

***Implantation d'EQeau sur l'ensemble du
bassin de la rivière La Grande***

Rapport de recherche No R-609-e1 31 décembre 2001

**Implantation d'EQeau sur l'ensemble du bassin
de la rivière La Grande**

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

Par

**Monique Bernier
Yves Gauthier**

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

Rapport de recherche No 609-e1

31 décembre 2001

© INRS-Eau, 2001

ISBN: 2-89146-475-3

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES.....	vii
SOMMAIRE	ix
1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS	1
2. PRÉPARATION DE LA SAISON HIVERNALE 2001-2002	5
2.1 PLANIFICATION ET ACQUISITION DES IMAGES RADARSAT DE LA SAISON 2001-2002	5
2.2 CAMPAGNE DE TERRAIN DE L'AUTOMNE 2001	6
2.2.1 <i>Vérification des sondes</i>	7
2.2.2 <i>État du sol et couvert de neige</i>	8
2.2.3 <i>Données des observateurs</i>	9
3. MODIFICATION DE LA VERSION MAPX D'EQUEAU.....	11
4. RÉVISION DE L'ALGORITHME D'EQUEAU.....	13
5. CONCLUSION	21
ANNEXE 1 : TYPES D'IMAGES ACQUISES DEPUIS 1994.....	29



LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : DATES PRÉVUES DES ACQUISITIONS RADARSAT POUR L'HIVER 2001-2002.....	6
TABLEAU 2 : ÉTAT DU SOL ET COUVERT DE NEIGE.....	9
TABLEAU 3 : OBSERVATIONS AUX AÉROPORTS LORS DES ACQUISITIONS RADARSAT.....	10
TABLEAU 4 : IMAGES ET SITES UTILISÉS.....	13

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : ORBITES SCANSAR NARROW DE L'HIVER 2000-2001	5
FIGURE 2 : ORBITES SCANSAR NARROW DE L'HIVER 2001-2002	6
FIGURE 3 : LOCALISATION DES SONDAS DE TEMPÉRATURE ET DE TDR.....	7
FIGURE 4 : TEMPÉRATURES DU SOL À -5 CM, -10 CM ET -15 CM POUR LE MOIS PRÉCÉDANT L'ACQUISITION DES IMAGES RADARSAT DE L'AUTOMNE 2001.	8
FIGURE 5: RELATION ENTRE LE RAPPORT DE RÉTRODIFFUSION ET LA RÉSISTANCE THERMIQUE DU COUVERT DE NEIGE, EN UTILISANT LES RÉSISTANCES THERMIQUES MESURÉES À LA FOSSE.	15
FIGURE 6 : RELATION LINÉAIRE (ROUGE) HABITUELLEMENT UTILISÉE EN MILIEU D'HIVER ET RELATION POLYNOMIALE (NOIR) SUGGÉRÉE PAR LA NOUVELLE ANALYSE.....	17
FIGURE 7 : RELATION LINÉAIRE (BLEU) PROPOSÉE POUR UN SOL DÉGELÉ À L'AUTOMNE	17
FIGURE 8 : RELATION LINÉAIRE (ROUGE) HABITUELLEMENT UTILISÉE EN FIN D'HIVER ET RELATION POLYNOMIALE (NOIR) SUGGÉRÉE PAR LA NOUVELLE ANALYSE.....	18
FIGURE 9 : RELATION LINÉAIRE (BLEU) PROPOSÉE POUR UN SOL GELÉ À L'AUTOMNE.	18



SOMMAIRE

L'approche *EQeau* a permis d'obtenir de bons résultats en phase de recherche (hiver 1998) et en phase pré-opérationnelle (hiver 1999) à partir d'images RADARSAT en mode Standard et Wide. Lors de l'utilisation en mode opérationnel à l'hiver 2000, l'approche *EQeau* n'a pas performé comme prévu, principalement à cause de la faible qualité radiométrique des images ScanSAR Wide (500 km x 500 km) utilisées pour couvrir l'ensemble du bassin de la Rivière La Grande. L'année 2001 marque donc le début d'une phase de validation de l'approche *EQeau* dans un contexte opérationnel, afin de mieux comprendre les limites d'application et d'en raffiner et si besoin modifier l'algorithme, pour le rendre à la fois plus sensible et plus robuste.

Une quinzaine d'images en mode ScanSAR Narrow (300 X 300 km) ont donc été achetées par Hydro-Québec. Ces images proviennent de trois orbites différentes afin de couvrir l'ensemble du bassin de la rivière La Grande. Deux séries ont été acquises à l'automne afin de sélectionner les meilleures images de référence possibles et trois séries durant les mois d'hiver. En plus des lignes de neige réalisées par Hydro-Québec, deux campagnes de terrain spécifiques ont été réalisées, l'une du 29 janvier au 2 février, l'autre du 19 au 22 mars 2001. Afin de valider la qualité radiométrique des images ScanSAR Narrow, des images en mode Wide 1 ont aussi été acquises à chacune de ces périodes par l'intermédiaire d'Environnement Canada et de l'Agence spatiale canadienne.

La série d'images ScanSAR Narrow de novembre 2000 a été choisie à titre d'images de référence (sol gelé, moins de 10 cm de neige). L'analyse de la variation temporelle du signal des images ScanSAR Narrow a montré que cette variation correspond bien aux conditions environnementales observées sur le terrain. De plus, tant en novembre qu'en hiver, les rétrodiffusions des images en mode Wide et ScanSAR Narrow sont comparables. Les cartes d'équivalents en eau produites par les deux modes se comparent également (± 10 mm), ce qui confirme la stabilité du système RADARSAT et plus particulièrement, la qualité radiométrique des images ScanSAR Narrow. Trois mosaïques d'équivalents en eau ont été produites et la répartition spatiale des équivalents en eau correspond généralement aux relevés ponctuels d'Hydro-Québec (Bernier *et al*, juin 2001). De plus, les équivalents en eau moyens estimés par *EQeau* pour les sous-bassins sont comparables aux moyennes calculées par interpolation des relevés de neige d'Hydro-Québec.

Toutefois, en raison de la variation importante des valeurs de densités sur le bassin de La Grande à l'hiver 2001, et de leur incertitude, le choix de densités représentatives pour l'étalonnage d'EQueau a été difficile, d'où la nécessité d'examiner les moyens d'obtenir des mesures de terrain plus fiables. Les valeurs de densités mesurées étant fort différentes d'un sous-bassin à l'autre, cela entraîne une segmentation des cartes par sous-bassins. Pour l'an prochain, des solutions à ce problème sont envisagées comme l'utilisation d'une interpolation par polygone de Thyssen et/ou une pondération en fonction de l'altitude afin que les cartes représentent mieux la variabilité spatiale du couvert nival.

La validation de l'algorithme d'EQueau avec les données de l'hiver 2001 a aussi été effectuée (objectif 4a). Les données de janvier 2001 suivent la tendance générale des années antérieures, mais l'ordonnée à l'origine est significativement plus basse. L'ordonnée à l'origine a d'ailleurs dû être modifiée lors de la période opérationnelle.

À l'automne, nous avons examiné les valeurs des paramètres de l'algorithme d'EQueau pour l'ensemble des images RADARSAT acquises depuis l'automne 1996 afin de les raffiner avant la prochaine saison hivernale (objectif 4b). On a pu extraire deux relations semblables à celles utilisées jusqu'à maintenant dans EQueau. Ces deux relations semblent définies par l'état du sol sur l'image de référence (gelé ou non) mais peuvent également être influencées par la rigueur de l'hiver. Comme les images ScanSAR Narrow couvrent un très grand territoire (350 x 350 km) et qu'ainsi les conditions plus réalistes et environnementales sont plus variables, l'emploi de deux relations polynomiales sont préférables aux deux relations linéaires. Toutefois, puisque dans sa forme actuelle, le logiciel EQueau utilise uniquement les paramètres d'une relation linéaire, deux nouvelles relations linéaires seraient utilisées à l'hiver 2002, l'une pour un sol dégelé à l'automne, l'autre pour un sol gelé à l'automne.

