

Record Number: 22980
Author, Monographic: Garneau, M. V.//Bernier, M.//Warner, B. G.//Ménard, E.//Gauthier, Y.//Kettles, I.//Bourque, A. Lam, K. H.//Paradis, S.
Author Role:
Title, Monographic: Évaluation de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes tourbeux du Québec septentrional
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 2001
Original Publication Date: Juin 2001
Volume Identification:
Extent of Work: iv, 103
Packaging Method: pages incluant 9 annexes
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 594
Location/URL:
ISBN: 2-89146-451-6
Notes: Rapport annuel 2000-2001
Abstract: Rapport présenté au Fond d'Action pour le Changement Climatiques: Impacts et Adaptation
Projet A-279
Call Number: R000594
Keywords: rapport/ ok/ dl

***Projet A279 - Évaluation de l'impact du
changement climatique sur les écosystèmes
tourbeux du Québec septentrional***

Rapport final N° R-594

Juin 2001

Projet A279

***Évaluation de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes tourbeux
du Québec septentrional***

Présenté au

**Fond d'Action pour le Changement Climatique
Impacts et Adaptation**

Préparé par :

**M. Garneau, M. Bernier, B.G. Warner, É. Ménard, Y. Gauthier,
I. Kettles, A. Bourque, K.-H. Lam et Serge Paradis**

Rapport final, N° R-594

ISBN : 2-89146-451-6

Juin 2001

LISTE DES PROMOTEURS ET COLLABORATEURS

Promoteur :

Dr Michelle Garneau, INRS-Eau, 2800 Einstein, C.P. 7500, Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7.

Tél. : (418) 654-2689; Fax : (418) 654-2600; Courriel : Michelle_Garneau@inrs-eau.quebec.ca

Nouvelle adresse : Département de géographie, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec, H3C 3P8. Tél. : (514) 987-3000, poste 1933;

Fax : (514) 987-6784; Courriel : garneau.michelle@uqam.ca

Co-promoteurs :

Dr Monique Bernier, INRS-Eau, 2800 Einstein, C.P. 7500, Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7.

Tél. : (418) 654-2585; Fax : (418) 654-2600; Courriel : Monique_Bernier@inrs-eau.quebec.ca

Dr Barry G. Warner, Université de Waterloo, Département de géographie, Waterloo, Ontario, N2L 3G1. Tél. (519) 888-4567; Fax : (519) 746-0658;

Courriel : BWARNER@WATSERV1.Uwaterloo.ca

Collaborateurs :

CGC – Québec, Serge Paradis, Centre géoscientifique de Québec, 2535 boul. Laurier, Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7. Tél. : (418) 654-2556; Fax : (418) 654-2615; Courriel : sparadis@nrca.gc.ca

CGC – Ottawa, Inez Kettles, Division de la science des terrains, 601 Booth, Ottawa, Ontario, K1A 0E8. Tél. : (613) 992-8323; Fax : (613) 992-0190; Courriel : ikettles@nrca.gc.ca

SMC - Environnement Canada, Alain Bourque, Chef - Section suivi et adaptation en climatologie. Division des sciences atmosphériques/enjeux environnementaux, 100 boul. Alexis Nihon, suite 300, Ville Saint-Laurent, Québec, H4M 2M8. Tél. : (514) 283-3052; Fax: (514) 283-7149; Courriel : Alain.Bourque@ec.gc.ca

Partenaires :

Ministère des Ressources naturelles du Québec, *Pierre Buteau*, Service des minéraux industriels et de l'assistance à l'exploration, 4^{ième} Avenue ouest, Charlesbourg, Québec, G1H 6R1.

Tél. : (418) 627-6287, poste 5257; Fax : (418) 643-2816; Courriel : pierre.buteau@mrn.gouv.qc.ca

Hydro-Québec, *Dr. Robert Denis*, Hydraulique et environnement, 855, rue Ste-Catherine est, 18^{ième} étage, Montréal, Québec, H2L 4P5. Tél. (514) 392-8000, poste 5147;

Courriel : denis.robert@hydro.qc.ca

Centre d'études nordiques, *Dr Yves Bégin, directeur. Pavillon Abitibi-Price, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4. Tél. : (418) 656-3340; Fax : (418) 656-2978;

Courriel : Yves.Begin@cen.ulaval.ca

Nations Cris de Chisasibi, *Archie Moor, administrateur-environnement, B.P. 150, Chisasibi, Québec, J0M 1E0. Tél. : (819) 855-2878, ext. 327; Fax : (819) 855-2875

*partenaires affiliés en cours de réalisation du projet

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	CONTEXTE	1
1.1	PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS	3
2	MÉTHODOLOGIE	5
2.1	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	5
2.2	PRÉ-CAMPAGNE DE TERRAIN - VOLET TÉLÉDÉTECTION	6
2.2.1	<i>Données acquises</i>	6
2.2.2	<i>Traitement préliminaire des images radar</i>	7
2.2.3	<i>Analyse des images radar</i>	8
2.3	CAMPAGNE DE TERRAIN.....	9
2.3.1	<i>Site 3</i>	9
2.3.2	<i>Site 5</i>	14
2.3.3	<i>Classification et cartographie de la végétation</i>	17
2.4	POST-CAMPAGNE DE TERRAIN.....	17
2.4.1	<i>Analyses en laboratoire</i>	17
2.5	SIMULATIONS CLIMATIQUES.....	19
2.6	MODÉLISATION DU BASSIN TOURBEUX EN 3D.....	21
3	RÉSULTATS	22
3.1	VOLET TÉLÉDÉTECTION	22
3.1.1	<i>Résultats de l'analyse de séparabilité</i>	22
3.1.2	<i>Classification</i>	27
3.1.3	<i>Conclusion de l'analyse par imagerie satellitaire</i>	35
3.2	VOLET CARACTÉRISATION DE SURFACE ET STRATIGRAPHIE	37
3.2.1	<i>Végétation de surface des tourbières échantillonnées</i>	37
3.2.2	<i>Profil géoradar et données stratigraphiques</i>	39
3.2.3	<i>Analyses macrofossiles et géochimiques</i>	39
3.2.4	<i>Conclusion</i>	46
3.3	VOLET MODÉLISATION CLIMATIQUE.....	47
4	DISCUSSION	50
5	RÉFÉRENCES	53
	ANNEXES	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des images acquises.....	7
Tableau 2 : Classes utilisées pour l'analyse de séparabilité.....	9
Tableau 3 : Comparaison des pourcentages de classes issus des deux classifications pour le site 3.....	31
Tableau 4 : Répartition des classes RADARSAT dans la classification TM pour le site 3.....	31
Tableau 5 : Comparaison des pourcentages de classes issus des deux classifications pour le site 1.....	33
Tableau 6 : Répartition des classes RADARSAT dans la classification TM pour le site 1.....	33
Tableau 7 : Datations au radiocarbone.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Localisation de la zone d'étude	2
Figure 2 :	Localisation des sites inventoriés	3
Figure 3 :	Approche méthodologique	5
Figure 4 :	Vue aérienne et satellitaire (Landsat) de la tourbière du site 3.....	10
Figure 5 :	Physionomie de la végétation de surface au site 3.....	11
Figure 6 :	Enregistrement électronique des coordonnées GPs à partir d'un appareil Lo-K-tor à 12 canaux.....	12
Figure 7 :	Sonde McCauley utilisée pour l'échantillonnage des dépôts tourbeux.....	12
Figure 8 :	Appareil géoradar Pulse EKKO IV servant à tracer la topographie du bassin.....	13
Figure 9 :	Vue aérienne et satellitaire (Landsat) de la tourbière du site 5.....	15
Figure 10 :	Échantillon basal et contact entre les sédiments organique et minéral.....	16
Figure 11 :	Échantillon de tourbe prelevé à l'aide de la sonde Coûteaux.....	16
Figure 12 :	Localisation des stations météorologiques (La Grande IV et Nitchequon).....	20
Figure 13 :	Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant d'une part, les sept images originales et d'autre part, les 7 images de texture. Pour les abréviations de l'occupation du sol, se référer à la légende du tableau 2, page 9.....	23
Figure 14 :	Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant les quatre images S7 d'une part et les trois images S1 d'autre part.....	23
Figure 15 :	Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant l'une ou l'autre des quatre images S7.....	24
Figure 16 :	Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant l'une ou l'autre des trois images S1.....	25
Figure 17 :	Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en faisant varier ou en éliminant la deuxième image S7.....	26
Figure 18 :	Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant un seul ou deux paramètres de texture.....	27
Figure 19 :	Comparaison des observations terrain et du composé couleur de RADARSAT au site 3.....	28
Figure 20 :	Extrait d'une image de texture (dissimilitude) montrant les cernes clairs autour des plans d'eau.	29
Figure 21 :	Composé couleur RADARSAT (images du 12 août, 18 août, 26 février) et classifications sur le site 3.....	30
Figure 22 :	Comparaison des observations terrain et de la classification RADARSAT au site 3.....	32

Figure 23 : Composé couleur RADARSAT (images du 12 août, 18 août, 26 février) et classifications sur le site 1.....	34
Figure 24 : Composé couleur RADARSAT (images du 12 août, 18 août, 26 février) et classification sur le site 2.....	36
Figure 25 : Stratigraphie du site 3.....	40
Figure 26 : Stratigraphie du site 5 (ouest du lac).....	41
Figure 27 : Valeurs apparentes de carbone cumulé par cm ²	45
Figure 28 : Simulation des températures moyennes annuelles (1971-2000).....	48
Figure 29 : Simulation des précipitations moyennes annuelles (1971-2000).....	49
Figure 30 : Bloc du prototype 3 dimensions.....	51

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

La demande de subvention relative à ce projet s'est inspirée des résultats des divers scénarios de changements climatiques (Modèles de Circulation Générale) applicables au Québec qui ont permis de reconnaître, pour les prochaines décennies, une tendance générale au réchauffement de 2 à 6 degrés dans la partie septentrionale du Québec avec une accentuation de ces tendances au cours de la période hivernale. L'Étude pan-canadienne (Bergeron *et al.*, 1997) portant sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement du climat au Québec (tome V) a déjà identifié différentes lacunes en ce qui a trait notamment à la connaissance (estimée comme étant très faible) de la répercussion d'un changement climatique sur les écosystèmes nordiques.

Le projet soumis au volet Impact et Adaptation du Fond d'Action au Changement Climatique en février 2000 a été développé afin de répondre à un des aspects de ces lacunes. Au départ, le territoire délimité dans la proposition couvrait le bassin versant de la rivière Rupert. Sous la recommandation notamment d'Hydro-Québec et après avoir consulté les gestionnaires du Fond, nous avons choisi de déplacer notre site d'étude dans le secteur de la Grande Rivière où les facilités logistiques et l'accessibilité aux différents types de données étaient plus grandes.

Au moment de commencer le projet, le secteur délimité dans le cadre de l'étude était celui du bassin versant de la Grande Rivière (basses-terres de la baie James) où les tourbières couvrent plus de 50% du territoire (Tarnocai *et al.*, 1995). La zone d'étude à couvrir représentait une superficie totale d'environ 10 500 km² (figure 1). Le travail devait être réalisé à 2 échelles : locale et régionale. À l'échelle régionale, il avait été convenu d'intégrer les données actuelles disponibles pour le territoire (synthèse des connaissances) à partir principalement des travaux antérieurs réalisés par la SEBJ (Société d'Énergie de la Baie James). Or, il s'est avéré impossible de retracer ces travaux à l'intérieur du calendrier dont nous disposions. Nous nous sommes donc concentrés sur le développement de l'outil à l'aide des données acquises en cours de réalisation du projet. L'intégration des données régionales sera réalisée lors d'une phase ultérieure du projet à l'intérieur de laquelle les objectifs et échéanciers seront mieux définis avec les partenaires impliqués.

En septembre 2000, une campagne de terrain de deux semaines a été réalisée impliquant la participation de 6 membres de l'équipe. Neuf sites (figure 2) ont été inventoriés à l'intérieur du territoire préalablement circonscrit suivant un transect qui partait du secteur côtier de la baie James (approx. 15 m d'altitude) jusqu'à la moraine de Sakami (approx. 175 m; Vincent, 1977). Deux tourbières ont été choisies parmi ces 9 sites pour fins d'échantillonnage détaillé. La première se situe à proximité de la moraine à une altitude de 165 m (site 3) tandis que l'autre est localisée plus à l'ouest, près du barrage LG-1 et à une altitude de 105 m (site 5).

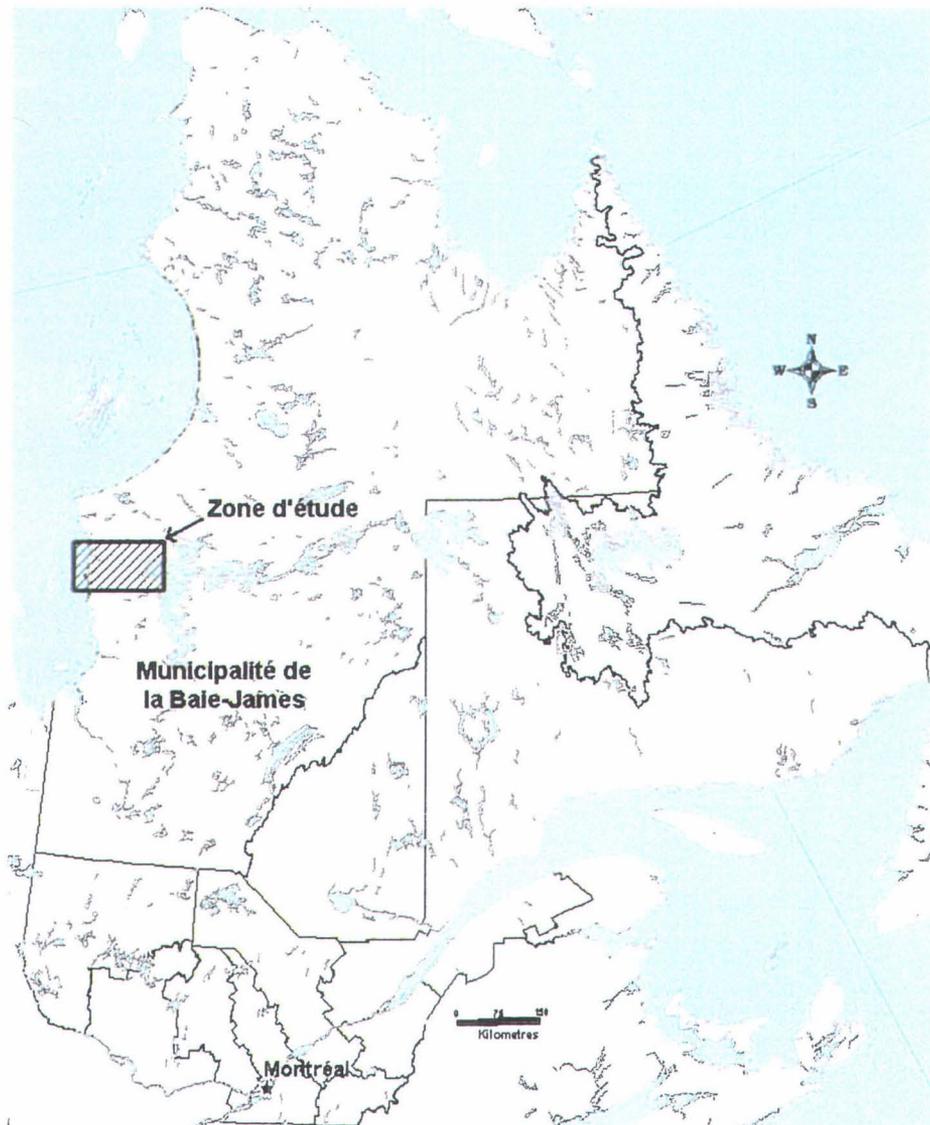


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude



Figure 2 : Localisation des sites inventoriés

1.1 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

L'objectif principal du projet est le développement méthodologique d'un outil géomatique pour l'estimation de la ressource en tourbe via un système d'information géographique (SIG) utilisant les données du satellite canadien RADARSAT puis intégrant les indices de corrélation permettant de compléter l'inventaire des bassins tourbeux en exploitant la 3^{ième} dimension de ceux-ci. Le développement d'une telle méthodologie fut réalisé afin de définir des applications potentielles pour l'estimation de la ressource en tourbe dans ce secteur du Québec septentrional et l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur celle-ci.

L'approche de ce projet est unique et innovatrice car elle vise une intégration en 3 dimensions de différents outils afin de synthétiser l'état des connaissances actuelles de la ressource en tourbe dans le secteur : données topographiques, stratigraphiques, géochimiques, géologiques et phyto-écologiques caractérisant les bassins sélectionnés. Les liens entre les données actuelles de surface et celles accumulées dans les profils de tourbe ont été comparés avec les informations climatiques disponibles pour cette région d'étude.

L'éloignement et l'inaccessibilité de la plupart des tourbières de même que les problèmes inhérents à la cartographie ont favorisé, comme première étape, un inventaire en utilisant des images satellitaires. Au Canada, quelques inventaires de tourbières ont été réalisés à l'aide d'images estivales du capteur TM de Landsat (Ghedira, 2000). Un des promoteurs du projet, le professeur Monique Bernier de l'INRS-Eau, développe actuellement une approche pour la réalisation de l'inventaire des tourbières dans le sud du Québec à partir des données RADARSAT (Bernier *et al.*, 2000). Le volet télédétection de ce projet consistait donc à évaluer, pour les milieux tourbeux du Québec septentrional, le type d'information qu'il est possible d'extraire des images RADARSAT et d'intégrer cette information dans un système d'information géographique en trois dimensions. L'objectif du volet télédétection visait à déterminer la meilleure combinaison « mode d'acquisition / période d'acquisition » des images RADARSAT et à comparer la classification obtenue avec une classification Landsat-TM.

Le second objectif du projet consistait à développer un système d'information géographique (SIG) utilisant les données du satellite canadien RADARSAT puis intégrant des indices afin de tenter de compléter l'inventaire des bassins tourbeux en exploitant les caractéristiques associées à leur 3^{ième} dimension. Cette étape n'a pas été complétée définitivement au cours de la phase actuelle du projet car elle nécessite l'acquisition de données supplémentaires pour le développement de l'outil. Les résultats obtenus jusqu'à ce jour ont permis de raffiner la méthodologie et l'état des connaissances afin de développer dans une phase ultérieure des applications potentielles pour 1) l'évaluation de la ressource en tourbe sur le territoire (synthèse des connaissances), 2) la reconstitution des environnements passés à partir d'analyses stratigraphiques détaillées de plusieurs bassins sur le territoire et 3) l'utilisation des données stratigraphiques permettant la reconstitution des environnements passés en association avec leur contenu géochimique, isotopique et la variabilité climatique à laquelle ils ont été soumis. De nouveaux objectifs seront aussi définis en fonction des résultats obtenus au cours de cette première année de recherche. Certaines de ceux-ci sont déjà présentés dans la discussion.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'approche méthodologique est basée sur une intégration des différentes données multi-sources et multi-échelles acquises en cours de projet, afin de tenter de définir des indices de corrélation pour éventuellement intégrer l'information dans un modèle en 3 dimensions. La figure 3 présente de façon schématique les types de données utilisées dans le cadre du projet.

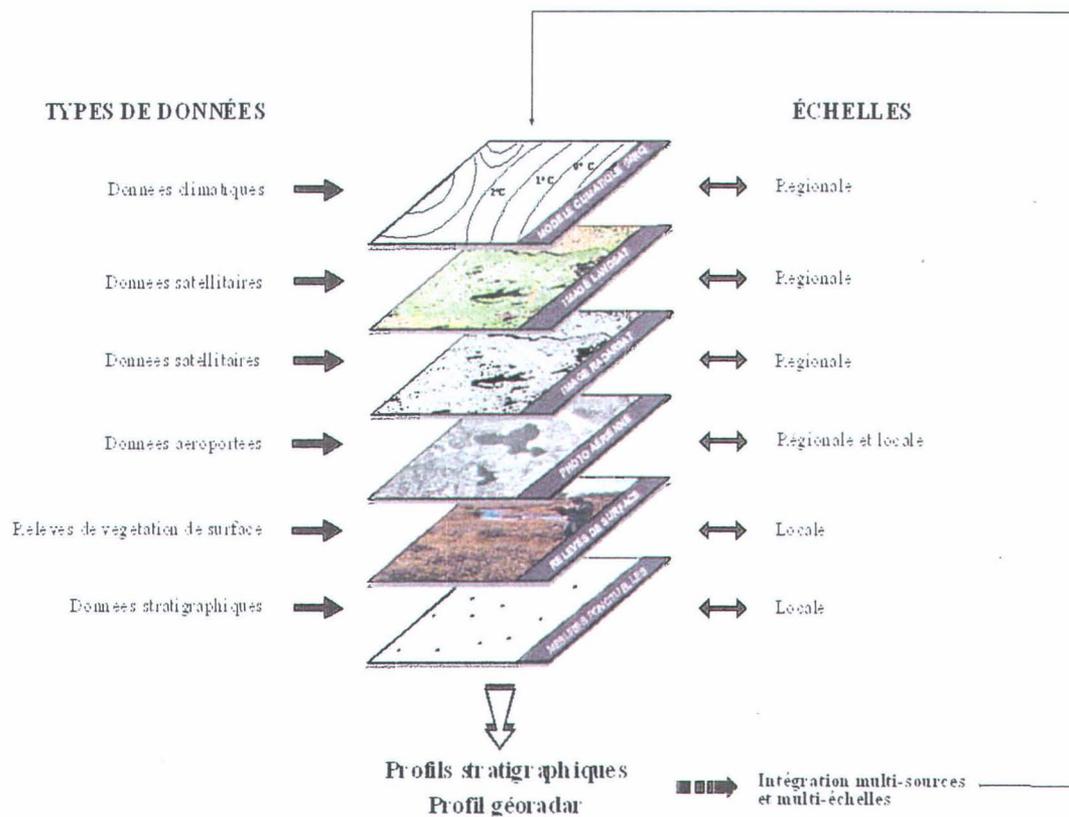


Figure 3 : Approche méthodologique

Les différentes étapes méthodologiques effectuées au cours de la réalisation du projet ont été :

- 1) Classification des milieux tourbeux à partir de six images RADARSAT (en mode S1 et S7) et d'une image Landsat-TM.
- 2) Campagne de terrain; inventaire géomorphologique, réalisation de profils topographiques souterrains à l'aide du géoradar afin de connaître la morphologie de certains bassins tourbeux; carottage des tourbières sélectionnées après la phase d'inventaire au géoradar. Relevés de végétation de surface.
- 3) Dépouillement des données obtenues au cours de la phase d'inventaire. Établissement de profils topographiques souterrains, analyses stratigraphiques, macrofossiles et géochimiques des carottes échantillonnées. Classification et cartographie de la végétation de surface.
- 4) Simulations climatiques à partir du Modèle Local de Climat (MLC). Simulations historiques des températures et des précipitations totales à la surface selon les données des stations météorologiques La Grande IV et Nitchequon.
- 5) Élaboration de la procédure de création du modèle 3D. Travaux préliminaires sur la modélisation en trois dimensions d'un bassin tourbeux. Construction d'un prototype pour une partie d'un bassin tourbeux en fonction des données recueillies sur le terrain.

2.2 PRÉ-CAMPAGNE DE TERRAIN - VOLET TÉLÉDÉTECTION

2.2.1 Données acquises

Sept images RADARSAT en mode standard (résolution spatiale de 30m et couverture de 100 km X 100 km) ont été acquises sur le territoire d'étude entre le 25 juin 2000 et le 26 février 2001 (tableau 1). Quatre images ont été acquises en mode S7 (angles d'incidence : 45°-49°) et trois en mode S1 (angles d'incidence : 20°-27°).

Tableau 1 : Liste des images acquises

Date d'acquisition	Mode
25 juin 2000	S1
1 ^{er} juillet 2000	S7
12 août 2000	S1
18 août 2000	S7
29 septembre 2000	S1
5 octobre 2000	S7
26 février 2001	S7

En plus des images radar, une image Landsat-TM géoréférencée et couvrant le secteur d'étude a été utilisée. Cette image a été acquise le 27 juin 1998.

2.2.2 Traitement préliminaire des images radar

Les images radar ont été traitées à l'aide des logiciels EASI/PACE et OrthoEngine de PCI Geomatics. Les traitements préliminaires à l'analyse sont les suivants :

1. Transformation des niveaux de gris en coefficients de rétrodiffusion (puissances).
2. Correction géométrique des images à l'aide d'un modèle numérique d'altitudes (MNA) et de l'image Landsat-TM géoréférencée. Note : Le MNA ne couvrant que le territoire à l'est du lac Duncan (feuille 33F), seule la portion d'image englobant les sites d'échantillonnage de 1 à 3 est utilisable.
3. Ré-échantillonnage des images à un pixel de 25m (pixel original : 12.5m).
4. Calcul des paramètres de texture de chaque image.

La texture d'une image est la variation spatiale des niveaux de gris. Elle se caractérise par la différence entre les niveaux de gris avoisinants (contraste), la distance sur laquelle ces changements se produisent (fenêtre) et la direction privilégiée (ou non) de ces mêmes changements. La mesure de la texture est basée sur une matrice de co-occurrence des niveaux de gris (GLCM). Celle-ci évalue la fréquence d'occurrence de toutes les combinaisons de niveaux de gris à l'intérieur d'une fenêtre et peut donc s'exprimer en probabilités. La plupart des mesures de texture sont des moyennes pondérées du contenu de la GLCM normalisée. Les mesures les plus utilisées sont regroupées en trois groupes :

contraste (contraste, homogénéité, dissimilitude), arrangement (deuxième moment angulaire (angular second moment), énergie, entropie) et statistiques descriptives (moyenne, variance, corrélation). Dans le cadre de ce projet, les mesures « Moyenne » et « Dissimilitude » ont été retenues.

2.2.3 Analyse des images radar

L'analyse des images radar a été réalisée en deux phases. Dans un premier temps, une analyse de séparabilité est utilisée pour identifier les dates et modes d'acquisition permettant la meilleure discrimination possible entre les différents types de tourbières et les autres occupations du sol. Une fois la meilleure combinaison établie, celle-ci est alors utilisée dans une classification du maximum de vraisemblance.

3.2.1.1 Analyse de séparabilité

L'analyse calcule d'abord, sur des sites d'entraînement, la signature spectrale et la matrice de covariance de chaque classe. Elle évalue ensuite la séparabilité entre ces signatures. Dans le cadre de ce projet, la mesure de distance de Bhattacharyya du logiciel EASI/PACE a été utilisée (PCI Geomatics, 2000). L'indice de séparabilité de cette mesure est compris entre 0 et 2. De 0 à 1, la séparabilité n'est pas significative, de 1 à 1.9, la séparabilité va de faible à moyenne et de 1.9 à 2, la séparabilité est excellente.

3.2.1.2 Classification

Pour les images radar, le processus de classification consiste à identifier la classe à laquelle appartient chaque pixel, en se basant sur son niveau de gris dans chaque image utilisée. Ce processus permet la création d'une carte thématique. Dans le cadre de ce projet, la méthode du maximum de vraisemblance a été utilisée, c'est un outil de classification paramétrique nécessitant la localisation *a priori* des sites d'entraînements pour chaque classe et qui est basé sur des algorithmes statistiques. Cette méthode utilise une courbe de distribution de Gauss pour chaque classe afin de déterminer si un pixel donné appartient ou non à une classe donnée.

3.2.1.3 Choix des sites d'entraînement

Les statistiques permettant l'analyse de séparabilité et la classification doivent être calculées sur des sites d'entraînement, c'est-à-dire des sites représentatifs des classes devant être discriminées. Ces sites ont été déterminés à partir de photographies aériennes et d'observations de terrain et se situent dans l'axe de la route de la Baie James, à proximité des sites 1, 2 et 3. Les classes retenues sont présentées au tableau 2.

Tableau 2 : Classes utilisées pour l'analyse de séparabilité

Environnements tourbeux		Environnements non-tourbeux	
Tourbière - faible densité d'arbres	TO	Forêt dense	FD
Tourbière – moyenne densité d'arbres	TM	Forêt ouverte	FO
Tourbière – forte densité d'arbres	TF	Brûlis	B
Zone de mares – densité forte	M+	Sols nus (gravières, sable)	SN
Zone de mares – densité moyenne	M-	Zones rocheuses	R
Autre type de tourbière	AT	Eau	E

2.3 CAMPAGNE DE TERRAIN

Neuf tourbières ont été visitées (figure 2, page 3) et des descriptions sommaires des modèles physiologiques de végétation de surface ainsi que d'épaisseurs et de composition stratigraphique des dépôts ont été effectuées à chaque site. Deux tourbières ont été échantillonnées en détail (sites 3 et 5) et l'une de celle-ci a en plus fait l'objet de mesures au géoradar (site 3) afin de reconstituer la topographie du bassin dans lequel les dépôts organiques se sont accumulés. Le choix de l'échantillonnage des carottes à l'intérieur des 2 tourbières a été fait de façon subjective en fonction de la profondeur du dépôt, de la représentativité de la végétation de surface ainsi que de l'accessibilité au site.

2.3.1 Site 3

Au site 3 (figure 4), un transect (L-1) d'une distance approximative de 1,3 km et orienté SE-NO a été effectué dans un complexe tourbeux attenant à la moraine de Sakami et sur laquelle la route de la Baie-James a été construite. Au total, 25 points d'observation ont été réalisés dans la tourbière incluant une description de la végétation de surface et une photo de celle-ci (figure 5a et 5b), un sondage à l'aide d'une sonde pédologique afin de connaître l'épaisseur de dépôt jusqu'à la base minérale ainsi qu'une coordonnée GPS à partir d'un appareil Lo-K-tor à 12 canaux de VIASAT-Géo-Technologie Inc. (figure 6). En plus de ces 25 descriptions, 4 profils stratigraphiques ont été obtenus à l'aide d'une sonde McCauley (figure 7) aux points 3,5, 8, et 14 ainsi que 4 autres sections échantillonnées avec une sonde Coûteaux (points 4: pt3-2; point 11: pt3-1; point 17: pt3-3; point 22: pt3-4). Un profil de la topographie du bassin a été effectué sur une distance de 405 mètres (ligne pointillée: figure 4) à l'aide d'un appareil géoradar Pulse EKKO IV de Sensors and Software Inc (figure 8).



Photo aérienne: HQ.99-204-110, échelle 1: 20000



Sous-image LANDSAT

Figure 4 : Vue aérienne et satellitaire (Landsat) de la tourbière du site 3

a)



b)



Figure 5 : Physionomie de la végétation de surface au site 3



Figure 6 : Enregistrement électronique des coordonnées GPs à partir d'un appareil Lo-K-tor à 12 canaux



Figure 7 : Sonde McCauley utilisée pour l'échantillonnage des dépôts tourbeux

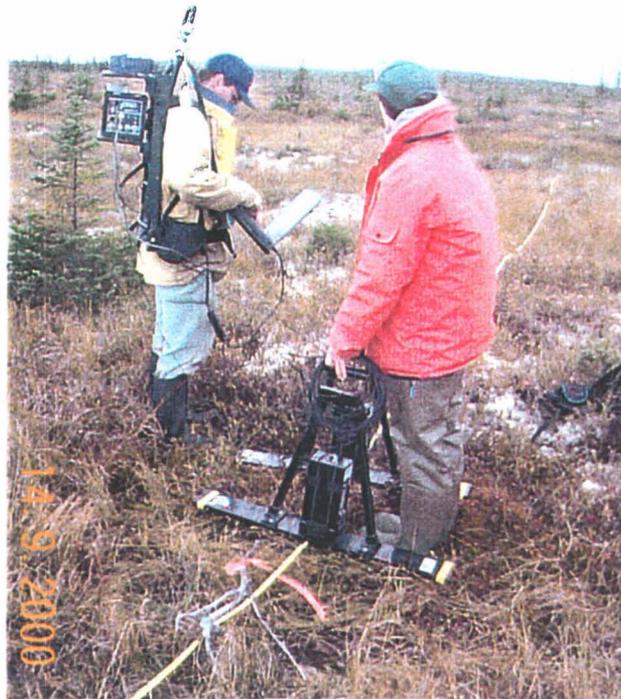


Figure 8 : Appareil géoradar Pulse EKKO IV servant à tracer la topographie du bassin

Le géoradar est un instrument de plus en plus utilisé dans les études environnementales. Il s'avère une technique efficace afin de caractériser la stratigraphie des bassins tourbeux (Warner *et al.*, 1990; Jol et Smith, 1995). Le principe de fonctionnement de l'appareil est basé sur la propagation et la réflexion d'une onde électromagnétique à haute fréquence (10-1000 Mhz) dans des matériaux à propriétés électriques différentes (Carter *et al.*, 1991). Son fonctionnement nécessite une antenne émettrice de 50, 100 ou 200 Mhz, une antenne réceptrice, une boîte de contrôle ainsi qu'un ordinateur qui enregistre et transforme les données digitales en une image bidimensionnelle de la section investiguée. Dans les formations superficielles, les réflecteurs représentent généralement un contact stratigraphique, un changement textural ou encore un changement dans la teneur en eau du matériel. Les profondeurs observées sont estimées à partir de la vitesse de pénétration du signal qui, à son tour, est influencée par plusieurs facteurs dont la performance du système, l'atténuation du signal et les propriétés de réflexion des matériaux (Carter *et al.*, 1991).

