 (le rouge), TM4 (le proche infrarouge) et TM5 (le moyen infrarouge).

Une série de photographies aériennes et une bonne connaissance du territoire permettent d'abord d'identifier sur l'image Landsat, des sites représentatifs de chaque occupation du sol. La signature spectrale type de chaque occupation du sol est ensuite calculée. Finalement, l'algorithme du maximum de vraisemblance (*maximum likelihood*) évalue la signature spectrale de chaque pixel de l'image, la compare aux signatures types et attribue une classe d'occupation du sol au pixel.

La superficie du sous-bassin de LG4 est approximativement de 30 000 km². Le sous-bassin couvrant 300 km d'ouest en est et 200 km du nord au sud, il faut quatre images du capteur TM de LANDSAT pour couvrir toute la superficie du bassin. Toutefois, deux images LANDSAT suffisent à couvrir 88% du sous-bassin (figure 1). Une première image, acquise par le satellite LANDSAT le 14 juin 1995, couvre la partie ouest du bassin. L'image est de bonne qualité mais quelques nuages sont toutefois présents au nord du bassin. Une deuxième image, acquise le 14 juillet 1997, couvre le centre et l'est du sous-bassin, sans aucun nuage. Toutefois, l'extrême est, de même qu'une petite portion de l'extrême nord du bassin ne sont pas couverts par ces deux images (environ 12%).

L'image de juin 1995 a été achetée lors de la phase ERS-1 du projet puisqu'elle est centrée sur la zone expérimentale (secteur LG4-LA1). L'image de juillet 1997 a été achetée à l'automne dernier. La correction géométrique et la géoréférentiation des deux images ont été effectuées chez VIASAT Géo-Technologie, selon la projection UTM 18, NAD27.

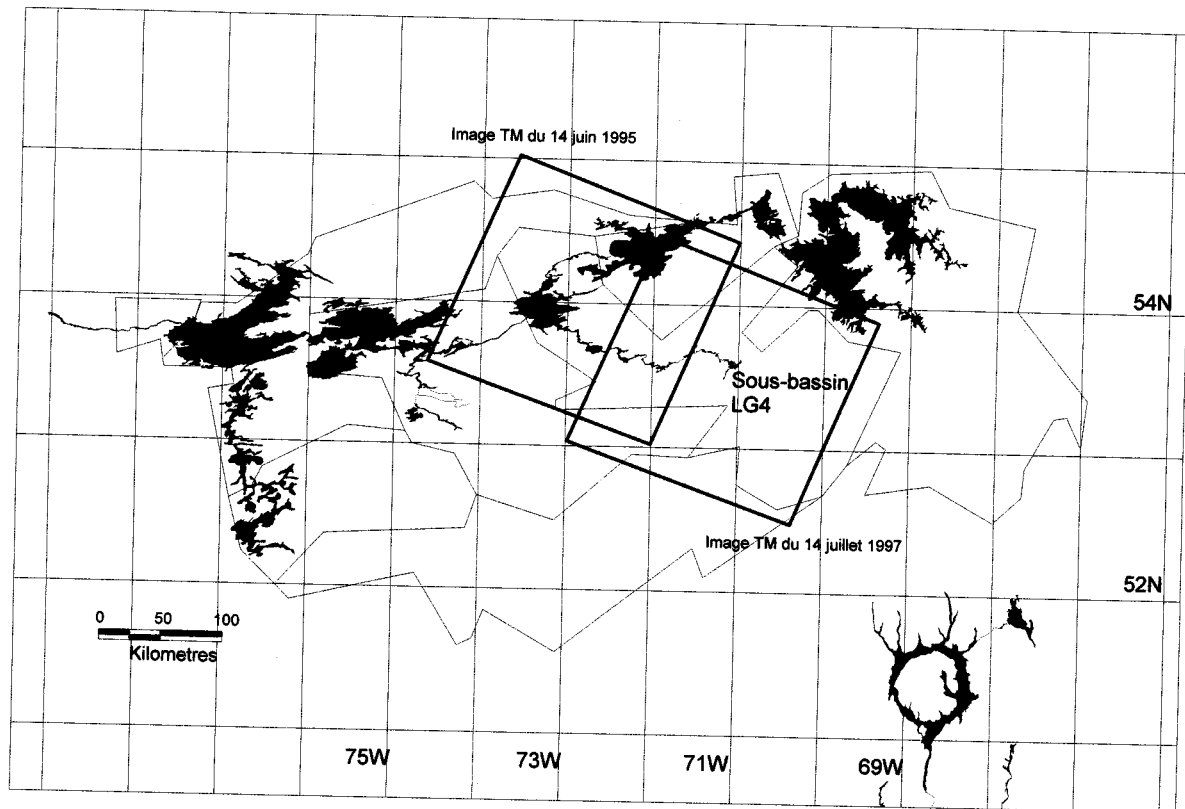


Figure 1 : Couverture des images TM

La classification de l'occupation du sol du sous-bassin LG4 a été effectuée à l'INRS-Eau et une vue généralisée de la classification est présentée à la Figure 2.

Le tableau 1 présente les résultats de la classification des images LANDSAT. Les pourcentages et superficies indiqués sont calculés pour la partie du bassin couverte par les deux images (88%). La limite du bassin utilisée (Figure 1) a été fournie par Hydro-Québec.

Tableau 1 : Classification de l'occupation du sol du sous-bassin de LG4

Classe	Superficie (km²)	Proportion (%)
Forêts (densité>40 %)	5903	22
Forêts ouvertes (densité 10-40 %)	6984	26
Landes	1921	7
Brûlis anciens et récents	2473	9
Routes, gravières et sols nus	536	2
Milieux humides	1728	6
Lacs, rivières et réservoirs	6482	24
Zones de nuages	383	1
Total	26410	

