

Université Laval  
Université du Québec  
INRS-Géoressources

**ÉVOLUTION GÉOCHIMIQUE HOLOCÈNE  
DE DEUX PETITS BASSINS LACUSTRES EN HUDSONIE**

Par  
Magella Pelletier

Dépôt final  
Mémoire du grade de Maître ès sciences (M. Sc.)

4 mai 1998

© droits réservés de *Magella Pelletier* 1998

## RÉSUMÉ

Depuis quelques années, l'idée de mettre en chantier un nouveau complexe hydroélectrique sur le parcours de la Petite rivière de la Baleine, sur le territoire de la Baie d'Hudson, a permis d'ouvrir une voie vers l'acquisition de nouvelles connaissances et l'identification du potentiel socio-économique de cette région nordique. La construction et la mise en eau de centrales hydro-électriques éveillent de nombreuses inquiétudes et interrogations sur les risques environnementaux pouvant survenir à ces milieux, principalement à cause de l'augmentation relativement importante des concentrations en mercure dans les eaux de retenue et dans l'écosystème s'alimentant dans ces milieux. Certaines études démontrent que la présence de mercure dans les sédiments superficiels de plusieurs lacs du Grand-Nord québécois peut être d'origine anthropique. Ces apports anthropiques seraient transportés vers les milieux lacustres par les vents dominants provenant des zones industrielles situées au sud-ouest de la Baie James. Toutefois, il existe peu d'observations sur les teneurs en mercure, plomb et arsenic autochtone (pré-anthropique) de ces sédiments et sur l'impact des processus diagénétiques sur la distribution des métaux lourds dans la colonne sédimentaire.

Dans l'actuel projet de recherche, l'étude de la géochimie des sédiments de deux petits lacs situés à proximité de la Petite rivière de la Baleine permet de documenter relativement facilement, de la période postglaciaire à aujourd'hui, l'évolution géochimique globale des apports aux bassins sédimentaires de ces lacs. Il est d'ailleurs possible d'estimer la charge détritique apportée aux sédiments lacustres à environ 12 % et 24 %, en utilisant les concentrations en sodium qui ne sont pas affectées par le processus de diagénèse précoce des sédiments. D'ailleurs, les très faibles rapports Ta/La et Hf/Sm calculés dans la gyttja suggèrent que la source des particules détritiques silicatées de la gyttja serait des roches felsiques locales tandis que la source des sédiments glacio-lacustres serait des roches ignées avec une contribution basaltique.