La distance couverte par le géoradar n'a pas été celle de l'ensemble de la tourbière car l'objectif consistait, dans une première étape, à vérifier la validité de la méthode. Les résultats concluants nous permettent de confirmer la validité de l'usage d'une telle méthode dans une seconde phase du projet. L'expérience sur le terrain nous a cependant fait réaliser que cette étape devrait être exécutée de préférence en hiver sur une surface gelée ce qui faciliterait de beaucoup les déplacements dans les tourbières.

2.3.2 Site 5

La tourbière du site 5 (figure 9) est localisée le long de la route entre Chisasibi et Radisson. Elle est située à 105 mètres d'altitude par rapport au niveau de la mer et couvre une superficie de 3 km². Sa bordure sud est délimitée par un lac de plus d'un kilomètre de longueur. Deux transects ont été effectués aux extrémités est et ouest du lac. Le transect 1 (L-1) orienté NO-SE couvre une distance approximative de 750 mètres. Au total, 10 points d'observation ont été réalisés incluant une description de la végétation de surface et une photo de celle-ci, trois sondages à l'aide d'une sonde McCauley (points 3,4 et 8) afin de connaître l'épaisseur et la stratigraphie du dépôt jusqu'à la base minérale (figure 10) en plus d'une coordonnée GPS. Parmi ces 10 points d'observation, deux carottes de tourbe (point 5: pt5-1; point 9: pt5-2) ont de plus été prélevées avec la sonde Coûteaux (figure 11). Le transect 2 (L-2) orienté NE-SO couvre une distance approximative de 450 m à l'intérieur duquel 4 points d'observation ont été réalisés (végétation, sondage à l'aide de la sonde McCauley et coordonnées GPS). Une carotte de tourbe a été prélevée à l'aide de la sonde Coûteaux (point 4: pt6).

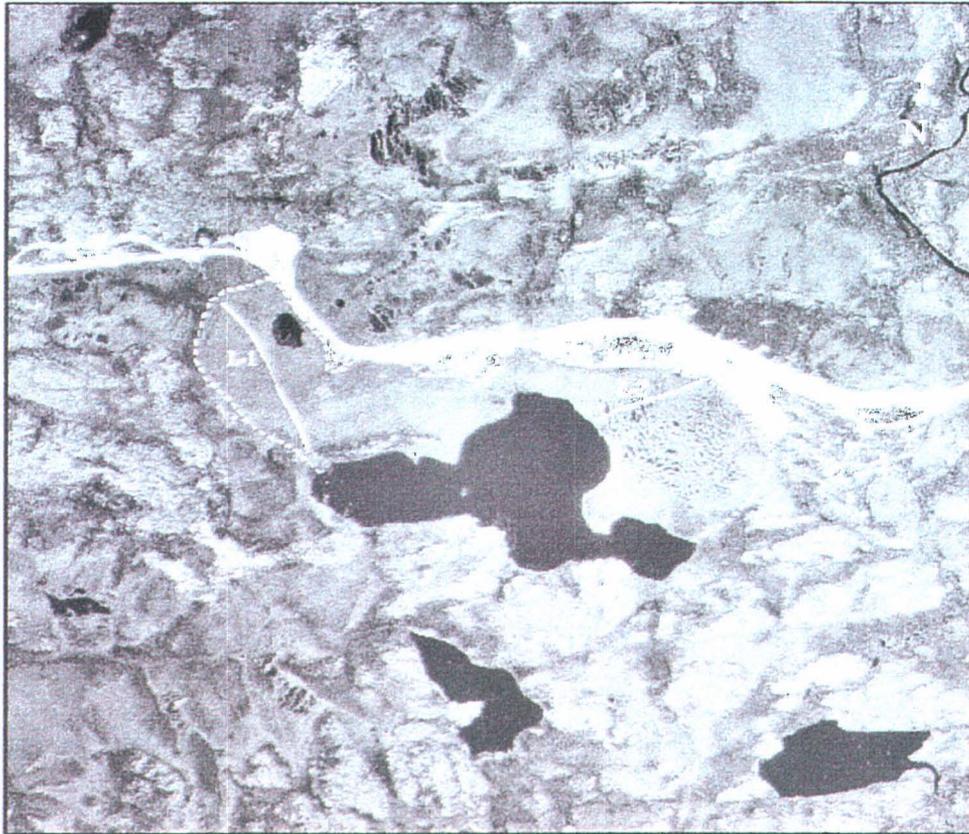
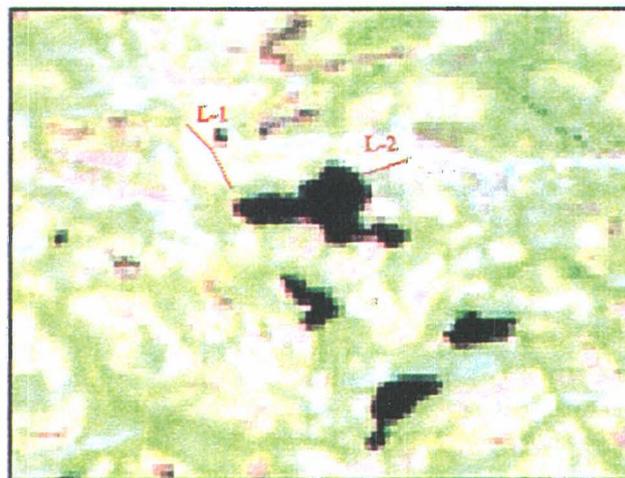


Photo aérienne : HQ.84.IL-150 3-235, échelle: 1: 20000



Sous-image LANDSAT

Figure 9 : Vue aérienne et satellitaire (Landsat) de la tourbière du site 5



Figure 10 : Échantillon basal et contact entre les sédiments organique et minéral

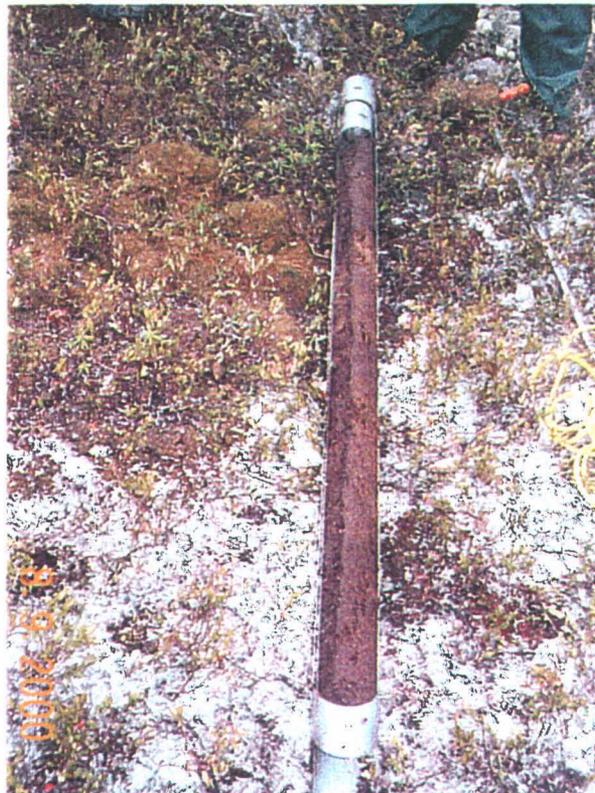


Figure 11 : Échantillon de tourbe prelevé à l'aide de la sonde Coûteaux

2.3.3 Classification et cartographie de la végétation

Sept relevés de végétation détaillés ont été réalisés aux sites de carottage des 2 tourbières. Les vasculaires ont été identifiées selon Porsild et Cody (1980), et les bryophytes selon Crum (1973; 1984), Crum et Anderson (1981), et Bastien et Garneau (1997). La typologie des modèles phytosociologiques est celle de Buteau *et al.* (1994). Les relevés de terrain et la compilation des données recueillies ont été effectués par madame Élisabeth Robert, professionnelle de recherche au Centre d'études nordiques de l'Université Laval. En raison de la limite de résolution propre au capteur utilisé dans ce projet, la cartographie des tourbières a été limitée à la reconnaissance et à la description des formes observables dans ces habitats. Ce niveau de perception correspond à une échelle cartographique de l'ordre du 1:20 000, et à une aire minimale des unités cartographiées de 4 hectares.

2.4 POST-CAMPAGNE DE TERRAIN

2.4.1 Analyses en laboratoire

Pour la première phase du projet, quatre carottes dont deux provenant de chaque site (Site 3 : Pt3-1, Pt3-3 et Site 5 : Pt5-1 et Pt6) ont été utilisées pour des fins d'analyses en laboratoire. La longueur des carottes variait entre 180 cm et 395 cm. Au total, 109 échantillons ont fait l'objet d'analyses géochimiques et 60 échantillons ont été analysés pour leur contenu en macrofossiles (annexe 1). La stratigraphie a été décrite en détail puis les échantillons ont été coupés à intervalles de 2 cm dans le premier mètre et demi (qui correspond au matériel prélevé à l'aide de la sonde Coûteaux (10 cm diamètre) et à intervalle de 5 cm pour le matériel prélevé avec la sonde McCauley (diamètre 4 cm). Le volume réduit des échantillons prélevés à l'aide de la sonde McCauley a nécessité une réplique de 3 échantillons par carotte.

Le choix des niveaux retenus pour l'analyse macrofossile a été fait de façon subjective de manière à respecter la diversité de la composition botanique des horizons. Chaque niveau analysé pour son contenu en macrorestes a aussi fait l'objet d'analyse géochimique. Comme pour les macrorestes, la détermination du contenu isotopique (carbone) et géochimique (métaux traces incluant Ca, Mg, Na, K, N, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn) a été évaluée et interprétée suivant le contexte de la succession des habitats dans l'espace et dans le temps.

3.2.1.1 Analyses macrofossiles

Un volume constant de 20 cm³ a été retenu pour le sous-échantillonnage du matériel à l'aide d'un emporte-pièce. Les échantillons ont été chauffés dans une solution KOH diluée à 5% (facilitant la dispersion des pièces botaniques), lavés et la fraction > 170 µm a été récupérée par tamisage (Garneau, 1998). Chaque échantillon a ensuite été observé au microscope stéréoscopique (grossissement 10x et 25x). Certaines observations ont nécessité l'utilisation d'un microscope photonique (grossissement 250x). Le matériel a été identifié à partir des travaux de Grosse-Brauckmann (1972, 1974), Crum (1979), Crum et Anderson (1981), Ireland (1982) et Garneau (1995a et b, 1998). Les fossiles ont été dénombrés ou estimés en pourcentage du volume total de l'échantillon tamisé. Dans les diagrammes, les restes dénombrés sont représentés sous forme d'histogramme et l'évaluation en pourcentages sous forme de courbes.

3.2.1.2 Datations au radiocarbone

Quatre datations au radiocarbone ont été effectuées sur deux carottes dont 2 au site Pt3-3 (niveaux 34-36 et 375-380 cm; GSC-6554 et GSC-6556) et 2 autres au site Pt6 (niveaux 36-38 et 285-290 cm; GSC-6550 et GSC-6552). Les datations ont été effectuées au laboratoire national de datation au carbone radioactif de la Commission géologique du Canada à Ottawa. Entre 71 et 122 grammes de tourbe humide ont été nettoyés de leurs radicelles puis traités suivant le protocole standard du laboratoire (<http://sts.gsc.nrcan.gc.ca/radiocarbon/>). Les âges ont été obtenus en valeurs ¹⁴C non corrigées et corrigées. Les datations ont aussi été corrigées selon leur rapport ¹³C/¹²C.

3.2.1.3 Analyses géochimiques

Pour la réalisation des analyses géochimiques, certaines étapes de pré-traitement ont été effectuées au laboratoire de la Commission géologique du Canada à Ottawa. Dans un premier temps, les échantillons de tourbe ont été classés selon la charte de couleur des sols de Munsell (Munsell Color Company, 1971). Ils ont été par la suite pesés et déposés dans un four pour être séchés à une température de 37 °C. Les échantillons secs ont été pesés à nouveau afin de calculer leur teneur en eau et leur densité de masse.

Par la suite, des échantillons de tourbe (1,0 gr) ont été traités avec de l'acide nitrique-perchlorique et des analyses de perte au feu (loss-on-ignition) à 500 °C ont été effectuées. Les analyses pour le carbone total ont aussi été effectuées à la Commission géologique du Canada à l'aide d'un appareil Leco CR-412. Entre 0,3 et 0,5 gr de matériel sec ont été utilisés pour ces analyses. La fraction de carbone inorganique a

été obtenue à partir du résidu de combustion et avec un appareil Leco. La valeur du carbone organique a été calculée en sous traitant la valeur du C inorganique de la valeur total.

Les analyses géochimiques ont été réalisées par la compagnie ALS Chemex Ltd de Vancouver. La qualité des analyses géochimiques a été contrôlée en utilisant des échantillons duplicata et du matériel de référence. Les valeurs géochimiques des duplicata et de leurs originaux ont été comparés selon la méthode Thompson-Howarth (1978). Cette méthode consiste à tracer la moyenne des valeurs originales et celles dupliquées en relation avec la différence absolue entre ces mêmes valeurs originales et dupliquées. L'annexe 2 présente les courbes Thompson-Howarth avec les limites de détection minimum et maximum.

3.2.1.4 Analyses C/N

Les analyses du rapport carbone/azote ont été réalisées à l'aide d'un appareil d'analyse élémentaire (CHNS) de marque Leco, modèle CHNS-932 disponible au laboratoire de INRS-Eau. Les échantillons ont d'abord été séchés, broyés (minimum 80 mesh) puis homogénéisés. Un sous-échantillon d'environ 2 mg a été placé dans une capsule d'argent et injecté directement dans l'appareil où une combustion-oxydation à 1000 °C a été effectuée. Ce sont les gaz résultant de cette combustion qui sont dosés par l'appareil et qui donnent les résultats du rapport entre les 2 éléments.

2.5 SIMULATIONS CLIMATIQUES

Les simulations climatiques ont été effectuées à la Division des sciences atmosphériques et enjeux environnementaux d'Environnement Canada. Les travaux de simulation ont permis de présenter une gamme de paramètres climatiques historiques pour les régions adjacentes à la région de la Grande Rivière. Ces données ont pu également s'ajouter aux mesures historiques disponibles dans les archives de données climatiques (BDR). Pour générer les données modélisées, nous avons eu recours à l'usage du Modèle Local de Climat (MLC) (Randall *et al.*, 1996; Bourque, 1998; Lohmann *et al.*, 1999; Girard et Blanchet 2001). Lors de l'intégration, le MLC doit être piloté par les données d'aérosondage. Pour ce faire, nous avons utilisé les données d'aérosondage de la station La Grande IV (lat.: 53.75 ; long.: -73.67) et Nitchequon (lat: 53.13 ; lon: -70.54) qui sont distancées l'une de l'autre de 310 km (Figure 12). Ce sont les deux seules stations de la région qui, dans un périmètre d'environ 500 km, possèdent de longues périodes d'archives aérologiques. Les périodes de disponibilité de mesures pour Nitchequon sont de 1971-1985 et pour La Grande IV de 1986-2000. Avant d'effectuer l'intégration des données, il a fallu d'abord standardiser le format de ces données d'aérosondage afin qu'il corresponde aux formats d'entrée

du modèle. L'intégration proprement dite a été réalisée une fois que le format des 30 dernières années fut achevé. La conception du MLC permet une simulation d'un an à la fois. Il a fallu redéfinir les conditions de surfaces initiales et les tendances dynamiques avant chaque redémarrage. Le pas de temps utilisé lors de l'intégration est de 20 minutes. L'archivage des tendances dynamiques, paramètres physiques et champs de surfaces se font à chaque 12 heures. Le MLC dans sa version actuelle se compose d'une colonne singulière de 49 niveaux verticaux et il utilise à part entière la physique du Modèle Global de Circulation générale (MGCG) (McFarlane *et al.*, 1992; Caya et Laprise, 1999).

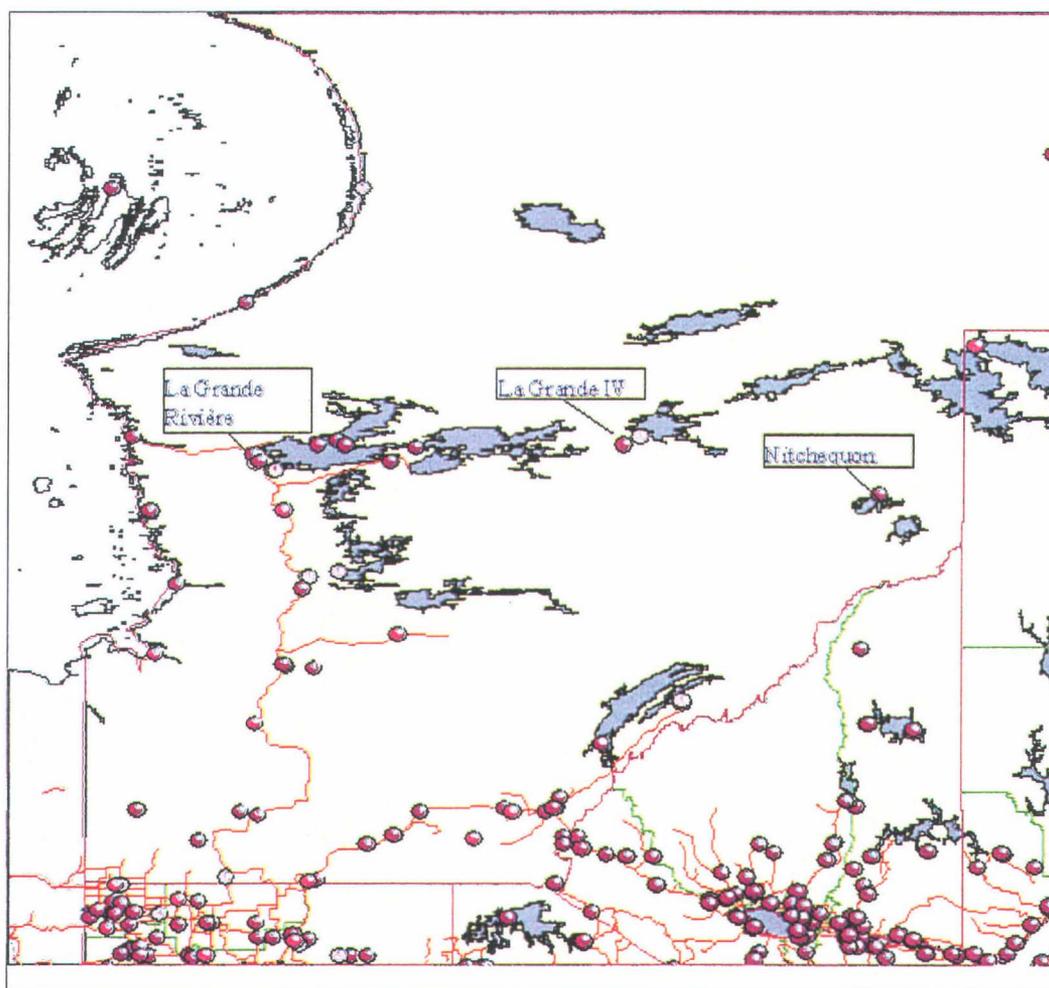


Figure 12 : Localisation des stations météorologiques (La Grande IV et Nitchequon)

Les résultats de simulation ont permis d'obtenir des valeurs historiques simulées pour une grande quantité de paramètres climatiques (annexe 3). Certains de ces paramètres ont été mesurés et archivés dans la BDR et permettront d'évaluer l'habileté du MLC à reproduire le climat de la région d'intérêt dans un contexte historique.

2.6 MODÉLISATION DU BASSIN TOURBEUX EN 3D

Cette première phase du projet, a permis de procéder à des travaux préliminaires de modélisation en trois dimensions d'une partie d'un bassin tourbeux. Un prototype a été élaboré en fonction des données recueillies sur le terrain. Un prototype est un modèle exploratoire impliquant un petit territoire et un ensemble restreint de fonction d'analyse (Thériault, 1996). Il s'agit donc d'un sous-ensemble du modèle final qui utilise des moyens informatiques réduits (matériel et logiciel) et surtout, non définitifs. Parce que le but de l'utilisation du prototype est de préciser les orientations stratégiques, celui-ci ne sera habituellement pas retenu dans l'élaboration du système définitif. Le prototype permet de préciser la procédure avant d'arrêter les choix technologiques et d'engager des ressources substantielles dans la réalisation du modèle complet. Cette étape méthodologique permet donc de préciser les concepts ainsi que d'expérimenter et d'effectuer les choix stratégiques (ex : procédure de collecte de données sur le terrain, procédure de création de la base de données, choix des logiciels utilisés).

Dans le cas de ce projet, le prototype fut élaboré pour un secteur d'environ 1600 m² situé dans la partie est du site 3 et adjacent à la ligne tracée à l'aide du géoradar. Le prototype est basé sur l'interpolation de 23 points de contrôle qui correspondent à des sites d'échantillonnage dont les coordonnées géographiques (x,y) et l'épaisseur de tourbe (z) ont été compilées sur le terrain. L'interpolation (selon la méthode de krigeage) entre les points de contrôle ainsi que la présentation visuelle en 3D ont été effectuées avec le logiciel Surfer.

3 RÉSULTATS

3.1 VOLET TÉLÉDÉTECTION

3.1.1 Résultats de l'analyse de séparabilité

Dans un premier temps, l'analyse de séparabilité a été effectuée en considérant l'information provenant des images originales (coefficients de rétrodiffusion) et ces valeurs ont été comparées à la séparabilité obtenue en utilisant le paramètre de texture « Mean » (figure 13).

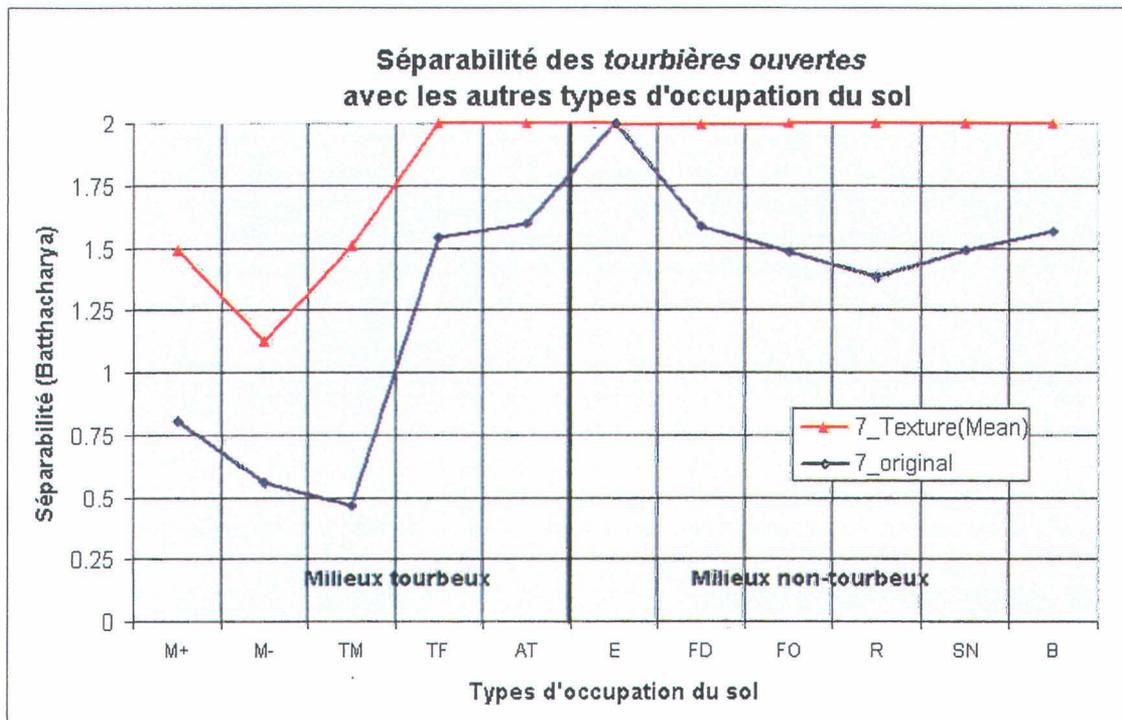


Figure 13 : Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant d'une part, les sept images originales et d'autre part, les 7 images de texture. Pour les abréviations de l'occupation du sol, se référer à la légende du tableau 2, page 9.

L'utilisation de ce paramètre améliore significativement la séparabilité entre la tourbière ouverte et les autres occupations du sol et plus spécifiquement entre les tourbières boisées et non boisées. Conséquemment, toutes les analyses de séparabilité subséquentes sont effectuées sur l'image de texture plutôt que sur l'image originale. Ainsi, le point de repère, ou le maximum de séparabilité atteignable, est celui obtenu en considérant l'information provenant des sept images de texture. L'objectif est maintenant

d'obtenir la meilleure séparabilité possible en utilisant un nombre plus restreint d'images. Dans un premier temps, la pertinence d'utiliser des images acquises selon les deux modes (S1 et S7) fut vérifiée. Selon Bernier *et al.* (2000), les images en mode S1 sont généralement plus sensibles à l'humidité du sol. Étant donné leur angle d'incidence proche de la verticale (de 20° à 27°), les ondes radar émises en mode S1 sont beaucoup plus influencées par l'humidité que par la diffusion de volume de la couverture végétale créée par les branches des arbres ou des arbustes. En effet, les images acquises en mode S1 sont très utiles pour distinguer et délimiter les milieux humides des milieux forestiers. Par contre, les images en mode S7, avec leur angle d'incidence élevé (de 45° à 49°), sont plus utiles pour différencier les surfaces boisées à cause d'une diffusion de volume élevée. En effet, un angle d'incidence élevé fait augmenter la rétrodiffusion des branches des arbres. Les images acquises en mode S7 peuvent être très utiles pour différencier plusieurs types de surfaces boisées à l'intérieur des milieux humides.

Sur la figure 14, on compare la séparabilité obtenue avec les quatre images (texture) S7 d'une part et les trois images (texture) S1 d'autre part.

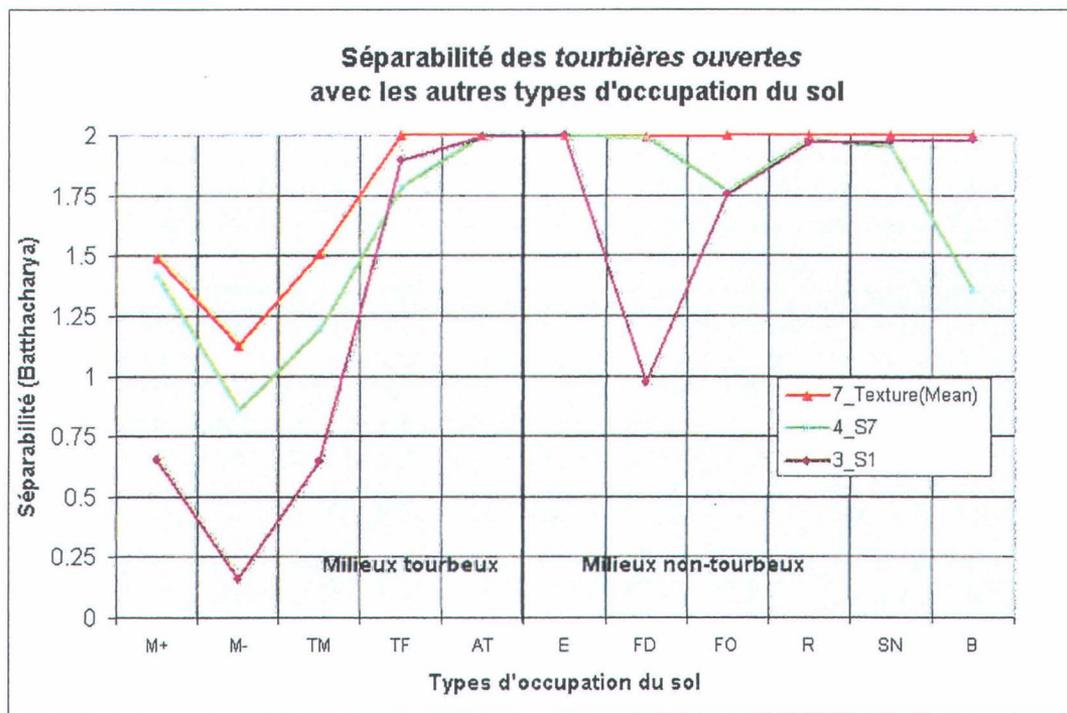


Figure 14 : Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant les quatre images S7 d'une part et les trois images S1 d'autre part

En général, le mode S7 procure globalement une meilleure séparabilité entre la tourbière ouverte et les autres classes, à l'exception des brûlis, où le mode S1 est plus efficace. À première vue, il semble donc que l'utilisation d'images en mode S7 pourrait être suffisante pour discriminer les tourbières. Cependant, une analyse détaillée de la contribution de chaque image est nécessaire. La seconde analyse de séparabilité vise donc à identifier les meilleures périodes d'acquisition des images, qu'elles soient en mode S1 ou S7. Les images acquises pour le projet couvrent le début (fin juin – début juillet), le milieu (août) et la fin de la saison de croissance des végétaux, en plus de l'hiver. Il est attendu que certaines périodes seront plus propices à la discrimination des tourbières en fonction de l'humidité des sols et de l'état de la végétation. Les séparabilités obtenues selon les quatre dates d'acquisition du mode S7 sont présentées à la figure 15.

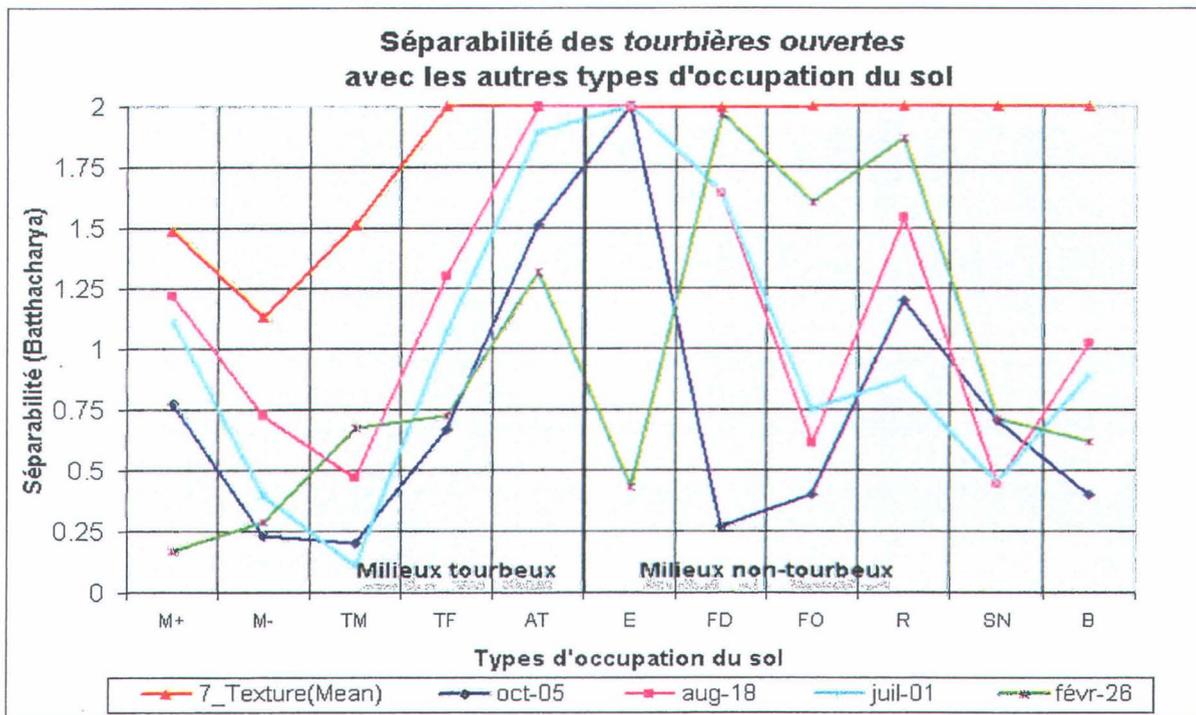


Figure 15 : Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant l'une ou l'autre des quatre images S7

C'est l'image du 18 août, qui procure généralement la meilleure séparabilité entre les tourbières ouvertes et les autres milieux tourbeux, alors que l'image du 27 février permet une meilleure discrimination avec les milieux non-tourbeux. L'image du 1^{er} juillet est légèrement inférieure à celle du 18 août alors que l'image du 5 octobre est définitivement celle qui apporte le moins d'information. C'est donc au plus fort de la saison végétative et en période plus sèche que sont mieux distinguées les différentes classes de

milieux tourbeux dans cette région. L'image S7 de février présente les résultats attendus avec le mode S1, soit une discrimination entre les milieux tourbeux et non-tourbeux (Bernier *et al.*, 2000). Il s'avère donc avantageux d'utiliser une image d'été et une image d'hiver.

Le même exercice est effectué sur la série d'images en mode S1 (figure 16). C'est à nouveau l'image du mois d'août qui permet la meilleure discrimination des classes. L'image de juin est légèrement moins efficace, alors que l'image de septembre apporte peu d'information. Le mode S1 est le plus pertinent pour différencier les tourbières des autres occupations du sol mais il fait peu de distinction à l'intérieur des milieux tourbeux. Il ne peut toutefois être totalement remplacé par l'image S7 d'hiver car le mode S1 demeure plus efficace au niveau des brûlis et des sols nus.