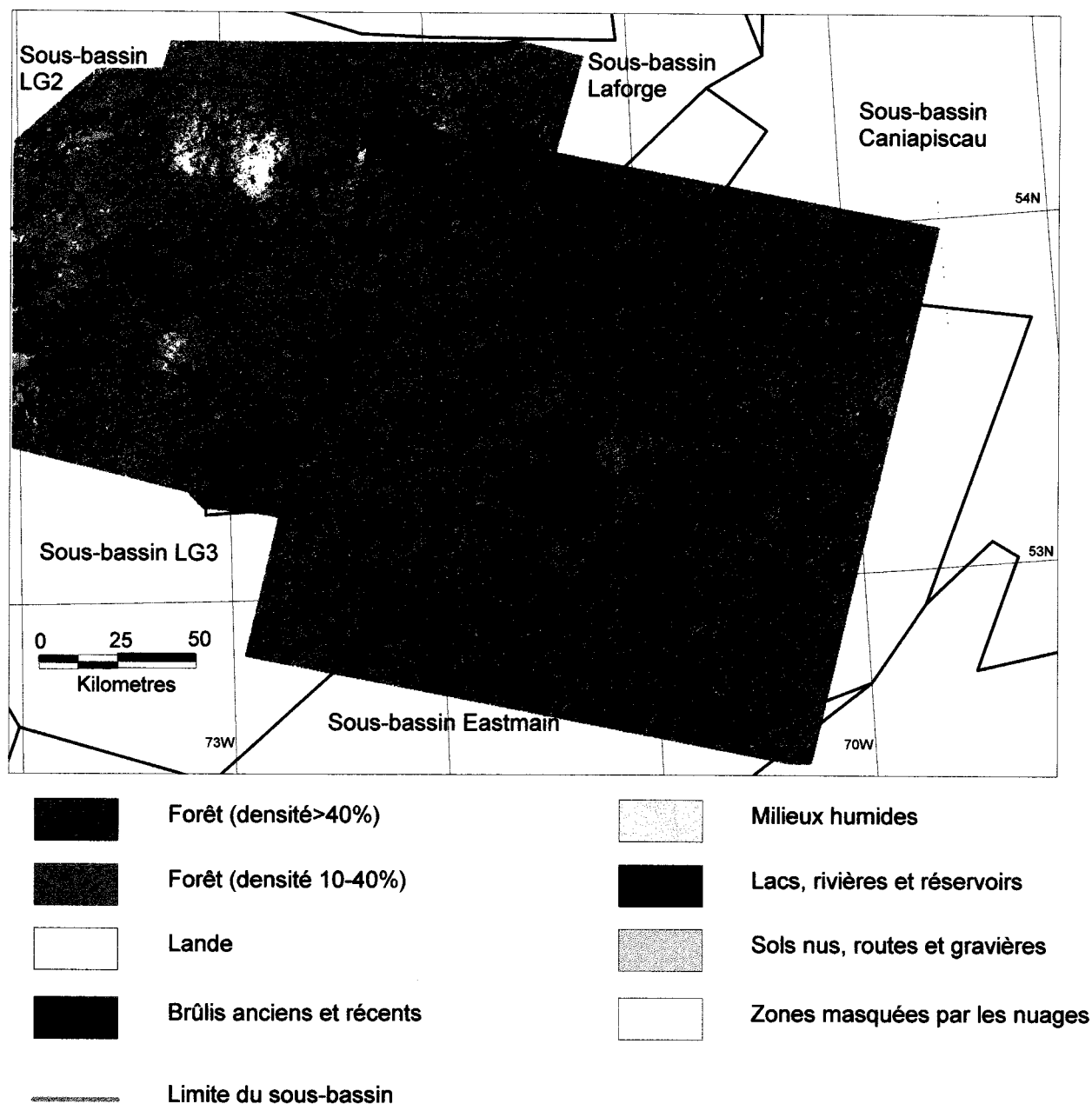


Figure 2 : Cartographie de l'occupation du sol pour 88% du bassin de LG4

4. DÉLIMITATION DU CONTOUR DU SOUS-BASSIN DE LG4

4.1 *Modèle numérique d'altitude*

La délimitation du contour précis du sous-bassin de LG4 à partir de PHYSITEL (un logiciel complémentaire au modèle hydrologique HYDROTEL) exige la disponibilité d'un modèle numérique d'altitude (MNA) validé. La construction du modèle numérique pour le bassin de La Grande a été effectuée par VIASAT Géo-Technologie, à partir des données sources provenant de sept fichiers des éléments topographiques de la Base nationale de données topographiques (BNDT) à l'échelle du 1 : 250 000 : 33H, 33I, 23C, 23D, 23E, 23F et 23L. Les MNA ont été générés sous une forme matricielle dont la maille est de 50 x 50 mètres et assemblés en un seul fichier image de 16 bits en format "RAW".

L'analyse du MNA résultant a révélé des discontinuités dans les valeurs d'élévation qui rendent son utilisation impossible à des fins de délimitation des bassins versants. Ces discontinuités apparaissent essentiellement à la jonction des feuillets et sont de l'ordre de 25 mètres. Les discontinuités sont principalement attribuables à deux facteurs : L'équidistance des courbes de niveau et la connectivité des données d'un feuillet à l'autre. En effet, l'équidistance des courbes varie d'un feuillet à l'autre, et elle est parfois en mètre (25 ou 50 m), parfois en pied (100 ou 200 pi). Le fait qu'il n'y a pas toujours des courbes équivalentes de part et d'autre de la jonction des feuillets va avoir pour conséquence que des valeurs différentes d'élévation seront calculées par interpolation à ces endroits au moment de générer le MNA. La précision escomptée d'un MNA est généralement égale à un demi intervalle soit entre 12,5 et 31 mètres selon les données sources.

Pour palier à cette situation, deux alternatives s'offrent à nous:

- modifier les données sources en effectuant l'ajout de données forçant l'interpolation à lisser les valeurs à la jonction des feuillets. Il s'agit d'ajouter par édition graphique, des courbes

intermédiaires théoriques de part et d'autre de la jonction pour assurer une meilleure connectivité et régénérer le MNA.

- utiliser d'autres données sources ne présentant pas ce type de discontinuité.

À cet égard, mentionnons que Viasat Géotechnologie a identifié les données topographiques produites par Forêt Canada à partir des données de la BNDT éditées comme étant des données sources présentant les caractéristiques souhaitées. Il s'agit de données d'élévation selon une grille géographique dont le pas est de 3 secondes d'arc. À la latitude de la Grande Rivière, cela représente une résolution de 92 m x 50 m environ. Cette dernière solution a été retenue.

Le nouvel MNA devrait être disponible dans les prochaines semaines, ce qui permettra de réaliser la représentation discrétisée du sous-bassin LG4 d'ici le 30 juin prochain. Ce retard dans la réalisation du contour et de la structure d'écoulement interne du sous-bassin ne retardera pas la réalisation des livrables ultérieurs.

Mentionnons enfin, que bien que le MNA actuel, produit initialement pour des fins de rectification géométrique d'images, présente des discontinuités dans les valeurs d'élévation, ce résultat est mathématiquement valable et ne comporte pas d'erreur de traitement comme telle. Son utilisation à des fins de géocodage des images radar est totalement justifiée et n'a pas d'impact significatif sur la précision des orthoimages Landsat, ERS-1 et RADARSAT produites par VIASAT Géotechnologie inc.

4.2 Délimitation du contour et de la structure d'écoulement interne du sous-bassin LG4

À des fins d'une modélisation hydrologique discrétisée, la base de données physiques d'un bassin versant comprend trois éléments :

- le contour et la structure d'écoulement interne du bassin
 - la distribution spatiale des classes d'occupation du territoire (forêts de conifères, brulis, tourbières, plans d'eau,...)
-

- les types de sol (des argiles aux sables).

Cette base de données est préparée par PHYSITEL un logiciel complémentaire à HYDROTEL. Le modèle HYDROTEL est un modèle hydrologique distribué pouvant bénéficier des données fournies par la télédétection et les systèmes d'information géographiques (SIG). Le modèle HYDROTEL a été conçu par des équipes de l'INRS-Eau et du Laboratoire d'Hydrologie et modélisation de l'université de Montpellier II (France). Dans le cadre de la phase RADARSAT, seul le premier élément sera réalisé par PHYSITEL pour le sous-bassin LG4. Toutefois, le deuxième élément est déjà disponible pour des fins de modélisation hydrologique car la distribution spatiale de l'occupation du sol du sous-bassin LG4 a été réalisée pour les besoins du prototype EQEAU, tel que décrit au chapitre 3.

La structure d'écoulement d'un bassin est obtenue par le traitement d'un modèle numérique d'altitude (MNA) à la résolution spatiale désirée (Figure 3). Dans le cas du sous-bassin de LG4, la résolution du MNA sera de 100 mètres. De cette matrice d'altitudes sont d'abord tirées les pentes et les orientations de chacune des mailles. Le bassin est reconstitué en identifiant tout d'abord la maille considérée comme exutoire. A partir de cette maille, on identifie de voisine en voisine chacune des mailles dont les orientations les amènent à se jeter dans les mailles situées en aval. Une fois le bassin reconstitué, il est possible de fixer un seuil de superficie à partir duquel on considère que l'on a un début de cours d'eau et d'identifier ainsi le réseau hydrographique du bassin. Le choix de cette superficie amont influence directement le degré de ramification du réseau et la densité de drainage du bassin. Ce réseau est comparé au réseau vectoriel obtenu de la couche hydrographie d'une carte numérique et forcé de s'y conformer s'il s'en éloigne. Dans la plupart des cas, aucune correction n'est nécessaire, mais elles peuvent s'avérer nécessaires dans une zone de plaine pour laquelle les informations topographiques ne permettent pas de déterminer des orientations suffisamment précises. Un exemple typique est une rivière à méandres en plaine.