Nous avons aussi assisté Hydro-Québec dans la planification des acquisitions des images RADARSAT de l'hiver 2002 et la réalisation d'une campagne de terrain automnale. La campagne de terrain d'automne à LG4 s'est tenue du 12 au 15 novembre 2001, soit lors de la période d'acquisitions des images RADARSAT (11, 12, et 15 novembre). Dans le secteur de LG4, les sols étaient généralement dégelés lors des trois dates d'acquisition. Dans les secteurs plus à l'est, les sols sont parfois gelés en surface. Par ailleurs, le couvert de neige est généralement sec et complet partout, variant de 10 à 30 cm, sauf le 15 novembre, où il est

1. Introduction et objectifs

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 trois objectifs généraux du projet *EQeau* sont:

- Démontrer l'exploitabilité des données de télédétection (RADARSAT et LANDSAT) pour l'estimation de l'équivalent en eau du couvert nival et l'efficacité du *prototype EQeau* en combinaison avec les méthodes actuelles de relevés sur le terrain.
- Par rapport aux méthodes actuelles d'estimation, évaluer l'accroissement de la précision (réduction de l'incertitude) de l'estimation de la quantité d'eau stockée sur le territoire, basée sur les données RADARSAT.
- Mettre en évidence les avantages économiques et stratégiques que procurent l'implantation d'une telle méthode (retour sur l'investissement) et sa commercialisation internationale.

L'approche *EQeau* a permis d'obtenir de bons résultats en phase de recherche (hivers 1997 et 1998) et en phase pré-opérationnelle (hiver 1999). À l'hiver 2000, la détermination de l'équivalent en eau du couvert nival de la région de La Grande à partir d'images RADARSAT-1 avait été marquée par plusieurs nouveautés. Premièrement, l'analyse des images RADARSAT par le logiciel *EQeau* avait été réalisée dans un contexte opérationnel. Deuxièmement, plusieurs images ScanSAR Wide (9) avaient été acquises au cours du même hiver ce qui nous avaient permis d'évaluer la stabilité du signal et la qualité radiométrique de ce type d'images. Troisièmement, le secteur à cartographier était quatre fois plus étendus que celui des années passées, donc plus diversifié du point de vue de l'occupation du sol (étendue des brûlis, densité des tourbières) et de la densité du couvert nival. Finalement, nous avons des données au sol que pour trois des sept images hivernales.

Toutefois, lors de cette utilisation en mode opérationnel à l'hiver 2000, l'approche *EQeau* n'a pas performé comme prévu, dû à la faible qualité radiométrique des images ScanSAR Wide utilisées pour cartographier l'ensemble du bassin de la Rivière La Grande. Tel que discuté, en détails, dans le rapport d'étape du 30 juin 2000, les images ScanSAR Wide surestimaient l'équivalent en eau de la neige au sol. Deux causes expliquent 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 déjà une quarantaine de centimètres de neige au sol. D'autre part, des modifications avaient été apportées dans la production des images à la station de réception de Gatineau afin de réduire les artefacts entre les limites des quatre faisceaux des images ScanSAR Wide. Toutefois, ce processus avait changé la dynamique du signal ce qui nuisait à la performance de l'algorithme *EQeau* développé antérieurement à ce changement. Il devenait alors évident que les images ScanSAR Wide (quatre faisceaux) n'étaient plus appropriées pour *EQeau*. Nous recommandions alors l'utilisation du mode ScanSAR Narrow (deux faisceaux) pour l'hiver 2001. Celui-ci permet tout de même de couvrir une superficie de 300 km X 300 km en comparaison de 500 km X 500 km pour le mode ScanSAR Wide. Ce changement de mode, impliquait aussi que de nouvelles images de référence devaient être prises à l'automne 2000. De plus, afin de valider la qualité radiométrique des images ScanSAR, des images en mode Wide (1 faisceau) ont aussi été acquises. Voir l'annexe 1 pour un sommaire des types d'images utilisées depuis 1994.

L'année 2001 marque donc le début d'une phase de validation de l'approche dans un contexte opérationnel, afin de mieux comprendre les limites d'application et d'en raffiner et si besoin modifier l'algorithme, pour le rendre à la fois plus sensible et plus robuste. Il faut également s'assurer qu'*EQeau* tire le maximum des informations contenues dans les images RADARSAT-1

Les cinq objectifs spécifiques pour l'année 2001 étaient les suivants:

1. Analyser deux séries d'images d'automne (mode ScanSAR Narrow) et choisir la meilleure série d'images de référence.
2. Cartographier les équivalents en eau de la neige au sol sur l'ensemble du bassin de la Rivière La Grande à partir de trois séries d'images ScanSAR Narrow.
3. Valider la qualité radiométrique des images ScanSAR Narrow à l'aide d'images Wide.

4. Valider (a) et (b) raffiner l'algorithme d'EQueau
5. Valider la version MapX et effectuer des modifications mineures au logiciel *EQueau*.

Des images ScanSAR Narrow ont donc été acquises en octobre et en novembre 2000 afin de pouvoir choisir la meilleure période pour les images de référence. Ces images d'automne ainsi que les images acquises durant les mois de janvier, février et mars 2001 ont été traitées par VIASAT d'après la procédure opérationnelle établie antérieurement. Dès la réception des images, VIASAT a effectué le traitement radiométrique et géométrique des images RADARSAT afin de produire les matrices d'entrée pour le logiciel *EQueau*. Ces images ont ensuite été transmises à Hydro-Québec et à l'INRS-Eau pour analyse par *EQueau* et production des cartes d'équivalents en eau. Les cartes et mosaïques ont été produites par Yves Gauthier (INRS-Eau) et Marie Claude Bouchard (Hydro-Québec). *Ces activités correspondaient au volet opérationnel du projet.*

De plus, l'INRS-Eau a réalisé le volet *R&D* du projet, c'est-à-dire la cueillette et l'analyse de données de terrain, la validation de la qualité des images ScanSAR Narrow et de l'algorithme d'EQueau. Le rapport d'étape du 30 juin 2001 décrivait d'ailleurs:

- les critères pour le choix des images de référence, l'analyse du signal des images d'hiver, la validation de l'algorithme d'EQueau à l'aide des données terrain (Objectifs 1 et 4a) ;
- les cartes d'équivalents en eau produites à l'aide du logiciel *EQueau* et des images ScanSAR Narrow, l'évaluation de la performance de l'algorithme et de la performance de la méthode dans un contexte opérationnel (objectif 2);
- l'analyse du signal des images Wide (W1), le calcul des équivalents en eau, la comparaison des résultats avec les images ScanSAR Narrow (objectif 3).

Ce rapport d'étape décrit les principales activités réalisées durant l'automne et constitue le principal livrable attendu en décembre 2001.

- planification des acquisitions de nouvelles images RADARSAT pour l'hiver 2002 et réalisation d'une campagne de terrain automnale. (chapitre 2)

- modifications de la version MapX d'EQeau, en collaboration avec VIASAT, afin que cette version soit conviviale, performante et opérationnelle pour la prochaine saison (objectif 5, chapitre 3).
- examen les valeurs des paramètres d'EQeau pour l'ensemble des images acquises depuis 1997 afin de raffiner l'algorithme d'EQeau avant la prochaine saison hivernale (objectif 4b, chapitre 4).