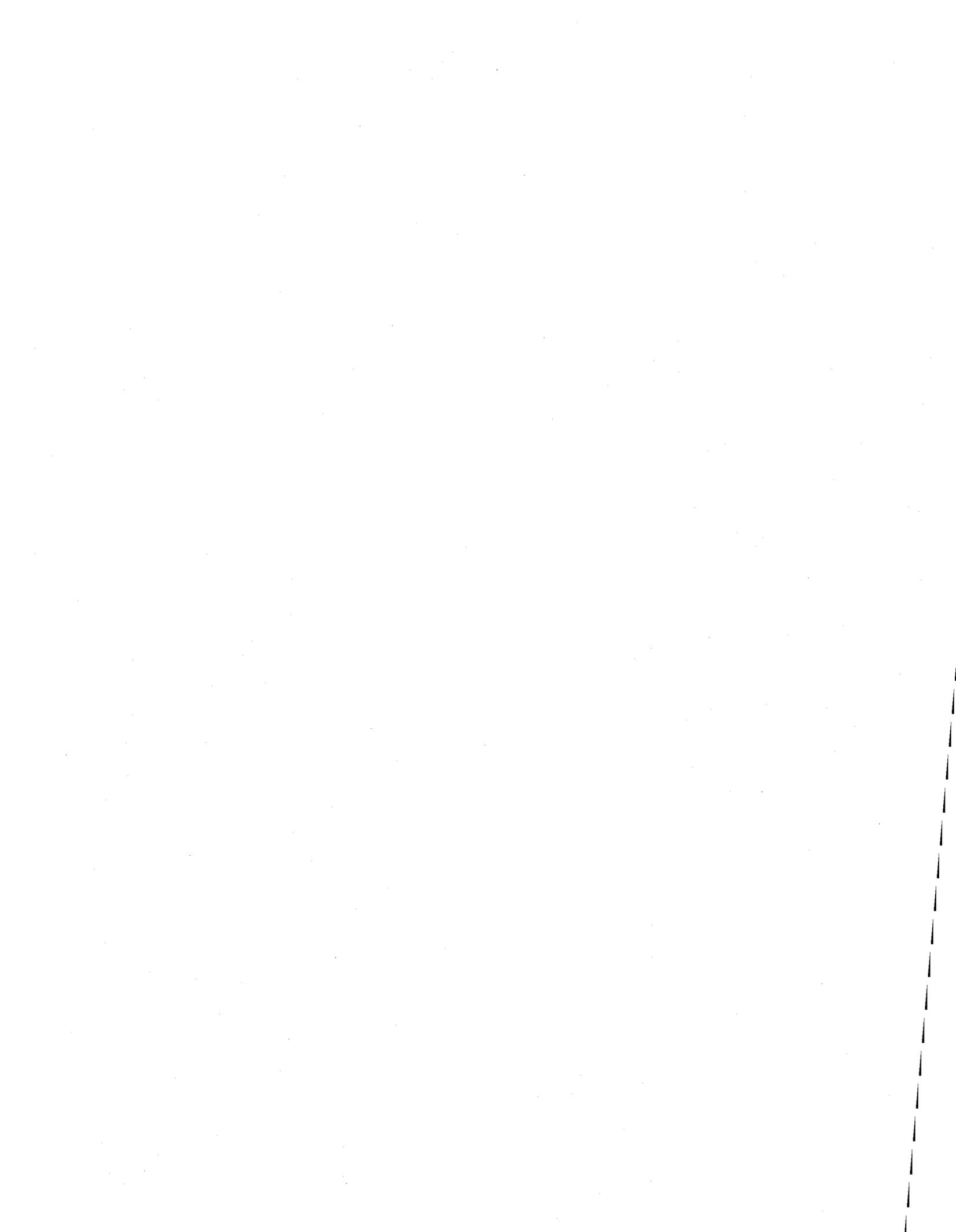
La fraction détritique des sédiments présente des variations géochimiques particulièrement importantes. Dans la séquence sédimentaire de la gyttja, on observe plusieurs variations significatives des concentrations élémentaires. Par exemple, l'enrichissement des teneurs en Na, Ca, Rb, Cr et

terres rares suggère un accroissement de la charge sédimentaire terrigène qui est possiblement lié à l'évolution de la bathymétrie de ces lacs. La diagénèse précoce, processus de dégradation de la matière organique dans la zone d'oxydoréduction du sédiment, semble être à l'origine d'une augmentation des concentrations en fer et d'une diminution du rapport C/N des sédiments. Cette zone d'oxydoréduction du sédiment est assez bien définie par l'augmentation du rapport Th/U et aussi par les fortes abondances en Fe et Co. Lequel rapport Th/U est principalement contrôlé par la grande mobilité de l'uranium par rapport au Th, qui est un élément très réfractaire contenu dans les minéraux silicatés.

D'une part, les fortes corrélations Sc-terres rares légères et Cr-terres rares légères sont pratiquement identiques entre 0-20 cm et 20-70 cm de profondeur et montrent ainsi que les terres rares légères ne sont pas influencées par la diagénèse précoce des sédiments. D'autre part, l'intempérisme chimique du bassin versant peut être un facteur important qui influence la composition géochimique des sédiments. D'ailleurs, l'évolution des rapports élémentaires comme Na/Ca, Na/Sr, Rb/Sr, Ca/Sr dans la gyttja montre que les conditions d'intempérisme chimique augmentent progressivement dans la gyttja comparativement aux rapports observés dans les argiles glacio-lacustres qui sont caractérisés par des valeurs se rapprochant de celles observées dans les roches ignées intermédiaires et felsiques relativement fraîches. De plus, l'abondance en terres rares dans la fraction silicatée détritique de la gyttja semble être le reflet du processus d'enrichissement en métaux réfractaires dans les sols au moment de leurs formations, Ces composés réfractaires (terres rares, Cr, Sc, Zr, Hf et Al) pourraient être quantitativement transportés vers les cours d'eau ou les lacs.

