

**SUIVI DU COUVERT NIVAL PAR RADAR
(RAS).**

SUIVI DU COUVERT NIVAL PAR RADAR (RAS).

Projet 331076

Rapport rédigé pour

**le Centre canadien de télédétection
Ministère de l'Énergie, des Mines, et des Ressources**

par

Monique Bernier

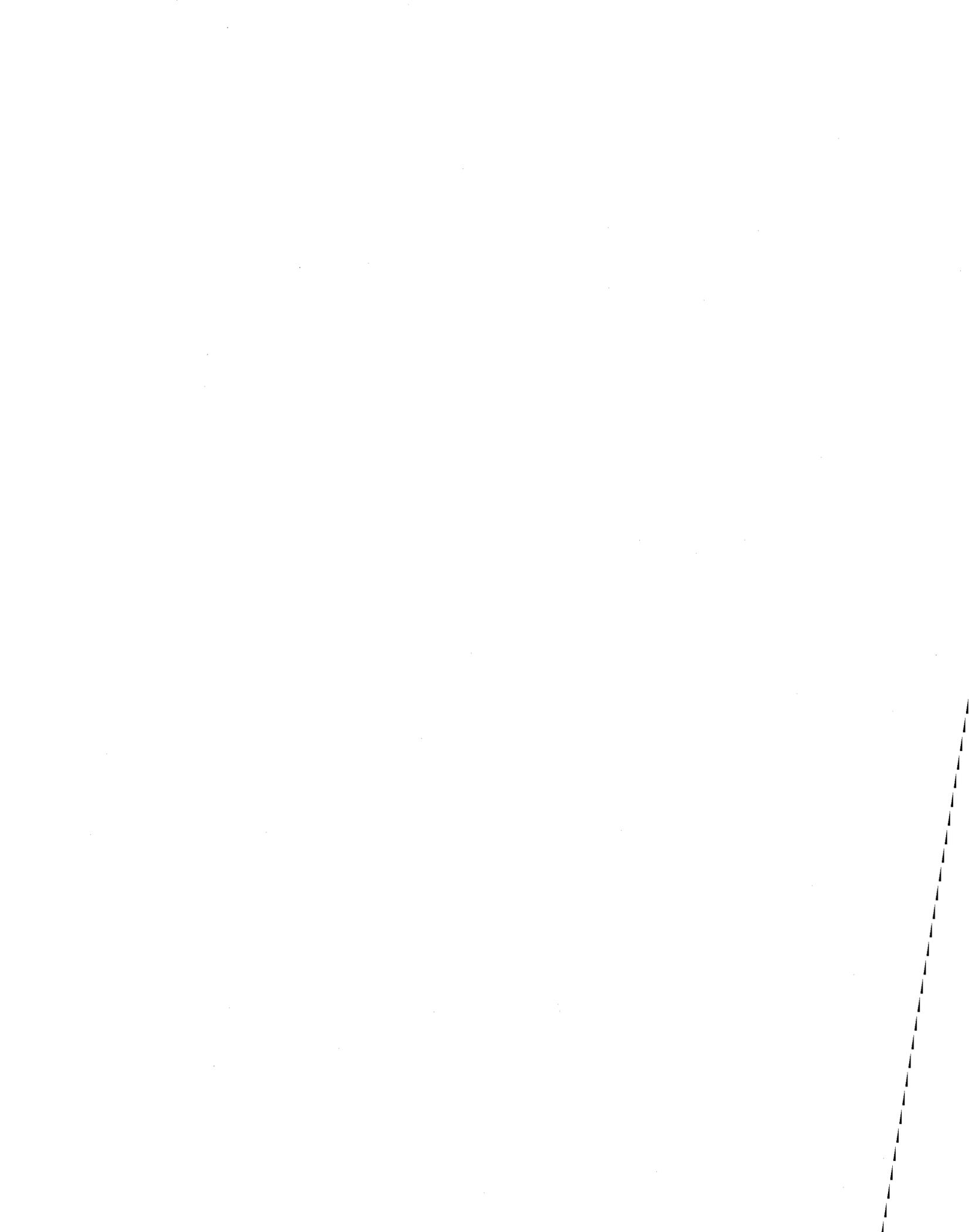
**Institut National de la Recherche Scientifique, INRS-Eau
2800, Einstein, CP 7500, Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7**