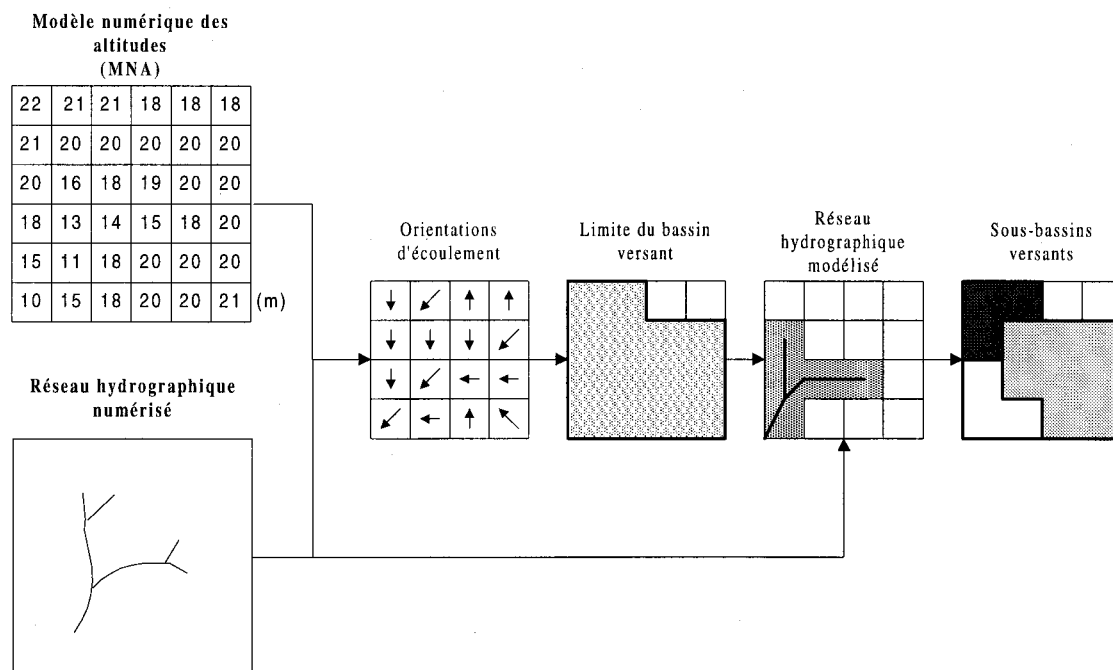


Figure 3 : Schématisation de la déduction de la structure d'écoulement d'un bassin versant

En pratique, le réseau hydrographique est subdivisé en tronçons délimités (1) par deux points de confluence, ou (2) par un point de confluence et le point exutoire du réseau, ou encore (3) par un point de confluence et un point en tête du réseau. Il est important de noter que les tronçons du réseau sont soit (1) de type «rivière» soit (2) de type «lac».

L'utilisation du réseau hydrographique numérique permet d'identifier les mailles qui correspondent aux tronçons de rivière, mais surtout d'identifier les mailles qui forment des lacs, différenciant ces mailles de zones planes sur les sous-bassins. La définition des sous-bassins est directement liée au découpage du réseau en tronçons. Ainsi, à chaque tronçon de type «rivière» est associé un et un seul sous-bassin. Ce dernier est défini par l'étendue de terrain qui se draine directement¹ dans le tronçon «rivière» auquel il est associé. Les tronçons de type «lac» diffèrent de cette règle. En effet, compte tenu de la superficie importante qu'ils occupent dans le plan, les tronçons de type «lac» servent à la simulation de processus verticaux en plus de la simulation de l'écoulement par le cours d'eau. De plus, autour d'un lac, on définit un ensemble de sous-bassins qui ont la propriété d'être indépendants entre eux et de se drainer directement dans le lac. Il y a donc généralement plus d'un sous-bassin associé à un tronçon de type «lac». Le bassin est ainsi subdivisé en un nombre suffisamment élevé de sous-bassins sur lesquels on estimera le bilan hydrologique vertical à chaque pas de temps. Ces sous-bassins forment donc des unités hydrologiques naturelles.

¹ On entend par «directement» le fait que le chemin de drainage pour atteindre le tronçon donné n'emprunte pas un autre tronçon

5. PREMIÈRE VERSION DU PROTOTYPE EQEAU

5.1 Description de la fonctionnalité d'EQEAU

Suite à l'analyse fonctionnelle présentée dans le rapport d'août 1997, la réalisation de la première version du module principal du prototype EQEAU a été réalisée conjointement par VIASAT Géo-Technologie et l'INRS-Eau. Rappelons que le prototype final doit comprendre les cinq sous-modules suivants :

- Calcul de l'équivalent en eau.
- Intégration par mailles d'une matrice.
- Intégration par sous-bassins.
- Production de statistiques comparant l'équivalent en eau estimé et mesuré.
- Production d'isolignes.

Pour cette étape du projet, seule la réalisation des trois premiers sous-modules était prévue. L'INRS-EAU a donc réalisé la programmation des DLL (bibliothèques de liens dynamiques) pour les trois sous-modules de calcul de l'équivalent en eau et d'intégration en plus d'ajouter un module de transformation d'une matrice binaire en Bitmap. Durant cette même période, VIASAT Géo-Technologie a intégré ces DLL et développé l'interface avec le logiciel MapInfoTM. D'ici l'automne prochain, les DLL de production de statistiques et d'isolignes seront aussi réalisés. Cependant, plusieurs points (besoins, attentes, algorithmes privilégiés, etc) restent à être précisés dans les prochaines semaines par les utilisateurs du prototype avant de procéder à la réalisation de ces DLL.

En se référant à l'analyse fonctionnelle, l'apport de l'INRS au prototype EQEAU devait être un seul DLL utilisé par MapInfoTM. Après consultations avec VIASAT Géo-Technologie des changements ont été apportés au plan de développement initial. En effet, il a été convenu que les quatre opérations (calcul de l'équivalent en eau, l'intégration par mailles, l'intégration par sous-

bassins et la création d'un Bitmap) seraient dans des DLL séparés, conférant ainsi plus de modularité au prototype EQEAU.

Le principal défi technique du prototype est au niveau de la compatibilité des informations échangées entre MapInfoTM et les DLL. La note technique suivante (1) décrit les opérations nécessaires à l'échange des données.

Note technique 1

Pour réussir à appeler un DLL de MapInfo, un paramètre de configuration du compilateur utilisé pour programmer le DLL doit être ajusté. Il s'agit du paramètre de configuration du projet "Struct Member Alignment" qui doit être changé à la valeur 1. De plus, les échanges d'informations entre MapInfo et un DLL sont fait par l'intermédiaire de fichiers. Ainsi les données d'entrée d'un DLL sont écrites dans un fichier d'entrée par MapInfo et les résultats de calculs du DLL sont écrits dans un fichier résultat. Ainsi, l'unique lien entre un DLL et MapInfo est une chaîne de caractères représentant un nom de fichier.

Les sections qui suivent présentent le formalisme des fichiers d'entrée et de résultats de chaque DLL ainsi que des commentaires sur les calculs effectués.

5.2 DLL de calcul d'équivalent en eau

Voici un exemple de fichier d'entrée pour le DLL d'équivalent en eau.

- Début-

Emplacement et nom du fichier contenant la matrice hiver.
d:\monique\raw\mathiv.raw
Emplacement et nom du fichier contenant la matrice référence.
d:\monique\raw\mataut.raw
Emplacement et nom du fichier contenant la matrice occupation de sol.
d:\monique\raw\matooc.raw
Emplacement et nom du fichier contenant la densité.
d:\monique\raw\densite.txt
Pente et ordonnée à l'origine utilisées pour la régression.
1.04 5.1
Formule de reconversion des données radar d'entier à réelle.
-400/10

-Fin-

La lecture de ce fichier est séquentielle. Chaque donnée doit donc obligatoirement être sur sa ligne spécifique. Ainsi, le fichier suivant pourrait très bien être écrit comme suit :

! NE PAS OUBLIER LA LIGNE BLANCHE AU DEBUT DU FICHIER !