L'analyse des isotopes de plomb ( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) permet d'émettre l'hypothèse d'un apport anthropique atmosphérique à ces bassins. En effet, les rapports isotopiques du  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , entre l'interface eau-sédiment et 2 cm de profondeur, atteignent des valeurs voisines de 0,825, ce qui se rapproche considérablement de la valeur moyenne de 0,831 mesurée dans la troposphère de l'est de l'Amérique. De plus, la relation entre les rapports isotopiques  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  et  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  pour les premiers 2,5 cm de la carotte PBA-5 montre que les apports anthropiques seraient similaires à ceux

mesurés dans les sédiments du lac Érié. Toutefois, il demeure difficile de préciser l'importance relative de ces apports anthropiques qui semblent directement reliés aux pluies et à la neige qui sont transportées par les vents dominants provenant de l'ouest ou localement du nord-ouest.



## REMERCIEMENTS

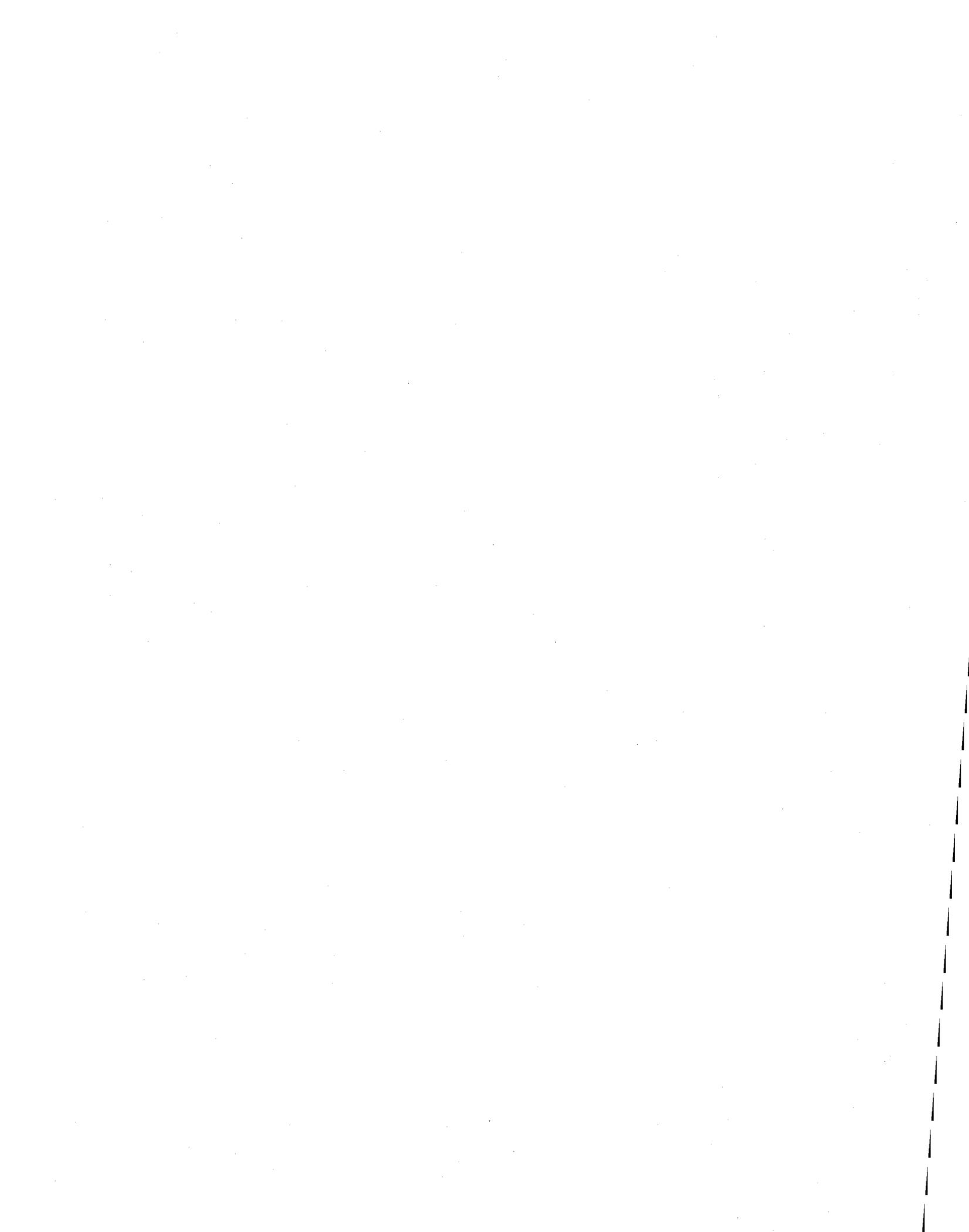
Je remercie mon directeur de mémoire, M. Marc Laflèche, professeur de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), pour son aide très précieuse dans la rédaction de ce rapport de recherche et pour son souci du détail et sa rigueur scientifique. Merci, pour tes conseils inestimables.