Rapport de recherche No R-395

Octobre 1993

TABLE DES MATIÈRES

1)	INTRODUCTION	1
2)	OBJECTIFS	1
3)	MÉTHODOLOGIE	1
3.1)	Première année d'acquisition des images d'ERS-1 (1991-1992)	1
3.2)	Traitement des images	2
3.3)	Seconde année d'acquisition des images d'ERS-1 (92-93)	2
4)	RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES	3
5)	CONCLUSION ET SUIVI	3
6)	RECOMMANDATION	4
7)	RÉFÉRENCES	4



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Campagne de terrain de l'hiver 1992- La Pocatière	5
Tableau 2: Comparaison des rétrodiffusions avec et sans rotation de l'image	5
Tableau 3: Calcul du coefficient de rétrodiffusion σ°	6
Tableau 4: Campagne de terrain -Automne 1992/ Hiver 1993 - La Pocatière .	7

1) INTRODUCTION

Une première étude menée par l'INRS-Eau sur le potentiel des données RAS aéroportées pour le suivi de la couverture nivale, suggérait la possibilité d'évaluer la distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige au sol sous certaines conditions environnementales (Bernier et Fortin, 1991). Toutefois, des études complémentaires s'avéraient nécessaires pour clarifier la précision de l'estimation de l'équivalent en eau et mettre au point une méthode opérationnelle de surveillance de la couverture nivale à partir des données du futur satellite canadien RADARSAT. Dans ce but, à l'automne 1991, un projet conjoint du Centre Canadien de Télédétection et de l'INRS-Eau débuta dans la région de La Pocatière-Rivière-du-Loup située à environ 100 kilomètres à l'est de Québec. Cette région a été choisie parce qu'elle était survolée à toutes les trente-six heures (croisée des orbites ascendante et descendante) par le satellite ERS-1 durant l'hiver 1992. En outre, bien que les caractéristiques techniques de ce satellite diffèrent de celles de RADARSAT (angle d'incidence, polarisation), les données d'ERS-1 sont considérées comme pouvant aider considérablement au développement de méthodologies de traitement des données de RADARSAT.

2) OBJECTIFS

- 1) Analyse des liens entre les divers paramètres du couvert de neige et la température du sol.
- 2) Précision de l'estimé de l'équivalent en eau du couvert de neige.
- 3) Évaluation de la teneur en eau liquide du couvert de neige.
- 4) Méthode de cartographie de l'état de la neige et des paramètres du couvert de neige en zone non forestière.

3) MÉTHODOLOGIE

3.1) Première année d'acquisition des images d'ERS-1 (1991-1992)

La zone d'étude englobe la plaine agricole des basses terres du St-Laurent et le début des hautes terres des Appalaches, à une centaine de kilomètres à l'est de Québec. Elle s'étend de la ville de La Pocatière à celle de Rivière-du-Loup. Les sites témoins (36) en terrain agricole appartiennent à 4 types pédologiques principaux soient: de l'Anse (loam argileux mal drainé), Kamouraska (argile mal drainée), St-André (loam sablo-graveleux bien drainé) et du Creux (loam à drainage imparfait).

Voulant déterminer si le signal de rétrodiffusion en bande C et polarisation VV d'ERS-1 permet d'évaluer la distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige

et sa teneur en eau liquide, douze images de ce satellite ont été acquises entre le 1^{er} février et le 9 mai 1992. Simultanément, cinq campagnes de terrain ont permis de recueillir les données caractérisant le couvert nival (profondeur, densité, équivalent en eau, constante diélectrique, température, teneur en eau liquide) et le sol (constante diélectrique, température, humidité) de la zone d'étude (tableau 1).