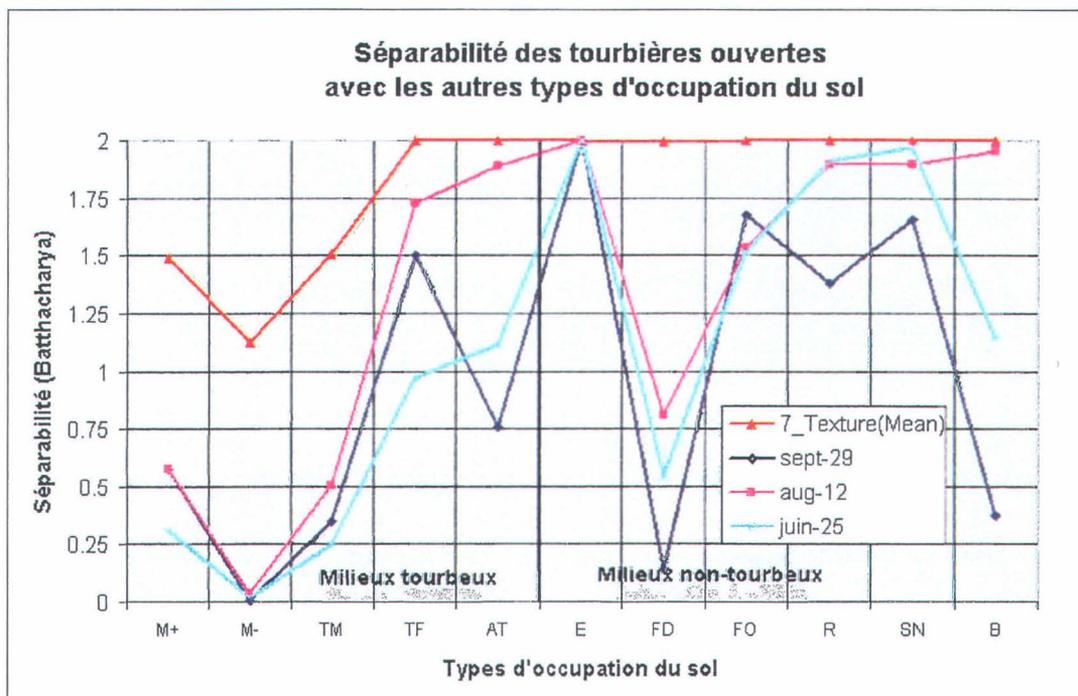


Figure 16 : Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant l'une ou l'autre des trois images S1

La combinaison idéale d'images apparaît donc être celle d'une image S7 d'été, d'une image S7 d'hiver et d'une image S1 d'été. La figure 17 confirme que l'image S7 d'été est particulièrement indispensable à la discrimination à l'intérieur des milieux tourbeux, en augmentant sensiblement la séparabilité. Bien que pour des fins de composé couleur et de classification il soit recommandé d'utiliser trois images, la figure 17 démontre que globalement, une image S7 et une image S1 d'été pourraient être suffisantes. L'ajout d'une image S7 supplémentaire, qu'elle soit d'été ou d'hiver, n'améliore que légèrement la discrimination.

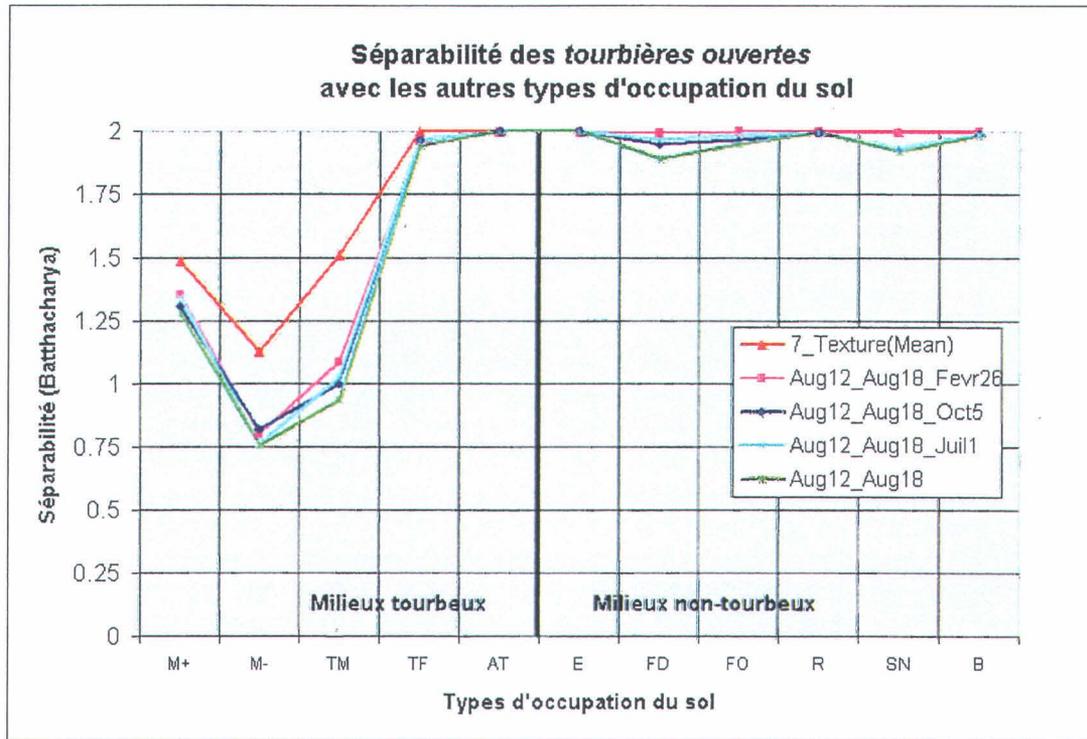


Figure 17 : Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en faisant varier ou en éliminant la deuxième image S7

Une fois la meilleure combinaison d'images sélectionnées (12 août-S1, 18 août-S7 et 26 février-S7), l'ajout d'un deuxième paramètre de texture afin d'améliorer la séparabilité des classes fut vérifié. Comme on peut le constater sur la figure 18, l'utilisation combinée du paramètre « Moyenne » et du paramètre « Dissimilitude » pour les trois images retenues, permet d'obtenir une séparabilité équivalente à celle obtenue par l'utilisation des sept images avec le seul paramètre « Moyenne ». Il est donc possible, sans acquérir d'autres images, d'améliorer la séparabilité des classes. D'autres paramètres de texture pourraient être ajoutés mais ils exigeraient la gestion d'une quantité d'information beaucoup trop élevée pour les résultats obtenus.

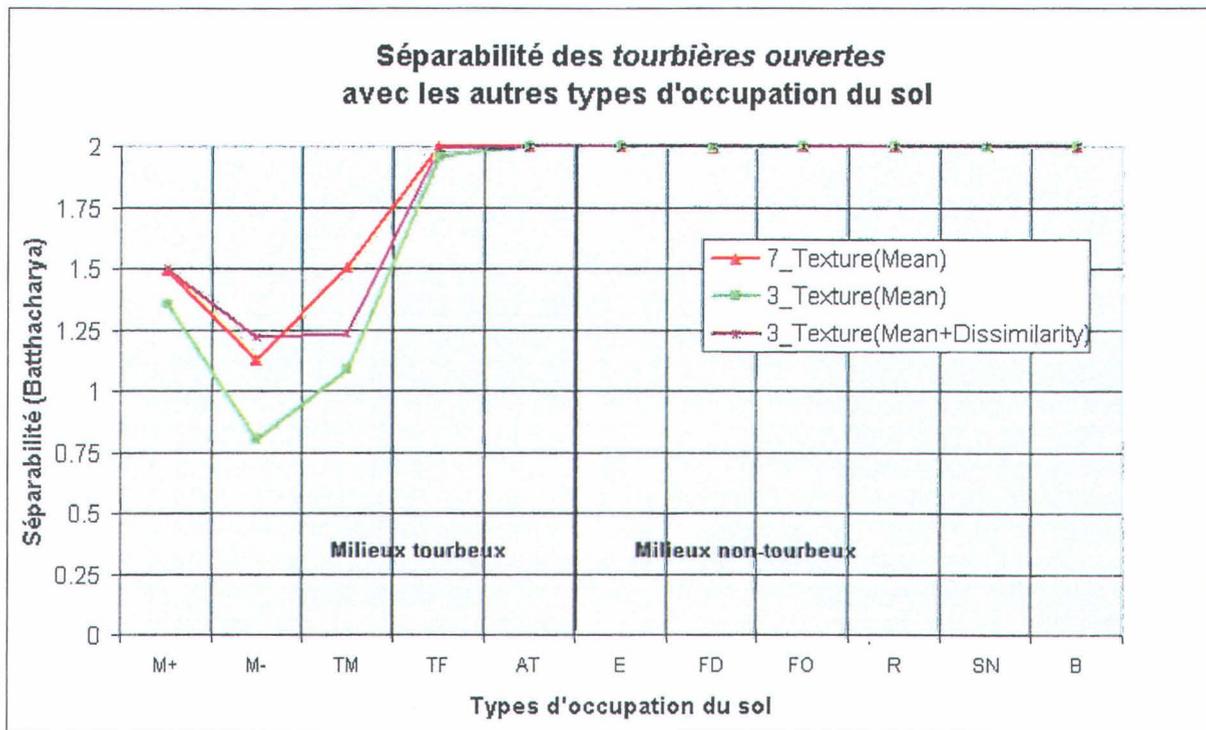


Figure 18 : Séparabilité des tourbières ouvertes avec les autres types d'occupation du sol en utilisant un seul ou deux paramètres de texture

3.1.2 Classification

La simple utilisation d'un composé couleur des images retenues, permet d'obtenir une discrimination visuelle des milieux tourbeux et non-tourbeux. Comme on peut le voir sur la figure 19, le composé couleur (12 août, 18 août, 26 février) du site 3 permet de faire ressortir nettement les milieux tourbeux ouverts, qui apparaissent alors dans une teinte orangée. Plus la densité de mares y est élevée, plus la teinte orangée est foncée, jusqu'à l'apparition de pixels noirs (eau libre). Par contre, lorsque la densité d'arbres sur la tourbière augmente, la teinte du pixel se rapproche du jaune. Les milieux ouverts non-tourbeux sont de teinte verdâtre et bleue.

L'interprétation de ce composé couleur est toutefois contextuelle et intuitive et la classification par le maximum de vraisemblance peut ne pas toujours parvenir au même résultat. C'est pourquoi les travaux sur la classification par réseaux de neurones (Ghedira, 2000; Ghedira *et al.*, 2001) deviennent significatifs. Parce que la méthodologie est encore en développement, c'est la classification par maximum de vraisemblance qui a été utilisée dans cette étude.

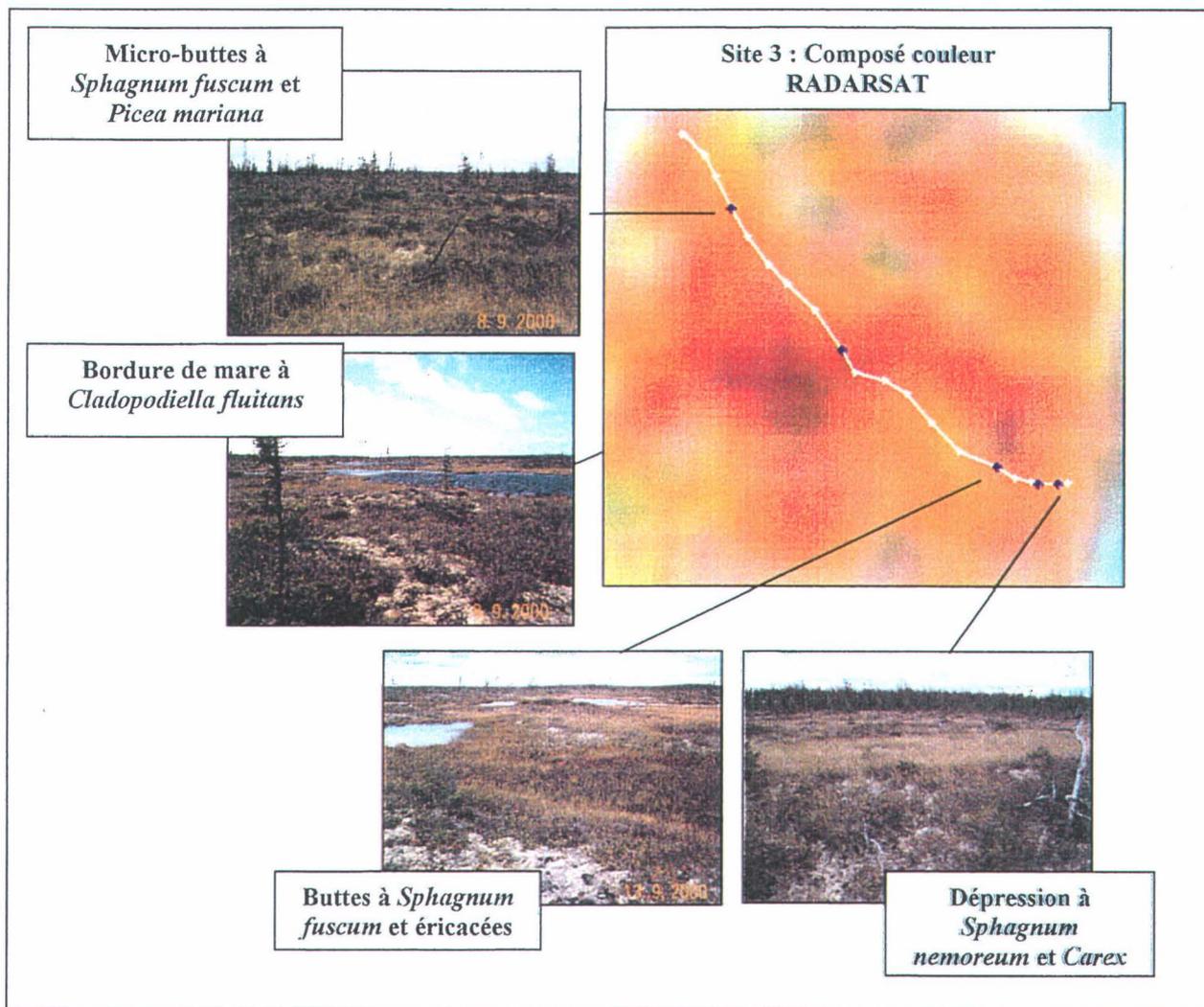


Figure 19 : Comparaison des observations terrain et du composé couleur de RADARSAT au site 3.

Les six couches d'information utilisées pour la classification sont les paramètres de texture « Moyenne » et « Dissimilitude » pour chacune des trois images retenues. Par contre, si l'utilisation de deux paramètres de texture améliore la séparabilité des classes, elle a aussi pour effet de causer certains artefacts. En effet, dans les secteurs de forts contrastes, comme autour des lacs, tous les paramètres de texture (sauf « Moyenne ») créent un cerne (figure 20), dont la dimension varie en fonction de la fenêtre utilisée lors du calcul de la texture.

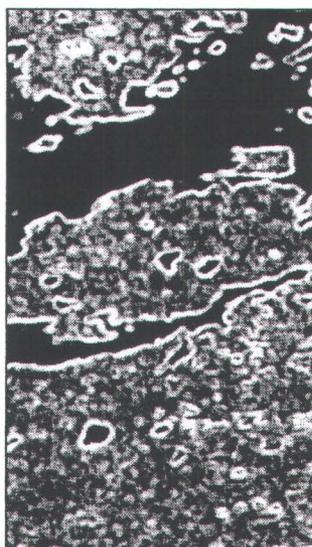


Figure 20 : Extrait d'une image de texture (dissimilitude) montrant les cernes clairs autour des plans d'eau.

Pour contourner ce problème, une première classification a été effectuée avec les six couches d'information. À partir de ces mêmes six couches, un masque a été créé sur les anneaux. Une seconde classification a été effectuée sous ce masque uniquement, en utilisant seulement trois couches d'information (paramètre « Moyenne »). De plus, en raison de la rugosité des lacs (causée par le vent) sur les images en mode S1, la classification des lacs et autres cours d'eau a été faite indépendamment, par un simple seuillage des images d'eau calme en mode S7 (1^{er} juillet, 18 août, 5 octobre). Le masque ainsi créé a ensuite été appliqué à la classification finale.

Le résultat de cette classification est présenté pour chacun des sites d'échantillonnage (site 1, 2 et 3) et sera comparé avec le composé couleur et la cartographie obtenue à partir de l'image Landsat-TM. L'interprétation visuelle du site 3 faite sur la figure 19 se reflète très bien dans la classification RADARSAT de la figure 21. Selon la matrice de confusion, la précision de la classification calculée sur les sites d'entraînement est en moyenne de 81%. Les principales confusions se situent entre les tourbières arborées et tourbières ouvertes, entre les forêts ouvertes et les forêts denses, entre les forêts ouvertes et les landes et entre les mares « densité + » et les mares « densité - ». Ce sont des confusions normales puisque dans chaque cas, le milieu est hétérogène et les différentes caractéristiques physiologiques possèdent des densités de recouvrement variables.

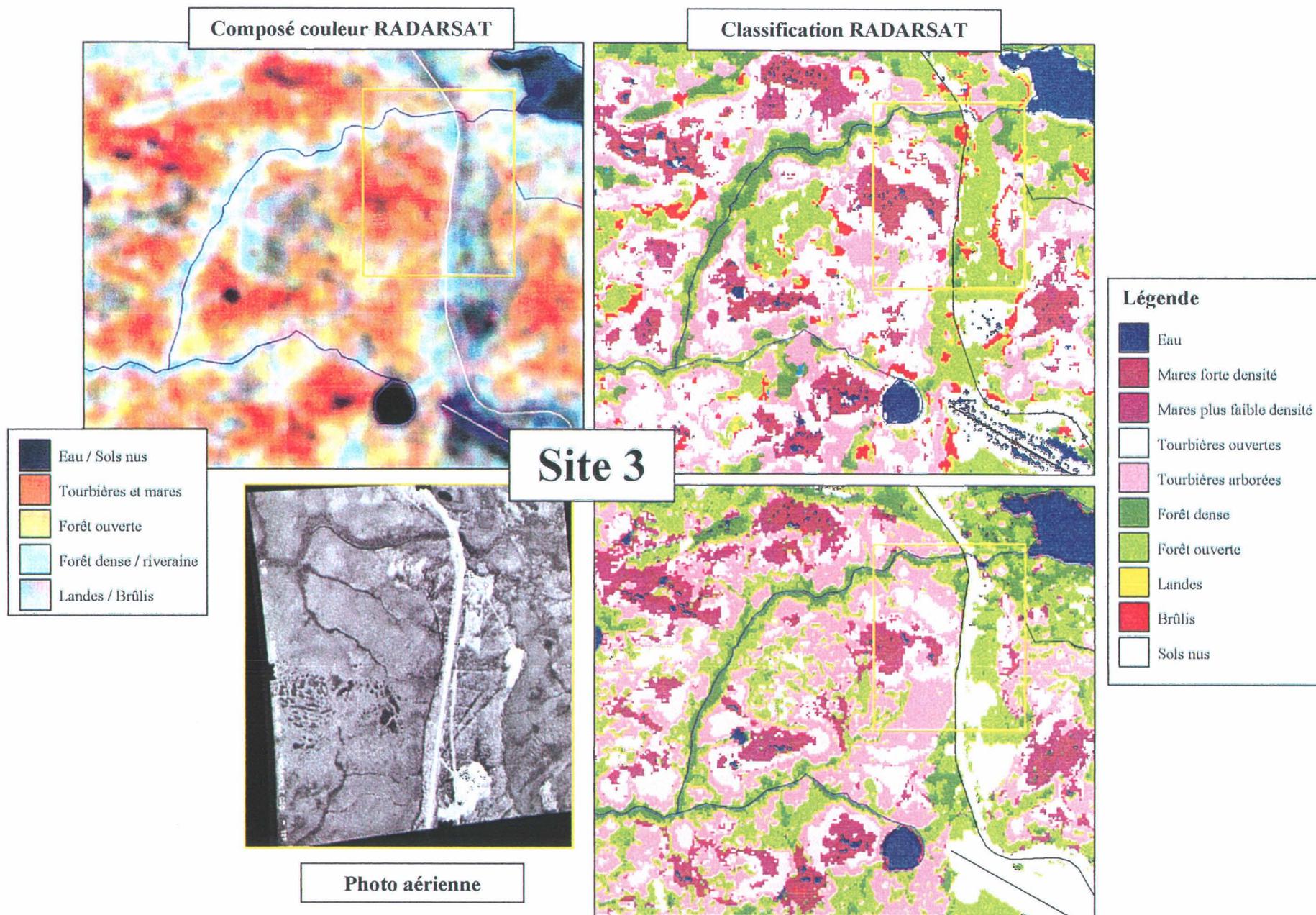


Figure 21 : Composé couleur RADARSAT (images du 12 août, 18 août, 26 février) et classifications sur le site 3

Lorsque cette classification est comparée avec celle de Landsat-TM, il existe une assez bonne concordance pour le site 3. Dans le tableau 3, environ 50% des pixels ont été classés selon les 2 classifications comme milieu tourbeux. La classification RADARSAT présente dans l'ensemble, plus de tourbières ouvertes et moins de tourbières arborées que la classification TM.

Tableau 3 : Comparaison des pourcentages de classes issus des deux classifications pour le site 3

	Classification	
	RADARSAT	TM
Tourbière ouverte	24%	13%
Tourbière arborée	19%	26%
Mares dense +	6%	6%
Mares dense -	5%	5%
Milieus tourbeux	53%	50%

Si l'on regarde plus en détail (tableau 4), on constatera que de tous les pixels classés comme tourbière ouverte par RADARSAT, 91% sont effectivement classés comme milieu tourbeux par TM, mais seulement 38% y sont classés réellement comme tourbière ouverte. Le conflit est évident avec la tourbière arborée et les zones de mares. Les pixels qui ont été classés comme milieu tourbeux par RADARSAT et qui ne le sont pas par TM, se retrouvent surtout dans la classe « lande » ou « forêt ouverte ». Dans le cas de la tourbière arborée, le conflit avec ces deux dernières classes est encore plus grand. Il semble donc que souvent, le radar détecte un milieu tourbeux (humide), là où TM ne voit qu'une forêt ouverte. Au niveau des mares, celles que RADARSAT détecte sont bien classées en milieux tourbeux par TM (96%+). Par contre, le capteur optique les attribue parfois à des mares, parfois à des tourbières ouvertes et parfois à de l'eau. Si la densité de mares est plus faible, il y a aussi conflit avec la tourbière arborée.

Tableau 4 : Répartition des classes RADARSAT dans la classification TM pour le site 3

Classe du pixel sur RADARSAT	Pixels aussi classés sur TM comme milieu tourbeux	Pixels classés sur TM dans la MÊME classe de milieu tourbeux que RADARSAT	Principale confusion à l'intérieur du milieu tourbeux	Principale confusion avec milieu non-tourbeux
Tourbière ouverte	91%	38%	Tourbière arborée, mares	Landes et forêts ouvertes
Tourbière arborée	57%	48%	Tourbière ouverte	Forêt dense, ouverte, landes
Mares densité +	98%	58%	Tourbière ouverte et eau	Landes
Mares densité -	96%	28%	Tourbière ouverte et arborée	Landes

En résumé, les deux capteurs discriminent assez bien les milieux tourbeux des milieux non-tourbeux. Par contre, ils diffèrent significativement quant à la classe exacte à laquelle ils attribuent ce pixel tourbeux. La confusion est toutefois naturelle, en ce sens qu'elle se produit généralement entre deux classes voisines (ex : tourbière ouverte et tourbière arborée) et qu'elle serait réduite si une résolution spatiale plus fine était utilisée.

En comparant la classification RADARSAT avec les observations terrain du site 3 (figure 22), on constate que les mares observées sont effectivement classées comme telles (mauve), que les zones de tourbière ouverte sont aussi dans la bonne classe (rose pâle) et que les forêts correspondent aux zones vertes de la classification.

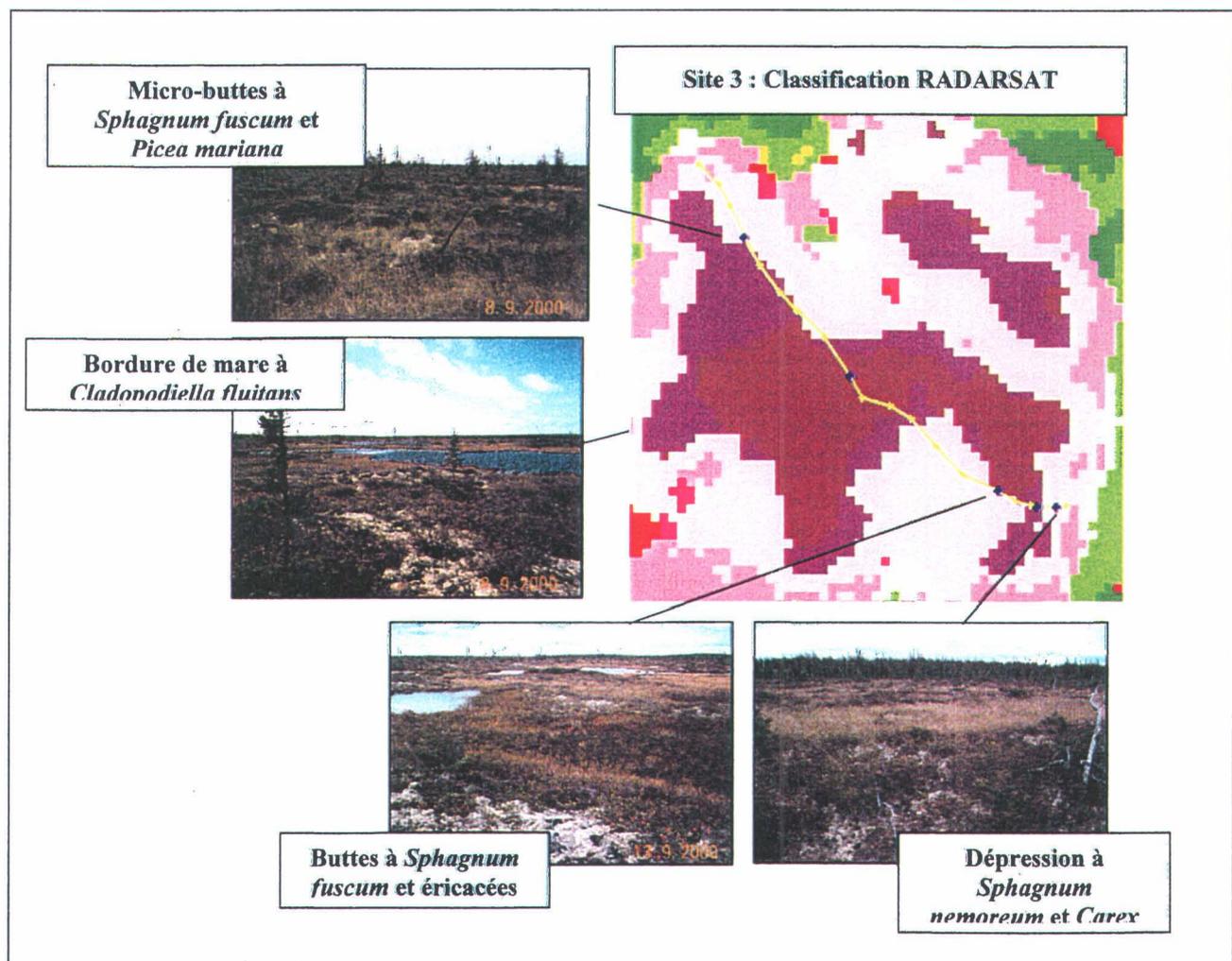


Figure 22 : Comparaison des observations terrain et de la classification RADARSAT au site 3

L'analyse du site 1 (figure 23) présente certaines différences par rapport au site 3. D'abord, la superficie de la tourbière est moins importante que celle du site 3 et la présence de mares est plus faible. La classification RADARSAT présente 32% de milieux tourbeux alors que celle de TM n'en présente que 19% (tableau 5).

Tableau 5 : Comparaison des pourcentages de classes issus des deux classifications pour le site 1

	Classification	
	RADARSAT	TM
Tourbière ouverte	10%	4%
Tourbière arborée	21%	9%
Mares dense +	1%	3%
Mares dense -	0%	2%
Milieu tourbeux	32%	19%

Si on regarde attentivement les deux classifications de la figure 21, on constate que l'identification des superficies tourbeuses est équivalente, par contre, la classification RADARSAT présente un secteur de transition au pourtour de la tourbière de superficie beaucoup plus importante. L'impression générale est que sur ce site, les tourbières ouvertes sur RADARSAT, sont des tourbières arborées sur TM et que les tourbières arborées sur RADARSAT, sont des forêts ouvertes sur TM. Le tableau 6 montre que les pixels classés en milieux tourbeux par RADARSAT se trouvent en forte quantité dans les classes de landes et de forêt ouvertes. Néanmoins, la classification RADARSAT est plus conforme à ce qui est observé sur la photo aérienne.

Tableau 6 : Répartition des classes RADARSAT dans la classification TM pour le site 1

Classe du pixel sur RADARSAT	Pixels aussi classés sur TM comme milieu tourbeux	Pixels classés sur TM dans la MÊME classe de milieu tourbeux que RADARSAT	Principale confusion à l'intérieur du milieu tourbeux	Principale confusion avec milieu non-tourbeux
Tourbière ouverte	73%	21%	Tourbière arborée, mares	Landes et forêts ouvertes
Tourbière arborée	31%	20%	Tourbière ouverte	Forêt dense, ouverte, landes
Mares densité +	44%	13%	Tourbière ouverte et eau	Landes
Mares densité -	89%	25%	Tourbière ouverte et arborée	Landes

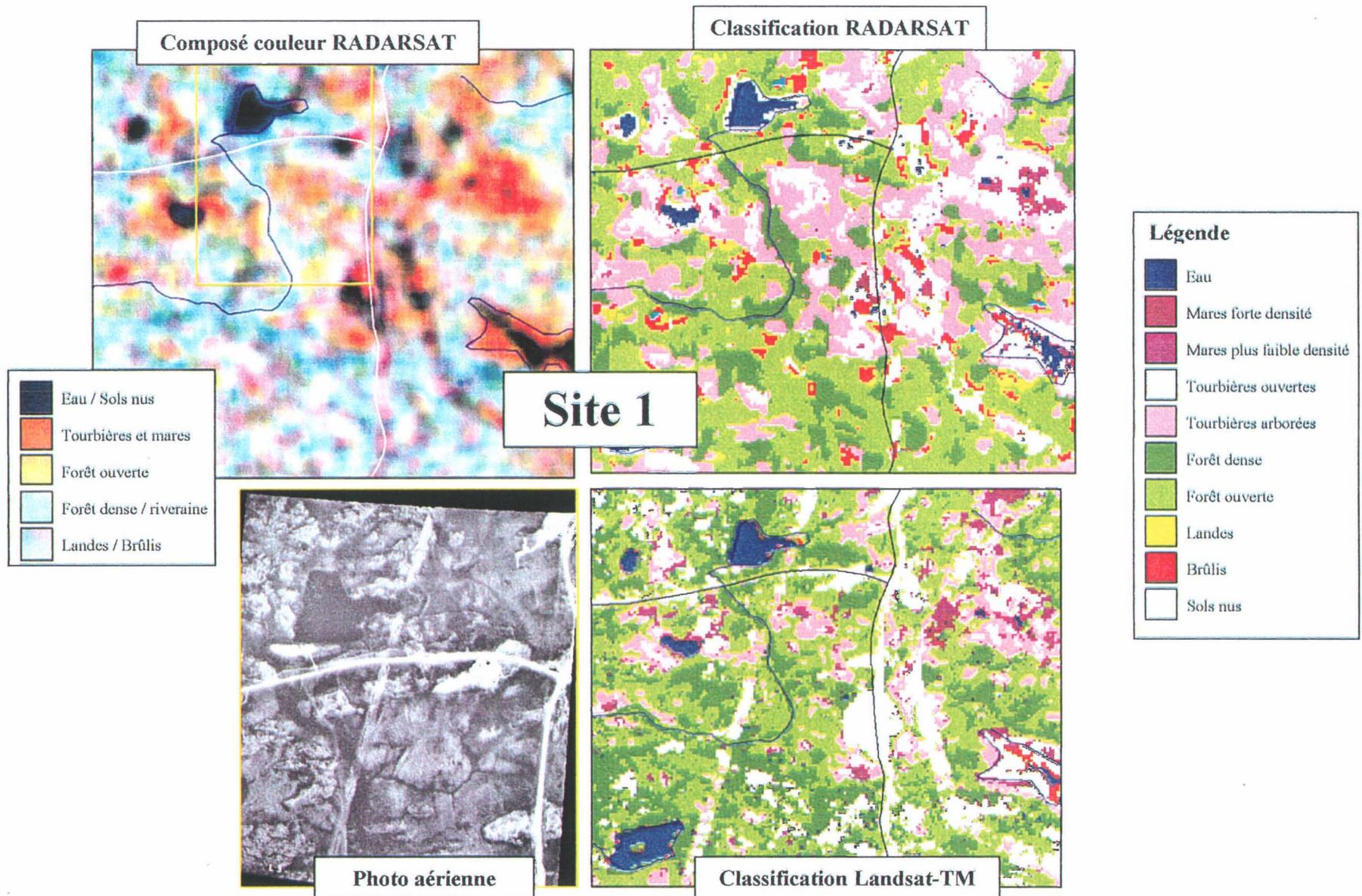


Figure 23 : Composé couleur RADARSAT (images du 12 août, 18 août, 26 février) et classifications sur le site 1

Le site 2 est présenté à la figure 24. Dans ce cas, le composé couleur est très bien contrasté et la classification RADARSAT montre bien les zones de mares, entourées de tourbières ouvertes, avec en périphérie, certaines zones de tourbières arborées. Il a toutefois été impossible de comparer ces données avec la classification TM qui n'est pas disponible pour ce secteur. Par contre, les éléments visibles sur la classification RADARSAT sont conformes aux éléments visibles sur la photographie aérienne.