Je remercie également mon codirecteur, M. Michel Parent, chercheur du Centre géoscientifique de Québec (C.G.Q.), pour le prélèvement des carottes de sédiments.

Je tiens à souligner et à remercier la participation professionnelle de M. Normand Tassé, professeur de l'INRS et de M. Daniel Cossa, chercheur de l'IFREMER (France) pour la lecture et les critiques positives qu'ils ont fait sur ce document de recherche pour en améliorer la qualité.

Un merci particulier à M. Marc Choquette et à M. Marc-André Bérubé, professeurs du Département de géologie de l'Université Laval, pour leurs aides pour la réalisation des analyses à la micro-sonde et de l'examen des diatomées au microscope électronique et aussi à M. Pinetz, chercheur du Centre d'étude nordique, pour l'identification des diatomées.

Je voudrais également remercier la participation technique de M. Jules Bélanger (chimiste) et de M. Réal Gosselin, technicien de l'INRS, pour les analyses du mercure, des isotopes de plomb et des métaux et de Mme Huguette Pelletier, secrétaire, pour la correction linguistique du texte au moment de la rédaction finale de ce document.



## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b>	ii
<b>REMERCIEMENTS</b>	vi
<b>TABLE DES MATIÈRES</b>	viii
<b>LISTE DES FIGURES</b>	x
<b>LISTE DES PLANCHES</b>	xii
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	xii
<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>1 DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE</b>	3
1.1 Morphologie du bassin versant	3
1.2 Conditions climatiques	7
1.3 Contexte géologique régional	13
1.4 Géologie du quaternaire	15
1.5 Contexte géochimique régional	17
<b>2 MÉTHODOLOGIE</b>	19
2.1 Échantillonnage sur le terrain	19
2.2 Transport et conservation	19
2.3 Sous-échantillonnage des carottes	21
2.4 Analyses géochimiques et microscopiques	23
2.4.1 Éléments majeurs et en trace	24
2.4.2 Le mercure	24
2.4.3 Le carbone, l'azote et le soufre	26
2.4.4 Les isotopes du plomb	26
2.4.5 Datation $^{14}\text{C}$	27
2.4.6 La minéralogie des argiles	27
2.4.7 La texture de la gyttja	28
2.4.8 La densité de la gyttja	28
<b>3 PRÉSENTATION ET DESCRIPTION DES RÉSULTATS</b>	29
3.1 Sédiments du lac PBA-5	29
3.1.1 Structure et texture du sédiment	29