2. Préparation de la saison hivernale 2001-2002

2.1 Planification et acquisition des images RADARSAT de la saison 2001-2002

En utilisant les mêmes orbites que l'an dernier, trois images RADARSAT en mode ScanSAR Narrow sont nécessaires pour couvrir l'ensemble du bassin de la rivière La Grande (figure 1). Les périodes d'acquisitions sont fixées à la mi-novembre 2001 (images de référence), à la fin janvier 2002 et à la mi-mars 2002. Toutefois, en raison d'un problème technique empêchant l'acquisition de l'image du 18 novembre 2001, une nouvelle orbite a été utilisée pour couvrir l'ouest du bassin (figure 2). Les dates d'acquisitions finalement prévues sont présentées au tableau 1.



Figure 1 : Orbites ScanSAR Narrow de l'hiver 2000-2001

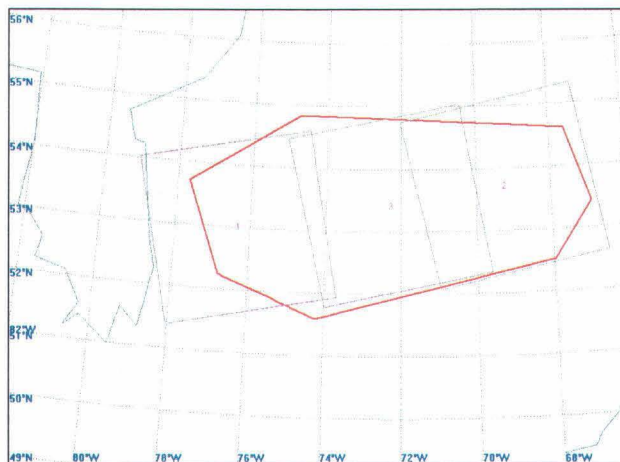


Figure 2 : Orbites ScanSAR Narrow de l'hiver 2001-2002

Tableau 1 : Dates prévues des acquisitions RADARSAT pour l'hiver 2001-2002

Est	Centre	Ouest
11 novembre 2001	15 novembre 2001	12 novembre 2001
22 janvier 2002	26 janvier 2002	23 janvier 2002
11 mars 2002	15 mars 2002	12 mars 2002

2.2 Campagne de terrain de l'automne 2001

La campagne de terrain d'automne à LG4 s'est tenue du 12 au 15 novembre 2001, soit lors de la période d'acquisitions des images RADARSAT (11, 12, et 15 novembre). La participation de l'INRS-Eau visait deux objectifs :

6. Vérifier et réparer le matériel de mesure en place (sondes de température et TDR)
7. Relever l'état du sol et du couvert de neige s'il y a lieu, au moment des acquisitions RADARSAT.

Le territoire couvert est celui où sont installées les sondes de l'INRS-Eau, soit sur la route de LG4 à LA1 et jusqu'au kilomètre 450 vers Brisay (Figure 3).



Figure 3 : Localisation des sondes de température et de TDR

2.2.1 Vérification des sondes

Les sondes de l'INRS-Eau qui mesurent la température et la constante diélectrique du sol ont été vérifiées et sont généralement fonctionnelles. Sur deux sites (#1 et #2), les piquets soutenant les sondes étaient tombés mais les sondes ont été retrouvées. Toutefois, au site #2, la sonde de température et la sonde TDR donnent des valeurs suspectes. Au site #1, la sonde de température était arrachée et a été retirée. La sonde TDR semble fonctionnelle. Au site #2, les trois thermomètres Stowaway qui enregistraient les températures du sol (-5 cm, -10 cm, -15 cm) en continu depuis novembre 1999 ont été récupérés. À noter que la sonde à -5 cm a été retrouvée au travers du lichen. Elle a dû migrer à la surface avec le cycle de gel et dégel. Les données confirment qu'à cet endroit, le sol est généralement plus chaud du 1^{er} octobre au 11 novembre

2001 que pour la même période en 2000 (figure 4). Mis à part en surface, le sol est nettement au-dessus du point de congélation.

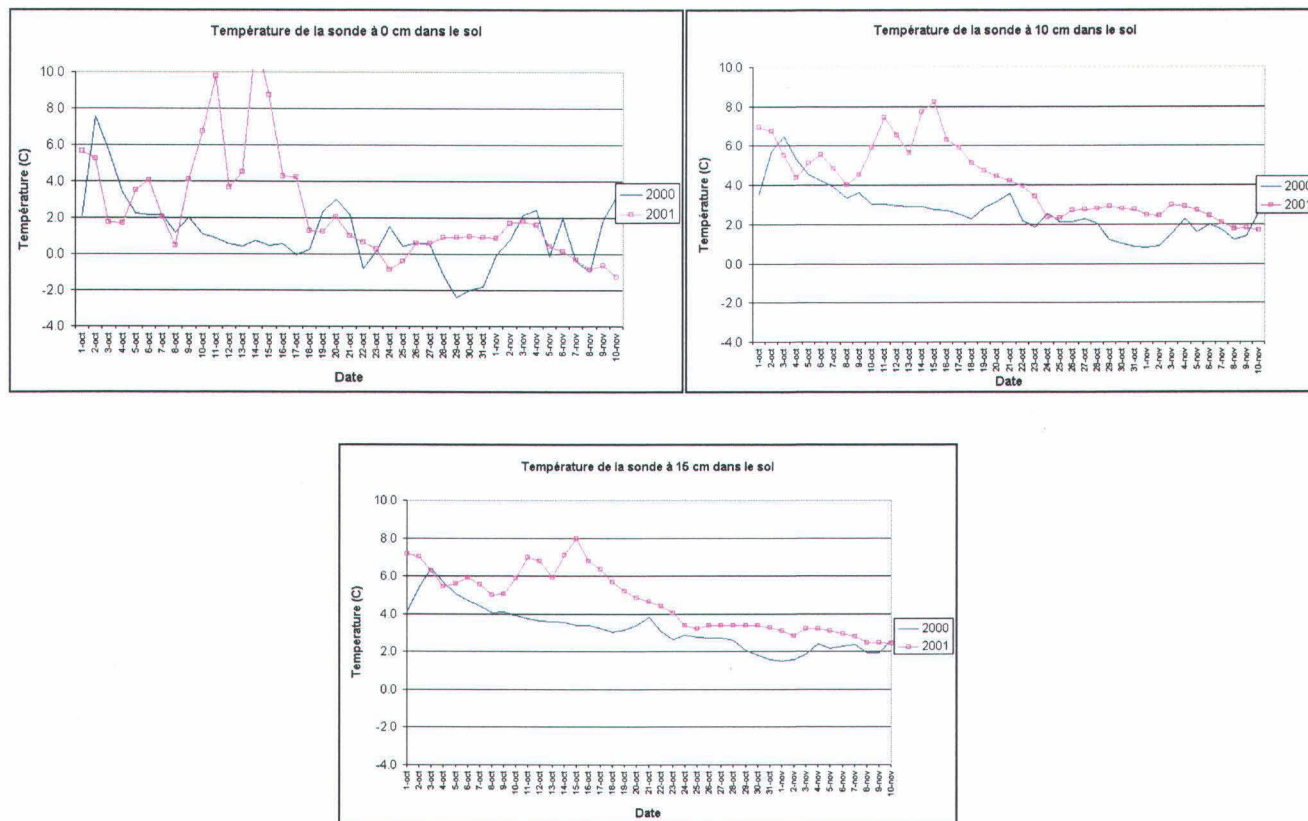


Figure 4 : Températures du sol à -5 cm, -10 cm et -15 cm pour le mois précédant l'acquisition des images RADARSAT de l'automne 2001.