3.1.3 Conclusion de l'analyse par imagerie satellitaire

Dans un premier temps, l'analyse de séparabilité a démontré que trois facteurs améliorent la discrimination entre les milieux tourbeux et non-tourbeux. Il s'agit de : 1) l'utilisation des paramètres de texture des images, 2) la combinaison d'images S1 et d'images S7 et 3) la combinaison d'images d'été et d'images d'hiver.

En suivant ces règles et en utilisant la meilleure combinaison d'images disponibles, les résultats démontrent qu'il est possible de discriminer et significativement les milieux tourbeux et non-tourbeux. Toutefois, l'interprétation du signal et la discrimination à l'intérieur des milieux tourbeux est plus délicate à réaliser à cause de la composition hétérogène à l'intérieur des tourbières. En effet, la proportion d'arbres et de mares dans un pixel donné influence la rétrodiffusion de ce pixel et crée une confusion lors de l'interprétation ou de la classification de l'image. En utilisant une résolution d'image plus fine (9m en mode fin plutôt que 30m en mode standard), il pourrait être possible à la fois de tirer profit de la sensibilité du radar à l'humidité du milieu et de réduire l'hétérogénéité d'un pixel. Une résolution plus fine permettrait aussi de mieux arrimer les données ponctuelles de terrain et les images.

Il est essentiel, à ce stade du travail effectué sur les images, d'entreprendre une nouvelle campagne de terrain pour interpréter ou valider les observations faites à ce jour sur ces mêmes images. Une attention plus grande sera alors portée aux caractéristiques internes du milieu tourbeux et particulièrement, à la densité d'arbres et de mares. Des sites d'entraînement et d'échantillonnage devront également être choisis sur différents types de tourbières arborées et ouvertes.

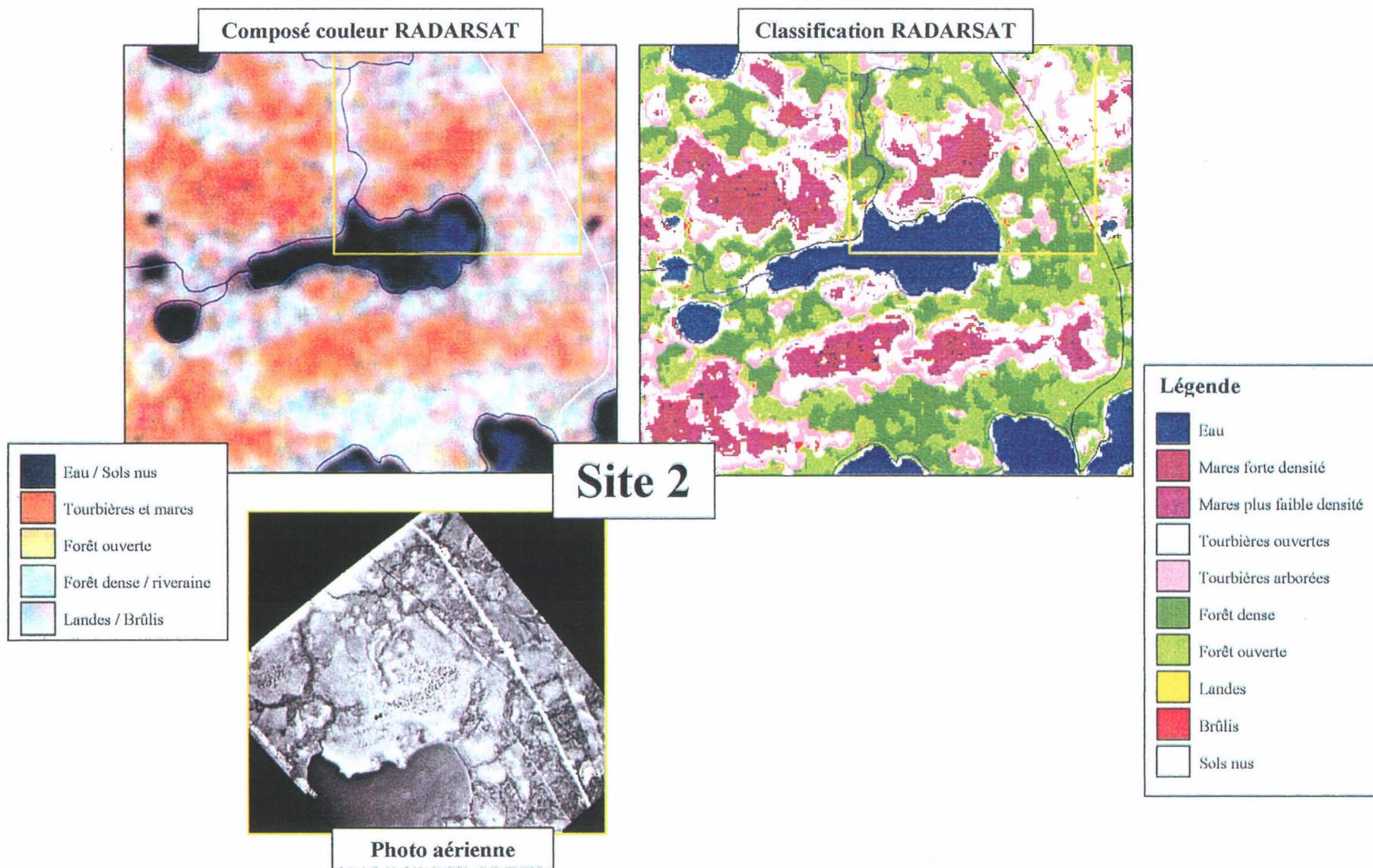


Figure 24 : Composé couleur RADARSAT (images du 12 août, 18 août, 26 février) et classification sur le site 2.

La comparaison des classifications issues des images RADARSAT et TM a montré que les deux types d'images permettent une discrimination des milieux tourbeux, mais que l'identification d'une classe plus précise varie considérablement selon le capteur utilisé. Maintenant que les classes détectées par les deux capteurs ont été comprises, il faudrait reprendre les classifications en parallèle pour mieux identifier les différences réelles entre les deux capteurs. Idéalement, il faudrait également comparer une série temporelle d'images Landsat-TM avec une série temporelle d'images RADARSAT afin que la comparaison soit juste. Finalement, au point de vue du traitement des images RADARSAT, il faudrait mettre à contribution la classification par réseaux de neurones afin de pousser plus à fond l'analyse texturale.

3.2 VOLET CARACTÉRISATION DE SURFACE ET STRATIGRAPHIE

3.2.1 Végétation de surface des tourbières échantillonnées

Quelques auteurs ont contribué à l'étude des tourbières de la région de la baie James. La connaissance de la végétation des tourbières de la région repose principalement sur les travaux de Zarnovican et Bélair (1979) et Grondin et Ouzilleau (1979, 1980). Les tourbières sont omniprésentes dans le paysage des basses-terres de la baie James et font de cette région la seconde en importance au Québec en ce qui a trait à la densité de ces milieux, la première étant la région des basses-terres de la baie de Rupert (Couillard et Grondin, 1986). Le climat frais, l'imperméabilité des dépôts mis en place lors de la transgression tyrellienne et le relief plat concourent à stimuler l'entourbement des dépressions. Selon Couillard et Grondin (1986), l'épaisseur de la tourbe accumulée dans les basses-terres de la baie James serait en moyenne de 2,5 m.

Les bogs représentent plus de 90% des tourbières du territoire (Couillard et Grondin, 1986). Dans le cadre de la présente étude, un transect topographique réalisé à partir du littoral actuel de la baie James jusqu'à la moraine de Sakami (alt. 165 m) a révélé la prédominance de fens en dessous de l'altitude de 60 m par rapport au niveau actuel de la mer. De formation relativement récente, les dépôts tourbeux des fens à mares qui sont structurés (sous-formes : fens à lanières et fens à mares; Buteau *et al.*, 1994) sont généralement moins profonds (1,5 m en moyenne) que ceux des tourbières ombrotrophes.

Les deux tourbières (site 3 et site 5) qui ont été carottées ont aussi fait l'objet de relevés floristiques complets aux sites de carottage (9 sites). Les milieux tourbeux ont été classifiés selon Buteau *et al.* (1994) en tant que bogs à mares (sous-formes : bogs structurés et bogs à mares) à la périphérie desquels on trouve également des bogs de superficies moins importantes (sous-forme : bogs uniformes). La diversité et

l'autécologie des taxons inventoriés au cours de la campagne de terrain confirmer le caractère ombrotrophe de ces sites (Couillard et Grondin, 1986). Les tableaux de végétation associés à ces relevés sont présentés à l'annexe 4. Les relevés de végétation ont été réalisés sur une superficie de 25 m². Des relevés détaillés d'une surface de 1 mètre carré ont été systématiquement effectués à l'intérieur du 25 m² et sont aussi intégrés aux résultats présentés à l'annexe 4.

3.2.1.1 Bogs à mares

Les biotopes les plus fréquemment observés dans les bogs à mares (sous-formes : bogs structurés et bogs à mares) forment une mosaïque de buttes (et micro-buttes, < 10cm) et de dépressions, criblée de mares de dimensions de l'ordre de quelques mètres de diamètre, mais pouvant même atteindre jusqu'à 50 mètres de diamètre.

Alors que les cortèges floristiques développés sur les buttes sont largement dominés par les sphaignes et les lichens (*Sphagnum fuscum*, *Cladina stellaris*), les dépressions abritent une strate herbacée dominée par la présence de cypéracées, telles *Carex oligosperma* et *Rynchospora alba*. Les étroites lanières très humides qui séparent parfois les mares lorsqu'elles sont nombreuses et rapprochées, sont presque exclusivement occupées par le *Carex oligosperma*, reposant sur une strate muscinale formée à parts presque égales de *Sphagnum majus* et de *Cladopodiella fluitans*. Les cypéracées (*Carex pauciflora*, *Carex paupercula* et *Rynchospora alba*) qui sont très abondantes sur le bord des mares sont installées sur un tapis de *Cladopodiella fluitans* dans lequel s'intercalent quelques petites colonies de sphaignes (*Sphagnum majus*, *Sphagnum papillosum*).

3.2.1.2 Bogs

Les bogs (sous-forme : bog uniforme) sont constitués de platières plutôt humides, desquelles émergent des buttes (et micro-buttes, < 10cm) formant de petits «îlots» beaucoup plus secs.

Alors que les espaces occupés par les platières sont surtout recouverts d'espèces herbacées (*Carex oligosperma*), on trouve sur les buttes une végétation arbustive formée d'éricacées (*Chamaedaphne calyculata*, *Ledum groenlandicum*) auxquelles s'associe parfois l'épinette noire (*Picea mariana*). *Sphagnum fuscum* et *Cladina stellaris* occupent à l'occasion la partie la plus élevée de ces buttes, alors que l'on trouve à leur base *Sphagnum capillifolium*, lequel cède graduellement sa place aux *Sphagnum majus* et *Sphagnum papillosum* qui occupent la platière.

3.2.2 Profil géoradar et données stratigraphiques

L'annexe 5 présente l'enregistrement obtenu avec le Pulse EKKO IV au site 3 (figure 4, page 10). Le profil effectué avec des antennes de 100 Mhz montre deux types de réflecteur. Le premier type, situé dans la partie supérieure du profil soit à moins de 2 m de profondeur pour les premiers 150 m de distance et à moins de 4 m de profondeur pour les derniers 250 mètres du profil, représente des réflecteurs plus ou moins continus dont certains sont inclinés. En comparant ces données avec celles obtenues lors de la description stratigraphique, on peut confirmer que ces réflecteurs représentent les divers plans de stratification des horizons dans la tourbe. Le deuxième type de réflecteur est représenté par les grands réflecteurs parallèles localisés à environ 2 m de profondeur au début du profil et à environ 4 m de profondeur à la fin de celui-ci. Dans les 200 derniers mètres, il n'y a qu'un seul grand réflecteur qui est nettement distingué.

Les nombreux sondages et carottages le long du profil permettent d'interpréter le grand réflecteur supérieur comme le contact entre le matériel organique et minéral. La différence marquante entre les propriétés de réflexion de la tourbe et du sable permet de visualiser un changement net dans le type de réflecteur et ainsi estimer la profondeur et la topographie du bassin tourbeux. L'annexe 5 présente également l'interprétation du profil géoradar montrant la stratigraphie générale des horizons, la zone de contact entre le matériel organique et inorganique ainsi que l'emplacement des sondages et carottages. Cinq profils stratigraphiques détaillés ont été réalisés le long du profil géoradar. Ceux-ci ont permis de mesurer l'épaisseur de la tourbe ainsi que de décrire la stratigraphie détaillée du dépôt afin de valider l'interprétation des données de géoradar. Chacun des carottages a été effectué jusqu'au contact entre le matériel organique et minéral (figure 10, page 16). La profondeur des sondages effectués le long du profil géoradar a varié entre 121 cm (C-1) et 383 cm (C-6). Les résultats de l'analyse des profils révèlent des alternances de couches de matériel organique dominées parfois par les herbacées mais le plus souvent par les bryophytes et dont les taux de décomposition sont peu prononcés (texture fibrique) dans la majorité des sondages. Ces caractéristiques stratigraphiques se reflètent sur l'ensemble du bassin tourbeux du site 3 comme le montre la figure 25. Par ailleurs au site 5 (figure 26), les profils stratigraphiques de la ligne 1 indiquent une dominance des herbacées dans la composition des horizons organiques.

3.2.3 Analyses macrofossiles et géochimiques

Quatre carottes provenant des 2 tourbières (site 3 et site 5) ont été analysées pour leur contenu en macrofossiles (entre 13 et 19 échantillons/carotte) et leur détermination géochimique (entre 22 et 33 échantillons/carotte). Bien que sommaires, les résultats présentent un aperçu de la reconstitution spatio-

temporelle des successions végétales dans ces 2 tourbières développées à l'ouest de la moraine de Sakami et suite au retrait des eaux de la mer de Tyrrell dans le secteur (approx. 6500 BP, Vincent, 1977).

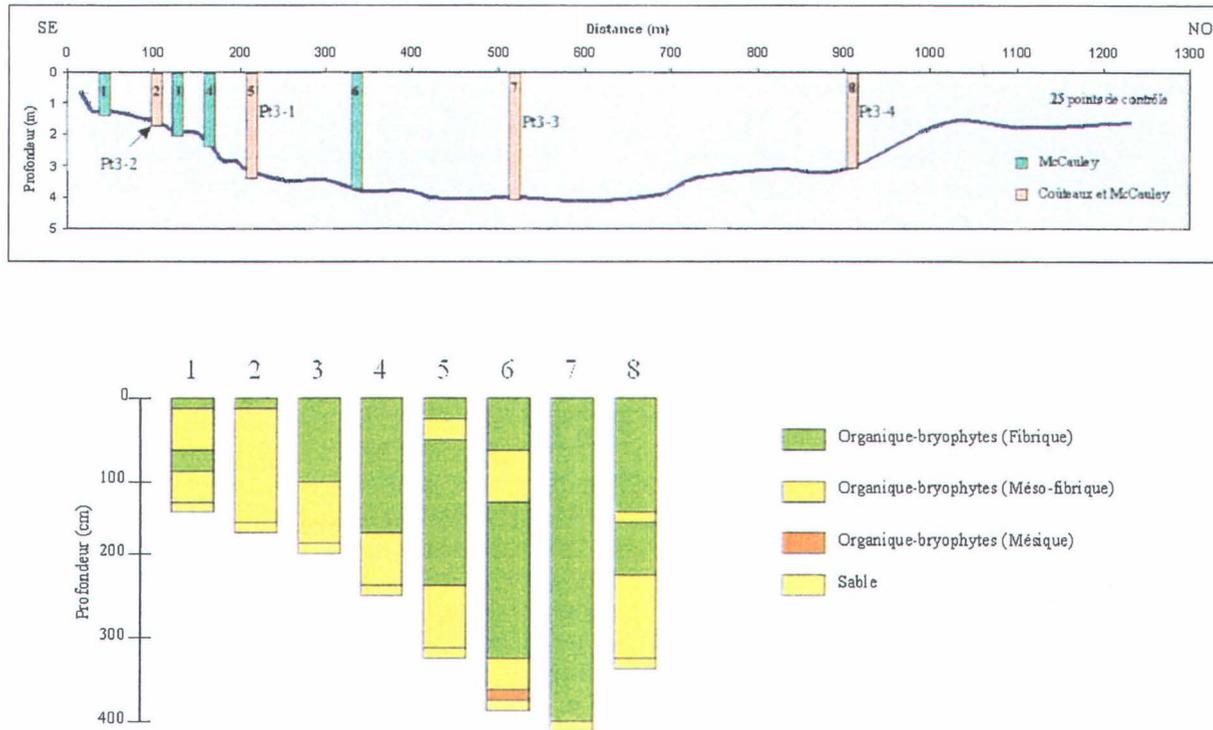


Figure 25 : Stratigraphie du site 3

Site 5 (ligne 2)

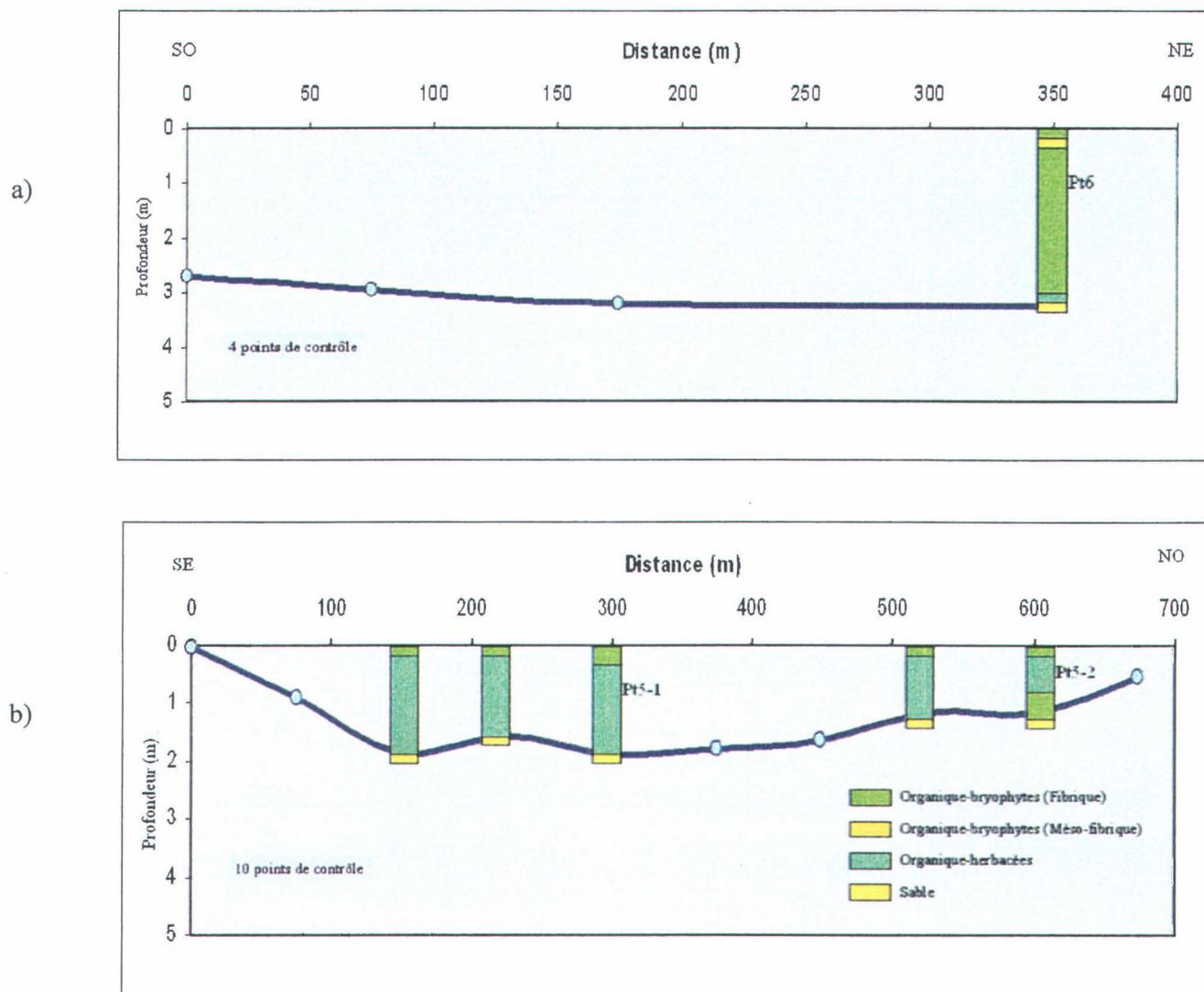


Figure 26 : Stratigraphie du site 5 (ouest du lac)

L'annexe 6 présente les diagrammes macrofossiles alors que les annexes 7 (graphiques) et 8 (tableaux) présentent les résultats des analyses géochimiques.

L'ensemble des événements reliés à la glaciation du Wisconsin et à la période consécutive à cette glaciation dans la région de la baie James sont connus grâce, entre autres, aux travaux de Lee (1968), Craig (1969), Prest (1970) et Skinner (1973). Hardy (1976) a présenté une thèse où il a reconstitué l'histoire des basses-terres qui entourent le versant québécois de la baie James. Vincent (1977) a cartographié les formations quaternaires récentes du cours inférieur de La Grande Rivière et synthétisé l'histoire du Quaternaire du sud-est du Bouclier canadien (Vincent, 1989). Selon Vincent (Op.cit.), l'eau de la mer de Tyrrell était très profonde à l'ouest de la moraine de Sakami et expliquerait qu'aucune moraine de De Geer n'ait été édiflée entre celle-ci jusqu'au littoral actuel. La courbe d'émersion de la région (Vincent, 1989) indique une exondation approximative de 25 cm/100 ans pour le secteur étudié. Les tourbières se sont développées dans les endroits mal drainés, entre les dépressions de la roche en place recouvertes de sédiments fins d'origine marine : silts argileux et silts déposés au cours de la phase d'eau profonde; sables et graviers mis en place pendant la régression le long des rivages à différentes altitudes; limons, argiles et blocs déposés dans les zones tidales.

La tourbière du site 3 (altitude 165 m) a été classifiée en tant que bog à mares (Buteau *et al.*, 1994). Les 2 carottes analysées dans cette tourbière avaient respectivement 315 (PT3-1) et 395 (PT3-3) cm d'épaisseur. La carotte PT3-3 a été échantillonnée dans la partie la plus profonde du bassin depuis la surface actuelle jusqu'à l'horizon minéral sous-jacent (sable fin). Dix-neuf échantillons ont été analysés pour leur contenu en macrofossiles et 33 pour leurs caractéristiques géochimiques. Les résultats des analyses géochimiques indiquent à la base des conditions de fen pauvre transformé ultérieurement en tourbière ombrotrophe tel que le confirme la présence de *Sphagnum fuscum* parmi les horizons.

La carotte au site PT3-1 a été prélevée elle aussi à partir de la surface tourbeuse jusqu'à la base minérale mais à un emplacement correspondant en profondeur au versant ouest du bassin tourbeux (Figure 25, p. 41). Quatorze échantillons ont été analysés pour leur contenu en macrofossiles et 28 pour leur caractérisation géochimique. À la base du dépôt, les résultats de géochimie indiquent comme pour PT3-3 des conditions de fen pauvre. Les valeurs de géochimie diminuent légèrement vers la surface mais indiquent le maintien d'un enrichissement du milieu fort probablement causé par les eaux de ruissellement le long du versant du bassin.

Le stade initial de la formation de la tourbière du site 3 a été amorcé autour de 6000 ans BP (âge radiocarbone à la base de PT3-3: 5710 +/- 70 non corrigé; GSC-6552) suite retrait des eaux de la mer de Tyrrell sur le site (Vincent, 1989). Cet âge représente l'âge basal le plus ancien marquant le début de l'accumulation de tourbe dans le secteur (tableau 7). Un autre âge au radiocarbone de 1020 +/- 60 BP (GSC-6550) a été obtenu près de la surface de cette même carotte (34-36 cm) et a permis d'extrapoler un taux d'accumulation organique de 0,7 mm/an dans cette tourbière, ce qui correspond aux valeurs maximales présentées par Ovenden (1990) pour la synthèse canadienne des tourbières boréales et subarctiques. Kuhry et Vitt (1996), Kuhry (1994) et Kuhry *et al.* (1992) ont présenté des taux d'accumulation inférieurs à ceux-ci pour des milieux tourbeux de l'ouest canadien mais ils avaient préalablement appliqué des facteurs de correction d'âge et de taux de compaction des sédiments. Payette (1988) et Lavoie et Payette (1995) ont obtenu un âge de 5050 BP pour un dépôt basal de tourbe à 100 km au nord de la limite septentrionale de la forêt boréale. Richard (1995) mentionne des âges autour de 6000 ans pour des gyttjas basales mais dans des secteurs à plus de 300 km à l'intérieur des terres. Des âges basaux plus anciens ont été obtenus dans les basses-terres occidentales de la baie James (Kettles *et al.*, 2000; Klinger et Short, 1996).

Tableau 7 : Datations au radiocarbone

N° échantillon	Site	Profondeur	Age ¹⁴ C non corrigé
GSC - 6550	3	34 – 36 cm	1050 ± 60
GSC – 6552	3	375 – 380 cm	5710 ± 70
GSC – 6554	6	36 – 38 cm	1030 ± 60
GSC – 6556	6	285 – 290 cm	4530 ± 60

Les résultats des analyses macrofossiles de la tourbière du site 3 indiquent, dans les 2 carottes, que le milieu d'abord aquatique a rapidement été colonisé par des sphaignes et des mousses brunes au sein de communautés d'herbacées et de cypéracées (notamment *Carex* type *limosa*) plus ou moins submergées. L'assemblage macrofossile à la base des 2 sites dans la tourbière est conforme au stade initial de la formation de tourbières en milieu terrestre (Warner *et al.*, 1991; Gorham et Janssens, 1992; Casparie, 1993; Kuhry *et al.*, 1993 et Kettles *et al.*, 2000) et renforce l'interprétation du caractère minérotrophe du site. L'exondation du territoire associé au relèvement isostatique post-glaciaire a été accompagné d'un appauvrissement en éléments nutritifs et minéraux dans la tourbière et donc à une ombrotrophication du

milieu (acidification). Dans les 2 cas, le passage d'un milieu minérotrophe à un milieu ombrotrophe est exprimé par l'introduction puis la dominance de *Sphagnum fuscum* parmi les horizons. Les valeurs un peu plus élevées en éléments nutritifs et minéraux dans l'ensemble du profil de PT3-1 indiquent le maintien d'un léger enrichissement par les eaux de ruissellement. Les courbes des valeurs géochimiques et de densité de masse sont plus régulières au site PT3-3 qui correspond au centre de la tourbière où la végétation est dominée par une couverture continue et peu compacte de sphaignes et elles concordent avec les résultats de Nicholson (1993) pour le développement de l'accumulation de la tourbe dans l'ouest canadien. La figure 25, page 40 présente la succession stratigraphique engendrée par le processus de paludification de la tourbière et influencée par une combinaison de facteurs autogènes (entourbement) et allogènes (relèvement isostatique et/ou climat).

Deux carottes ont aussi été analysées au site 5 (PT5-1 et PT6) à 30 km à l'ouest du site PT3 et dont l'altitude est de 105 m par rapport au niveau de la mer. Dans ce bassin, émergé plus récemment que celui du site PT3 si on se fie à l'âge basal obtenu dans sa partie la plus profonde (4350 +/-60; GSC-6556), le matériel organique accumulé est dominé par une combinaison de restes de bryophytes et d'herbacées. Le profil topographique tracé à l'est du lac (ligne 2, figure 9) et extrapolé à partir des résultats de 4 sondages effectués sur une distance de 450 mètres indique un bassin profond et uniforme (figure 26, page 41). La végétation actuelle de surface correspond au bog structuré (bog à mares; Buteau *et al.*, 1994). Une carotte a été prélevée à l'endroit où la profondeur du bassin était maximale (330 cm) et des analyses macrofossiles ont été effectuées sur 14 horizons de celles-ci (PT6). Vingt-six horizons ont fait l'objet d'analyses géochimiques et 2 datations au radiocarbone ont été obtenues aux intervalles de 285-290 cm (4350 +/- 60 non corrigé; GSC-6556) et 36-38 cm (1040 +/- 60 non corrigé; GSC-6554). Le taux d'accumulation extrapolé de ces âges et leurs profondeurs respectives indiquent comme pour la tourbière du site 3, une valeur d'accumulation organique approximative de 0,7 mm/an. De la base de la carotte jusqu'à 250 cm de profondeur, le milieu aurait été un fen à myrique baumier (*Myrica gale*) et à mélèze (*Larix laricina*). Les résultats d'analyses géochimiques et les âges extrapolés indiquent une ombrotrofication du site vers approx. 3,5 ka, ce qui pourrait correspondre à l'épisode d'expansion des tourbières dans la région tel que déjà mentionné par Richard *et al.* (1989); Gajewski *et al.* (1993), Richard (1995) et Klinger et Short (1996).

Le secteur ouest de la tourbière a fait l'objet de 10 sondages dont 5 de ceux-ci ont été décrits en détail pour leur stratigraphie (figure 27). Un échantillon prélevé avec la sonde Coûteaux (PT5-1) a fait l'objet d'analyses macrofossiles (13 échantillons) et géochimiques (22 échantillons). Les résultats obtenus dans ce secteur de la tourbière indiquent que les sédiments se sont accumulés dans un bassin dont la profondeur

est inférieure à 2 mètres (profondeur maximale 185 cm) et la topographie moins uniforme que dans la portion est. Le milieu fut d'abord d'abord un milieu de type fen pauvre si on se fie aux valeurs de Ca et Mg et à la dominance de *Drepanocladus exannulatus* et de *Myrica gale* parmi les horizons à la base du dépôt (185-160 cm). Vers 150 cm de profondeur, les analyses indiquent l'arrivée de *Sphagnum fuscum* sans toutefois que ce taxon domine l'assemblage végétal. Entre 150 et 70 cm de profondeur, le milieu aurait été caractérisé par un assemblage qui rappelle la description de surface de « lande tourbeuse oligotrophe à sphaignes, éricacées et herbacées graminoides » de Jurdant et Gilbert (1979). Un milieu de type bog uniforme et dominé par les sphaignes ne se serait développé qu'à partir des 70 derniers cm jusqu'à la surface telle que l'indique la dominance de *Sphagnum capillifolium* et *S. fuscum* parmi les horizons.

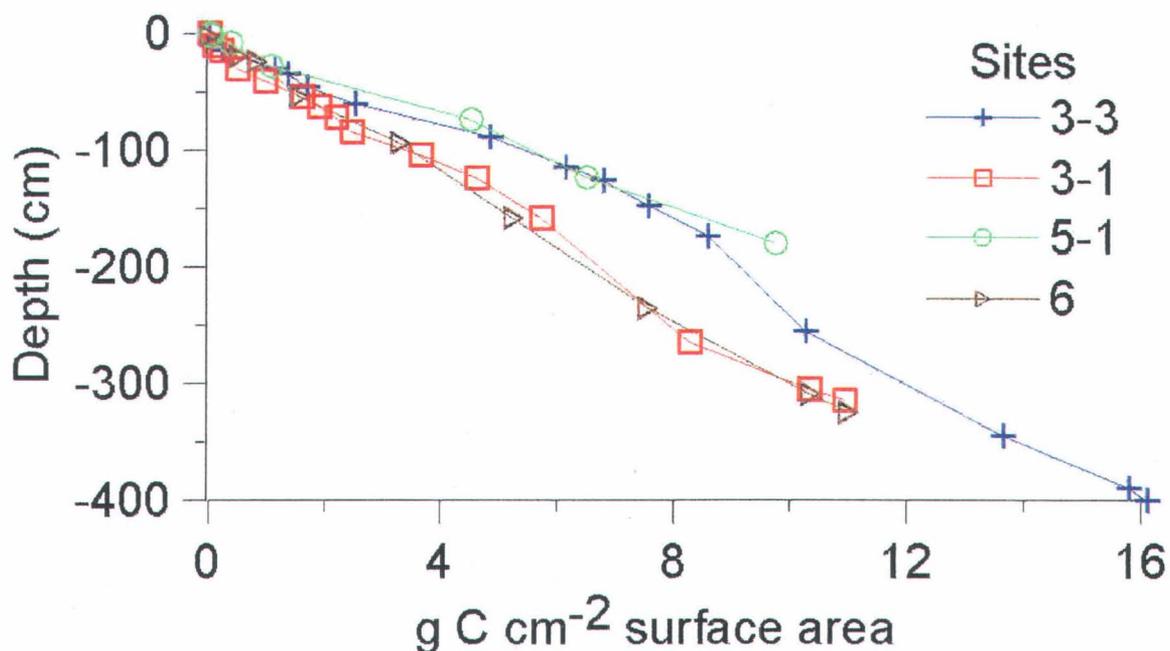


Figure 27 : Valeurs apparentes de carbone cumulé par cm²

Les âges au radiocarbone obtenus dans les deux tourbières étudiées révèlent des taux d'accumulation (quoique relatifs) équivalents à ceux obtenus dans les régions méridionales et ceci est probablement attribué aux apports d'humidité dus à l'influence maritime de la baie James. Le début de l'accumulation de la tourbe se serait produit presque sans délai après le retrait des eaux marines sur le territoire. Les résultats obtenus indiquent dans l'ensemble que les successions végétales se sont transformées depuis des conditions minérotrophes (fens) vers des conditions ombrotrophes (bogs). L'ombrotrophication s'est produite après 4000 BP au moment où les conditions climatiques devenaient plus fraîches et plus humides

(Richard *et al.*, 1989; Gajewski *et al.*, 1993; Richard, 1995 et Klinger et Short, 1996). Des particularités de composition botanique et géochimique sont associées aux conditions locales de chaque site.