3.1.2	Composante organique	32
3.1.3	Composante minérale	32
3.1.4	Propriétés physiques du sédiment	35
3.1.4.1	Pourcentage d'humidité	35
3.1.4.2	Densité du sédiment	37
3.1.5	Composition chimique	37
3.1.5.1	Carbone, azote et soufre	37
3.1.5.2	Métaux, métalloïdes	42
3.2	Sédiments du lac PBA-3	62
<b>4</b>	<b>INTERPRÉTATION ET CONCLUSION</b>	<b>75</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>85</b>

## **ANNEXES**

- Annexe 1A - Résultats d'analyses géochimiques
- Annexe 1B - Résultats d'analyses géochimiques (Hg et Pb)
- Annexe 1C - Résultats d'analyses géochimiques (C, N, S)
- Annexe 2A - Contrôle de la qualité des analyses
- Annexe 2B - Contrôle de la qualité des analyses (Hg et Pb)
- Annexe 2C - Contrôle de la qualité des analyses (C, N, S)
- Annexe 3A - Datations <sup>14</sup>C
- Annexe 3B - Diffractogrammes des rayons-x (argile)
- Annexe 3C - Spectres d'énergie des rayons-x (gyttja)
- Annexe 3D - Calcul de la densité
- Annexe 3E - Matrices des coefficients de corrélation (PBA-5)

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I

Figure 1.1	Localisation du bassin hydrographique de la Petite rivière de la Baleine.	4
Figure 1.2	Localisation et principaux toponymes de la région de la Petite rivière de la Baleine et des lacs PBA-3, PBA-5.	5
Figure 1.3A	Vue aérienne du lac PBA-3.	6
Figure 1.3B	Vue aérienne du lac PBA-5.	6
Figure 1.4	Marnage de trois lacs de la région de la Petite rivière de la Baleine.	10
Figure 1.5	Limite de la forêt boréale.	11
Figure 1.6	Provenance des vents dans le secteur de la Petite rivière de la Baleine.	12
Figure 1.7	Géologie générale du secteur de la Petite rivière de la Baleine.	14
Figure 1.8	Direction des mouvements glaciaires dans la région de la Petite rivière de la Baleine.	16

### CHAPITRE II

Figure 2.1	Organigramme de la démarche méthodologique pour l'échantillonnage, le transport, la préservation et l'analyse chimique des sédiments des lacs PBA-3 et PBA-5.	20
Figure 2.2	Guillotine pour le sous-échantillonnage des sédiments.	22
Figure 2.3	Répartition des sous-échantillons effectuée pour chaque tranche de sédiment.	23

### CHAPITRE III

Figure 3.1.1	Stratigraphie de la carotte de sédiment PBA-5.	30
Figure 3.1.2	Pourcentage d'humidité dans les sédiments de la carotte PBA-5.	36
Figure 3.1.3	Variations des pourcentages en carbone, azote et soufre dans les sédiments de la carotte PBA-5.	39
Figure 3.1.4	Variations de rapport carbone/azote dans les sédiments de la carotte PBA-5.	40