2.2.2 État du sol et couvert de neige

Selon les relevés présentés au tableau 2, les sols dans le secteur de LG4 ne sont généralement pas gelés lors des trois dates d'acquisition. Dans les secteurs plus à l'est, les sols sont parfois gelés en surface. Par contre, dans les brûlis, les sols sont déjà gelés sur quelques centimètres (sites 1 et 8N). Il faudra donc tenir compte de ces variations spatiales lors du choix de l'algorithme pour l'hiver 2002. Par ailleurs, le couvert de neige est généralement sec et complet partout, variant de 10 à 30 cm, sauf le 15 novembre, où il est définitivement humide et partiel sur le secteur de LG4. Comme l'image du 15 novembre est justement centrée sur le secteur de LG4 - LA1, il faut

s'attendre à ce que les valeurs de rétrodiffusion sur une partie de l'image au moins soient affectées par la neige humide et inutilisables pour le calcul de l'équivalent en eau. En ce cas, les données de l'automne 2000 seront utilisées, soit l'image du 20 novembre 2000, qui couvre le même secteur, avec la même orbite.

Tableau 2 : État du sol et couvert de neige

Date	Heure	Site	Sol État	T°C	Neige État	Hauteur	Couvert
12-11-01	14 :50	14	Non gelé	3	Sèche	20-25 cm	100%
12-11-01	16 :15	2	Non gelé	1	Sèche	25-30 cm	100%
13-11-01	8 :15	23	Gelé en surface	-0.5	Sèche	20 cm	100%
13-11-01	8 :45	4	Gelé en surface	-0.5	Sèche	23 cm	100%
13-11-01	9 :40	6N	Non gelé	0.3	Sèche	25 cm	100%
13-11-01	10 :15	8N	Gelé sur 7 cm	-0.7	Sèche	12 cm	100%
13-11-01	12 :00	2	Non gelé	0.3	Sèche	24 cm	100%
13-11-01	1 :30	1	Gelé sur 2 cm	-0.2 et -1.2	Sèche	11-22 cm	100%
13-11-01	14 :20	17N	Non gelé	0.3	Sèche	20-25 cm	100%
13-11-01	15 :00	16N	Non gelé	0.2	Sèche	10 cm	100%
13-11-01	15 :40	14	Non gelé	0	Sèche	18-22 cm	100%
15-11-01	10 :45	LG4	Non gelé	0	Humide (2 à 3%)	0 à 12 cm	<50%

2.2.3 Données des observateurs

Comme pour la saison 2000-2001, des observateurs aux aéroports rapportent les conditions générales prévalant lors des acquisitions des images RADARSAT. Le tableau 3 présente le sommaire des observations effectuées. Le 11 et le 12 novembre, la température de l'air est nettement sous le point de congélation. Le couvert de neige au sol (0 à 30 cm) sera donc sec. De même, le sol des espaces découverts sera gelé à tout le moins en surface. Le 15 novembre, il pleut au sud et à l'ouest et il neige à l'est. Mis à part Fontanges, la température est supérieure à 0°C. Aucune observation n'a été fournie pour le centre. Par contre, lors de la campagne de terrain, les conditions observées à l'aéroport de LG4 le 15 novembre à 14:00 sont : température de l'air de 0°C, pluie fine mêlée de neige fondante, couvert de neige humide, sol dégelé.

Tableau 3 : Observations aux aéroports lors des acquisitions RADARSAT

	Aéroport Némiscau			Aéroport LG-3			Aéroport LG-4			Aéroport Fontanges			Aéroport Poste Montagnais		
	11 nov	12 nov	15 nov	11 nov	12 nov	15 nov	11 nov	12 nov	15 nov	11 nov	12 nov	15 nov	11 nov	12 nov	15 nov
Heure	17:10	17:20	17:10	17:08	16:00		17:00	17:00		17:00	16:20	16:00	17:00	16:45	17:05
T° air	-5.3	-6.2	6.6	-4.8	-4.4		-6.5	-8		-9	-9	-2	-9	-9	0
Neige	Oui	Oui	Non	Oui	Non		Oui	Non		Non	Non	Oui	Oui	Non	Non
Pluie	Non	Non	Oui	Non	Non		Non	Non		Non	Non	Non	Non	Non	Oui
Épaisseur de neige au sol (cm)	2	3	0	5	8		4	7		12	15	28	23	20	18
Humidité de la neige au sol	Non	Non		Non	Non		Non	Non		Non	Non	Non	Non	Non	Oui
Sol gelé		Oui			Oui			Oui			Oui	Oui		Oui	Oui
Lieu de l'observation	Champ	Champ	Champ et boisé	Stationnement	Champ		Stationnement	Espace découvert		Champ	Champ	Champ	Champ	Champ	Champ
Commentaires			il pleut depuis 24h												Neige en am, pluie en pm

3. Modification de la version MapX d'EQueau

Suite à certains tests effectués au cours de l'été 2001 sur la version MapX d'EQueau, nous avons relevé certaines lacunes au niveau du fonctionnement et de la convivialité du logiciel. Des rencontres se sont tenues cet automne pour établir une liste de modifications prioritaires à apporter tant aux programmes de calcul (INRS-Eau) qu'à l'interface (VIASAT) pour que la version MapX soit fonctionnelle lors de la saison 2001-2002. Les modifications sont présentement en cours et parmi celles-ci on note :

- Changement du format d'affichage des cartes d'équivalent en eau (BMP à la place de PNG), ce qui éliminera certains problèmes d'affichage dans MapX et qui permettra aussi l'affichage dans MapInfo.
- Remplacement du module « Intégration par bassin » par le module « EQueau_AO », qui calcule la moyenne d'équivalent en eau par classes d'altitudes, par classes d'occupation du sol et par sous-bassin.
- Ajout d'une fonction : « sauvegarde de la légende ».

La nouvelle version d'EQueau sur MapX sera prête pour analyser les trois images ScanSAR Narrow qui seront acquises à la fin de janvier 2002.



4. Révision de l'algorithme d'EQueau

Dans le but de mieux préciser les limites et les incertitudes de l'algorithme d'EQueau, nous avons entrepris un travail de révision des données ayant servi à définir cet algorithme. Tout d'abord, nous avons redéfini la zone sur laquelle on calculait la moyenne de rétrodiffusion pour chacun des sites expérimentaux du secteur LG4-LA1-Brisay. Cette zone avait été modifiée au fil des années, selon les types d'images utilisées (résolution, mode, ...). Certains sites ont été retirés s'ils étaient jugés non représentatifs et certains autres ont été regroupés s'ils étaient voisins et présentaient des caractéristiques identiques. Les coefficients de rétrodiffusion ont été de nouveau extraits sur les images suivantes et pour les sites suivants :

Tableau 4 : Images et sites utilisés

Dates	Sites
Novembre 1996 – S1	1
Février 1997 – S1	2
Novembre 1997 – S1	4
Novembre 1997 - SCW	5b
Janvier 1998 – S1	6
Février 1998 – SCW	8b
Mars 1998 – S1	12
Mars 1998 – SCW	14
Novembre 1998 – SCW	15
Novembre 1998 – W1	16
Janvier 1999 – SCW	17
Janvier 1999 – W1	20
Mars 1999 – SCW	23
Novembre 2000 – SCN	30
Janvier 2001 – SCN	31
Mars 2001 - SCN	32
	33
	34
	35
	36
	40

Dépendamment du type d'image utilisé, certains sites peuvent ne pas être couverts à une date ou à une autre. Les rapports de rétrodiffusion ont ensuite été calculés en utilisant pour chaque image d'hiver, l'image de référence du mois de novembre précédent.