La figure 27 présente les valeurs apparentes de carbone cumulé par cm² dans les 4 dépôts échantillonnés. Étant donné le peu d'échantillons analysés (nombre total et intervalles entre ceux-ci), les résultats doivent être considérés à cette étape-ci comme des tendances plutôt que des valeurs absolues. Les résultats ont en effet été obtenus en extrapolant les valeurs de densité de masse et de carbone à l'ensemble des dépôts jusqu'au contact minéral.

Les résultats ainsi calculés montrent une plus grande accumulation de carbone au point 3.3 c'est-à-dire dans la partie la plus profonde de la tourbière du site 3. Tel que l'indiquent les analyses macrofossiles et géochimiques, le milieu de type fen pauvre à cypéracées se serait transformé en près de 1500 ans en une tourbière ombrotrophe dominée par *Sphagnum fuscum*. Les points 3.1 (315 cm) et 6 (330 cm) présentent des épaisseurs organiques et des valeurs d'accumulation de carbone sensiblement équivalentes entre elles quoique les assemblages végétaux qui les composent se distinguent par une dominance de bryophytes au point 3.1 du site 3 et de cypéracées au point 6 du site 5. Les résultats d'analyses géochimiques indiquent la présence des fens enrichis surtout au point 3.1. Robinson (2000) a déjà présenté des valeurs cumulées de carbone plus prononcées dans les environnements caractérisés comme minérotrophe pauvre ou ombrotrophe.

3.2.4 Conclusion

Le nombre d'échantillons analysés pour leur contenu en macrofossiles était trop réduit et l'intervalle trop large pour permettre des relations détaillées entre les assemblages végétaux reconstitués et le climat. La combinaison des données de géoradar, de celles des profils stratigraphiques et des analyses macrofossiles a toutefois permis de dresser un portrait de l'évolution des tourbières dans les deux bassins. Suivant le contexte du réchauffement climatique prédit par les Modèles de Circulation Générale, il importe maintenant de poursuivre le travail amorcé afin d'arriver à identifier (qualitativement et quantitativement) les conséquences d'un réchauffement climatique sur les tourbières de la baie James. Il existe encore peu d'études portant sur la réponse des écosystèmes tourbeux à un changement climatique. Une étude équivalente à la nôtre est actuellement en cours en Sibérie (projet dans les basses-terres de la Sibérie occidentale, Smith *et al.*, 2000).

Dans le cas de cette première phase d'étude, l'intervalle d'échantillonnage des analyses macrofossiles ne nous a pas permis de retracer, dans les échantillons des 2 tourbières, des analogues de périodes

climatiquement plus favorables comme l'épisode chaud médiéval (Medieval Warm Period) qui s'est produit il y a environ autour de 1000 ans avant le présent. En plus de resserrer l'intervalle d'échantillonnage, il faudra aussi obtenir des données complémentaires renseignant sur les conditions d'humidité locale (ex. rhizopodes) afin de tenter comprendre les conséquences d'un réchauffement climatique en terme de gradient d'humidité ou d'assèchement (évaporation) dans ces écosystèmes.

Les résultats ont par contre permis de confirmer les différences dans les contenus en carbone en fonction des caractéristiques propres aux successions végétales de chaque bassin. Les résultats nous ont aussi permis de réaliser la pertinence de retracer la topographie des bassins tourbeux et d'identifier la stratigraphie des dépôts afin de reconnaître les principales composantes botaniques qui les composent. En effet, les résultats de cette étude ont démontré que les différents milieux tourbeux et même les différents biotopes ne possèdent pas des caractéristiques géochimiques et isotopiques identiques à la surface comme en profondeur et sont donc susceptibles de réagir différemment sous l'influence de transformations comme celles induites par le réchauffement climatique (Smith *et al.*, 2000). De plus, la campagne de terrain effectuée en septembre a révélé une dominance de tourbières de type fens en dessous de 60 mètres d'altitude par rapport au niveau actuel de la mer et il serait indiqué de confirmer la nature des impacts en terme de risques d'émissions de CO₂ ou CH₄ selon chaque catégorie de milieu tourbeux.

Une cartographie des types de tourbières intégrant leur potentiel d'accumulation/d'émission de carbone pourrait être réalisé après avoir identifié les composantes propres à chaque milieu. Ceci permettrait, en l'intégrant dans un SIG, la détermination des variations spatiales dans l'accumulation contemporaine du carbone en fonction des différents types de tourbières. L'analyse d'images satellites précédera cette étape par la distinction entre les milieux tourbeux et non tourbeux. Aussi, la réponse contemporaine des variations de l'humidité dans les tourbières permettra d'identifier les secteurs à risques d'émissions accrues (abaissement des nappes phréatiques, durée du couvert nival, etc.).

3.3 VOLET MODÉLISATION CLIMATIQUE

Suite aux travaux de simulation à l'aide du MLC, une grande quantité de paramètres climatiques historiques a pu être modélisée (annexe 3). Pour la première phase du projet, nous avons retenu deux paramètres de surface soient les températures de surface (GT) et les précipitations totales (PCP). Ces deux paramètres s'avèrent des indicateurs qui permettent une première interprétation préliminaire des tendances climatiques. À partir des moyennes annuelles échelonnées sur les 30 dernières années (1971-2000), il nous a été possible de définir des tendances. La figure 28 présente les résultats en ce qui a trait aux

températures de surface. On remarque la tendance au réchauffement au cours des 3 dernières décennies malgré plusieurs oscillations d'une année à l'autre. Les années 1998 et 1999 présentent les simulations de moyennes annuelles maximales et confirment les tendances mondiales enregistrées (IPCC, 2001). L'année 2000 montre des valeurs d'environ deux degrés moindres que celles de 1999. Du point de vue climatologique, les années 1998 et 1999 sont considérées comme des anomalies qui, d'après ces simulations, auraient aussi touché la région de La Grande.

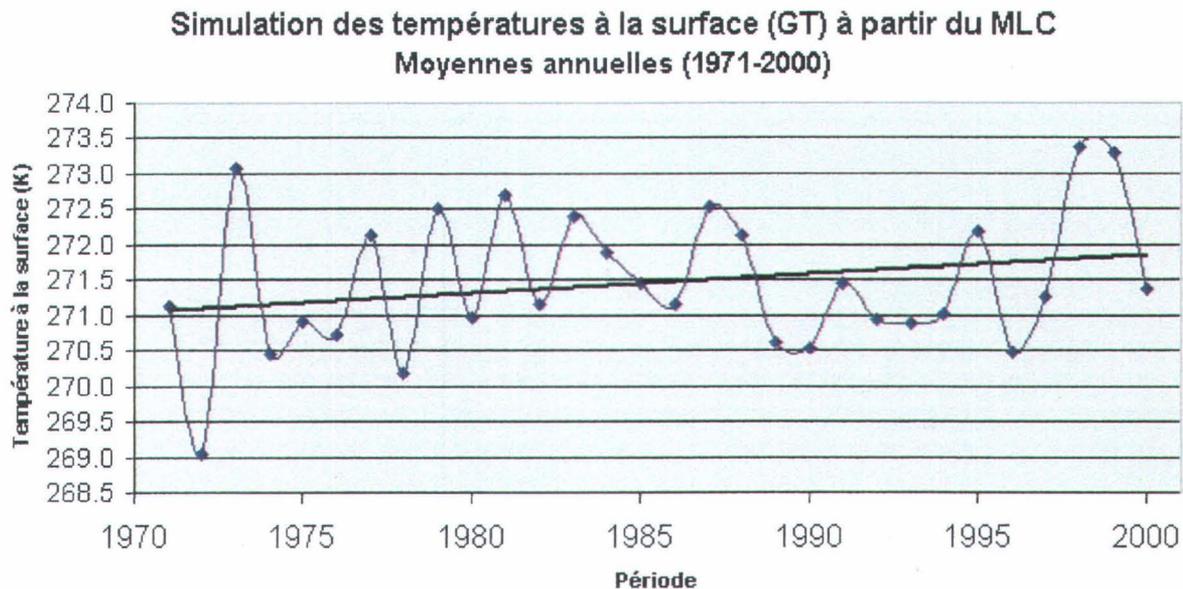


Figure 28 : Simulation des températures moyennes annuelles (1971-2000)

Les simulations des précipitations totales (figure 29) concordent également avec les données météorologiques canadiennes. Malgré une faible tendance à l'augmentation des valeurs simulées au cours des derniers 30 ans, on remarque sur le graphique une importante chute des précipitations à partir de 1994 ce qui correspond aux tendances générales enregistrées au nord du Québec. Depuis 1988, les précipitations ont grandement diminué dans l'ensemble du nord-est canadien, de la limite sud de la zone boréale jusqu'aux régions arctiques (Bergeron *et al.* 1997). Certains modèles de circulation générale prévoient, suivant l'hypothèse du doublement des concentrations de CO₂ atmosphérique, une diminution importante des précipitations dans le nord du Québec.

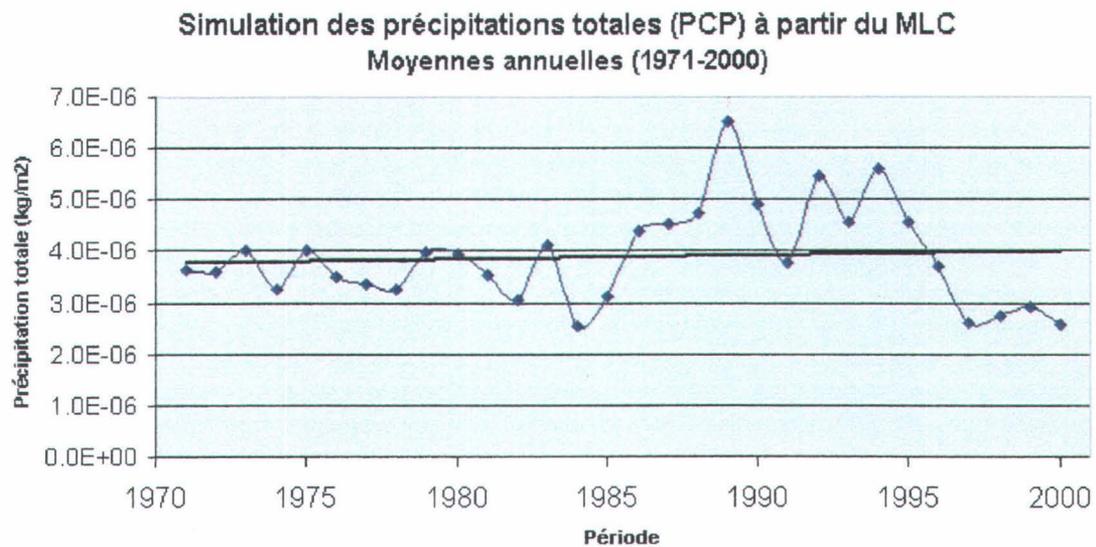


Figure 29 : Simulation des précipitations moyennes annuelles (1971-2000)

L'annexe 9 présente 3 graphiques synthétisant les changements potentiels et simulés en terme de température et de précipitations à partir des différents modèles climatiques pour les périodes 2020, 2040 et 2080 dans le secteur de la rivière La Grande.

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet des tourbières de la baie James nous ont permis de rencontrer plusieurs des objectifs de départ même si certains aspects n'ont pu, au cours de cette première phase, être traités à fond faute de temps et de ressources. L'objectif principal du projet était de mettre au point une méthodologie permettant d'estimer la ressource en tourbe sur le territoire en utilisant les données du satellite RADARSAT puis en tentant d'exploiter des indices de corrélation qui permettent de compléter l'inventaire des bassins tourbeux en exploitant la 3^{ième} dimension de ceux-ci.

À cette étape-ci du travail, la 3^{ième} dimension n'a pas été extrapolée à partir des images satellites. Par contre, nous avons défini les paramètres de séparabilité qui permettent maintenant de distinguer les milieux tourbeux et non tourbeux et ce, même sous une couverture forestière. Ces résultats s'avèrent très utiles pour le volet de l'estimation de la ressource en tourbe sur le territoire. À l'intérieur des milieux tourbeux, l'interprétation du signal est encore difficile à réaliser au sein d'un pixel et nécessitera l'utilisation d'images de résolution plus fines afin de tirer profit de la sensibilité du radar à l'humidité du milieu (présence de mares et leurs dimensions). Un suivi des conditions hydrologiques de surface sera nécessaire afin d'évaluer les réactions probables au réchauffement climatique anticipé. Des vérifications de terrain seront essentielles afin d'interpréter et valider les observations faites à partir des images.

La figure 30 est un exemple du prototype de modèle en 3 dimensions qui a été développé dans le cadre du projet. Les données recueillies sur le terrain ont permis de modéliser la topographie basale d'une partie du bassin à l'intérieur duquel s'est développée la tourbière au site 3. La conception du prototype faisait aussi partie d'un des objectifs de l'étude. Des étapes supplémentaires seront nécessaires afin de raffiner la méthodologie, insérer les données multi-sources, compléter l'interprétation et rendre le modèle fonctionnel pour son utilisation dans différentes tourbières.

L'avancement des connaissances dans ces milieux tourbeux du nord du Québec a aussi permis, avec l'utilisation du géoradar, de tracer la topographie d'un bassin tourbeux et de reconnaître les différentes couches stratigraphiques qui caractérisent le dépôt. Les sondages et carottages effectués sur le terrain ont permis de compléter la description stratigraphique détaillée du bassin. L'âge basal obtenu à la base de la carotte 3 donne un âge minimal pour le début de l'accumulation de la tourbe dans la région. Les analyses des contenus macrofossiles ainsi que de la composition géochimique et isotopiques des matériaux botaniques accumulés dans la tourbière ont permis d'établir des relations entre le début d'accumulation de

la tourbe, la succession des biotopes (et groupements végétaux associés) dans le bassin et les caractéristiques géochimiques qui leur sont associées. Des analogues climatiques n'ont pas été extrapolés à partir des échantillons macrofossiles analysés car aucun changement significatif en terme d'assemblage végétal n'a été observé parmi les horizons. Les taux d'accumulations des matériaux botaniques s'apparentent à ceux des régions méridionales et ont probablement été influencés par les apports d'humidité engendrés par l'influence maritime dans la région. L'utilisation des indicateurs comme les rhizopodes permettrait de détecter les changements d'humidité dans la tourbe et de vérifier si ces changements sont locaux ou s'ils sont associés à des transformations régionales dans l'environnement.

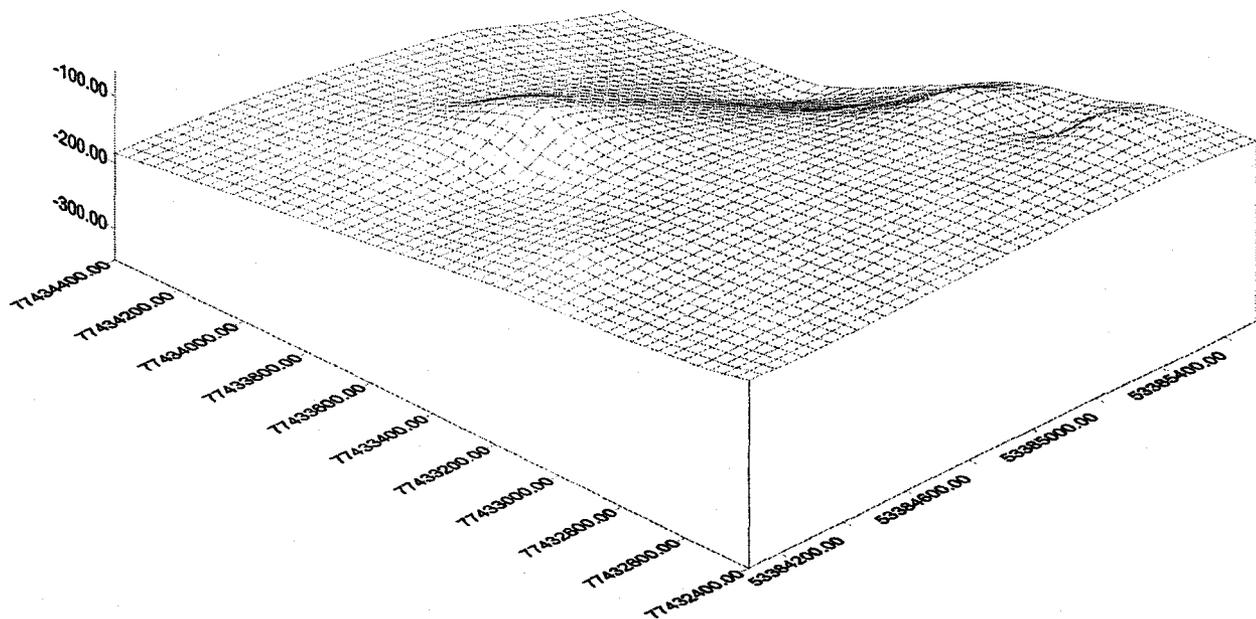


Figure 30 : Bloc du prototype 3 dimensions

Les données climatiques ont été modélisées à l'aide du modèle local de climat (Bourque, 1998; Caya et Laprise, 1999) à partir de 2 stations dans un rayon de 300 kilomètres du secteur étudié. Les données ont permis de détecter la hausse significative des températures au cours de la dernière décennie accompagnée d'une baisse des précipitations. Les modèles ne permettent pas pour le moment d'interpréter les impacts d'un réchauffement climatique sur des régions spécifiques ni sur des écosystèmes comme les tourbières. Une étude comme celle que nous venons d'entreprendre et que nous prévoyons poursuivre contribuera

éventuellement à l'application et à l'interprétation des données des modèles climatiques régionaux en termes d'impacts.

Enfin, les milieux les plus propices à l'accumulation du carbone ont été identifiés parmi les séquences holocènes. Ces données sont comparées sommairement avec les résultats d'inventaire de végétation de surface. Par contre, des analyses géochimiques et isotopiques n'ont pas encore été réalisées à la surface des tourbières. Après avoir reconnu, au cours de notre campagne de terrain, une plus forte incidence de milieux de type fens en dessous de 60 m d'altitude par rapport au niveau actuel de la mer et aussi après avoir reconnu dans les séquences stratigraphiques que les milieux de type fens pauvres étaient ceux qui emmagasinaient le plus de carbone, il est suggéré de procéder au cours d'étapes ultérieures de recherche à une caractérisation des types de tourbières dans la région en intégrant leur potentiel d'accumulation/d'émission de carbone. Ceci permettrait, en l'intégrant dans un SIG, la détermination des variations spatiales dans l'accumulation contemporaine du carbone en fonction des différents types de milieux tourbeux.

Avec la démonstration de son potentiel d'application dans les tourbières, l'analyse d'images satellites précédera à l'étape de caractérisation notamment par une première distinction entre les milieux tourbeux et non tourbeux. Aussi, la réponse contemporaine des variations de l'humidité dans les tourbières permettra d'identifier les secteurs vulnérables et à risques d'émissions accrues (types de tourbières, hydrologie de surface : abaissement des nappes phréatiques, durée du couvert nival, etc) et s'inscrit dans la continuité de l'évaluation de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes tourbeux du Québec septentrional tel qu'amorcé dans le cadre du projet actuel.

5 RÉFÉRENCES

BASTIEN, D.F. et M. GARNEAU (1997). Clé d'identification macroscopique de 36 espèces de sphaignes de l'est du Canada. Commission géologique du Canada. Rapport divers 61, 43 pages.

BERGERON, L., VIGEANT, G. et LACROIX, J. (1997). Tome V- Chapitre Québécois de l'Étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique. Environnement Canada et l'Association de climatologie du Québec, 270 pages.

BERNIER, M., GAUTHIER, Y., GHEDIRA, H., BUTEAU, P., OUARDA, T. BMJ. et J.P. VILLENEUVE (2000). Détection et classification des milieux humides à partir des images RADARSAT-1. Rapport final, FCAR : Action concertée RADARSAT. INRS-Eau, décembre 2000, 80 pages.

BOURQUE, A (1998). Développement et applications du Modèle Local du Climat (MLC). Mémoire de maîtrise en sciences de l'atmosphère. Université du Québec à Montréal, 148 p.

BUTEAU, P., DIGNARD, N. et P. GRONDIN (1994). Système de classification des milieux humides du Québec. Gouvernement du Québec, Direction de la recherche géologique, n° 94-01, Québec, 25 p..

CARTER, M., PECK, J., POLLIT, D., PILON, J.A. et P. DESJARDINS (1991). Application des méthodes de diagraphie à la caractérisation des massifs rocheux, Cours intensif no. 4, Congrès annuel de l'APGGQ, 10-12 avril 1991, Montréal, 27 pages.

CASPARIE, W.A. (1993). The Bourtanger Moor : endurance and vulnerability of a raised bog system. *Hydrobiologia*, 265 : 203-215.

CAYA, D., and R. LAPRISE (1999). A semi-implicit semi-Lagrangian regional climate model: The Canadian CM. *Mon. Wea. Rev.*, 127 : 341-362.

COUILLARD, L. et P. GRONDIN (1986). La végétation des milieux humides du Québec. Les Publications du Québec, Ministère de l'Environnement, 400 pages.

CRAIG, B.G. (1969). Late-glacial and postglacial history of Hudson Bay region; in *Earth Science Symposium on Hudson Bay*, P.J. Hood, ed. *Geol. Surv. Can.*, Paper 68-53, pp. 63-77.

CRUM, H.A. (1973). Mosses of the Great Lakes Forest. University of Michigan, Ann Arbor Editor, 10 : 1-404

CRUM, H.A. (1984). Sphagnopsida, Spahgnaceae. North American Flora, Series II, part 11. New York Botanical Garden, The Bronx, New York, 180 p.

CRUM, H. (1979). Mosses of the Great Lakes Forest. Second edition. University of Michigan Herborium, Ann Arbor, 404 p.

CRUM, H. et L.E. ANDERSON (1981). Mosses of eastern North America. Volumes 1 et 2. Columbia University Press, New York, 1328 p.

GAJEWSKI, K., S. PAYETTE et J.C. RITCHIE (1993). Holocene vegetation history at the boreal forest-shrub tundra transition in northwestern Quebec; *Journal of Ecology*, 81 : 433-443.

GARNEAU, M. (1998). Paléoécologie d'une tourbière littorale de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, l'Isle-Verte, Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 514, 145 p.

GARNEAU, M. (1995a). Collection de référence de graines et autres macrofossiles végétaux de taxons provenant du Québec méridional et boréal. Division de la Science des terrains, sous-division des environnements géologiques et des risques. Dossier public 3048, 38 pages.

GARNEAU, M. (1995b). Collection de référence de graines et autres macrofossiles végétaux de taxons provenant du Québec méridional et boréal. Division de la Science des terrains, sous-division des environnements géologiques et des risques. Dossier public 3049, 18 pages.

GHEDIRA, H. (2000). Utilisation des réseaux de neurones pour la cartographie des milieux humides à partir d'une série temporelle d'images RADARSAT. Examen doctoral présenté dans le cadre du doctorat en Sciences de l'eau de l'INRS-Eau (Université du Québec). Avril 2000, 81 pages.

GHEDIRA, H., M. BERNIER et T.D.M.J. OUARDA (2000). Application of Neural Networks for Wetland Classification in RADARSAT SAR Imagery. Proceedings of IGARSS'2000, Honolulu Hawaiï, USA, 24-28 July, pp. 675-677.

- GIRARD, E. et J.P. BLANCHET (2001). Microphysical Parameterization of Arctic Diamond Dust, Ice Fog, and Thin Stratus for Climate Models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 58(10): 1181-1198.
- GORHAM, E. and J.A. JANSSENS (1992). Concepts of fen and bog re-examined in relation to bryophyte cover and the acidity of surface waters. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 61 : 7-20.
- GRONDIN, P. et J. OUZILLEAU (1979). Les habitats riverains du futur réservoir EM-1, territoire de la Baie James, Québec, S.E.B.J., Environnement, Montréal, 106 p. (rapport non publié).
- GRONDIN, P. et J. OUZILLEAU (1980). Les tourbières du sud de la Jamésie, Québec. *Géographie physique et quaternaire*, 34(3) : 267-299.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1972). Über pflanzliche makrofossilien mitteleuropäischer, Torfe I : Gewebereste krautiger Pflanzen und ihre Merkmale. *Telma*, 2 : 19-55.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1974). Über pflanzliche makrofossilien mitteleuropäischer, Torfe II : Weitere Reste (Fruchte und Samen, Moose u.a.) und ihre Bestimmungsmöglichkeiten. *Telma*, 4 : 51-117.
- HARDY, L. (1976). Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses-terres de la baie de James. Thèse de doctorat, inéd., Univ. McGill.
- IPCC (2001). IPCC-WGI. Third Assessment Report. Summary for Policy Makers, 19 p.
- IRELAND, R.R. (1982). Moss flora of the Maritime Provinces. National Museum of Natural Sciences, Publ. Bot. N° 13, 738 p.
- JOL, H.M. et D.G. SMITH (1995). Ground penetrating radar surveys of peatlands for oilfield pipelines in Canada. *Journal of Applied Geophysics*, 34 : 109-123.
- JURDANT, M. et G. GILBERT (1979). Les districts écologiques du territoire de la Baie James, Rapp. E.T.B.J., N° 38, Soc. de développement de la Baie James, 3 p.

KETTLES, I.M., M. GARNEAU and H. JETTÉ (2000). Macrofossil, Pollen and Geochemical Records of Peatlands in the Kinosheo Lake and Detour Lake Areas, Northern Ontario. Geological Survey of Canada, Bulletin 545, 24 p.

KLINGER, L.F. and S.K. SHORT (1996). Succession in the Judson Bay Lowland, northern Ontario, Canada. Arctic and Alpine Research, 28 : 172-183.

KUHRY, P. and D.H. VITT (1996). Fossil carbon/nitrogen as a measure of peat decomposition. Ecology, 77(1) : 271-275

KUHRY, P. (1994). The role of fire in the development of *Sphagnum* dominated peatlands in western boreal Canada. Journal of Ecology, v. 82 : 899-910

KUHRY, P., B.J. NICHOLSON, L.D. GIGNAC, D.H. VITT and S.E. BAYLEY (1993). Development of *Sphagnum*-dominated peatlands in boreal continental Canada. Canadian Journal of Botany, 71 : 10-22.

LAVOIE, C. and S. PAYETTE (1995). Analyses macrofossiles d'une palse subarctique (Québec nordique). Canadian Journal of Botany, 73 : 527-551.

LEE, H.A. (1968). Quaternary geology; in Science, History and Hudson Bay, v. 2, C.S. Beals and D.A. Shenstone, Ed. Queen's Printers, Ottawa, pp. 503-542.

LOHMANN, U., N. MCFARLANE, L. LEVKOV, K. ABDELLA and F. ALBERS (1999). Comparing different cloud schemes of a single column model by using mesoscale forcing and nudging technique. J. Climate, 12 : 438-461.

MCFARLANE, N. A., G. J. BOER, J.-P. BLANCHET and M. LAZARE (1992). The Canadian Climate Center second-generation general circulation model and its equilibrium climate. J. Climate, 5 : 1013-1044.

MUNSELL COLOR COMPAGNY (1971). Munsell Soil Color Charts; Munsell Color Compagny, Inc. Baltimore, Maryland, USA 21218.

NICHOLSON, B. (1993). The Wetlands of Elk Island National Park : Vegetation, Development and Chemistry. Ph D thesis, Department of Botany, University of Alberta, Edmonton, 143 p.

OVENDEN, L. (1990). Peat accumulation in Northern Wetlands. *Quaternary Research*, 33 : 377-386.

PAYETTE, S. (1988). Late-Holocene development of subarctic ombrotrophic peatlands : allogenic and autogenic succession. *Journal of Ecology*, 69 : 516-531.

PCI GEOMATICS (2000). *Image Works, User's Guide, Version 7.0, June 2000*. Richmond Hill, Ontario.

PORSILD, A.E. et W.J. CODY (1980). Vascular plants of continental Northwest Territories. National Museum of Natural Sciences, Ottawa, 667 p.

PREST, V.K. (1970). Quaternary geology of Canada; in *Geology and economic minerals of Canada*, R.J.W. Douglas, ed.; Geol. Surv. Can., Econ. Geol. Rept. No 1, pp. 677-764.

RANDALL, D.A., K.-M. XU, R. J.C. SOMERVILLE and S. IACOBELLIS (1996). Single column models and cloud ensemble models as links between observations and climate models. *J. Climate*, 9 : 1683-1697.

RICHARD, P.J.H. (1995). Le couvert végétal du Québec-Labrador il y a 6000 ans BP : essai. *Géographie physique et Quaternaire*, 49 : 170-140.

RICHARD, P.J.H., J.J. VEILLETTE and A.C. LAROUCHE (1989). Palynostratigraphie et chronologie du retrait glaciaire au Témiscamingue : évaluation des âges ^{14}C et implications paléoenvironnementales. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26 : 628-641.

ROBINSON, S.D. (2000). Carbon accumulation in discontinuously frozen peat bands, south western Northwest Territories, Canada. Ph.D. Thesis, on Gill University, Montreal, 142 p.

SKINNER, R.G. (1973). Quaternary stratigraphy of the Moose River basin, Ontario, *Geol. Survey of Canada, Bulletin 225*, 22 p.

SMITH, L.C., MACDONALD, G.A., FREY, K.E., VELICHKO, A., KONSTANTINE, K., BORISOVA, O., DIBININ, P., FORSTER, R.R. (2000). U.S.- Russia venture Probes Siberian Peatlands' Sensivity to Climate. EOS, 81(43).

TARNOCAI, C., I.M. KETTLES and B. LACELLE (2000). Peatlands of Canada. Geological Survey of Canada, Open File 3834, scale 1 :6 500 000.

THÉRIAULT, M. (1996). Système d'information géographique : concepts fondamentaux. Note et documents de cours, numéro 12, département de géographie, Université Laval, 165 pages.

TOMPSON, M. and R.J. HOWART (1978). A new approach to the estimation of analytical précision. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 9 : 23-30.

VINCENT, J.S. (1989). Quaternary geology of the Southeastern Canadian Shield, in Chapter 3 of Quaternary Geology of Canada and Groenland, (ed.) R.J. Fulton. Geological Survey of Canada, Geology of Canada, no. 1 (also Geological Society of America, the Geology of North America, v. K-1, pp. 249-275.

VINCENT, J.S. (1977). Le quaternaire récent de la région du cours inférieur de la Grande Rivière, Québec. Commission Géologique, Étude 76-19, 20 pages.

WARNER, B.G., K. TOLONEN and M. TOLONEN (1991). A postglacial history of vegetation and bog formation at Point Escuminac, New Brunswick. Canadian Journal of Earth Science, 28 : 1572-1582.

WARNER, B.G., NOBES, D.C. et B.D. THEIMER (1990). An application of ground penetrating radar to peat stratigraphy of Ellice Swamp, southwestern Ontario. Can. J. Earth Sci., 27 : 932-938.

ZARNOVICAN, R. et J.-L. BÉLAIR (1979). Les tourbières de la Baie James : la végétation et les sols, Serv. Can. For., Dir. Gén. Ter., Série de la classification écologique du territoire, n° 9, 37 p.