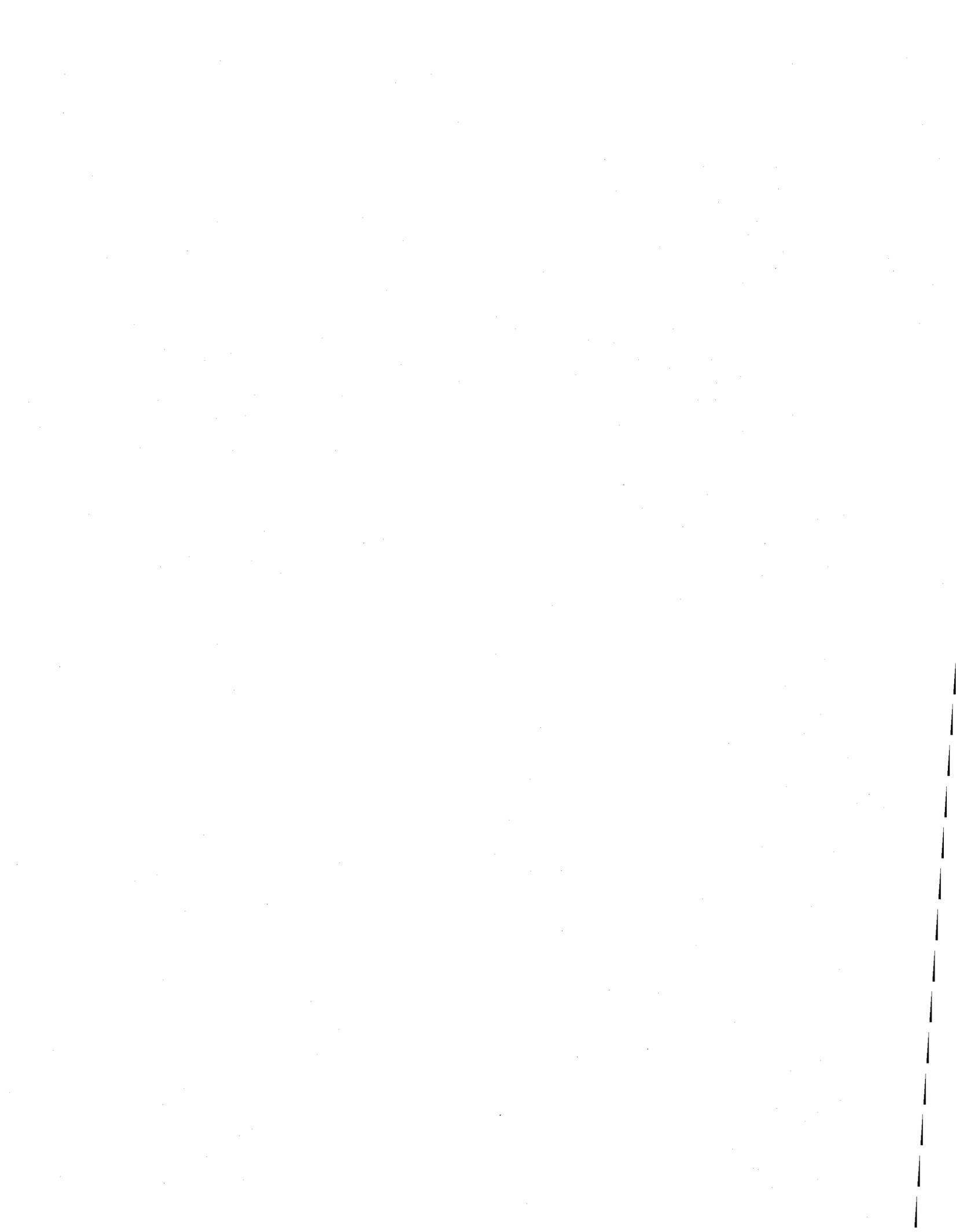
Figure 3.1.5	Distribution des métaux alcalins et alcalino-terreux dans les sédiments de la carotte PBA-5.	43
Figure 3.1.6	Distribution des métaux lourds dans les sédiments de la carotte PBA-5.	44
Figure 3.1.7	Distribution des terres rares dans les sédiments de la carotte PBA-5.	46
Figure 3.1.8	Variations du rapport Th/U dans les sédiments de la carotte PBA-5.	48
Figure 3.1.9	Distribution des métalloïdes dans les sédiments de la carotte PBA-5.	49
Figure 3.1.10	Distribution du Hg <sub>ext</sub> et du Pb <sub>ext</sub> dans les sédiments du lac PBA-5.	50
Figure 3.1.11A	Distribution du rapport $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ pour les sédiments de la carotte PBA-5.	51
Figure 3.1.11B	Relation entre le rapport $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ et le rapport $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ pour les sédiments de la carotte PBA-5.	51
Figure 3.1.12	Diagramme des terres rares normalisées au NASC.	57
Figure 3.2.1	Stratigraphie de la carotte de sédiments PBA-3.	64
Figure 3.2.2	Pourcentage d'humidité dans les sédiments de la carotte PBA-3.	65
Figure 3.2.3	Pourcentage en carbone et azote dans les sédiments de la carotte PBA-3.	66
Figure 3.2.4	Distribution des terres rares dans les sédiments de la carotte PBA-3.	67
Figure 3.2.5	Distribution du mercure extractible et de l'arsenic dans les sédiments de la carotte PBA-3.	68
Figure 3.2.6	Moyenne mobile du profil des concentrations en Na et des rapports C/N et Th/U	73
<b>CHAPITRE IV</b>		
Figure 4.1	Pourcentage de particules détritiques dans la gyttja du lac PBA-5 estimé à l'aide du pourcentage en Na <sub>2</sub> O.	77
Figure 4.2	Rapport Hf/Sm et Ta/(La/100) carotte PBA-5	78
Figure 4.3	Rapport Cs/(Cs/100) et (Na/100)/Sr carotte PBA-5	82
Figure 4.4	Rapport isotopique du plomb près de l'interface eau-sédiment dans la carotte de sédiments du lac PBA-5.	83