Dans un deuxième temps, nous avons récupéré de notre base de donnée, les résistances thermiques du couvert de neige mesurées à la fosse pour chacune de ces années. Rappelons que la résistance thermique est ainsi directement mesurée sur quatre à six sites (forêt, forêt ouverte, lande, brûlis) lors de chaque campagne de terrain. À partir de ces données, nous estimons ensuite la résistance thermique pour les sites, plus nombreux, où seul le carottage est effectué. Ce sont les résistances thermiques estimées à ces sites qui nous permettaient alors de définir la relation « rapport de rétrodiffusion – Résistance thermique ». Toutefois, pour tenter de réduire les incertitudes de cette relation, nous allons ici n'utiliser que les résistances thermiques effectivement mesurées à la fosse. Bien que moins distribuées spatialement, celles-ci ne comportent pas l'erreur de mesure des carottiers.

Donc, tous les cas où le rapport de rétrodiffusion et la résistance thermique à la fosse étaient disponibles sur un même site et à la même date se retrouvent sur la figure 5. Aucune différence n'est ici faite par rapport au type d'occupation du sol.

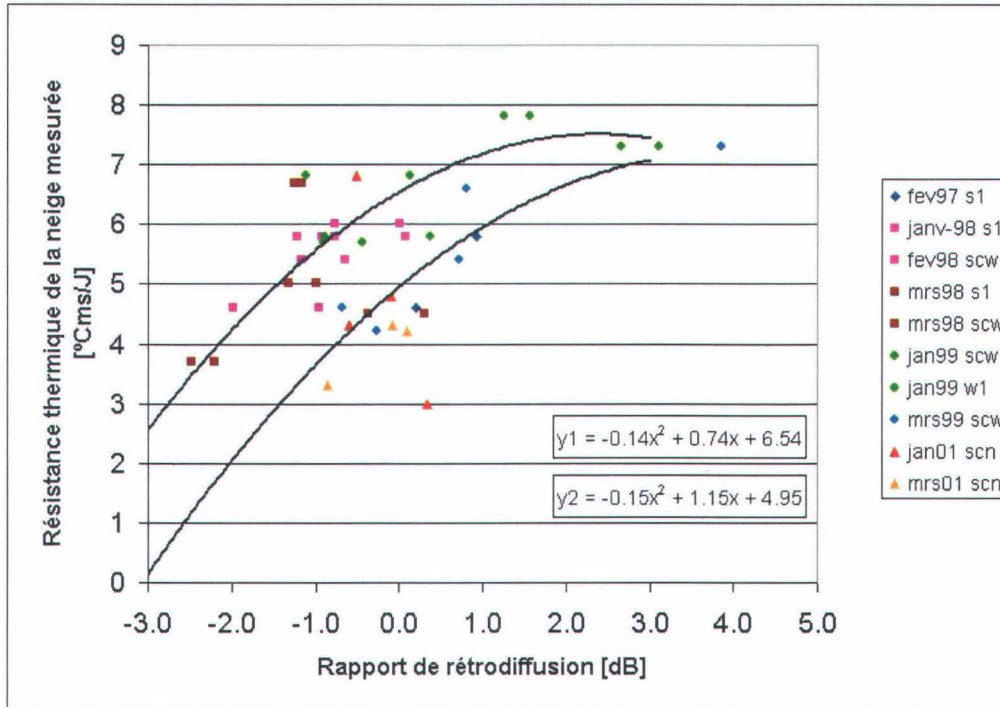


Figure 5: Relation entre le rapport de rétrodiffusion et la résistance thermique du couvert de neige, en utilisant les résistances thermiques mesurées à la fosse.

Malgré l'emploi des résistances thermiques mesurées plutôt que des résistances thermiques estimées, bien des facteurs limitent encore l'obtention d'une relation optimale. L'un des principaux facteurs est le changement fréquent du mode d'acquisition (S1, W1, SCN, SCW). Bien que le rapport de rétrodiffusion permet d'amoinrir la plupart des différences d'angles et de résolution, l'utilisation de différents modes oblige l'utilisation de différentes images de référence, ce qui implique une plus grande variété de conditions du sol à l'automne.

On ne peut tirer ici que deux tendances générales semblables à celles utilisées jusqu'à maintenant dans EQeau. Ces deux tendances sont en général définies par l'état du sol sur l'image de référence (gelé ou non) mais peuvent également être influencées par la rigueur de l'hiver. Rappelons que le principe d'EQeau repose sur les propriétés isolantes du couvert de neige. L'impact sur le sol de ces propriétés isolantes est dépendant de la température de l'air et c'est pourquoi, nous avons jusqu'à maintenant utilisé un algorithme en milieu d'hiver et un autre en fin d'hiver.

La figure 6 présente en rouge, la relation linéaire habituellement utilisée en milieu d'hiver et la relation polynomiale suggérée par la nouvelle analyse. La différence réside dans la sous-estimation systématique de la mesure de la densité par les carottiers (voir rapport de juin 2001). Comme les images ScanSAR Narrow couvrent un très grand territoire (350 x 350 km) et qu'ainsi les conditions environnementales sont plus variables, l'emploi d'une relation polynomiale est plus réaliste et recommandé. Toutefois, puisque dans sa forme actuelle, le logiciel EQueau utilise uniquement les paramètres d'une relation linéaire, la figure 7 propose aussi, en bleu, une relation linéaire pour un sol dégelé à l'automne. Les figures 8 et 9 donnent les mêmes informations pour les relations polynomiale et linéaire lorsque le sol est gelé à l'automne.

Durant la prochaine année, nous poursuivrons l'analyse des données 1997-2002 afin de valider les deux relations polynomiales ci-dessous :

$$\text{Sol dégelé à l'automne :} \quad y = 0.14 x^2 + 0.74x + 6.54 \quad (1)$$

$$\text{Sol gelé à l'automne :} \quad y = 0.15 x^2 + 1.15x + 4.95 \quad (2)$$

Néanmoins, pour l'analyse des images ScanSAR Narrow de l'hiver 2002 avec EQueau, nous utiliserons et validerons les relations linéaires suivantes (illustrées en bleu aux figures 7 et 9 respectivement) :

$$\text{Sol dégelé à l'automne :} \quad y = 1.1. x + 6.4 \quad (3)$$

$$\text{Sol gelé à l'automne :} \quad y = 1.1. x + 4.8 \quad (4)$$

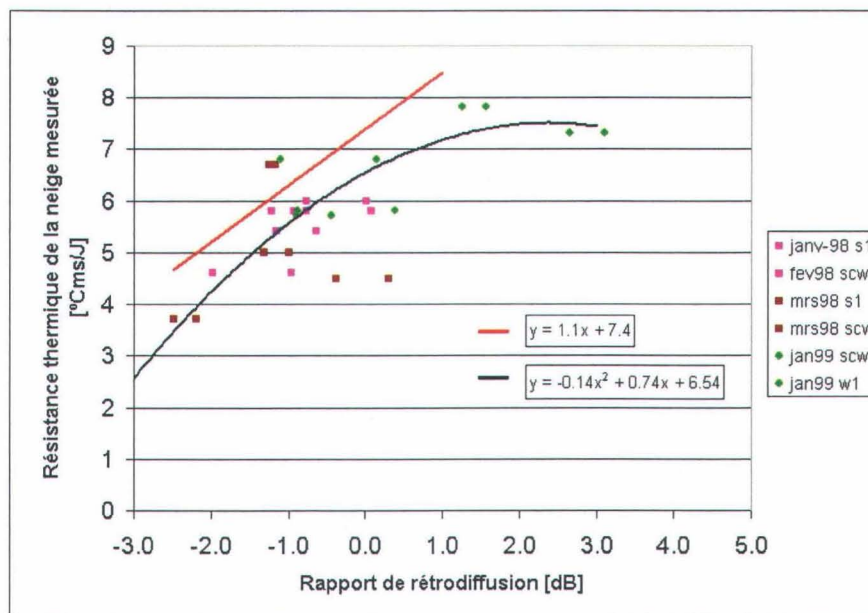


Figure 6 : Relation linéaire (rouge) habituellement utilisée en milieu d'hiver et relation polynomiale (noir) suggérée par la nouvelle analyse.