- Début-

```
d:\monique\raw\mathiv.raw
d:\monique\raw\mataut.raw
d:\monique\raw\matocc.raw
d:\monique\raw\densite.txt
1.04 5.1
-400/10
```

-Fin-

Cependant par soucis de lisibilité, il est recommandé de laisser les lignes titres et changer seulement les valeurs. Nous allons maintenant décrire chacune des données d'entrée :

- Les premières données d'entrée représentent les noms des fichiers contenant les matrices nécessaires au calcul de l'équivalent en eau soit : la matrice *hiver* (image radar d'hiver), la matrice *référence* (image radar d'automne) et la matrice *occupation du sol*. La matrice *hiver* et la matrice *référence* sont en format binaire 16 bits. La matrice *occupation du sol* est en format binaire 8 bits. Dans cette version, toutes ces matrices sont considérées comme ayant les mêmes coordonnées géographiques donc elles utilisent toutes le même fichier en-tête, qui doit porter le nom de la matrice d'entrée, suivi de l'extension .ref "[mathiv].ref". Le fichier résultat portera le même nom mais suivi de l'extension .eq "[mathiv].eq". Notez que la matrice résultat est en format binaire 16 bits et donne les équivalents en eau en millimètres.
- Le fichier en-tête (.ref) sert à situer géographiquement l'image. Par exemple, dans le cas où l'image à intégrer (de résolution 10 X 10) possède 2500 colonnes et 1750 lignes les coordonnées (non-géoréférencées) des quatre coins de l'image seront les suivantes:

(0 , 17500)
*
(0 , 0)

(25000 , 17500)
*
(25000 , 0)

Le fichier "*.ref" s'écrit comme suit:

-Début-

1
1 1 2500 1750
0 17500 25000 0 10 -10

-Fin-

Le premier nombre détermine le type de coordonnées (TypeUtm et TypeMtm=1, TypeLambert=2, TypeSterio=4, TypeLonglat=5). La ligne suivante débute par le couple de chiffres 1 1 (Pixel du CSG et ligne du CSG) suivit du nombre de colonnes et du nombre de lignes. Finalement, la dernière ligne comprend les coordonnées X minimale, Y maximale (coin sup.gauche(CSG)) , X maximale, Y minimale (coin inf.droit(CID)) et les résolutions en X et en Y de l'image à intégrer.

- La prochaine donnée d'entrée est le nom du fichier densité de la neige (utilisée dans les calculs d'équivalent en eau). Ce fichier prend la forme suivante :

-Début-

6	
50	198
80	203
110	196
125	203
150	184
175	176

-Fin-

Le premier nombre indique la quantité de types d'occupations du sol. Ce nombre est utilisé pour connaître la quantité de lignes à lire. Les paires de nombres qui suivent représentent respectivement le type d'occupation du sol (ex : 50=forêt dense) et la densité de neige (kg/m^3) qui lui est associée.

- Les données de la ligne suivante sont la pente et l'ordonnée à l'origine utilisées dans la formule de régression établie à partir des travaux de l'INRS-Eau (Bernier et al, 1997).

- Finalement la dernière ligne contient une expression du type *opérateur nombre opérateur nombre* (-400/10). Cette expression origine du prétraitement des données radar qui a été effectué pour économiser de l'espace disque. En effet, les coefficients de rétrodiffusion (σ^0) sont codés en 32 bits. Les données de type réels ont donc été transformées en entiers positifs à l'aide de la formule de conversion suivante : Entier = Réel*10+400. La précision est maintenue au dixième de dB.

Note technique 2

Les mécanismes de rétrodiffusion de la neige sur la glace étant différents de ceux de la neige sur le sol un problème d'évaluation de l'équivalent en eau sur les lacs se pose. En effet, les équations utilisées ne sont pas valides dans le cas des lacs et des réservoirs. Pour remédier à ce problème, l'équivalent en eau sur les lacs est représenté avec la moyenne des valeurs d'équivalent en eau des autres occupations du sol. Il s'agit de la méthode utilisée actuellement par Hydro-Québec. Ainsi, la matrice d'équivalent en eau est déterminée en plusieurs étapes. Premièrement, la valeur d'équivalent en eau est calculée pour chaque occupation du sol, sauf les lacs. Ensuite la moyenne de ces valeurs est faite. Finalement, cette valeur moyenne est attribuée à chaque maille de type lac. La même procédure sera utilisée pour tout type d'occupation du sol pour lequel aucune densité du couvert de neige ne sera fournie (ex : routes et gravières).

5.3 DLL de calcul d'intégration par mailles

Voici un exemple de fichier d'entrée pour le DLL de calcul d'intégration par mailles.

-Début-

```
Emplacement et nom du fichier contenant l'image à intégrer.
d:\monique\raw\mathiv.eq
Emplacement et nom du fichier résultat.
d:\monique\raw\hiver.int
Resolution d'integration:
100 100
```

-Fin-

Les fichiers matriciels sont binaires 16 bits et considérés comme ayant tous un fichier d'en-tête portant le même nom et se terminant avec l'extension ".ref". Le fichier en-tête doit donc être présent dans le même répertoire que le fichier contenant la matrice pour que le DLL fonctionne. Ainsi, en accompagnement au fichier résultat, le DLL générera, dans le même répertoire, un fichier ".ref" du même nom.

Comme dans le cas du DLL décrit précédemment, la lecture du fichier est séquentielle. Ainsi, il est important de garder une ligne blanche entre les données d'entrée ou encore mieux laisser les commentaires et remplacer seulement les données. Chacune des données d'entrée du DLL intégration est décrite ci-dessous:

- La première donnée d'entrée est le nom du fichier contenant l'image (ou la matrice) à intégrer. L'en-tête de ce fichier (.ref) doit être dans le même répertoire et avoir le même nom pour que le DLL fonctionne.
- La deuxième donnée d'entrée est le nom du fichier résultat. Ce fichier représente une matrice binaire 16 bits contenant les valeurs intégrées. Une en-tête portant ce nom avec l'extension ".ref" sera générée au même endroit.
- La dernière ligne contient les résolutions pour l'intégration. Les valeurs des résolutions en X et en Y doivent être absolument plus grandes que celles de la matrice à intégrer. De plus, bien que ces deux nombres pourraient être différents, le DLL a été testé uniquement pour des exemples comprenant des résolutions en X et Y identiques.

5.4 DLL de calcul d'intégration par bassin

Voici un exemple de fichier d'entrée pour le DLL de calcul d'intégration par bassin.

-Début-

Emplacement et nom du fichier contenant l'image à intégrer. d:\monique\raw\mathiv.eq Emplacement et nom du fichier contenant les coordonnées du sous bassin. d:\monique\raw\bassin.txt Emplacement et nom du fichier resultat. d:\monique\raw\integbas.txt

-Fin-

Les fichiers matriciels sont considérés comme ayant tous un fichier d'en-tête portant le même nom et se terminant avec l'extension ".ref". Le fichier en-tête doit donc être présent dans le même répertoire que le fichier matrice pour que le DLL fonctionne.

Comme dans le cas des autres DLL décrit ci haut, la lecture du fichier est séquentielle. Ainsi, il est préférable de laisser les commentaires et de remplacer seulement les données. Chacune des données d'entrée est décrite ci-dessous :

- La première donnée d'entrée est le nom du fichier contenant l'image (ou la matrice) à intégrer. L'en-tête de ce fichier doit être dans le même répertoire et avoir le même nom pour que le DLL fonctionne.
- La deuxième donnée d'entrée est le nom du fichier contenant les coordonnées du sous bassin..