## LISTE DES PLANCHES

Planche 1	Espèces de diatomées et grains terrigènes dans les sédiments du lac PBA-5.	33
Planche 2	Espèces de diatomées et insecte dans les sédiments du lac PBA-3.	34

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Températures et précipitations mensuelles moyennes pour la période de 1960 à 1989 à la station de Kuujjarapik.	8
Tableau 1.2	Statistiques descriptives de la géochimie des tills.	18
Tableau 2.1	Description des méthodes analytiques pour chacun des paramètres analysés et du nombre de sous-échantillons utilisés pour chacune des carottes de sédiment des lacs PBA-3 et PBA-5.	25
Tableau 3.1.1	Matrice de corrélation des sédiments du lac PBA-5.	52
Tableau 3.1.2	Analyse factorielle des sédiments du lac PBA-5.	53



## INTRODUCTION

Au nord de la Baie James, la région de la Baie d'Hudson présente encore aujourd'hui un territoire presque inexploré pour ses richesses naturelles et économiques. Ces terres rendues hostiles par la rigueur du climat demeurent isolées des grands centres urbains par l'absence de routes ou de voies ferrées.

Depuis quelques années, l'idée de mettre en chantier un nouveau complexe hydro-électrique sur le parcours de la Petite rivière de la Baleine (PBA) et de la Grande rivière de la Baleine (GRB) a permis d'ouvrir une voie vers ces territoires, afin de mieux les connaître et d'en identifier le potentiel socio-économique. Toutefois, la construction et la mise en eau de centrales hydro-électriques éveillent de nombreuses inquiétudes et interrogations sur les risques environnementaux pouvant survenir à ce milieu. Notamment, après la mise en eau des barrages de la rivière la Grande, on a observé une augmentation relativement importante des concentrations en mercure dans les eaux de retenue et par conséquent, dans l'écosystème s'alimentant dans ce milieu (Abermathy et Cumbie, 1977; Hydro, 1993; Potter *et al.*, 1975). De nombreuses études ont permis de définir l'influence de ce polluant en termes de bioaccumulation et de bioamplification et de déterminer le temps de résidence du mercure dans le milieu (Hydro et Shooner, 1990; Jernelov et Lann, 1971; Pérusse, 1991; Potter *et al.*, 1975).