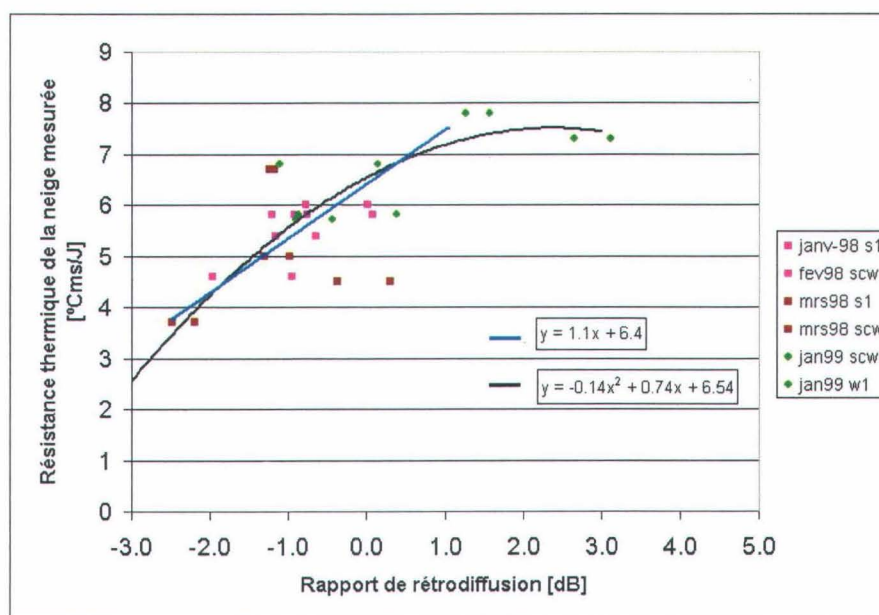


Figure 7 : Relation linéaire (bleu) proposée pour un sol dégelé à l'automne.

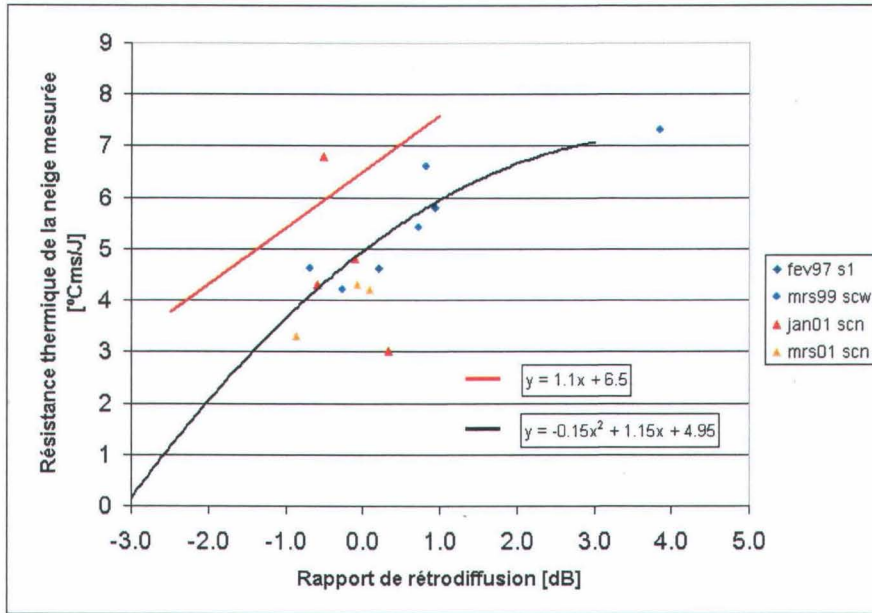


Figure 8 : Relation linéaire (rouge) habituellement utilisée en fin d'hiver et relation polynomiale (noir) suggérée par la nouvelle analyse.

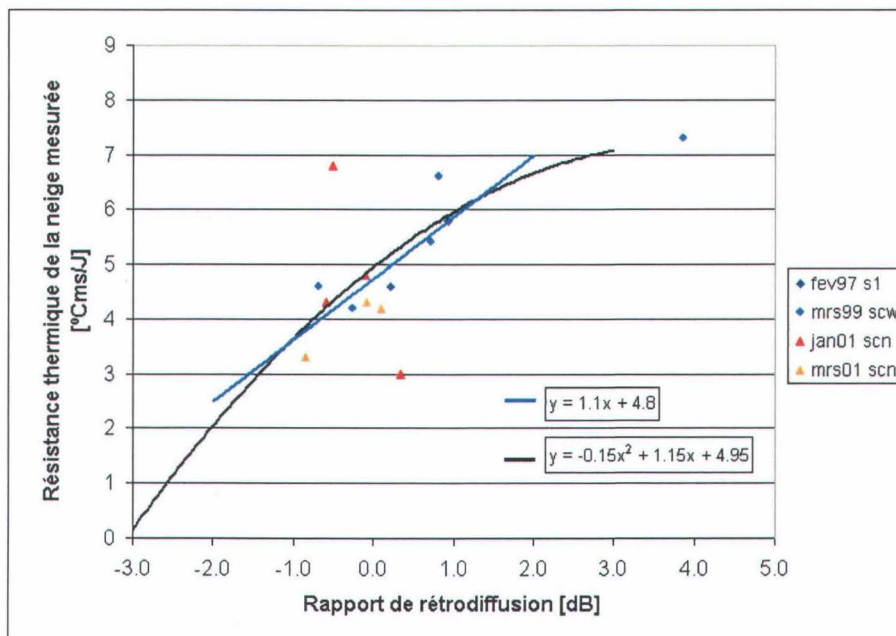
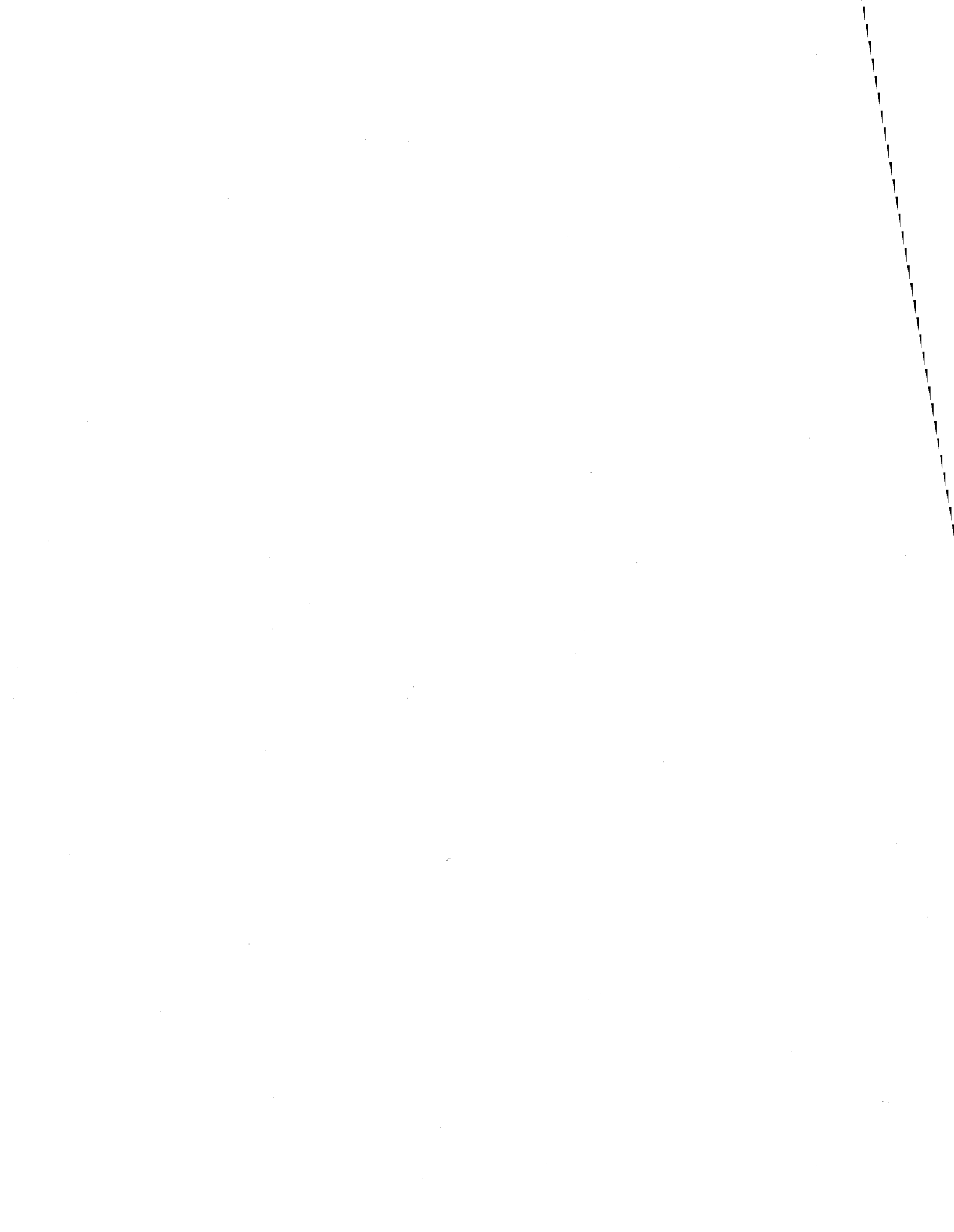