Voici un exemple de ce fichier:

-Début-

Nombre de Coordonnées X,Y du sous-bassin a intégrer. 11 Coordonnées (la première et la dernière sont identiques). 2030 3830 2095 3855 2045 3895 2045 3945 2145 3945 2160 3930 2160 3920 2156 3905 2132 3859 2160 3830 2030 3830
--

-Fin-

Tout comme les autres fichiers, ce fichier doit garder le même format. Ainsi, si les lignes de commentaires sont enlevées, des lignes blanches doivent les remplacer. La première donnée d'entrée est le nombre de coordonnées à lire. Les paires de nombres qui suivent représentent la coordonnée X,Y du contour du bassin. La première et la dernière coordonnée doivent être identiques. Il va sans dire que ces coordonnées doivent être du même type que les coordonnées de l'en-tête du fichier de l'image à intégrer. De plus, les coordonnées du bassin doivent être incluses dans le rectangle formé par les coordonnées de l'en-tête de l'image à intégrer. En d'autres mots, l'image doit couvrir complètement le sous-bassin.

- La dernière ligne contient le nom du fichier résultat. Voici un exemple de ce fichier:

-Début-

Surface: 11150 m2
ValMoyenneSB: 176.596
EcartTypeValSB: 42.6701

-Fin-

La surface du bassin représente le nombre de mailles à l'intérieure du bassin multiplié par la résolution des mailles. L'unité de mesure de la surface est donc dépendante de l'unité de mesure de la résolution des mailles. La moyenne représente la moyenne des valeurs d'équivalent en eau sur le bassin et il en va de même pour l'écart type.

5.5 DLL de visualisation d'image

MapInfoTM ne permet d'afficher une image matriciel que sous la forme bitmap 8 bits. Il a donc été nécessaire de développer un DLL permettant de prendre une matrice binaire 16 bits (comme les matrice d'hiver, de référence et d'équivalents en eau) et de la transformer en bitmap 8 bits à des fins d'affichage. Dans cette première version du prototype, les huit classes pré-déterminées sont présentée au Tableau 2. Toutefois, les intervalles des huit classes pourront être modifiés ultérieurement.

Tableau 2: Classes d'équivalents en eau pour affichage du bitmap

Classe	Intervalles	Couleur
0	Équivalent en eau non-calculé	noir
1	1-100 mm	bleu foncé
2	101-150 mm	bleu pâle
3	151-200 mm	vert
4	201-250 mm	jaune
5	251-300 mm	orange
6	301-400 mm	rouge
7	Équivalent en eau surestimé	blanc

La classe 0 comprend les valeurs -999 à 0. La classe 7 comprend les valeurs supérieures à 400 mm.

Parralèlement au bitmap, le DLL génère un fichier texte qui retourne le nombre de pixels ou de mailles dans chaque classe. Ce fichier se présente ainsi :

-Début-

0	0
1	104
2	25456
3	17949
4	240
5	1
6	0
7	0

-Fin-

La première colonne est la classe et la deuxième colonne est le nombre de pixels ou de mailles inclus dans cet intervalle.

6. ANALYSE COMPLÉMENTAIRE DES IMAGES RADARSAT

6.1 Analyse des modes d'acquisition

L'acquisition d'images RADARSAT à différents angles d'incidence lors de la saison 1996-1997 a été faite dans le but d'évaluer le mode d'acquisition le plus propice au suivi du couvert de neige. Les couples d'images qui ont été acquis sont présentés au tableau 3.

Tableau 3: Couples d'images Standard S1/S7 acquis en 1996-1997

Date	Mode	Date	Mode
7 octobre	S1 (20-27°)	24 novembre	S1 (20-27°)
13 octobre	S7 (45-49°)	30 novembre	S7 (45-49°)
31 octobre	S1 (20-27°)	4 février 1997	S1 (20-27°)
6 novembre	S7 (45-49°)	10 février 1997	S7 (45-49°)

Selon les modèles théoriques, le coefficient de rétrodiffusion radar diminue avec l'augmentation de l'angle d'incidence (Ulaby *et al.*, 1986). Les valeurs extraites des images en mode S1 (20-27°) seront donc plus élevées que celles extraites des images en mode S7 (45-49°). C'est effectivement ce que l'on observe pour tous les couples d'images. Les coefficients de rétrodiffusion des images en mode S1 sont de 1 à 6 dB plus élevés qu'en mode S7 (Tableau 4).

Tableau 4: Différence des coefficients de rétrodiffusion moyens pour les 35 sites tests

Couples d'images (S1 - S7)	Différence de rétrodiffusion
7 oct 96 - 13 oct 96	2 à 6 dB
31 oct 96 - 6 nov 96	1 à 4 dB
24 nov 96 - 30 nov 96	2 à 4 dB
4 fév 97 - 10 fév 97	1.5 à 3 dB

Dans le cas des trois couples d'automne, la différence entre les deux modes est plus élevée puisqu'il y a aussi des variations significatives des conditions environnementales (humidité et

température du sol) entre l'acquisition de deux images (six jours). En février 1997, les conditions sont stables et froides, ce qui permet d'évaluer plus précisément l'écart dû au changement de mode, soit de 1.5 à 3 dB. Cette variation de l'écart peut être reliée à l'occupation du sol. En effet, plus la densité des arbres est grande, plus il y a de diffusion de volume, donc l'effet du changement d'angle d'incidence est plus faible (Ulaby et al., 1986). La figure 4 montre que pour le couple de février 1997, on observe la majorité des plus grands écarts pour les sites de landes et les écarts plus faibles pour les sites à dominance forestière.

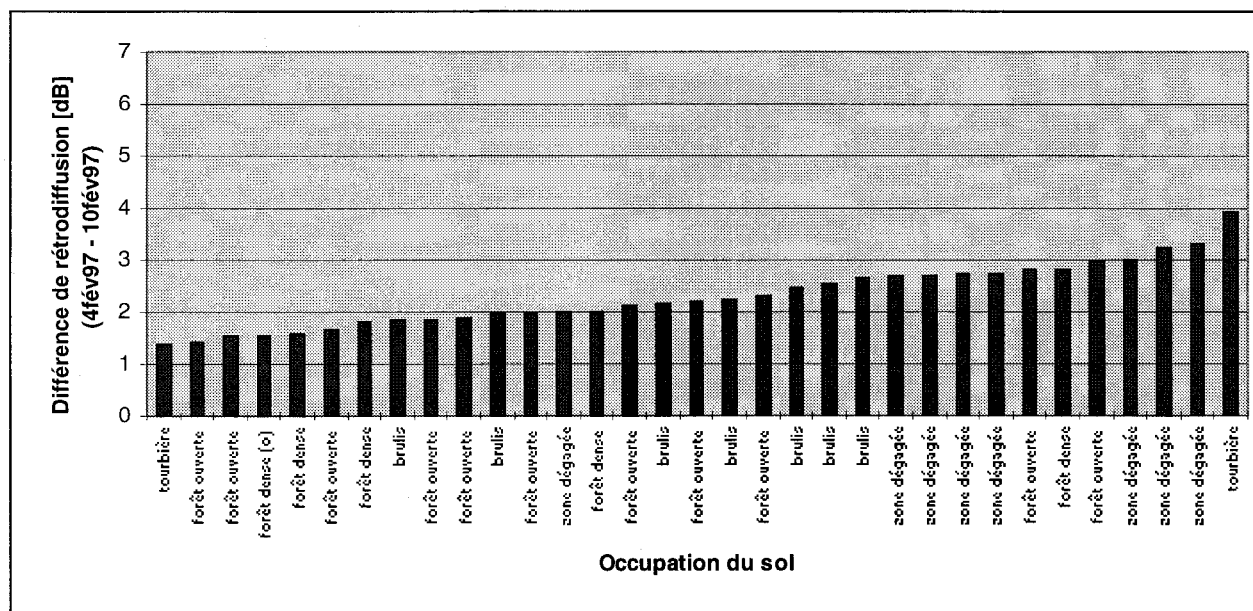


Figure 4: Différence de rétrodiffusion des sites tests pour les images acquises les 4 et 10 février 1997

Le tableau 5 confirme la tendance pour tous les couples d'images, pour les classes de landes, de forêt ouverte et de forêt plus dense. Plus la densité des arbres est élevée, plus la différence entre les images acquises selon les modes S1 et S7 est faible. La variation temporelle du signal des tourbières est surtout influencée par le gel progressif des plans d'eau.