ANNEXE 1

Liste des échantillons (géochimie et macrofossiles)

Liste des échantillons (géochimie et macrofossile)

Site 3 - carte 33 F/12		Site 5 - carte 33 E/9	
PT3-1	PT3-3	PT5-1	PT6
2-4	4-6	2-4	0-2
10-12	12-14	10-12	6-8
28-30	22-24	12-14	10-12
30-32	24-26	22-24	12-14
36-38	42-44	24-26	30-32
38-40	44-46	34-36	32-34
42-44	56-58	36-38	42-44
44-46	58-60	48-50	44-46
52-54	70-72	50-52	50-52
54-56	72-74	72-74	52-54
60-62	84-86	74-76	62-64
62-64	86-88	82-84	64-66
70-72	110-112	84-86	90-92
72-74	112-114	104-106	92-94
82-84	122-124	106-108	110-112
84-86	124-126	122-124	112-114
100-102	136-138	124-126	130-132
102-104	138-140	142-144	132-134
120-122	144-146	144-146	154-156
122-124	146-148	158-160	156-158
154-156	156-158	160-162	210-215
156-158	158-160	175-180	230-235
175-180	170-172		255-260
230-235	172-174		280-285
260-265	210-215		305-310
280-285	230-235		320-325
300-305	250-255		
310-312	270-275		
	310-315		
	340-345		
	370-375		
	385-390		
	390-395		

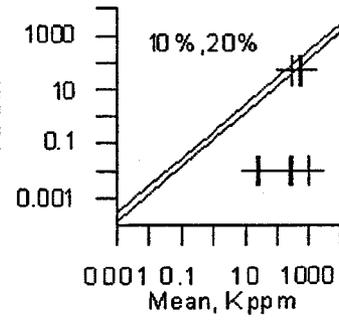
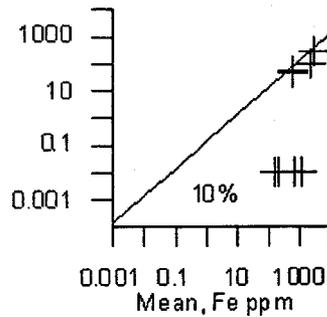
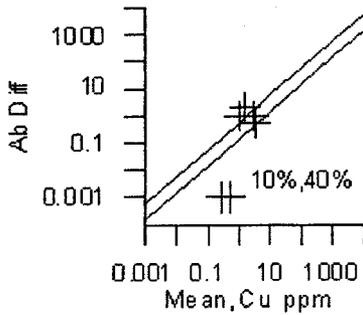
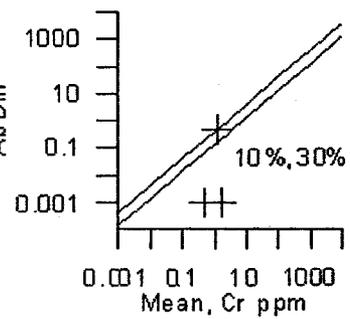
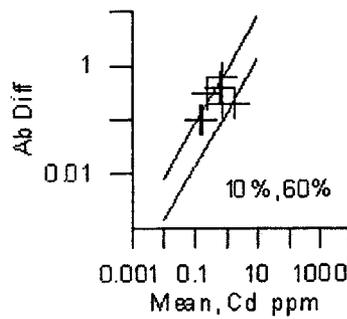
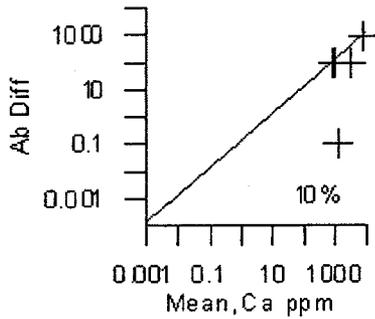
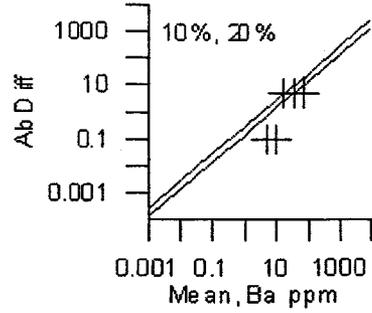
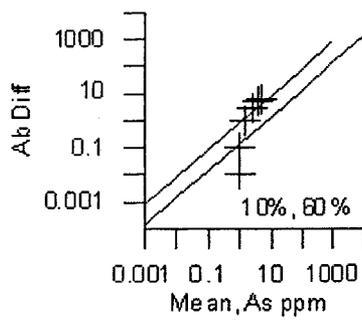
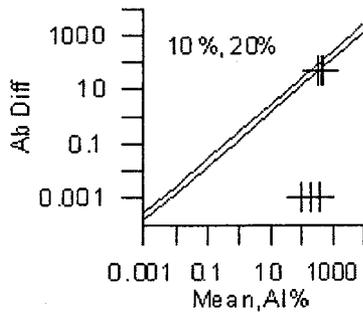
N= 109 (géochimie)

N= 60 (macrofossile)

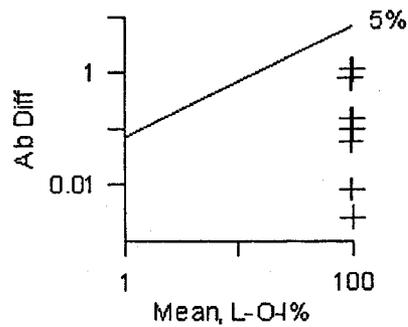
En gris: échantillons analysés pour leur contenu en macrofossile en plus de leur caractérisation géochimique (intervalles en cm)

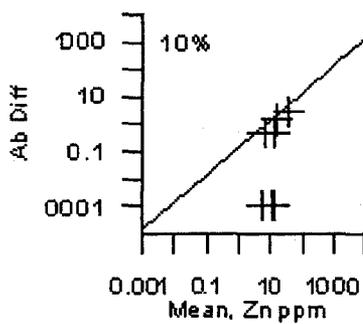
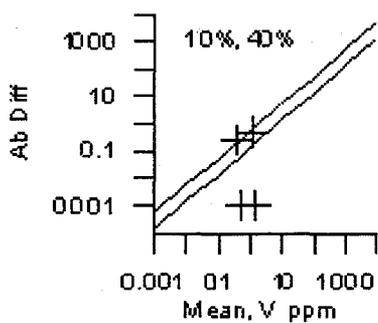
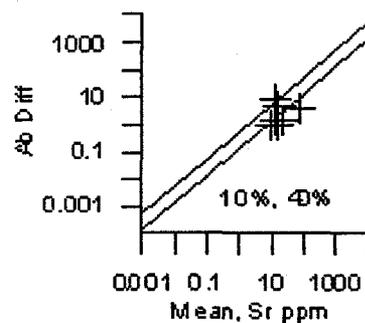
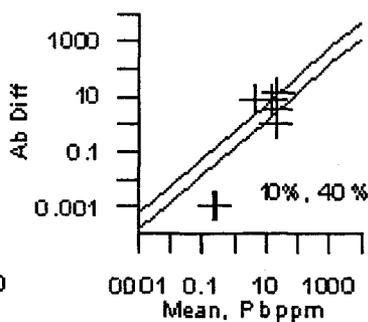
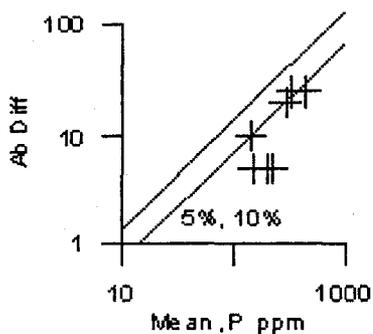
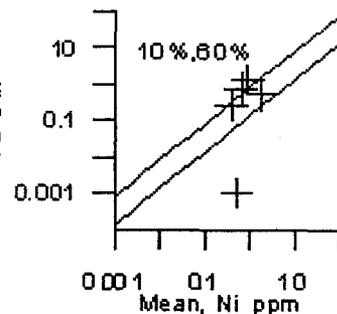
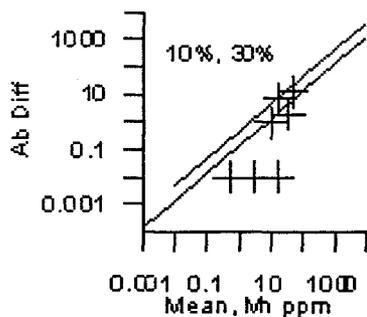
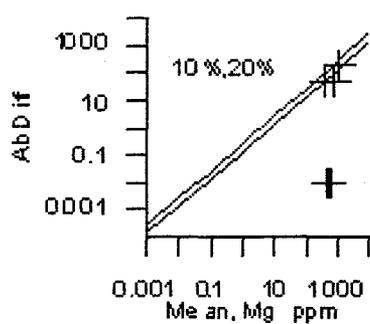
ANNEXE 2

Graphiques de géochimie selon la méthode de Thomson-Howarth (1978)



Detection Limits
Minimum and Maximum
 Al - 50 ppm - 10%
 As - 0.1 - 1000 ppm
 Ba - 5 ppm - 1%
 Ca - 50 ppm - 1%
 Cd - 0.2 - 100 ppm
 Cr - 0.5 ppm - 1%
 Cu - 0.5 ppm - 1%
 Fe - 50 ppm - 1%
 K - 50 ppm - 1%





*Detection Limits
Minimum and Maximum*

Mg - 50 ppm - 10%
 Mn - 1 ppm - 1%
 Ni - 0.5 ppm - 1%
 P - 5 ppm - 1%
 Pb - 0.5 ppm - 1%
 Sr - 0.5 ppm - 1%
 V - 0.5 ppm - 1%
 Zn - 1 ppm - 1%

ANNEXE 3

Données d'entrées et de sorties du modèle local de climat (MLC)

LES CHAMPS D'ARCHIVAGE DU MLC

Les variables d'entrée

Pression de surface PRESS (Pa)

Vent zonal U (m/s)

Vent méridional V (m/s)

Température TEMP (K)

Humidité spécifique ES (kg/kg)

Les variables de sortie

- *Les flux*

Flux solaire absorbé par la surface inst. FSGL (W/m²)

Flux solaire direct incident à la surface inst. FSDL (W/m²)

Flux solaire visible incident à la surface inst. FSVL (W/m²)

Flux solaire infrarouge proche incident à la surface inst. FSIL (W/m²)

Flux onde longue vers le bas à la surface inst. FDLL (W/m²)

Flux solaire absorbé par la surface cum. FSG (W/m²)

Flux solaire direct incident à la surface cum. FSD (W/m²)

Flux solaire visible incident à la surface cum. FSV (W/m²)

Flux solaire incident à la surface FSS (W/m²)

Flux solaire absorbé par l'atmosphère FSA (W/m²)

Flux onde longue absorbé par l'atmosphère FLA (W/m²)

Flux onde longue vers le bas à la surface cum. FDL (W/m²)

Flux net onde longue vers le bas à la surface FLG (W/m²)

Flux de la chaleur sensible total à la surface HFS (W/m²)

Flux de vapeur d'eau à la surface QFS (W/m²)

Bilan d'énergie en surface BEG (W/m²)

Flux solaire absorbé par la végétation FSGV (W/m²)

Flux solaire absorbé par le sol FSGG (W/m²)

Flux de la chaleur sensible de la végétation HFSC (W/m²)

Flux de la chaleur sensible du sol HFSG (W/m²)

Énergie de gel/fonte de l'eau/glace sur la végétation HMFC (W/m²)
Énergie de fonte de la neige HMFN (W/m²)
Transfert de chaleur à la végétation par les précipitations HTCC (W/m²)
Transfert de chaleur à travers la neige HTCS (W/m²)
Transfert de chaleur au sol par percolation et conduction HTC 1,2,3 (W/m²)
Flux solaire incident au sommet de l'atmosphère FSO (W/m²)
Flux solaire par ciel clair au sommet de l'atmosphère FSTC (W/m²)
Flux net onde longue par ciel clair au sommet de l'atmosphère FLTC (W/m²)
Flux solaire absorbé par ciel clair à la surface FSGC (W/m²)
Flux net onde longue par ciel clair à la surface FLGC (W/m²)
Flux solaire absorbé par la neige FSGS (W/m²)
Flux onde longue absorbé par la neige FLGS (W/m²)
Flux de la chaleur sensible de la neige HFSS (W/m²)
Flux de la chaleur latente de la végétation HEVC (W/m²)
Flux de la chaleur latente de la neige HEVS (W/m²)

- **Les variables de surface**

Masque terre/mer/glace (-1,0,1) GC
Température à la surface GT (K)
Température à la surface moyenne diurne GTA (K)
Quantité de la neige SNO (kg/m²)
Quantité de la glace marine SIC (kg/m²)
Albédo de surface (tout le spectre) ALBS
Densité de la neige RHOS (kg/m³)
Température de la végétation TCAN (K)
Température de la neige TSNO (K)
Indice de croissance d'arbres TT
Eau liquide disponible sur la végétation WCAN (kg/m²)
Eau gelée disponible sur la végétation SCAN (kg/m²)
Albédo visible ALSV
Albédo proche infrarouge ALSI
Types de sol SOIL

Hauteur moyenne de la couche limite PBLT (m)
Indice du sommet de la convection profonde TCV (1)
Température au sol (couches 1,2,3) TBAR (K)
Fraction du Contenu en eau liquide (couches 1,2,3) THLQ
Fraction du contenu en eau gelée (couches 1,2,3) THIC
Traînée de surface DR (1)
Fraction du contenu en eau gelée moyen dans le premier mètre WF
Fraction du contenu en eau liquide moyen dans le premier mètre WL
Nuages totaux intégrés verticalement CLDMAT (1,m)
Précipitation totale PCP (kg/m²)
Traînée de surface selon x UFS (m/s)
Traînée de surface selon y VFS (m/s)
Température au niveau de l'anémomètre ST (K)
Humidité spécifique au niveau de l'anémomètre SQ (kg/kg)
Vent u au niveau de l'anémomètre SU (m/s)
Vent v au niveau de l'anémomètre SV (m/s)
Amplitude du vent SWMX (m/s)
Écoulement d'eau à la surface ROF (kg /m² s)
Précipitation solide incidente à la végétation PCFC (kg /m² s)
Précipitation liquide incidente sur la végétation PCLC (kg /m² s)
Précipitation totale incidente à la neige PCPN (kg /m² s)
Précipitation liquide incidente au sol PCPG (kg /m² s)
Évaporation d'eau liquide du sol QFG (kg /m² s)
Flux de vapeur d'eau à la surface de la neige QFN (kg /m² s)
Évaporation d'eau liquide de la végétation QFCL (kg /m² s)
Sublimation d'eau gelée de la végétation QFCF (kg /m² s)
Épaisseur de la neige ZSNO (m)
Hauteur moyenne de la couche limite ZPBL (m)
Humidité relative moyenne de la couche adjacente à la surface HR (%)
Extraction de l'eau des couches du sol par transpiration (1,2,3) QFC (kg /m² s)

ANNEXE 4

Tableaux de relevés de végétation

Site 3: Relevés de végétation (5) et pourcentages de recouvrement des espèces

	PT3-75	PT3-90	PT3-215	PT3-500	PT3-1000
biotopes dominants	b à sphaignes 65%	lanière	b à sphaignes 60%	bord de mare 90%	b et mb 45%
autres biotopes	mb à lichens		dépression	mb	platière 40% dépression
Strate arbustive					
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	35	< 1	55	8	30
<i>Ledum groenlandicum</i>	25	< 1	4	1	8
<i>Kalmia polifolia</i>	8	4		< 1	2
<i>Vaccinium uliginosum</i>	2		4		3
<i>Vaccinium angustifolium</i>	1				3
<i>Andromeda glaucophylla</i>			6	< 1	
<i>Picea mariana</i>			2		< 1
Strate herbacée					
<i>Rubus chamaemorus</i>	20	< 1	10	5	20
<i>Empetrum nigrum</i>	10		12		
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	5	< 1	10	1	1
<i>Carex oligosperma</i>	55	90	25		1
<i>Carex pauciflora</i> *	15		8	20	30
<i>Carex pauperula</i>				30	
<i>Rhynchosporus alba</i>			10	24	
<i>Eriophorum spissum</i>	5			< 1	5
Strate muscinale					
<i>Sphagnum fuscum</i>	65	5	40	5	20
<i>Sphagnum capillifolium</i> *	1		5	10	2
<i>Sphagnum pulchrum</i>		40	20	12	1
<i>Sphagnum lindbergii</i>				< 1	5
<i>Sphagnum S. palustria</i>			20	10	5
<i>Sphagnum tenellum</i>		5	10	12	10
<i>Sphagnum russowii</i> *				10	
<i>Polytrichum strictum</i>	1	< 1	< 1		2
<i>Pleurozium schreberi</i>	< 1				
<i>Pohlia nutans</i>			< 1		
<i>Dicranum sp.</i>				< 1	4
<i>Mylia anomala</i>	15		10	3	10
<i>Cladopodiella fluitans</i>		45	30	56	25
<i>Kurzia sp.</i>		< 1	< 1	< 1	< 1
Strate lichnéique					
<i>Cladina stellaris</i>	25	< 1	8	< 1	20
<i>Cladina rangiferina</i>	5		8	2	5
<i>Cladina mitis</i>	< 1	< 1			
<i>Cladonia uncialis</i>	1				
<i>Cladonia fimbriata</i>	< 1				< 1
<i>Cetraria islandica</i>				3	
<i>Cladina sp.</i>					2

Présence de *Myrica gale* et *Coptis groenlandica* à 215 m

Présence de *Sarracenia purpurea* et *Drosera rotundifolia* à 215 et 500 m et de *D. rotundifolia* à 1000 m

Site 3: Relevés de végétation (5) et estimé du recouvrement par classes

	PT3-75	PT3-90	PT3-215	PT3-500	PT3-1000
biotopes dominants	b à sphaignes 65%	lanière	b à sphaignes 60%	bord de mare 90%	b 45% et p 40%
autres biotopes	mb à lichens		dépression	mb	dépression
Strate arbustive					
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	3	*	4	2	3
<i>Ledum groenlandicum</i>	2	*	1	1	2
<i>Kalmia polifolia</i>	2	1		*	1
<i>Vaccinium uliginosum</i>	1		1		1
<i>Vaccinium angustifolium</i>	1				1
<i>Andromeda glaucophylla</i>			2	*	
<i>Picea mariana</i>			1		*
Strate herbacée					
<i>Rubus chamaemorus</i>	2	*	2	1	2
<i>Empetrum nigrum</i>	2		2		
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	1	*	2	1	1
<i>Carex oligosperma</i>	2	5	2		1
<i>Carex pauciflora*</i>	2		2		3
<i>Carex pauperula</i>				30	
<i>Rhynchosporus alba</i>			2	2	
<i>Enophorum spissum</i>	1			*	1
Strate muscinale					
<i>Sphagnum fuscum</i>	4	1	3	1	2
<i>Sphagnum capillifolium*</i>	1		2	2	1
<i>Sphagnum pulchrum</i>		3	2	2	1
<i>Sphagnum lindbergii</i>				*	1
<i>Sphagnum S. palustria</i>			2	2	1
<i>Sphagnum tenellum</i>		1	2	2	2
<i>Sphagnum russowii*</i>				2	
<i>Polytrichum strictum</i>	1	*	*		1
<i>Pleurozium schreberi</i>	*				
<i>Pohlia nutans</i>			< 1		
<i>Dicranum sp.</i>				*	1
<i>Mylia anomala</i>	2			1	2
<i>Cladopodiella frutans</i>		3	3	3	2
<i>Kurzia sp.</i>		v	*	*	*
Strate lichnéique					
<i>Cladina stellaris</i>	2	*	2	*	2
<i>Cladina rangiferina</i>	1		2	1	1
<i>Cladina mitis</i>	*	*			
<i>Cladonia uncialis</i>	1				
<i>Cladonia fimbriata</i>	*				*
<i>Cetraria islandica</i>				1	
<i>Cladina sp.</i>					1

Présence de *Myrica gale* et *Coptis groenlandica* à 215 m

Présence de *Sarracenia purpurea* et *Drosera rotundifolia* à 215 et 500 m et de *D. rotundifolia* à 1000 m

Site 5: Relevés de végétation (5) et pourcentages de recouvrement des espèces

	ligne 1 PT5-3	ligne 1 PT5-5	ligne 1 PT5-9	ligne 2 PT6-4
biotopes dominants	platière 50%	buttes à L et sph 65%	buttes à L (et sph) 60%	buttes à L (et sph) 65%
autres biotopes	buttes 50%	platière	dépression	platière 20%, dépression 5%
Strate arbustive				
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	50	36	40	25
<i>Ledum groenlandicum</i>	20	7	2	35
<i>Kalmia polifolia</i>	5	3	8	1
<i>Kalmia angustifolia</i>		2		10
<i>Vaccinium uliginosum</i>		25		2
<i>Vaccinium angustifolium</i>		1		5
<i>Andromeda glaucophylla</i>			< 1	
<i>Picea mariana</i>	10	1	3	
Strate herbacée				
<i>Rubus chamaemorus</i>	8	10	10	4
<i>Empetrum nigrum</i>	20	4	2	12
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	10	2	2	2
<i>Carex oligosperma</i>	60	1	51	2
<i>Carex pauciflora*</i>		40	< 1	5
<i>Eriophorum spissum</i>	2			
Strate muscinale				
<i>Sphagnum fuscum</i>	4	16	4	12
<i>Sphagnum capillifolium*</i>	30	1	5	8
<i>Sphagnum pulchrum</i>	14v	< 1	20	< 1
<i>Sphagnum lindbergii</i>	14v		1	
<i>Sphagnum S. palustria</i>	v	3		
<i>Sphagnum tenellum</i>	v	3	< 1	< 1
<i>Polytrichum strictum</i>		< 1		
<i>Pleurozium schreberi</i>	2			
<i>Pohlia nutans</i>				< 1
<i>Dicranum sp.</i>				
<i>Mylia anomala</i>	26	35	25	4
<i>Cladopodiella fluitans</i>	20	1	20	< 1
<i>Kurzia sp.</i>		2		
Strate lichnéique				
<i>Cladina stellaris</i>	6	30	30	40
<i>Cladina rangiferina</i>	1	7	8	10
<i>Cladonia uncialis</i>		17	< 1	6
<i>Cladonia fimbriata</i>				2

Présence de *Drosera rotundifolia* à PT5-3

Site 5: Relevés de végétation (4) et estimé du recouvrement par classes

	PT5-3	PT5-5	PT5-9	PT6-4
biotopes dominants	p 55% et b 45%	b à L et sph 65%	b 60%	b 65%
autres biotopes		p	dépression	p 20% et dépression 5%
Strate arbustive				
<i>Chamaedaphne calyculata</i>	3	3	3	2
<i>Ledum groenlandicum</i>	2	2	1	3
<i>Kalmia polifolia</i>	1	1	2	1
<i>Kalmia angustifolia</i>		1		2
<i>Vaccinium uliginosum</i>		2		1
<i>Vaccinium angustifolium</i>		1		1
<i>Andromeda glaucophylla</i>			*	
<i>Picea mariana</i>	2	1	1	
Strate herbacée				
<i>Rubus chamaemorus</i>	2	2	2	1
<i>Empetrum nigrum</i>	2	1	1	2
<i>Vaccinium oxycoccos</i>	2	1	1	1
<i>Carex oligosperma</i>	4	1	4	1
<i>Carex pauciflora*</i>		3	*	1
<i>Eriophorum spissum</i>	2			
Strate muscinale				
<i>Sphagnum fuscum</i>	1	2	1	2
<i>Sphagnum capillifolium*</i>	3	1	1	2
<i>Sphagnum pulchrum</i>	2v	*	2	*
<i>Sphagnum lindbergii</i>	2v		1	
<i>Sphagnum S. palustria</i>		1		
<i>Sphagnum tenellum</i>		1	*	*
<i>Polytrichum strictum</i>		1		
<i>Pleurozium schreberi</i>	1			
<i>Pohlia nutans</i>				*
<i>Dicranum sp.</i>				
<i>Mylia anomala</i>	3	3	2	1
<i>Cladodiella fluitans</i>	2	*	2	*
<i>Kuuzia sp.</i>		1	v	v
Strate lichnéique				
<i>Cladina stellans</i>	2	3	3	3
<i>Cladina rangiferina</i>	1	2	2	2
<i>Cladonia uncialis</i>		2	*	2
<i>Cladonia fimbriata</i>				1

Présence de *Drosera rotundifolia* à PT5-3

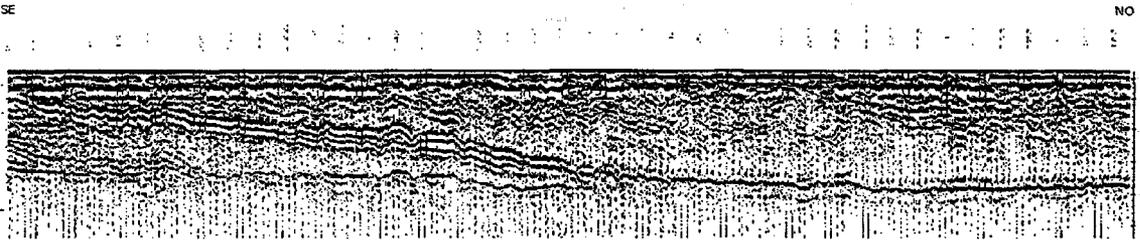
Tableau de pourcentage de recouvrement des espèces dans les sous-quadrats de 1 x 1 m (Site 3 et 5)

		SITE 3																																							
T	R	CHC	CHC	LEG	LEG	KAP	KAP	VAA	VAA	CAO	CAO	RUC	RUC	DRR	DRR	EMN	EMN	VAO	VAO	fus	fus	cap	cap	POs	POs	PLS	PLS	MYA	MYA	CLS	CLS	CLR	CLR								
PT3	75	35	3	20	2	10	2	5	1	5	1	20	2	<1	*	15	2	4	1	35	3	5	1	17	2	10	2	15	2	20	2	3	1								
T	R	KAP	KAP	CAO	CAO	RUC	RUC	pul	pul	ten	ten	CLF	CLF	Kux	Kux																										
PT3	90	4	1	90	5	<1	*	40	3	5	1	50	3	<1	*																										
T	R	PDM	PDM	CHC	CHC	LEG	LEG	ANG	ANG	CAO	CAO	RUC	RUC	CAPa	CAPa	COG	COG	DRR	DRR	VAO	VAO	fus	fus	cap	cap	PON	PON	POs	POs	CLF*	CLF*	MYA	MYA	CLS	CLS						
PT3	215	<1	*	30	3	<1	*	<1	*	20	2	<1	*	5	1	<1	*	4	1	5	1	50	3	5	1	<1	*	<1	*	30	3	10	2	5	1						
T	R	CHC	CHC	LEG	LEG	RUC	RUC	fus	fus	cap	cap	rus	rus	pul	pul	lin	lin	ten	ten	CLF	CLF	CLR	CLR	SAP	RHA	RHA	VAO	VAO													
PT3	500	40	3	5	1	13	2	30	3	35	3	10	2	5	1	1	1	12	2	5	1	25	2																		
T	R	PDM	PDM	CHC	CHC	LEG	LEG	KAP	KAP	VAU	VAU	VAA	VAA	CAO	CAO	RUC	RUC	VAO	VAO	fus	fus	MYA	CLS	CLS	CLR	CLR															
PT3	1000	3	1	35	3	3	1	4	1	5	1	5	1	10	2	25	2	5	1	65	4	2	15	2	5	1															
		SITE 5																																							
T	R	CHC	CHC	LEG	LEG	KAP	KAP	CAO	CAO	DRR	DRR	VAO	VAO	fus	fus	cap	cap	MYA	MYA																						
PT5	3	35	3	2	1	3	1	50	3	1	1	10	2	75	5	10	2	15	2																						
T	R	PDM	PDM	CHC	CHC	LEG	LEG	KAA	KAA	RUC	RUC	CAPa	CAPa	fus	fus	pul	pul	palus	palus	ten	ten	CLF*	CLF*	MYA	MYA	CLS	CLS														
PT5	5	2	1	10	2	5	1	10	2	5	1	35	3	30	3	1	1	9	2	9	2	5v	1v	25	2	5	1														
T	R	CHC	CHC	LEG	LEG	KAP	KAP	ANG	ANG	CAO	CAO	RUC	RUC	VAO	VAO	fus	fus	pul	pul	ten	ten	lin	lin	CLF*	CLF*	MYA	MYA	CLS	CLS												
PT5	9	1	1	<1	*	10	2	5	1	75	3	1	1	5	1	1	1	1	1	30	2	10	2	5	1	45	3	6	2	<1	*										
T	R	CHC	CHC	KAA	KAA	VAA	VAA	RUC	RUC	CAPa	CAPa	EMN	EMN	VAO	VAO	fus	fus	CLS	CLS	CLR	CLR	C. firabiat	Czou	Czou	CLU	CLU															
PT6	4	35	3	5	1	3	1	<1	*	3	1	10	2	1	1	10	2	29	3	5	1	10	2	1	1	30	3														

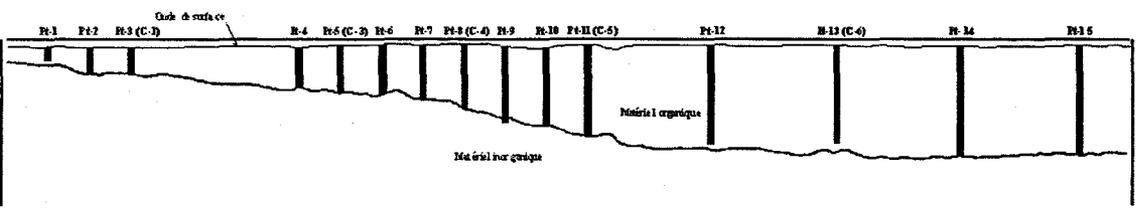
ANNEXE 5

Profil au géoradar

a)



b)



ANNEXE 6

Diagrammes d'analyses macrofossiles

Diagramme d'analyses macrofossiles
 Baie James, secteur La Grande - Site 5 (PT6)
 53°40'25"N, 78°12'20"O