Figure 9 : Relation linéaire (bleu) proposée pour un sol gelé à l'automne.

Selon l'étude de sensibilité des algorithmes présentée dans le rapport de décembre 1999, une variation de l'ordonnée à l'origine de 10% entraîne une variation de l'équivalent en eau estimé de 11 à 12%. Le nouvel algorithme propose une baisse de 13% (de 7.4 à 6.4) de l'ordonnée à l'origine lorsque le sol est dégelé à l'automne et devrait donc entraîner une baisse d'environ 15% des équivalents en eau estimés. Dans le cas des sols gelés à l'automne, la baisse proposée de l'ordonnée à l'origine est de 26% (de 6.5 à 4.8), ce qui pourrait réduire plus sensiblement les équivalent en eau estimés. Toutefois, la procédure qui sera suivie pour 2002 permettra de tester chacun des algorithmes (anciens et nouveaux) et d'évaluer la pertinence de ceux-ci.



5. Conclusion

Rappelons d'abord que l'hiver 2000-2001 représentait la première année d'utilisation des images RADARSAT de type ScanSAR Narrow (2 faisceaux) dans le cadre du projet EQeau (Annexe 1).

En date du 30 juin, nous avons réalisé et complété trois des cinq objectifs prévus pour l'année 2001 (Bernier *et al*, 2001), et formé de nouveaux membres du personnel d'Hydro-Québec aux relevés de terrain, ainsi qu'au logiciel et à l'approche d'EQeau.

Premièrement, les images ScanSAR Narrow, acquises les 17, 20 et 23 novembre 2000, ont été choisies à titre d'images de référence pour le calcul des rapports de rétrodiffusion. Ces images ont été préférées à celles d'octobre parce que les conditions environnementales sont généralement homogènes pour les trois images, le sol étant gelé et le couvert de neige étant inférieur à 10 cm et qu'aucun artefact n'a été observé sur les images.

Deuxièmement, les artefacts rencontrés avec les images ScanSAR Wide à l'hiver 2000 n'ont pas été observés sur les images ScanSAR Narrow. Il n'y a pas eu de problème à appareiller les trois cartes issues des trois images différentes lors de la construction des mosaïques. La répartition spatiale estimée par EQeau correspond généralement aux relevés ponctuels d'Hydro-Québec. De plus, les équivalents en eau moyens estimés par EQeau pour les sous-bassins sont comparables aux moyennes calculées par interpolation des relevés de neige d'Hydro-Québec. Toutefois, en raison de la variation importante des valeurs de densités sur le bassin de La Grande à l'hiver 2001, et de leur incertitude, le choix de densités représentatives pour l'étalonnage d'EQeau a été difficile, d'où la nécessité d'examiner les moyens d'obtenir des mesures de terrain plus fiables. De plus, les valeurs de densités mesurées étant fort différentes d'un sous-bassin à l'autre, cela entraîne une segmentation des cartes par sous-bassins. Pour l'an prochain, nous envisageons d'utiliser une interpolation par polygone de Thyssen et/ou une pondération en fonction de l'altitude afin que les cartes représentent mieux la variabilité spatiale du couvert nival.

Troisièmement, l'analyse de la variation temporelle du signal des images ScanSAR Narrow, montre que cette variation correspond bien aux conditions environnementales observées sur le terrain ce qui est rassurant quant à la qualité radiométrique des images. Il n'y a qu'une seule

exception sur les 15 images acquises. Le signal radar de l'image du 17 mars est plus faible dans son extrémité ouest que celui des deux autres images de mars, ce qui se traduit par des valeurs d'équivalents en eau plus faibles sur le secteur Caniapiscau à la mi-mars. Aussi, le signal radar des images ScanSAR Narrow a été comparé avec le signal d'images Wide acquises lors de la même période. Tant en novembre qu'en hiver, les rétrodiffusions sont très similaires. Ainsi, l'application de l'algorithme pour chacun des sites d'échantillonnages donne des résultats semblables dans les deux modes, avec toutefois des valeurs un peu plus faibles en mode Wide (10 mm). En comparant les cartes produites par les deux modes, maille à maille (500m), on se rend compte que les deux modes donnent là aussi des résultats sensiblement identiques, avec une différence moyenne de 10 mm en janvier et de 3 mm en mars, à la faveur cette fois, du mode SCN. Ces résultats confirment la stabilité du système RADARSAT et la qualité radiométrique des images ScanSAR Narrow.

Vu la qualité des images ScanSAR Narrow, nous avons aussi pu valider l'algorithme d'EQueau (Objectif 4a), ce qui avait été malheureusement impossible l'an dernier. Nous avons montré que les données de janvier 2001 suivaient la tendance générale des années antérieures mais nous avons dû abaisser l'ordonnée à l'origine afin de mieux centrer la relation et ce, durant le volet opérationnel. La raison de ce changement semble liée au fait que les rapports de rétrodiffusion antérieurs provenaient d'images de référence où le sol n'était pas gelé.