Tableau 5: Différence moyenne de rétrodiffusion pour les 35 sites tests, par classe d'occupation du sol

Type d'occupation du sol	Différence moyenne [dB]			
Dates	7oct - 13oct	31oct - 6nov	24nov - 30nov	4fév - 10fév
Landes	3.8	3.1	3.0	2.8
Forêt ouverte	3.6	2.4	2.6	2.0
Forêt dense	3.1	2.0	2.3	1.9
Brûlis	5.3	3.7	3.2	2.3
Tourbières	5.5	3.2	2.9	2.7

Dans le cas des brûlis, on note une différence significative entre les deux modes à l'automne. Cette différence provient de la présence de nombreux troncs brûlés mais pas complètement secs qui jonchent le sol en s'entremêlant. Ces troncs donnent au brûlis une forte rugosité à laquelle est particulièrement sensible les angles d'incidence faibles (mode S1). Toutefois, durant l'hiver, les troncs d'arbres jonchant le sol sont gelés et deviennent donc transparents aux micro-ondes, ce sont alors les arbres sains et le sol gelé qui dominent le signal. Cette classe se comporte alors de façon plus similaire aux forêts ouvertes.

Un autre phénomène relié aux angles d'incidence est observable sur la figure 5, où l'on présente les coefficients de rétrodiffusion moyens extraits des 35 sites tests, pour les six images de l'automne 1996. Comme expliqué précédemment, on y retrouve des valeurs plus faibles pour les images acquises en mode S7. Ce qu'on remarque aussi, c'est que la différence entre deux dates est plus marquée en mode S1 (0 à 4 dB) qu'en mode S7 (0 à 1.5 dB). C'est parce que malgré la présence d'arbres, les angles d'incidence faibles (mode S1) sont plus sensibles aux variations des propriétés diélectriques du sol, qui elles, sont fonction de son humidité et de sa température (gel). Le mode S1 serait donc plus propice à l'application de nos algorithmes qui relie les variations du signal de l'image aux variations de résistance thermique du couvert de neige. Il ne nous est pas encore possible de vérifier cette hypothèse en période hivernale puisque l'image en mode S1 de mars 1997 n'a pu être acquise. En mode S7, l'écart entre février et mars est néanmoins très faible (0 à 0.5 dB).

Conséquemment, c'est le mode S1 (20-27°) qui a été retenu pour la planification des acquisitions d'images Standard de l'automne 1997 et de l'hiver 1998.

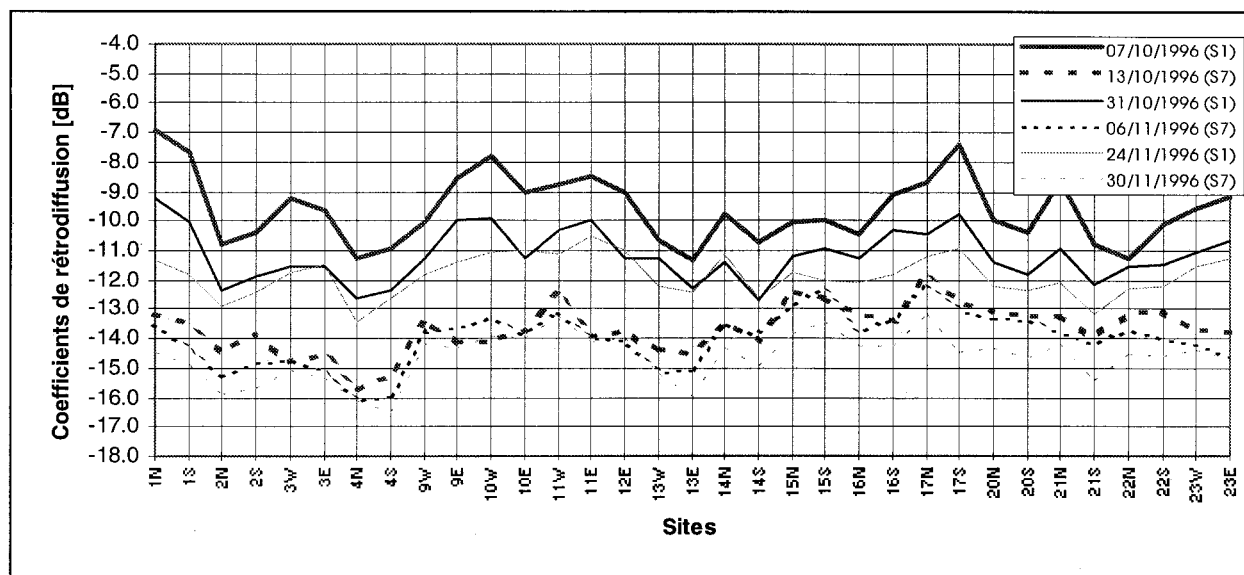


Figure 5: Coefficients de rétrodiffusion moyens extraits des 35 sites tests, pour les six images de l'automne 1996

6.2 Analyse de l'image de référence

La méthodologie utilisée dans le développement de l'algorithme d'estimation de l'équivalent en eau de la neige implique l'utilisation d'une image de référence, préférablement une image d'automne. Celle-ci présente les coefficients de rétrodiffusion pour un territoire sans neige. On soustrait ensuite cette image de référence de l'image d'hiver, qui présente les coefficients de rétrodiffusion pour un territoire enneigé. Puisque la pente et la rugosité sont similaires sur les deux images (à l'exception des brûlis), le résultat (appelé rapport de rétrodiffusion) sera proportionnel aux changements des caractéristiques du sol et du couvert de neige entre les deux dates. Parmi ces caractéristiques, nous nous intéressons à la température du sol sous le point de congélation et à tous les paramètres du couvert de neige. Par contre, les variations de l'humidité du sol sur l'image de référence représentent un facteur indésirable. Pour atténuer son impact sur les rapports de rétrodiffusion, l'humidité du sol doit être le plus homogène possible sur l'image de référence. C'est une condition difficile à obtenir puisque la végétation, le type de sol et le relief introduisent naturellement une grande variabilité de la teneur en eau des sols. Ce phénomène est accentué par le fait qu'à cette période de l'année, le sol est gelé à certains endroits et pas à d'autres.

Notre objectif est donc de trouver une image de référence où l'humidité du sol et le gel du sol sont les plus homogènes possible. Idéalement, le sol serait gelé partout et il n'y aurait pas de neige.

À titre de rappel, les trois images RADARSAT acquises en mode S1 à l'automne 1996 sont énoncées au tableau 3. Au moment de la rédaction du rapport d'étape du 31 juillet 1997, seules les images du 31 octobre et du 6 novembre 1996 avaient été traitées. Depuis, toutes les images d'automne ont été analysées. Suite aux conclusions de la section précédente, nous comparons ici les trois images d'automne acquises en mode S1 et nous évaluons leur potentiel en tant qu'image de référence.