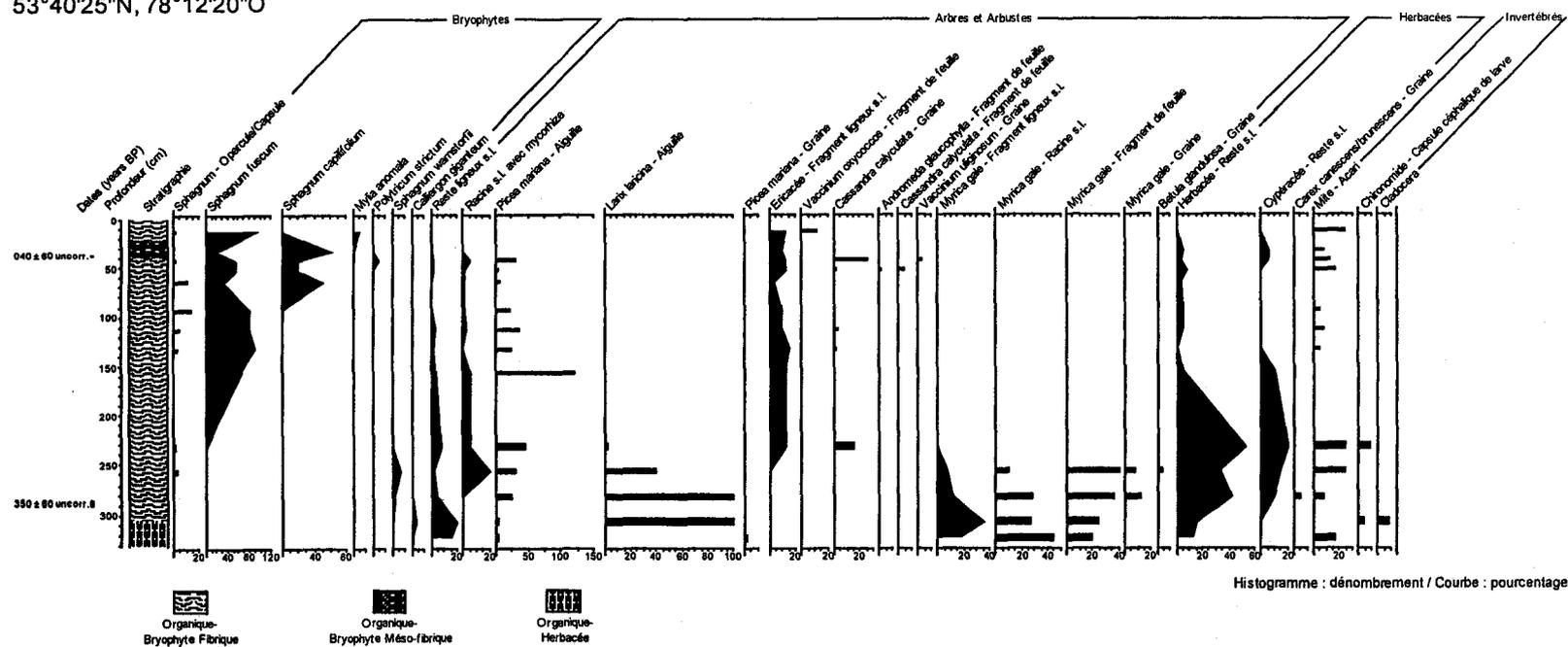
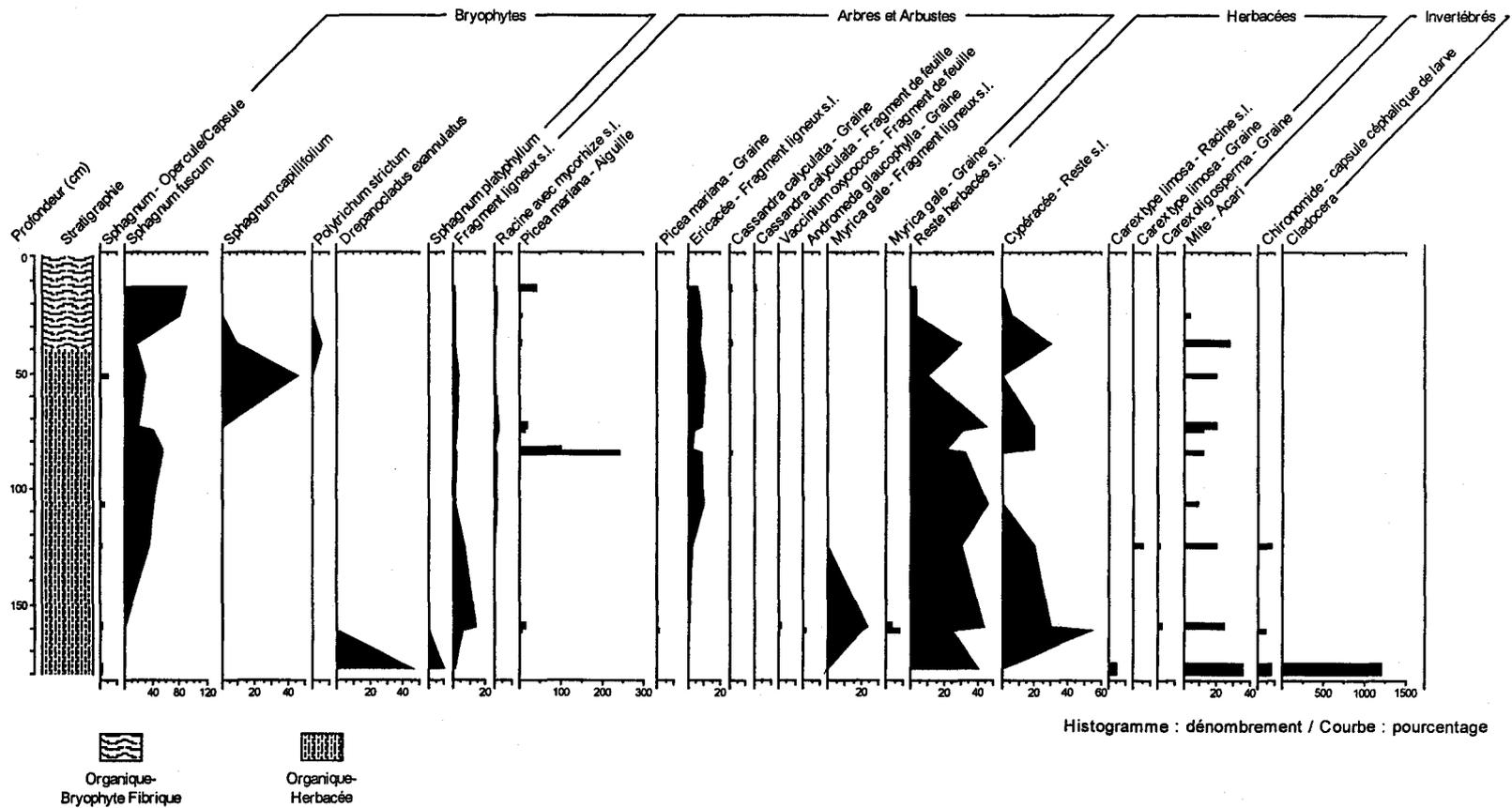
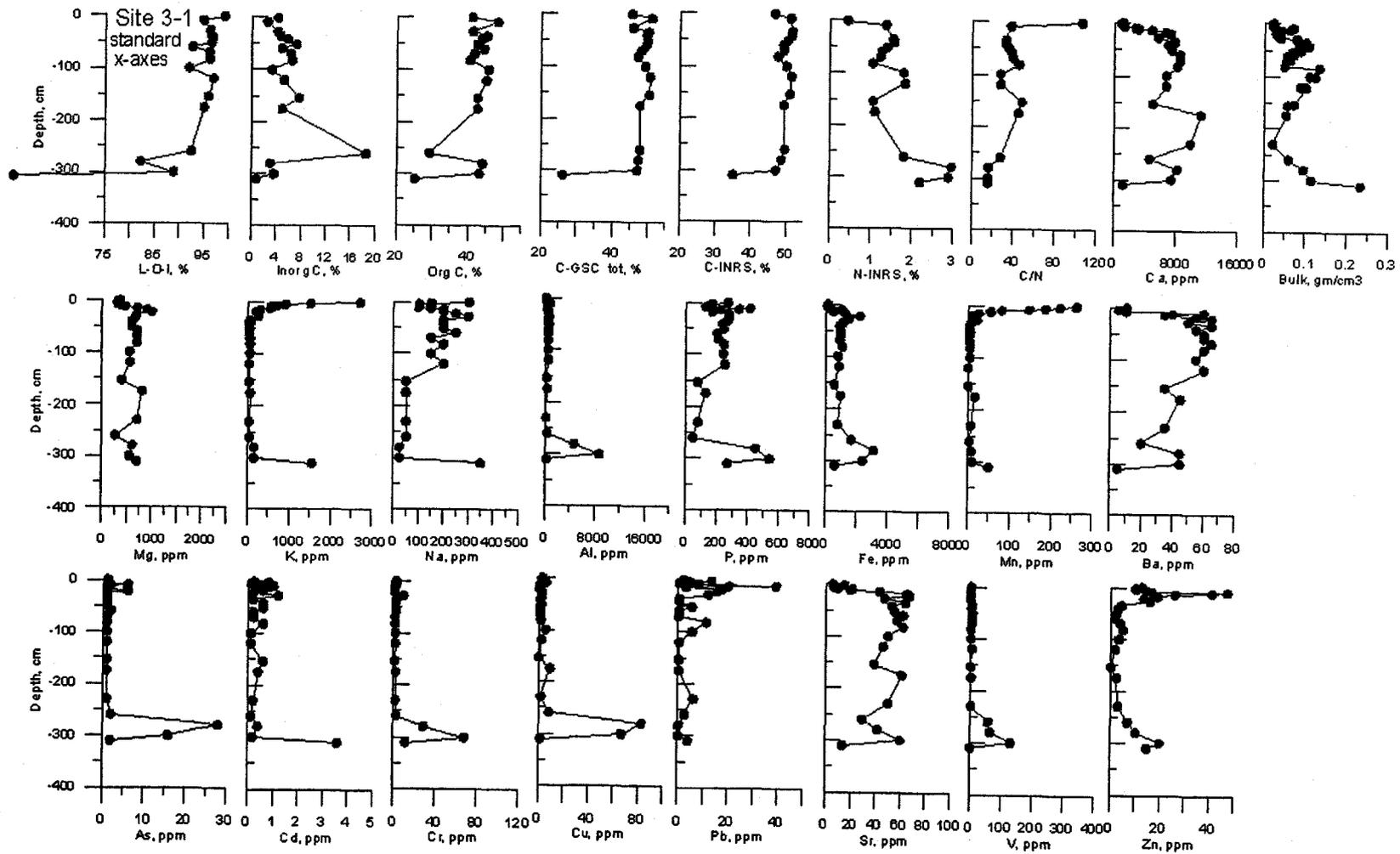


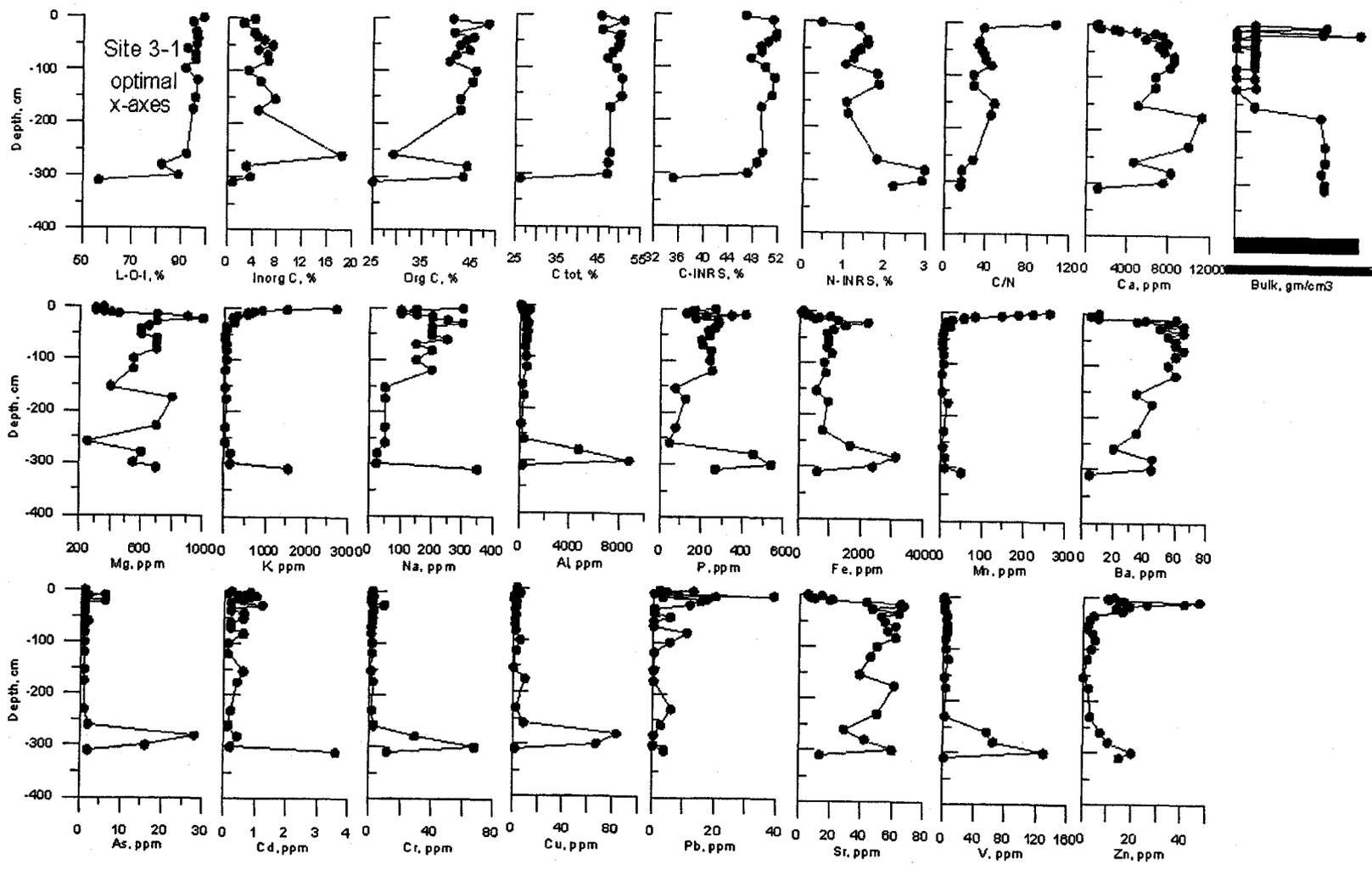
Diagramme d'analyses macrofossiles
 Baie James, secteur La Grande - Site 5 (PT5)
 53°40'20"N, 78°13'30"O