À l'automne, l'étude de la relation entre les rapports de rétrodiffusion et les résistances thermiques pour l'ensemble des images RADARSAT acquises depuis l'automne 1996 montre que nous pouvons dégager deux relations différentes (objectif 4 b). On a pu extraire deux tendances générales semblables à celles utilisées jusqu'à maintenant dans EQueau. Ces deux relations semblent définies par l'état du sol sur l'image de référence (gelé ou non) mais peuvent également être influencées par la rigueur de l'hiver. Comme les images ScanSAR Narrow couvrent un très grand territoire (350 x 350 km) et qu'ainsi les conditions environnementales sont plus variables, l'emploi d'une relation polynomiale est plus réaliste et recommandé. Durant la prochaine année, nous poursuivrons l'analyse des données 1997-2002 afin de valider les deux relations polynomiales. Toutefois, puisque dans sa forme actuelle, le logiciel EQueau utilise uniquement les paramètres d'une relation linéaire, à l'hiver 2002, nous utiliserons et validerons

les deux nouvelles relations linéaires, l'une pour un sol gelé et l'autre pour un sol dégelé à l'automne.

Nous avons aussi assisté Hydro-Québec dans la planification des acquisitions des images RADARSAT-1 pour la saison 2001-2002 et participé à une campagne de terrain automnale. Des images ScanSAR Narrow de référence ont été acquises les 11, 12 et 15 novembre 2001. Les 11 et 12 novembre, la température de l'air était nettement sous le point de congélation, le sol des zones découvertes était gelé, à tout le moins en surface, et le couvert de neige au sol (0 à 30 cm) était sec. Toutefois, le 15 novembre, il pleuvait dans la région imagée (couvert de neige humide, sol dégelé). Cette dernière image ne pourra servir d'images de référence et nous devons utiliser l'image de l'automne précédent, celle du 20 novembre 2000.

En ce qui concerne le logiciel, des rencontres avec le personnel d'Hydro-Québec se sont tenues cet automne pour établir une liste de modifications prioritaires à apporter tant aux programmes de calcul (INRS-Eau) qu'à l'interface (VIASAT) pour que la version MapX soit fonctionnelle lors de la saison 2001-2002. Cette nouvelle version d'EQueau sur MapX sera prête pour analyser les images ScanSAR Narrow qui seront acquises les 22, 23 et 26 janvier et les 11, er et 15 mars 2002.

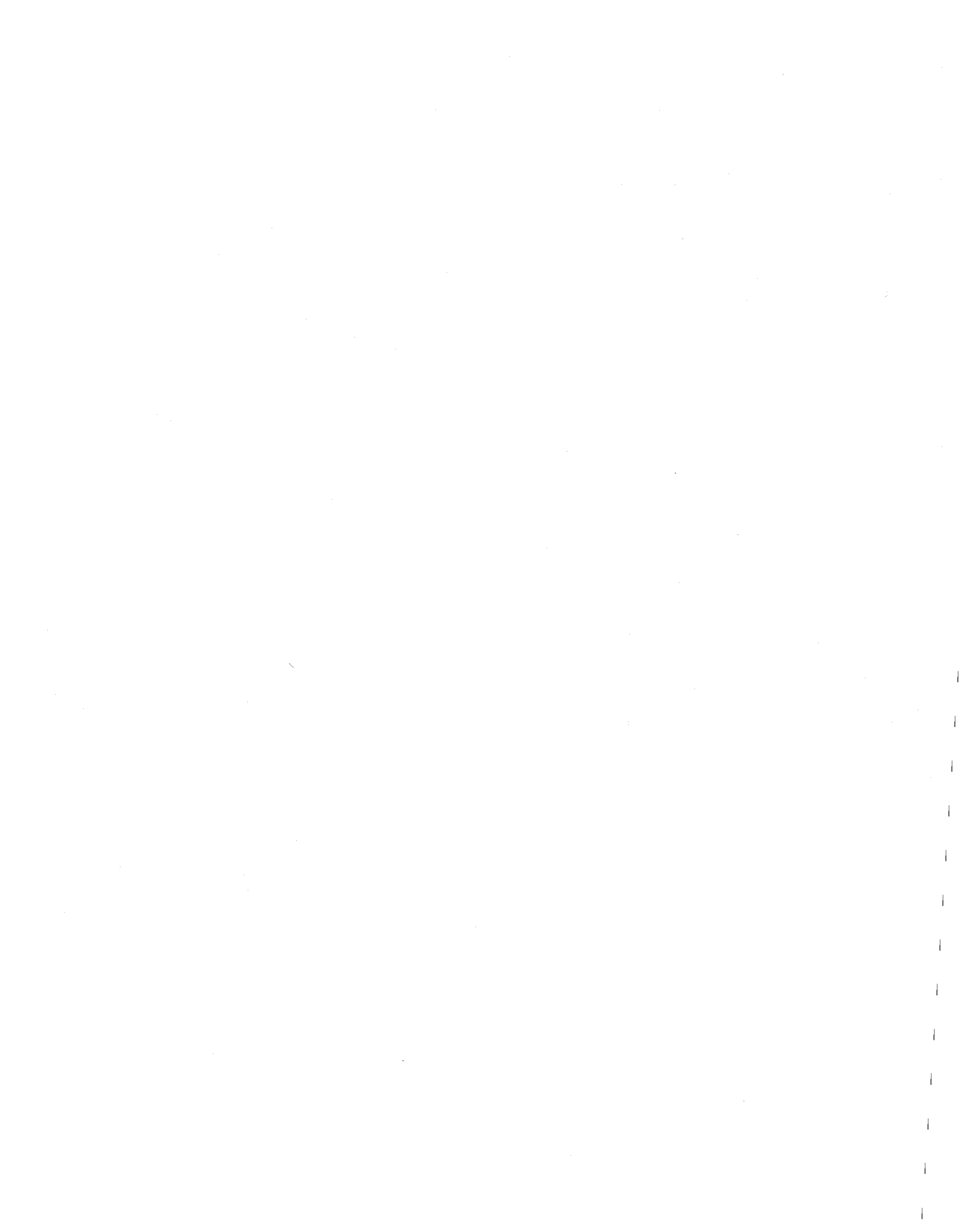
Références

BERNIER, M., GAUTHIER Y., PHILIPPIN, M. et M.C. BOUCHARD (2001). Implantation d'EQeau sur l'ensemble du bassin de la rivière La Grande, Institut national de la recherche scientifique, INRS-Eau, Rapport d'étape No 568-e3, 49 pages + 4 annexes, juin 2001.

BERNIER, M., FORTIN, J.P., GAUTHIER, Y., SALVANO, E. 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. Rapport de recherche No R543c, 31 décembre 1999.



ANNEXE



Annexe 1 : Types D'IMAGES acquises depuis 1994

Année	Satellite	Mode principal	Mode expérimental	Couverture	Résolution	Secteur à l'étude
1994	ERS-1	-	Standard	100 km X 100 km	30 m	LG4, LA1
1995	ERS-1	-	Standard	100 km X 100 km	30 m	LG4, LA1
1996						
1997	RADARSAT-1	Standard (S1)	ScanSAR Wide (SCW)	100 km X 100 km	30 m	LG4, LA1
1998	RADARSAT-1	Standard (S1)	ScanSAR Wide (SCW)	100 km X 100 km	30 m	LG4, LA1
1999	RADARSAT-1	Wide (W1)	ScanSAR Wide (SCW)	165 km X 165 km	30 m	LG4, LA1, Caniapiscau
2000	RADARSAT-1	ScanSAR Wide (SCW)		500 km X 500 km	100 m	La Grande
2001	RADARSAT-1	ScanSAR Narrow (SCN)	Wide (W1)	300 km X 300 km	50 m	La Grande