Afin d'interpréter les coefficients de rétrodiffusion de ces images, il est d'abord nécessaire de connaître les conditions environnementales prévalant lors du passage du satellite. L'étude des données des stations climatologiques permanentes nous indique que pour les trois périodes d'acquisition en mode S1, les conditions sont les suivantes :

Tableau 6: Conditions à 18h enregistrées aux stations climatologiques #11 et #19 (station #2 non disponible)

Date	Station	Tsol (-5 cm) [°C]	Tsol (0cm) [°C]	Tair moyenne [°C]	Épaisseur neige [cm]
7 octobre 1996	#11	-0.3	-5.4	-2	3
	#19	2.3	-3.1	-1	n.d.
31 octobre 1996	#11	-0.3	-2.9	-2	5
	#19	1.4	-0.1	-2	0
24 novembre 1996	#11	-1.3	-2.7	-9	18
	#19	0	0.7	-7	12

Les jours précédant le 7 octobre sont doux, le mercure atteignant 5 à 9°C. Le 7 octobre, la température de l'air atteint 3°C le jour et chute sous le point de congélation dès le coucher du soleil. Il y a une très mince couche de neige au sol. Pour ces raisons, la température à la surface du sol suit celle de l'air et se refroidit très vite. Par contre, la température dans le sol demeure stable, autour ou légèrement au-dessus du point de congélation. Les conditions au moment de l'acquisition de l'image seront donc hétérogènes puisque le sol est généralement dégelé et que son humidité varie spatialement.

La situation est très similaire pour le 31 octobre. La température de l'air atteint environ 2°C le jour et se refroidit rapidement dans l'après-midi. Puisqu'il n'y a toujours pas d'accumulation significative de neige, la température à la surface du sol fluctue beaucoup. La température dans le sol est encore stable autour ou au-dessus du point de congélation. Les conditions au moment de l'acquisition de l'image sont encore hétérogènes. D'autres mesures obtenues lors de la campagne de terrain tenue du 28 au 31 octobre 1996 confirment ces observations. Les thermistances installées en permanence sur 8 sites indiquent le 31 octobre, une température du sol (-2 cm) de 0.0° à 0.9°C. Les thermomètres à main ont pour leur part relevés des températures de 1 à 3°C sur les autres sites (plus près de la surface du sol). De plus, des mesures de constante diélectrique ont permis d'évaluer la teneur en eau du sol sur une quinzaine de sites. Celle-ci varie de 5% à 25%.

Les jours précédant le 24 novembre, la température de l'air se maintient sous 0°C et il y a de 15 à 20 cm de neige au sol. La température à la surface du sol comme dans le sol est stable, près ou sous le point de congélation. Les conditions au moment de l'acquisition de l'image sont plus froides et probablement plus homogènes que lors des deux acquisitions précédentes mais, comme le gel n'est pas encore complet et qu'en plus, il y a un couvert de neige, ce ne sont pas encore des conditions idéales.

En revenant aux courbes de la figure 5, on constate que la valeur des coefficients de rétrodiffusion des images en mode S1 diminue avec l'avancement de la saison froide, confirmation que la température et l'humidité du sol baissent graduellement. L'amplitude des valeurs extraites diminue aussi progressivement, ce qui témoigne aussi de l'homogénéisation des conditions du sol.

L'estimation de l'équivalent en eau à partir de l'image S1 du 4 février 1997 a été réalisée en utilisant successivement les 3 images d'automne du même mode (7 octobre, 31 octobre, 24 novembre). Le tableau 7 présente la précision obtenue dans chacun des cas.

Tableau 7 : Précision de l'estimation de l'équivalent en eau pour le 4 février 1997, selon l'image de référence choisie.

Image de référence	Erreur moyenne	Écart type
7 octobre	-47 mm	± 33 mm
31 octobre	-2 mm	± 28 mm
24 novembre	+ 18 mm	± 26 mm

C'est donc avec l'image de référence du 31 octobre que les meilleurs résultats sont obtenus.

Le choix judicieux d'une image de référence est d'autant plus critique qu'une différence de 1 dB sur l'image d'automne peut se traduire par une différence de 40 mm sur l'estimation de l'équivalent en eau, selon l'algorithme présenté dans le rapport du 31 juillet 1997 (Tableau 8).

Tableau 8: Calcul de l'équivalent en eau pour deux rapports de rétrodiffusion différents

Pour un Rapport de rétrodiffusion de -2 dB	Pour un Rapport de rétrodiffusion de -1 dB
$EqEau = ((1.04 * Rap) + 5.1) * a$	$EqEau = ((1.04 * Rap) + 5.1) * a$
$EqEau = ((1.04 * -2 \text{ dB}) + 5.1) * a$	$EqEau = ((1.04 * -1 \text{ dB}) + 5.1) * a$
$EqEau = (-2.1 + 5.1) * a$	$EqEau = (-1 + 5.1) * a$
$EqEau = 3.0 * a$	$EqEau = 4.1 * a$
Si $a = 4$, $EqEau = 12 \text{ cm}$	Si $a = 4$, $EqEau = 16.1 \text{ cm}$

7. CAMPAGNE DE TERRAIN

Une campagne de terrain tenue du 17 au 21 novembre 1997 a permis d'installer de nouvelles sondes de constante diélectrique, de remplacer des sondes endommagées, de récupérer les données des stations climatologiques et de mettre en marche le système de transmission par satellite de ces données. Le tableau 9 présente la nouvelle répartition des sondes de température et de constante diélectrique.

Tableau 9: Répartition des équipements de mesure sur les sites de terrain

Site	Stations climatologique	Sondes de température	Sondes de constante diélectrique
1		x	x
2	x	x	x
3		x	
4		x	x
11	x		x
13		x	x
14		x	x
16			x
17		x	x
19	x		x

Les conditions du couvert de neige et du sol prévalant à cette période ont aussi été relevées (Tableau 10). Elles sont similaires à celles observées à la fin du mois de novembre 1996 (chapitre 6).

Tableau 10: Sommaire des conditions environnementales prévalant le 20 novembre 1997

État des lacs	Lacs gelés, réservoirs dégelés
État du sol	Sol gelé presque partout Profondeur : 2 à 10 cm ; Temp : 0 à -1°C ; Teneur en eau : 5 à 25%
État du couvert de neige	15 à 30 cm de neige sèche au sol Densité : 130 à 185 kg/m ³ ; Équivalent en eau : 80 à 125 mm

Parallèlement à cette campagne de terrain, une image RADARSAT a été acquise le 19 novembre en mode Standard (100km X 100km) et une première image en mode ScanSAR Wide (500km X 500km) a été acquise le 22 novembre 1997. Cette dernière est présentée à la figure 6. Elle couvre 85% de tout le bassin de la rivière La Grande, avec une résolution de 100m. Trois autres images ScanSAR Wide seront acquises en 1998.