Du 7 au 9 mai, de petits échantillons de sol (10 par parcelle) ont été recueillis sur une dizaine de parcelles agricoles afin de déterminer leur teneur en eau volumique. A l'hiver, le sol étant gelé, les échantillons de sol ont été recueillis seulement sur quatre parcelles témoins localisées à la Ferme Expérimentale de La Pocatière au moyen d'un carottier mécanique. A ces quatre parcelles, nous avons aussi relevé la température et la constante diélectrique du sol près de la surface et ce à chaque campagne de mesures.

Afin de déterminer l'équivalent en eau de la neige, nous avons relevé 10 à 20 carottes de neige pour chacune des 36 parcelles témoins. Nous avons aussi fait cinq à six profils du couvert de neige par campagne, dont quatre à la Ferme expérimentale, afin de déterminer les paramètres suivants du couvert: l'épaisseur et la densité des couches, les types et la dimension des grains, la constante diélectrique et la teneur en eau de la neige, et le profil de la température.

3.2) Traitement des images

Afin d'extraire le signal rétrodiffusé par les parcelles témoins, les 8 traitements suivants ont été effectués: (1) lecture des images en 16 bits, (2) génération des histogrammes, (3) compression linéaire des images en 8 bits, (4) création des sous-images du secteur d'étude, (5) correction du décalage et superposition des images, (6) création des sites tests, (7) extraction des intensités, (8) calcul du coefficient de rétrodiffusion (tableau 3).

Notons que l'orbite du satellite étant relativement stable au cours des mois de février et mars 1992, un simple décalage en lignes et en pixels, ou changement d'axe, permet une superposition adéquate des images de cette période. Ce décalage (étape 5) a l'avantage de ne pas altérer la radiométrie de l'image. Pour les scènes ultérieures, par suite du changement d'orbite du satellite, une légère rotation de 1 ou 2 degrés et un ré-échantillonnage au plus proche voisin ont aussi été nécessaires. Vérification faite, ces manipulations n'affectent pas significativement les valeurs extraites (tableau 2). Les écarts que l'on constate sont essentiellement dûs au traçage du périmètre des sites qui peut varier légèrement d'une image à l'autre.

3.3) Seconde année d'acquisition des images d'ERS-1 (92-93)

Neuf images SAR, en bande C et en polarisation VV, du satellite européen ERS-1 ont été acquises entre le 30 octobre 1992 et le 10 mai 1993 (tableau 4). Simultanément, 12 campagnes de terrain ont permis de recueillir les données caractérisant le couvert nival (profondeur, densité, équivalent en eau, constante diélectrique, température, teneur en eau liquide) et le sol (constante diélectrique, température, humidité) de la zone d'étude.

Lors des campagnes sans couvert nival (30 octobre et 10 mai) ou avec un couvert partiel ou mince (16 novembre, 5 décembre, 24 avril) de petits échantillons de sol ont été recueillis sur une dizaine de parcelles agricoles afin de déterminer la teneur en eau volumique des sols. Comme l'hiver précédent, les échantillons de sol ont été recueillis seulement sur les quatre parcelles de la Ferme Expérimentale et nous avons aussi relevé la température et la constante diélectrique du sol près de la surface.

Afin de déterminer l'équivalent en eau de la neige, nous avons relevé 15 carottes de neige pour chacune des 36 parcelles témoins selon un patron pré-déterminé. Nous avons aussi fait trois à quatre profils du couvert de neige par campagne. Les profils du couvert nival ont été effectués à des sites représentant les épaisseurs minimale, moyenne et maximale du couvert à une date donnée.

4) RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

L'étalonnage des images du satellite ERS-1, essentiel à l'analyse quantitative des données RAS, nous a permis de déceler des anomalies de l'ordre de 2 à 3 dB sur certaines images, possiblement dues à une variation subite du gain du système. Un contrôle serré des images s'avérera donc nécessaire pour interpréter le coefficient de rétrodiffusion des sites expérimentaux.

L'analyse des données-terrain recueillies dans la région de La Pocatière corrobore le modèle développé précédemment (Bernier 1991) concernant la résistance thermique des couverts de neige. En effet, la température à la surface du sol varie en fonction de l'épaisseur de neige recouvrant le sol et plus spécifiquement en fonction de la résistance thermique du couvert (*objectif 1*). De plus, l'effet des conditions climatiques récentes est d'autant plus important que la résistance thermique du couvert est faible.

Malgré une faible dynamique radiométrique du satellite ERS-1, le coefficient de rétrodiffusion des parcelles agricoles augmente avec le réchauffement des températures du sol (augmentation de la constante diélectrique) et la diminution de la résistance thermique du couvert nival. De plus, la valeur du coefficient de rétrodiffusion est influencée non seulement par la température mais par le type de sol (organique, argile, loam sableux).

Les propriétés diélectriques du sol semblent influencer le rapport du coefficient de rétrodiffusion de différents types d'occupation du sol, même lorsque la proportion d'arbres et d'arbustes est plus importante (les friches herbacées, les friches arbustives et les tourbières non-exploitées). Ceci nous permet d'envisager l'estimation de l'équivalent en eau de la neige non seulement en milieu ouvert mais aussi dans des milieux plus ou moins fermés.

5) CONCLUSION ET SUIVI

Une troisième campagne d'acquisition des données ERS-1 est prévue à l'hiver 1993-1994 dans la même région. En effet, le projet se poursuivra à l'INRS-Eau jusqu'au 31

mars 1996 grâce à une subvention du Fonds Technologique du Québec. L'analyse de ces nouvelles données d'ERS-1 (hiver 1992-1993 et hiver 1993-1994) permettra de mieux comprendre le rôle des phénomènes impliqués et d'établir le modèle reliant le rapport de rétrodiffusion à la résistance thermique et à l'équivalent en eau du couvert nival (*objectif 2*).

L'ensemble des données ERS-1 pour lesquelles le couvert nival est humide (26 et 29 mars 1992; 5 et 24 avril 1993) n'a pas été traité jusqu'ici, faute de temps. En effet, le traitement des premières données d'ERS-1 a été plus long que prévu pour les raisons suivantes:

- Difficultés de lecture des premiers rubans et anomalies sur certains.
- Engagement d'un assistant de recherche à l'INRS-Eau qu'en novembre 1992.
- Établissement de la procédure d'étalonnage rendu possible qu'au début de l'année 1993.
- Congé de maternité de la responsable du 23 avril au 13 septembre 1993.

Les données d'ERS-1 pour lesquelles le couvert nival est humide seront donc traitées en 1994 et cette analyse permettra de déterminer si la teneur en eau liquide d'un couvert peut être évaluée (*objectif 3*).

Quant à la méthode de cartographie des paramètres du couvert nival, *objectif 4*, elle sera élaborée en 1994-1995 et vérifiée l'année suivante.

6) RECOMMANDATION

Ce projet faisant partie intégrante de "*l'Entente de collaboration scientifique entre le Centre canadien de télédétection et l'Institut national de la recherche scientifique*", signée à l'automne 1992, nous recommandons que le CCT continue de fournir les données SAR (ERS-1, ERS-2, RADARSAT, Convair-580) nécessaires à la bonne marche du projet ainsi qu'un appui technique via le prêt d'équipements et des échanges d'information.

7) RÉFÉRENCES

Bernier M., 1991. Évaluation des données d'un radar à antenne synthétique (RAS) en bande C et X, pour la surveillance du couvert de neige. Thèse de Doctorat, Université du Québec, 198 pages.