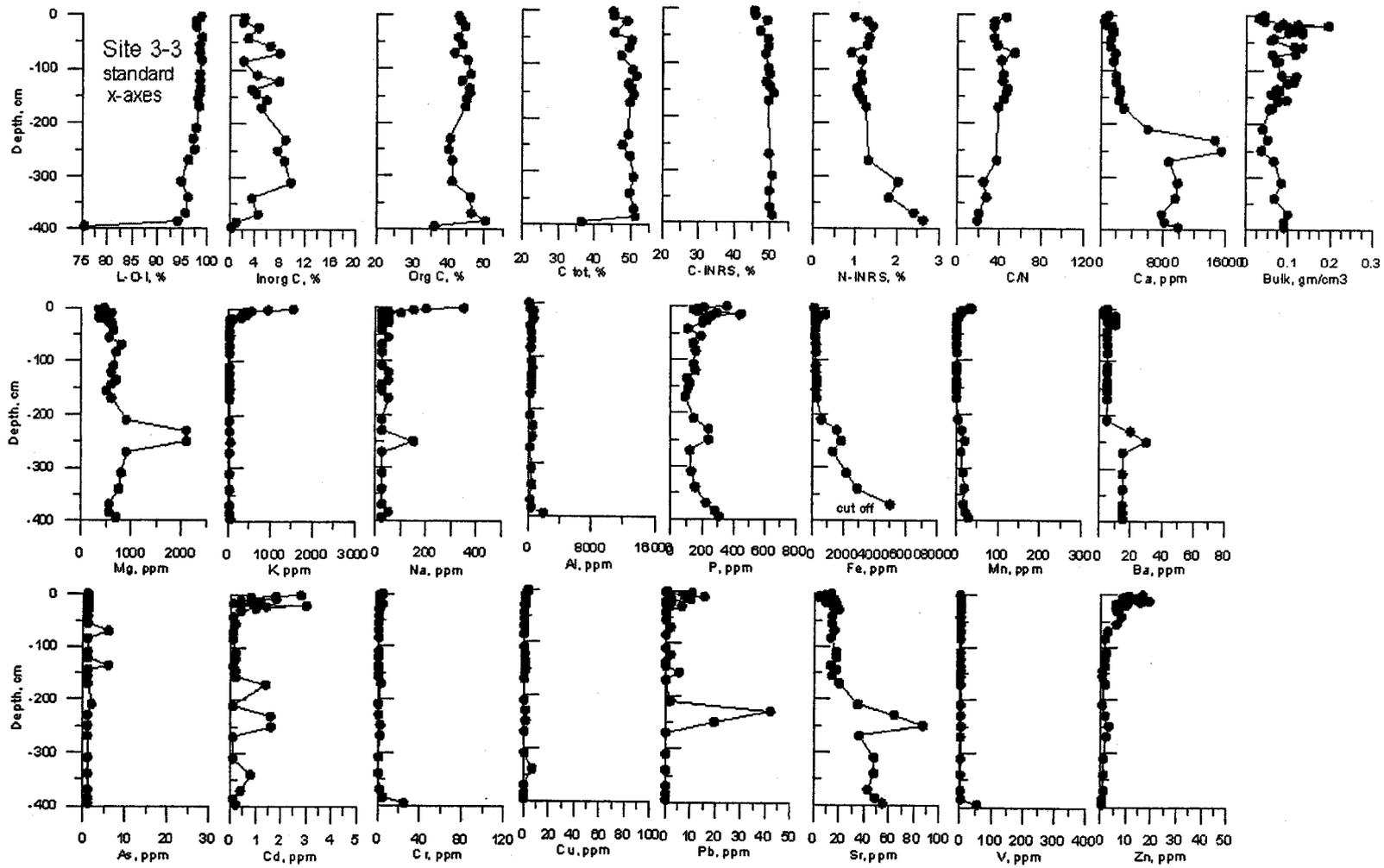


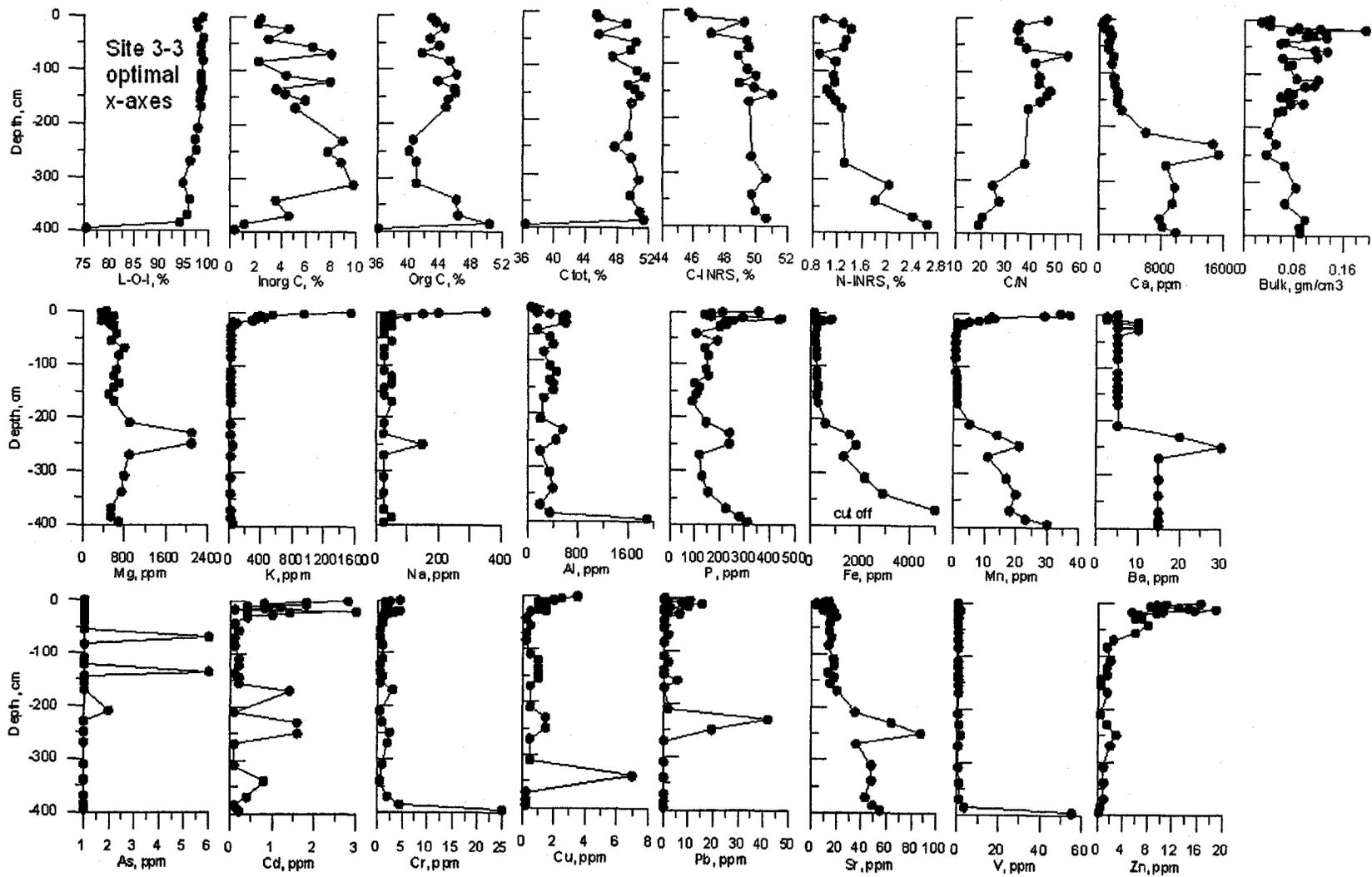
ANNEXE 7

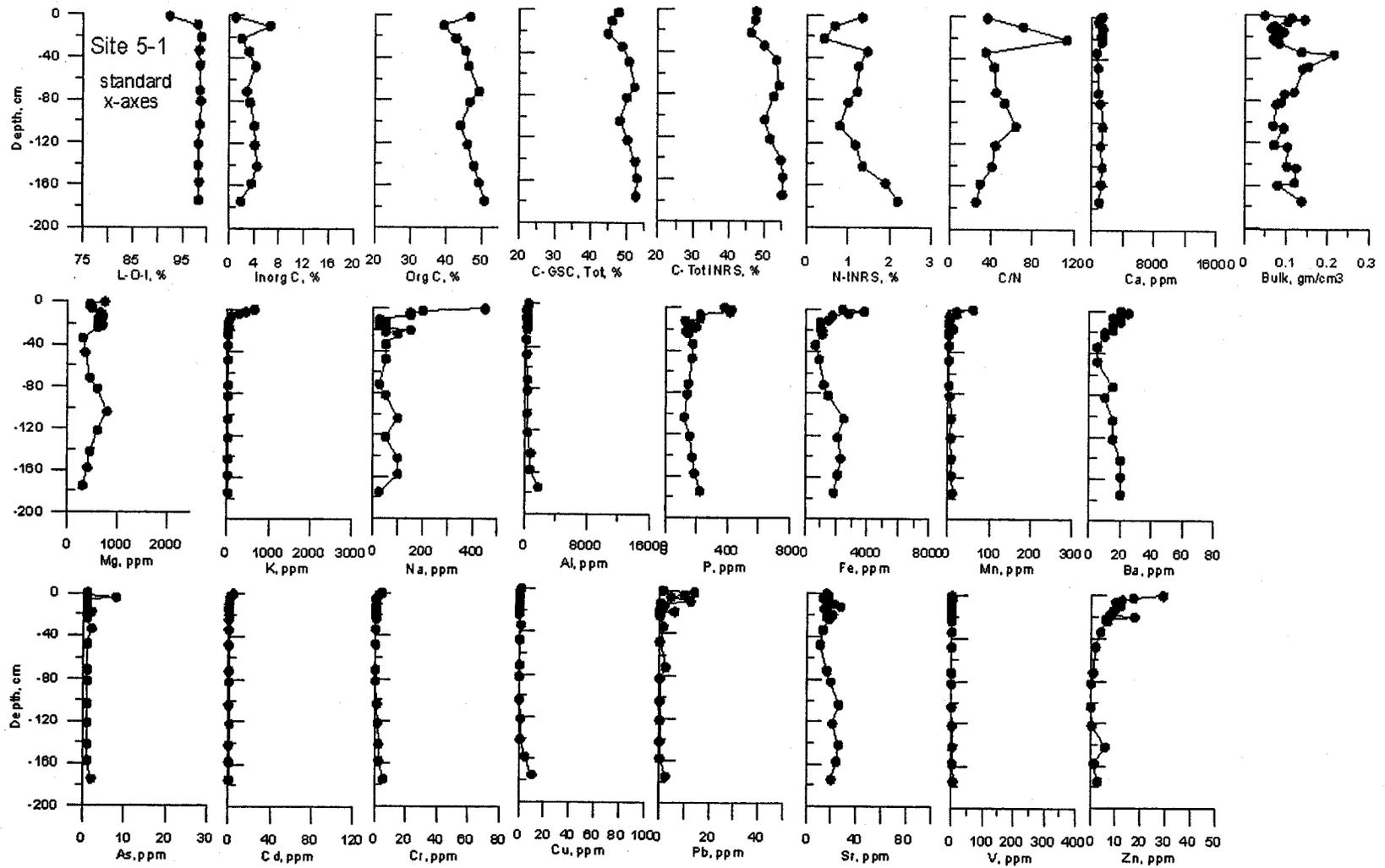
Résultats d'analyses géochimiques

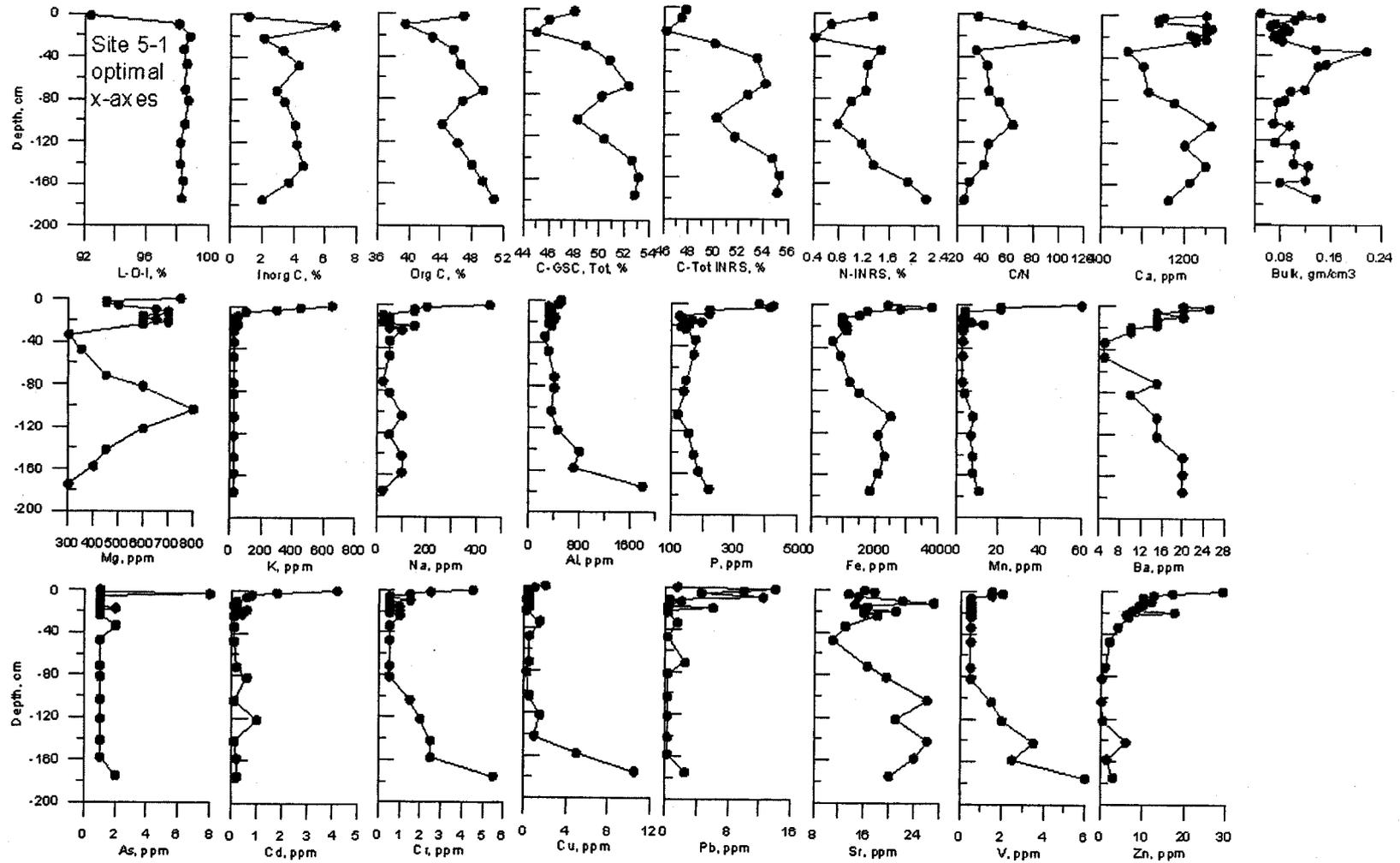


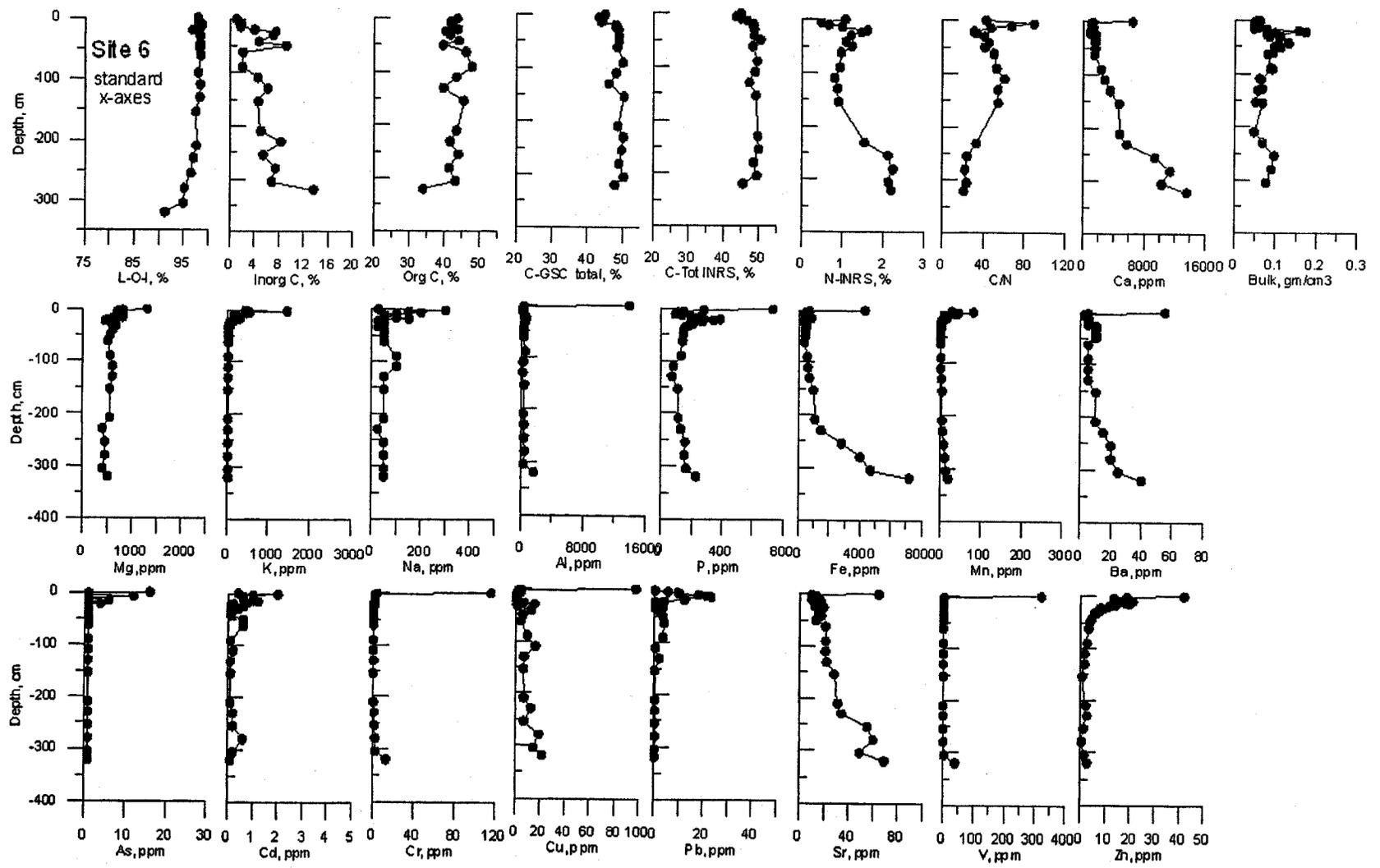


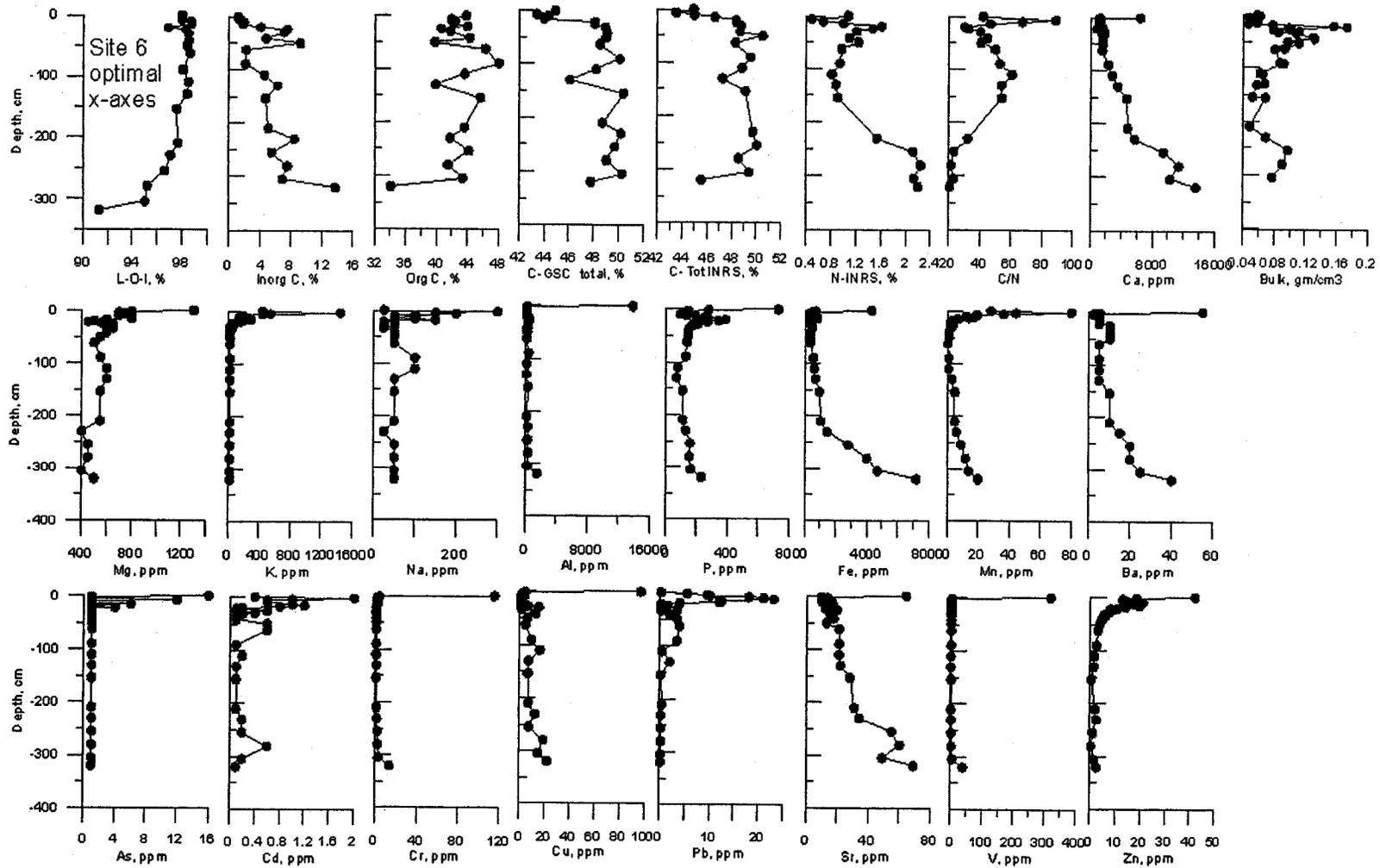


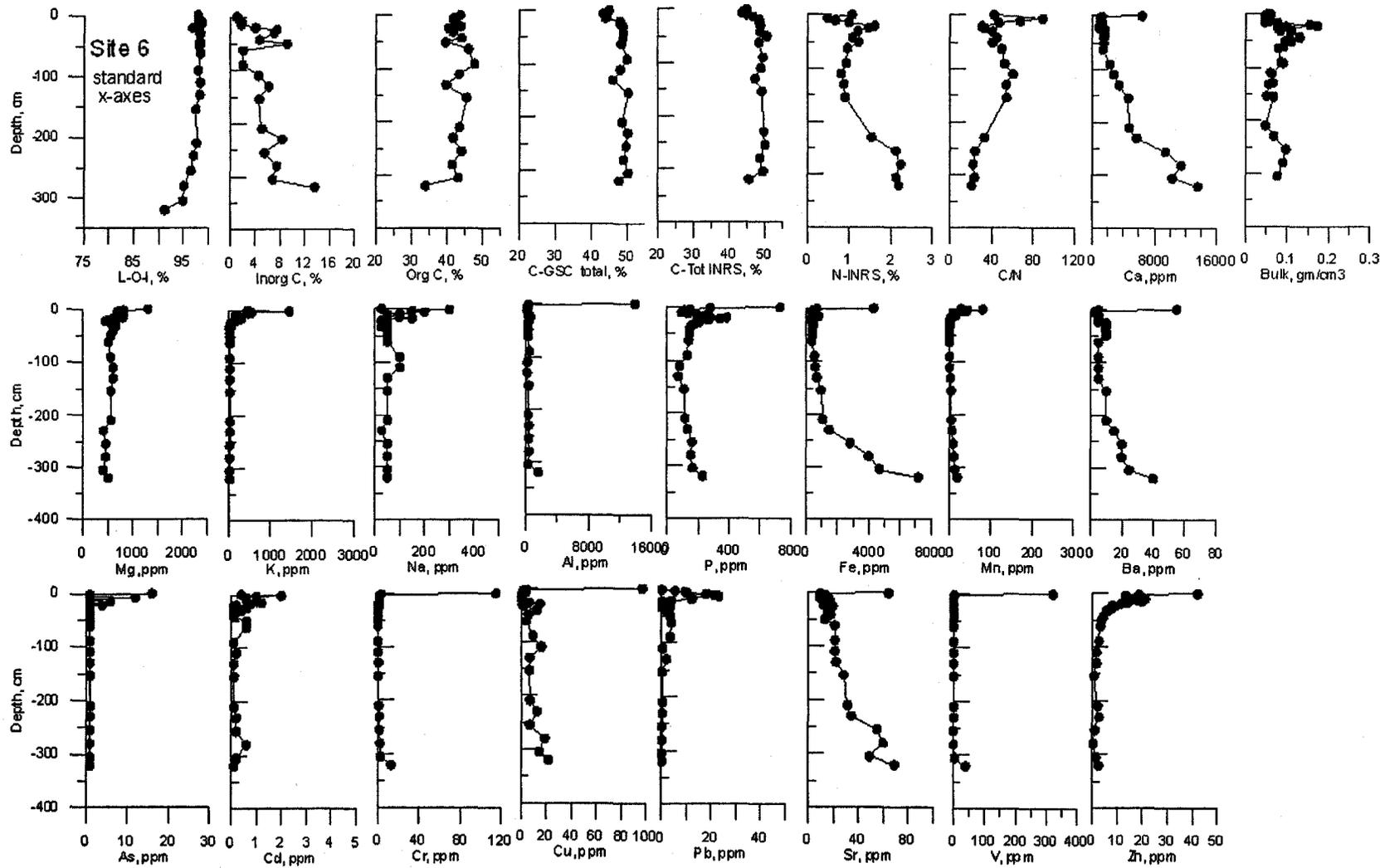












ANNEXE 8

Données géochimiques

SAMPLE	From	To	Al	As	Ba	Cd	Ca	Cr	Cu	Fe	Pb	Mg	Mn	Mo	Ni	P	K	Na	Sr	V	Zn	%Tot C	%Inor g C	%Org C	%C-INRS	%N-INRS	C/N	%LOI	%Moist, wet	%Moist, dry	Bulk Den	Chroma	Hue	
	cm	cm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm													
PT3-10-2	0	-2	50	1	10	0.2	1050	15	2.5	100	2	350	260	0.25	15	265	2700	300	5	0.25	12.5								93.2	1379.6	0.02	5yr	3.0/4	
PT3-12-4	-2	-4	50	1	10	0.8	300	15	2	50	13	300	220	0.25	0.25	165	1500	150	14	0.25	10	45.4	4.3	41.1	46.7	0.4	106.0	99.0	93.2	1374.1	0.02	5yr	3.0/4	
PT3-14-6	-4	-6	50	1	5	0.1	1000	1	2.5	150	4.5	300	185	1	0.25	160	900	100	6	0.25	10.5								93.0	1325.1	0.02	5yr	3.0/4	
PT3-16-8	-6	-8	150	1	10	0.4	1100	0.5	2.5	150	0.25	300	145	0.25	0.25	145	700	150	7	0.25	14.5								92.3	1311.7	0.03	5yr	3.0/4	
PT3-18-10	-8	-10	200	1	10	0.6	1300	15	2	300	8	350	80	0.25	0.5	125	550	150	3.5	0.5	16.5								93.2	1359.3	0.02	5yr	3.0/4	
PT3-110-12	-10	-12	750	6	60	1	2700	2	5.5	1000	35	400	55	2	2.5	410	600	100	21	2.5	47	50.9	2.6	48.3	51.1	1.4	37.6	94.8	80.2	405.2	0.07	5yr	2.5/1	
PT3-112-14	-12	-14	500	2	40	0.8	3100	15	3	600	20	450	54	2	1.5	340	550	150	19.5	1.5	41								83.7	513.6	0.06	5yr	2.5/1	
PT3-114-16	-14	-16	250	1	35	0.4	4800	0.5	0.5	500	3	700	25	1.5	0.25	220	300	200	43	1	26								83.3	837.4	0.04	5yr	2.5/1	
PT3-116-18	-16	-18																												81.7	1111.4	0.03	5yr	2.5/2
PT3-118-20	-18	-20	300	1	55	0.6	6600	0.5	0.5	1250	17.5	900	10	2	0.5	170	200	200	65	1	19								92.4	1215.4	0.03	5yr	2.5/2	
PT3-120-22	-20	-22																												92.3	1315.7	0.04	5yr	3.0/3
PT3-122-24	-22	-24	400	6	65	0.2	7300	1	0.5	2200	15.5	1000	9	2	0.25	275	250	250	67	1	13.5								92.3	1312.4	0.03	1.5yr	2.5/3	
PT3-124-26	-24	-26																												92.7	1276.4		5yr	2.5/2
PT3-128-30	-28	-30	450	1	50	1.2	5700	9	2.5	1500	12	700	21	2.5	7.5	280	250	300	47	2	16	45.7	4.3	41.4				96.2	92.6	1253.7	0.04	1.5yr	2.5/3	
PT3-130-32	-30	-32																												87.0	669.8	0.08	1.5yr	2.5/1
PT3-136-36	-36	-38	650	1	65	0.2	7800	2.5	2.5	1100	0.5	650	5	2	0.25	265	50	200	64	4	4.5	50.1	4.8	45.3	51.7	1.6	33.3	96.3	86.2	622.2	0.10	1.5yr	2.5/1	
PT3-138-40	-38	-40																												86.3	629.8	0.03	1.5yr	2.5/1
PT3-142-44	-42	-44	500	1	55	0.6	7000	15	1.5	300	0.5	600	3	3	0.25	235	50	200	53	3.5	3	49.7	5.9	43.8	51.5	1.6	32.6	96.7	88.1	740.7	0.03	1.5yr	2.5/1	
PT3-144-46	-44	-46																												87.0	666.4	0.11	1.5yr	2.5/1
PT3-152-54	-52	-54	600	1	60	0.6	7500	15	2	950	5.5	600	3	3	0.25	240	25	200	55	5	2.5	43.3	7.3	42.6	50.3	1.4	35.9	96.5	87.5	703.0	0.03	10yr	2.0/1	
PT3-154-56	-54	-56																												88.4	758.5	0.07	10yr	2.0/1
PT3-160-62	-60	-62	550	2	60	0.2	8500	15	1.5	950	0.25	700	2	2	0.5	200	25	250	62	4.5	2	49.5	5.0	44.5	49.2	1.3	38.7	92.6	89.7	867.0	0.07	1.5yr	2.5/1	
PT3-162-64	-62	-64																												91.0	1007.3	0.06	1.5yr	2.5/1
PT3-170-72	-70	-72	500	1	65	0.2	8500	1	1.5	300	0.25	700	3	1.5	1	205	50	150	57	4.5	4	48.2	6.4	47.8	43.3	1.2	33.8	96.0	89.1	819.5	0.06	1.5yr	2.5/1	
PT3-172-74	-72	-74																												89.8	882.1	0.05	1.5yr	2.5/1
PT3-182-84	-82	-84	450	1	60	0.6	8100	1	2	1050	11	700	4	2.5	1.5	245	50	200	62	2.5	5	47.1	6.6	40.5	47.6	1.1	45.3	96.1	90.8	987.5	0.05	10yr	2.0/1	
PT3-184-86	-84	-86																												88.3	739.5	0.13	1.5yr	2.5/1
PT3-1100-102	-100	-102	500	1	55	0.1	6700	15	6	800	5.5	550	4	3	0.5	240	50	150	50	3	3.5	43.2	3.4	45.8	50.0	1.8	27.8	91.9	87.5	637.5	0.11	1.5yr	2.5/1	
PT3-1102-104	-102	-104																												86.1	619.6	0.12	1.5yr	2.5/1
PT3-1120-122	-120	-122	550	1	60	0.1	6700	15	2.5	850	0.5	550	1	3.5	0.5	250	25	200	46	6	2	50.5	5.3	45.2	51.5	1.8	28.0	96.8	87.4	694.8	0.03	1.5yr	2.5/1	
PT3-1122-124	-122	-124																												87.9	725.2	0.10	10yr	2.0/1
PT3-1154-156	-154	-156	250	1	35	0.6	5000	1	0.5	550	0.25	400	1	2.5	0.5	75	25	50	39	1.5	0.25	50.4	7.7	42.7	51.0	1.1	48.1	95.8	83.3	891.4	0.07	10yr	2.0/1	
PT3-1156-158	-156	-158																												89.3	887.1	0.06	10yr	2.0/1
PT3-1175-180	-175	-180	350	1	45	0.4	11200	2	9.5	850	0.25	800	16	6	0.5	125	50	50	61	3	2.5	47.7	5.0	42.7	49.2	1.1	44.7	94.9	91.9	1127.2	0.05	10yr	2.0/1	
PT3-1230-235	-230	-235	150	1	35	0.2	3900	15	2	750	6	700	6	7	0.25	75	25	50	50	2	3									95.2	1970.5	0.02	1.5yr	2.5/1
PT3-1260-265	-260	-265	350	2	20	0.1	4600	2.5	8.5	1650	2.5	250	3	13.5	2	45	25	50	23	56	7	47.7	18.5	29.2	49.5	1.8	27.5	92.3	91.4	1062.8	0.06	10yr	2.0/1	
PT3-1280-285	-280	-285	4700	28	45	0.4	8200	23	83	3700	0.25	600	3	24	3	450	150	25	42	65	10.5	47.2	3.1	44.1	48.6	3.0	16.5	82.1	88.6	776.2	0.10	10yr	2.0/1	
PT3-1300-305	-300	-305	8800	16	45	0.2	7500	68	67	2400	0.25	550	10	9.5	13.5	540	150	25	60	130	20	47.0	3.7	43.3	47.0	2.3	16.3	88.3	87.3	687.3	0.12	10yr	2.0/1	
PT3-1310-313	-310	-315	300	2	3	3.6	1200	11.5	2	600	4	700	50	0.5	6.5	270	1550	350	13.5	1.5	15	26.1	0.9	25.2	35.1	2.2	16.0	56.6	82.4	467.0	0.23	10yr	2.0/1	

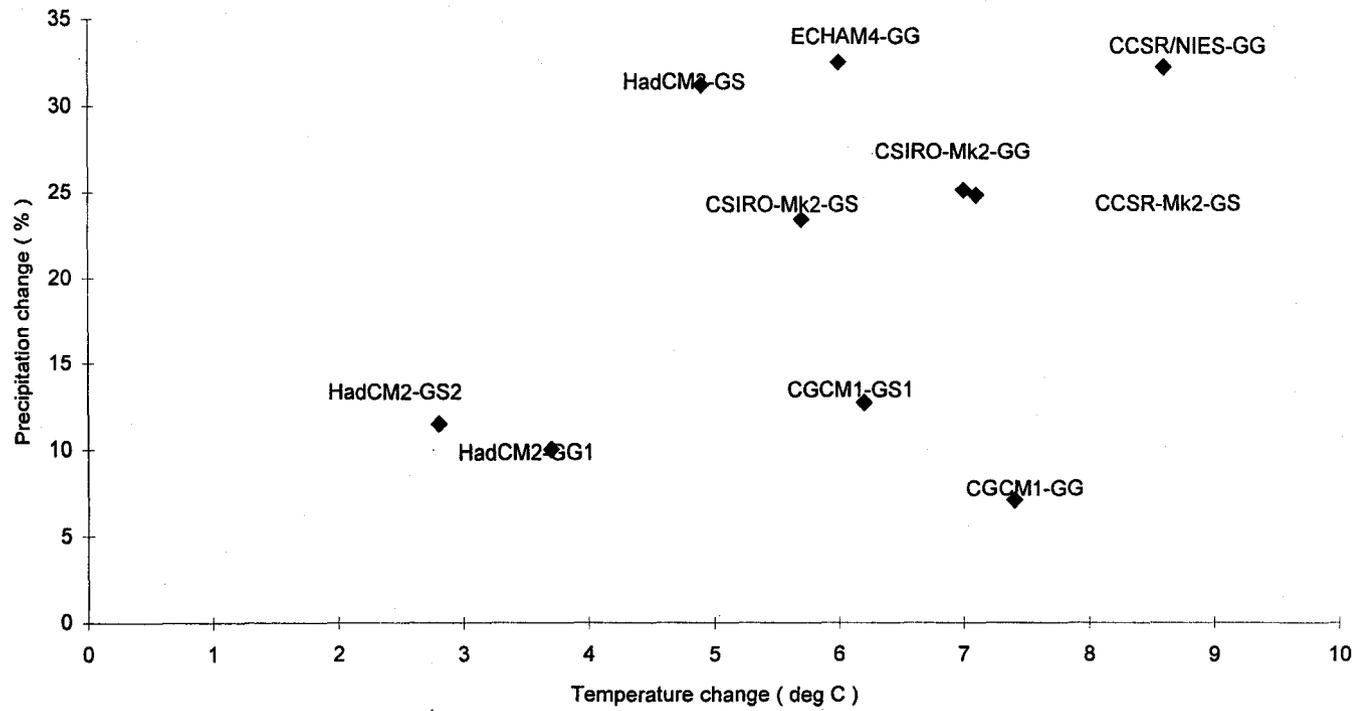
SAMPLE	From	To	Al	As	Ba	Cd	Ca	Cr	Cu	Fe	Pb	Mg	Mn	Mo	Ni	P	K	Na	Sr	V	Zn	%Tot C-GSC	%Inorg C	%Org C	%C-INRS	%N-INRS	C/N	%LOI	%M oist, wet	%Moist, dry	Bulk Den	Chroma	Huc	
PTS-10-2	0	-2	500	1	20	4.2	1400	4.5	2	2400	1.5	750	60	0.25	1	380	650	450	16	1.5	29								91	974.232	0.0472	7.5yr	2.5/1	
PTS-12-4	-2	-4	500	1	25	1.8	1000	2.5	1	3800	14	450	21	0.25	0.25	425	450	200	17.5	2	17	48	1.1	46.9	47.74	1.33	35.9	92	87	689.066	0.1117	7.5yr	2.5/1	
PTS-14-6	-4	-6	450	8	20	0.8	950	1.5	0.5	2800	10	450	21	0.25	0.25	415	300	150	13.5	1.5	12.5								85	583.422	0.14275	7.5yr	2.5/1	
PTS-16-8	-6	-8	300	1	15	0.6	950	0.5	0.5	1750	4.5	500	4	0.25	0.25	220	100	150	15	0.5	10								88	752.244	0.10204	7.5yr	2.5/1	
PTS-110-12	-10	-12	350	1	20	0.2	1400	1.5	0.5	1500	12.5	650	4	0.25	0.25	220	50	25	22	0.5	12	46	6.6	39.4	47.39	0.67	70.7	98	91	954.973	0.07036	7.5yr	2.5/1	
PTS-112-14	-12	-14	300	1	15	0.2	1450	0.5	0.25	950	0.5	700	3	0.5	0.5	125	25	50	27	0.5	10								91	1020.65	0.06285	7.5yr	2.5/2	
PTS-114-16	-14	-16	300	1	15	0.1	1400	0.5	0.25	1000	2	700	3	0.5	1	135	25	50	14.5	0.5	3								91	1061.87	0.08575	7.5yr	2.5/1	
PTS-116-16	-16	-18	400	1	15	0.2	1400	1	0.5	1000	0.5	600	7	1.5	0.25	165	25	25	16.5	0.5	8.5								90	866.988	0.09243	7.5yr	2.5/2	
PTS-118-20	-18	-20	400	2	15	0.6	1250	0.5	0.5	950	0.25	600	13	1	1.5	195	50	50	16	0.5	7.5								89	807.165	0.08168	7.5yr	2.5/1	
PTS-120-22	-20	-22	350	1	10	0.2	1300	1	0.5	1100	6	650	3	0.5	0.25	155	25	150	21	0.5	17.5								91	994.643	0.07125	7.5yr	2.5/1	
PTS-122-24	-22	-24	300	1	10	0.4	1400	0.5	0.25	1050	0.25	700	3	0.5	0.25	130	25	50	16	0.5	6	45	2.1	42.9	46.22	0.41	113	99	93	1274.77	0.06807	7.5yr	2.5/1	
PTS-124-26	-24	-26	350	1	10	0.1	1300	1	0.25	1100	0.25	600	3	2	0.25	145	25	100	18	0.5	6.5								92	1160.41	0.07392	7.5yr	2.5/1	
PTS-126-28	-26	-28																												92	1131.83	0.08193	7.5yr	2.5/1
PTS-134-36	-34	-36	250	2	5	0.1	650	0.5	1.5	650	1.5	300	3	0.25	0.25	175	25	50	13	0.5	4	48.9	3.3	45.6	50.05	1.46	34.3	98	89	784.572	0.13524	7.5yr	2.5/2	
PTS-136-38	-36	-38																												84	529.398	0.21552	7.5yr	2.5/2
PTS-148-50	-48	-50	300	1	5	0.1	800	0.5	0.5	900	0.25	350	3	0.25	0.5	170	25	50	11	0.5	2	90.8	4.3	46.5	53.46	1.25	42.8	99	88	708.425	0.15102	7.5yr	2.5/1	
PTS-150-52	-50	-52																												87	689.164	0.13855	7.5yr	2.5/1
PTS-172-74	-72	-74	400	1	15	0.2	850	0.5	0.5	1200	2.5	450	3	0.25	0.25	145	25	25	16.5	0.5	1	52.3	2.9	49.4	54.15	1.22	44.4	99	88	725.998	0.11734	10yr	2.0/1	
PTS-174-76	-74	-76																												89	820.75	0.09504	7.5yr	2.5/1
PTS-182-84	-82	-84	400	1	10	0.6	1100	0.5	0.25	1500	0.25	600	4	1.5	0.25	140	25	50	19.5	0.5	0.25	50.2	3.4	46.8	52.73	1	52.7	99	90	912.112	0.08613	10yr	2.0/1	
PTS-184-86	-84	-86																												91	988.275	0.07595	10yr	2.0/1
PTS-1104-106	-104	-106	350	1	15	0.1	1450	1.5	0.5	2500	0.25	800	8	0.25	0.25	120	25	100	26	1.5	0.25	48.3	4.1	44.2	50.22	0.73	63.6	99	93	1257.09	0.06819	7.5yr	2.5/1	
PTS-1106-108	-106	-108																												91	1068.57	0.09351	7.5yr	2.5/1
PTS-1122-124	-122	-124	450	1	15	1	1200	2	1.5	2100	0.25	600	7	0.5	0.5	155	25	50	21	2	0.5	50.4	4.2	46.2	51.69	1.17	44.2	98	92	1148.65	0.07087	10yr	2.0/1	
PTS-1124-126	-124	-126																												90	871.075	0.10293	7.5yr	2.5/1
PTS-1142-144	-142	-144	800	1	20	0.1	1400	2.5	1	2300	0.25	450	8	0.25	0.5	170	25	100	26	3.5	6	52.6	4.6	48	54.75	1.35	40.6	98	88	763.614	0.1014	7.5yr	2.5/1	
PTS-1144-146	-144	-146																												89	779.239	0.12379	10yr	2.0/1
PTS-1158-160	-158	-160	700	1	20	0.2	1250	2.5	5	2100	0.25	400	8	1.5	1	185	25	100	24	2.5	1.5	53.1	3.7	49.4	55.29	1.9	29.1	98	88	749.255	0.11959	7.5yr	2.5/1	
PTS-1160-162	-160	-162																												88	740.193	0.07913	7.5yr	2.5/1
PTS-1175-180	-175	-180	1800	2	20	0.2	1050	5.5	10.5	1850	2.5	300	11	0.25	4.5	220	25	25	20	6	3	52.8	2	50.8	55.11	2.18	25.2	98	87	647.638	0.1366	7.5yr	2.5/1	

SAMPLE	From	To	Al	Ar	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	Pb	Mg	Mn	Na	Ni	P	K	Ne	Sr	V	Zn	%Tot GSC	%Inorg C	%Org C	%N INRS	%N INRS	C/N	%LOI	%Moist, wet	%Moist, dry	Bulk Den	Chroma	Hue		
	cm	cm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm														
PT6 0-2	0	-2	12900	16	95	0.4	6400	115	97	4390	0.25	1300	28	17.5	17	730	450	25	64	320	42	44.9	1.1	43.8	44.91	1.07	42.0	98.00	91.0	1013.4	0.06	7.5yr	3.0f2	
PT6 2-4	-2	-4	200	1	5	2	1250	3.5	4.5	700	5.5	800	30	0.5	1.5	275	1450	200	9.5	2	18.5													
PT6 4-6	-4	-6	250	1	2.5	1	1050	2	2	450	9.5	700	44	0.25	0.5	145	550	150	13.5	0.5	13													
PT6 6-8	-6	-8	250	1	2.5	0.6	1290	1.5	2.5	400	10	750	26	0.5	0.25	110	450	200	11	0.5	13	45.4	1.5	41.9	42.51	0.49	88.8	98.00	93.8	1513.1	0.06	7.5yr	2.5f2	
PT6 8-10	-8	-10	200	12	5	0.6	1100	1.5	4	350	18	700	19	1.5	0.5	110	200	100	12	0.5	14.5													
PT6 10-12	-10	-12	200	1	5	0.6	1100	1.5	1.5	400	21	700	12	0.25	0.25	95	150	50	9.5	0.5	21	44.3	1.9	42.4	44.94	0.67	67.1	98.70	92.9	1549.2	0.05	7.5yr	2.5f2	
PT6 12-14	-12	-14	200	1	5	1	1250	1.5	0.5	650	22	800	17	1	0.5	132	250	100	16.5	0.5	17.5													
PT6 14-16	-14	-16	200	1	5	1	1200	1.5	0.5	800	12	800	14	0.5	0.5	195	250	50	13.5	0.25	19.5	44	1.8	42.2	46.63	1	46.6	98.70	94.2	1632.7	0.06	7.5yr	2.5f2	
PT6 16-18	-16	-18	250	6	5	1.2	1250	1.5	0.5	200	12.5	300	7	0.25	0.5	250	300	100	16	0.25	19.5													
PT6 18-20	-18	-20	350	1	5	0.8	1150	1.5	1	500	12	600	3	0.25	0.5	275	200	150	17	0.5	14													
PT6 20-22	-20	-22	400	1	5	0.2	1100	1	1	500	4	500	3	0.25	0.5	395	150	50	17.5	0.5	11	48.1	4.1	44	48.34	1.61	20.0	96.90	86.4	635.4	0.16	7.5yr	2.5f1	
PT6 22-24	-22	-24	300	4	5	0.1	950	0.5	0.5	300	0.25	450	2	0.25	0.5	340	100	25	15	0.5	8													
PT6 24-26	-24	-26	400	1	5	0.2	1200	1	2	350	1.5	550	3	2.5	0.25	270	50	50	12	0.5	9	48.1	7.5	40.6	48.39	1.47	32.9	98.20	87.5	701.2	0.10	10yr	2.0f1	
PT6 26-28	-26	-28	600	1	10	0.6	1700	1	2	450	0.25	650	4	1	0.25	205	50	50	14.5	0.5	7.5													
PT6 28-30	-28	-30	500	1	10	0.1	1500	1	6.8	400	1	600	3	1.5	1	210	50	50	18	0.5	7.5													
PT6 30-32	-30	-32	500	1	10	0.4	1550	0.5	15	450	0.25	650	3	0.25	0.5	180	25	50	16.5	0.5	6.5	45.9	7.1	41.8	49.74	1.21	40.3	98.50	88.3	754.1	0.11	7.5yr	2.5f1	
PT6 32-34	-32	-34	500	1	10	0.2	1500	0.5	1	450	2.5	600	2	1	0.25	180	50	50	15	0.5	5.5													
PT6 34-36	-34	-36	400	1	10	0.1	1700	0.5	1.5	450	0.25	650	2	1	0.25	160	25	25	15	0.5	6													
PT6 42-44	-42	-44	350	1	10	0.1	1600	0.5	12.5	400	2	600	1	1	0.25	145	25	50	17.5	0.5	4.5	49.1	4.8	44.3	48.7	1.09	44.7	98.80	90.0	901.7	0.12	7.5yr	2.5f1	
PT6 44-46	-44	-46																																
PT6 50-52	-50	-52	300	1	10	0.6	1600	0.5	6	400	3.5	550	1	0.5	0.25	145	25	50	13	0.5	3.5	49	9.2	39.6	50.52	1.24	40.7	98.40	91.0	1002.2	0.10	7.5yr	2.5f1	
PT6 52-54	-52	-54																																
PT6 62-64	-62	-64	300	1	5	0.6	1500	0.5	4.5	350	4	500	0.5	0.5	0.25	140	25	50	21	0.5	3	49.5	2.2	46.2	48.2	0.97	49.8	98.60	91.2	1028.5	0.09	7.5yr	2.5f1	
PT6 64-66	-64	-66																																
PT6 90-92	-90	-92	500	1	5	0.1	2300	0.5	9.5	550	3.5	550	1	1.5	0.5	130	25	100	21	0.5	2.5	50.1	2.1	48	49.53	0.94	52.7	98.10	90.2	924.1	0.09	7.5yr	2.5f1	
PT6 92-94	-92	-94																																
PT6 110-112	-110	-112	250	1	5	0.2	2800	0.5	16	600	0.5	600	1	2	1.5	80	25	100	21	0.25	1.5	49.2	4.6	43.6	48.84	0.81	60.2	98.80	93.4	1423.6	0.06	7.5yr	2.5f1	
PT6 112-114	-112	-114																																
PT6 130-132	-130	-132	200	1	5	0.1	3500	1	7	700	2	600	3	0.25	0.25	70	25	50	22	0.25	1.5	46.1	6.2	39.9	47.25	0.88	53.7	98.40	94.0	1560.0	0.07	7.5yr	3.0f1	
PT6 132-134	-132	-134																																
PT6 154-156	-154	-156	400	1	10	0.1	4700	0.5	6.5	950	0.25	950	5	2	0.25	110	25	50	28	0.5	0.5	59.4	4.7	49.7	49.14	0.91	54.0	97.60	91.7	1102.5	0.05	7.5yr	2.5f1	
PT6 156-158	-156	-158																																
PT6 210-215	-210	-215	300	1	10	0.1	4800	1	7	1050	0.5	950	5	0.5	0.5	115	25	50	31	0.5	2	48.7	5.1	43.6										
PT6 230-235	-230	-235	400	1	15	0.2	5700	1.5	12.5	1450	0.25	400	6	2.5	2	120	25	25	34	0.5	2.5	50.2	8.4	41.8	49.73	1.54	32.2	97.10	90.6	964.7	0.07	7.5yr	2.5f1	
PT6 255-260	-255	-260	350	1	20	0.2	9400	2	7	2800	0.25	450	9	1.5	2	160	25	50	55	0.5	1	49.7	5.5	44.2	50.03	2.12	23.6	96.60	90.3	932.4	0.10	10yr	2.0f1	
PT6 280-285	-280	-285	450	1	20	0.6	11400	2.5	19	4000	0.25	450	12	4.5	2.5	155	25	50	60	1.5	0.25	49	7.5	41.5	48.57	2.24	21.7	95.20	89.5	895.5	0.09	10yr	2.0f1	
PT6 305-310	-305	-310	350	1	25	0.2	10300	3	14.5	4700	0.25	400	14	4.5	2.5	165	25	50	49	4.5	1.5	50.3	6.9	43.4	49.43	2.12	23.2	95.00	89.3	835.4	0.08	10yr	2.0f1	
PT6 320-325	-320	-325	1600	1	40	0.1	13600	13.5	22	7200	0.25	500	20	15.5	6.5	230	25	50	69	39	2.5	47.8	13.7	34.1	45.94	2.2	20.7	91.30	89.5	852.8		10yr	2.0f1	

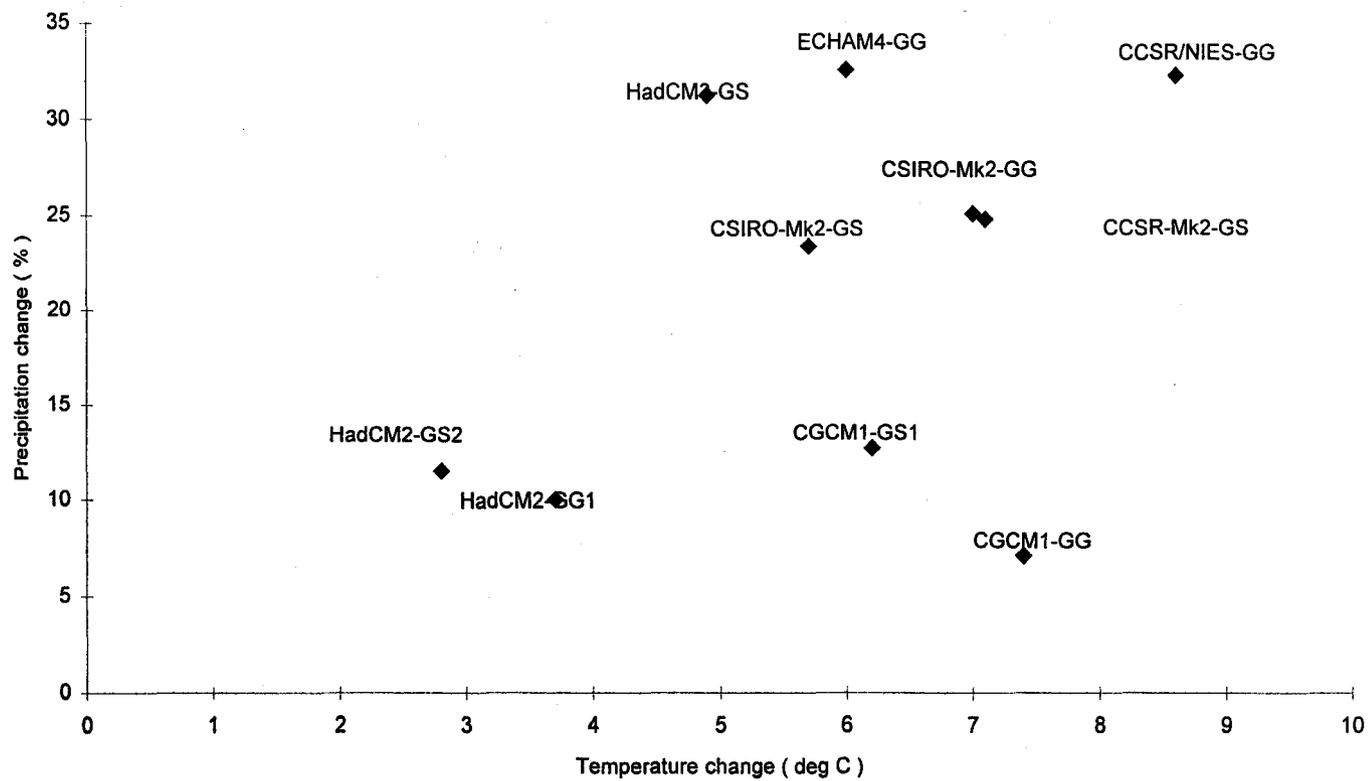
ANNEXE 9

**Changements potentiels en terme de températures
et de précipitations selon les différents modèles climatiques**

Change in average annual temperature and precipitation for 2080s relative to 1961-1990 for La Grande Riviere



Change in average annual temperature and precipitation for 2080s relative to 1961-1990 for La Grande Riviere



Change in average annual temperature and precipitation for 2080s relative to 1961-1990 for La Grande Riviere