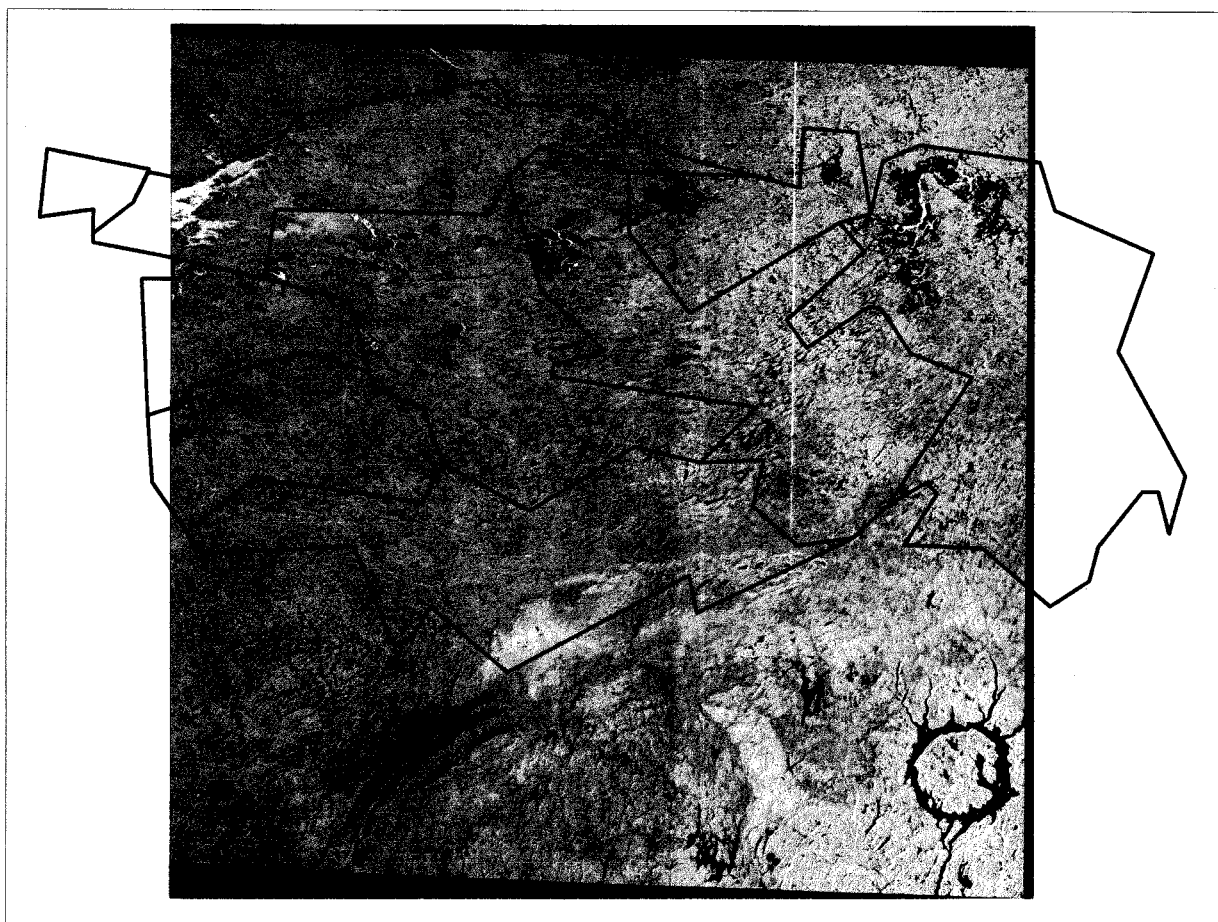


Figure 6 : Image ScanSar du 22 novembre 1997

8. TRAVAUX À VENIR ET ÉCHÉANCIER

8.1 Livrables à déposer au 30 juin 1998

Les livrables à déposer le 30 juin prochain sont reliés essentiellement à l'adaptation des algorithmes de calcul de l'équivalent en eau et de cartographie de la neige humide aux images RADARSAT, en mode Standard et en mode ScanSAR:

- 1) Le contour et la structure interne du sous-bassin de LG4 ;
- 2) La cartographie de l'équivalent en eau du sous-bassin de LG4 à partir des images RADARSAT de février et mars 1998.
- 3) La cartographie de la neige humide du sous-bassin de LG4 à partir des images RADARSAT d'avril et/ou mai 1998.
- 4) Le troisième rapport d'étape

Toutefois, le développement du prototype EQEAU se continuera et des objectifs de réalisation pour le 30 juin 1998 seront précisés dans les prochaines semaines avec le chargé de projet chez Hydro-Québec et nos collaborateurs de Viasat Géo-Technologie. En effet, ce n'est qu'en faisant tourner la première version du prototype que l'utilisateur pourra préciser les améliorations à apporter à l'interface et ses besoins face aux deux autres sous-modules à être développés par l'INRS-Eau (Statistiques et Isolignes). La deuxième version du prototype EQEAU (une version fonctionnelle) sera livrée comme prévue, à la fin du projet, soit au 31 décembre 1998.

8.2 Activités complémentaires

Durant les prochains mois, trois campagnes de terrain (février, mars, mai) se dérouleront dans la région de LG4 pour recueillir les données nécessaires à l'établissement et à la vérification des paramètres des algorithmes. Aussi, une attention particulière sera apportée à la correction géométrique, la qualité radiométrique des images ScanSAR et leur utilisation potentielle dans EQEAU.

9. CONCLUSION

Sauf pour la détermination du contour du sous-bassin de LG4 au moyen du logiciel PHYSITEL qui sera réalisée dans les prochaines semaines, les autres activités prévues pour cette seconde étape (la classification de l'occupation du sol du sous-bassin LG4 à l'aide d'images LANDSAT, les DLL d'EQUEAU, l'analyse complémentaire des images RADARSAT) ont été entièrement complétées. Toutefois, le fait que le contour du sous-bassin de LG4 n'est pas encore été livré ne retardera pas les autres activités de la phase RADARSAT.

Le livrable clé de cette étape a été la réalisation conjointe par Viasat Géo-technologie et l'INRS-Eau de la première version du prototype EQUEAU. Ce prototype intègre les algorithmes développés par l'INRS-Eau pour l'estimation de l'équivalent en eau de la neige à partir des images RADARSAT et est implanté dans l'environnement MapInfo™. Trois des cinq sous-modules de calcul ont été réalisés sous forme de DLL par l'INRS-Eau (Calcul de l'équivalent en eau, intégration par mailles d'une matrice, intégration par sous-bassin) ainsi qu'un module de transformation d'une matrice binaire en Bitmap. De son côté, VIASAT Géo-technologie a intégré ces quatre DLL et a développé une première version de l'interface avec le logiciel MapInfo™.

D'autre part, en décembre dernier, Viasat Géo-Technologie et l'INRS-Eau ont préparé en collaboration avec Hydro-Québec, une proposition pour le Programme des projets pilotes d'observation de la terre (EOP3) de l'Agence Spatiale canadienne, administré par le Centre canadien de télédétection afin d'obtenir du financement complémentaire pour la démonstration de l'efficacité de l'approche RADARSAT et le développement du prototype EQUEAU. Si financé, ce projet pilote, s'étalerait sur 22 mois, soit de mars 1998 à décembre 1999. Dans le cadre du projet pilote, l'équivalent en eau de la neige sera estimé en 1998 pour l'ensemble du sous-bassin LG4 (tel que prévu dans le projet en cours) ce qui permettra de comparer la précision de *l'algorithme RADARSAT* avec l'approche conventionnelle. En 1999, les trois bassins amonts du complexe La

Grande Rivière seraient couverts, soient *LG4*, *Laforge* et *Caniapiscau*, ce qui représente une superficie totale de 77 114 km².

RÉFÉRENCES

Bernier, M., J.P. Fortin, Y. Gauthier, M. Lelièvre, J. Fitzback et N. Baghdadi (1997). Suivi du couvert nival à l'aide des données de RADARSAT. Rapport rédigé pour l'Unité Prévisions et Ressources Hydriques d'Hydro-Québec. INRS-Eau rapport de recherche No R508, juillet 1997.

Bernier, M., J.P. Fortin, Y. Gauthier, R. Gauthier, J.L. Bisson, et P. Vincent (soumis). Estimation de l'équivalent en eau du couvert nival au moyen d'images radar satellitaires. *Revue des sciences de l'eau*, soumis en juin 1997, 26 pages.

Collectif (1996). Projet de recherche sur l'exploitation des données images Radar (PREDIR). Rapport final. Université Laval, INRS-Eau, Université de Sherbrooke, Viasat Géo-technologie inc., MIR Télédétection inc., Consultants TGIS inc., mai 1996, 104 pages.

RSI (1995) RADARSAT illuminated; Your Guide to Products and Services. Radarsat International Inc., Richmond, Colombie Britannique, juillet 1995, 110 pages

Ulaby F.T., Moore R.K., and Fung A.K., 1986. *Microwave Remote Sensing , Active and Passive*, vol. 3, From Theory to Applications. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