Bernier M. et J.P. Fortin, 1991. "Suivi du couvert nival par radar: résultats obtenus dans le sud du Québec", Compte-rendus du 7e congrès de l'Association Québécoise de Télédétection, Télédétection et gestion des ressources, Vol. VII, p.83-91.

Images	Mesures in	Couvert nival	Sol	Équivalent en
1,4,7 fév.	3 au 6 février	sec et stratifié	gelé	8-15 cm
2,5,6 mars	2 au 5 mars	sec et stratifié	gelé	12-25 cm
23,24,26 mars	23 au 26 mars	sec et légèrement humide	gelé	8-16 cm
29 mars	29 au 31 mars	humide et transformé	gelé	3-14 cm
7,9 mai	7 au 9 mai	pas de couvert nival	dégelé	---

Image du 7 mai 1992 - Orbite ascendante (soir) Parcelles en friche et tourbières			
Site	Nombre de pixels	Rétrodiffusion avec rotation [dB]	Rétrodiffusion sans rotation [dB]
FRB6	135	-7,98	-7,95
FRR2	599	-7,01	-7,07
FB11	106	-6,49	-6,59
TB03	1018	-5,19	-5,22
TB04	1560	-6,64	-6,62
TB08	22305	-6,93	-6,78

Tableau 3: Calcul du coefficient de rétrodiffusion σ_0		
Étape	Procédure recommandée	Procédure approximative
1	Valeurs originales (16 bits) $\langle DN \rangle$	Valeurs originales (16 bits) $\langle DN \rangle$
2	Valeurs originales (16 bits) au carré $\langle DN^2 \rangle$	
3	Compression (8 bits)	Compression (8 bits)
4	Extraction de la moyenne des $\langle DN^2 \rangle$ pour chaque site	Extraction de la moyenne des $\langle DN \rangle$ pour chaque site
5	Extraction de l'écart-type σ pour chaque site	Extraction de l'écart-type σ pour chaque site
6	Décompression des valeurs extraites	Décompression des valeurs extraites
7		Calcul de la variance σ^2
8		Approximation de $\langle DN^2 \rangle$: $\langle DN^2 \rangle = [\text{Var}_{DN} + \langle DN \rangle^2]$
9	Transformation en dB ($10\text{Log}\langle DN^2 \rangle$)	Transformation en dB ($10\text{Log}\langle DN^2 \rangle$)
10	Étalonnage	Étalonnage

Tableau 4: Campagne de terrain -Automne 1992/ Hiver 1993 - La Pocatière				
Images ERS-1 acquises	Terrain	État du sol	État du couvert	Épaisseur du couvert
	21 au 23 oct.	Reconnaissance et installation		
30 octobre * 31 octobre	29 au 31 oct.	Dégelé	Pas de neige	-
16 novembre	16 au 17 nov.	Sol gelé par endroit	Couvert sec	2-6 cm
5 décembre	4 au 5 déc.	Sol gelé par endroit	Couvert sec	2-6 cm
	20 au 21 déc.	Gelé sur 5 cm	Couvert sec	2-10 cm
7 janvier	7 au 9 jan.	Gelé	Couvert sec et stratifié	10-30 cm
11 février	11 au 13 fév.	Gelé	Couvert sec et stratifié	9-28 cm
Pas d'image	1er au 2 mars	Gelé	Couvert sec et stratifié	27-55 cm
18 mars * 18 mars	18 au 20 mars	Gelé	Couvert sec et stratifié	30-61 cm
5 avril	5 avril	Sol gelé par endroit	Couvert humide partiel stratifié	0-33 cm
24 avril	24 avril	Sol gelé par endroit tôt le matin	Couvert très humide partiel, nouvelle neige	0-10 cm
10 mai	10 mai	Dégelé	Pas de neige	-

* Données SAR acquises par le Convair-580 du CCT