Ces études ont également démontré la présence de mercure anthropique dans les sédiments superficiels de plusieurs lacs du Grand-Nord québécois (Poissant et Béron, 1993). Ces apports au milieu lacustre, se faisant principalement par voie atmosphérique, seraient transportés par les vents dominants provenant des zones industrielles situées au sud-ouest de la Baie James. Toutefois, on trouve peu d'observations sur les teneurs en mercure, plomb et arsenic autochtone (pré-anthropique) de ces sédiments. De plus, l'impact des processus diagénétiques sur la distribution des métaux lourds est également très peu documenté dans les lacs du nord du Québec. L'absence presque complète de données sur ces processus ne permet pas de pondérer l'importance des apports anthropiques par rapport à ceux de sources naturelles.

L'actuel projet de recherche se propose d'apporter des informations pouvant aider à lever certaines interrogations sur les processus diagénétiques responsables du fractionnement de certains éléments chimiques dans les sédiments lacustres nordiques du Québec. Ce projet tend également à établir l'importance des apports anthropiques pour le mercure et pour d'autres métaux lourds présents dans les lacs nordiques. Pour répondre à ces objectifs, nous avons étudié la géochimie des sédiments de deux petits lacs situés à proximité de la Petite rivière de la Baleine. Le projet d'étude repose sur l'hypothèse selon laquelle la géochimie élémentaire et isotopique de ces sédiments pourrait permettre d'établir l'importance relative des apports en métaux lourds de sources atmosphériques anthropiques ou terrestres.

Ces lacs, choisis et échantillonnés par l'équipe pluridisciplinaire du projet Hudsonnie, possèdent des petits bassins versants situés à la tête des eaux et une géologie précambrienne relativement simple constituée de roches gneissiques et de granitoïdes. Ils ont été choisis principalement parce qu'ils sont éloignés des eaux marines de la Baie d'Hudson et des grands centres urbains. Ce choix géographique élimine la possibilité d'apports en métaux lourds anthropiques de sources directes ou ponctuelles. Ils furent également choisis à cause de leurs contenus sédimentaires, en l'occurrence une gyttja qui est définie comme un sédiment authigène riche en matières organiques et datable par le radiocarbone ( $^{14}\text{C}$ ). Ce type de sédiments et de bassins lacustres devrait permettre de suivre l'évolution géochimique des apports sédimentaires à travers plus de 7000 ans d'histoire.

Le premier chapitre de ce mémoire présente une brève description du milieu physique et climatologique. La démarche méthodologique et les protocoles d'échantillonnage et d'analyse sont discutés au chapitre II. Les résultats analytiques et les observations qui ont été effectuées sur les échantillons sont présentés au chapitre III avec quelques hypothèses de discussion. Enfin, le dernier chapitre (IV) combine l'interprétation et la synthèse des résultats.

## CHAPITRE I

### DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE

Cette section sur le milieu physique résume les connaissances disponibles sur les contextes géologiques et climatologiques du secteur de la Petite rivière de la Baleine. Elle n'est pas une revue de littérature exhaustive, mais permet plutôt de dresser un portrait de l'ensemble des données acquises qui servira à une meilleure compréhension de l'interprétation des résultats de cette étude.

#### 1.1 Morphologie du bassin versant

Prenant sa source du lac Saidon, la Petite rivière de la Baleine parcourt plus de 220 km d'est en ouest avant de se jeter dans les eaux salées de la Baie d'Hudson. L'embouchure de cette rivière est à environ 100 km au nord-est de celle de son homologue la Grande rivière de la Baleine (figure 1.1). Le bassin versant de la Petite rivière de la Baleine, d'une superficie de 13 410 km<sup>2</sup>, est caractérisé par une dénivellation topographique de 330 mètres d'amont en aval. Plus de 20 % de cette superficie est occupée par des eaux de surface.

Le bassin de la Petite rivière de la Baleine peut être divisé en trois zones qui possèdent chacune des caractéristiques topographiques différentes. La zone côtière, d'une largeur d'environ 25 km, est caractérisée par un relief de collines possédant des versants de pentes régulières, mais terminée par des falaises dénudées au sud-est. La zone intermédiaire, large de 100 km, présente également un relief de collines cependant beaucoup plus rocailleuses et entrecoupées de vallées profondes dont l'orientation semble régie par la structure du socle rocheux et l'écoulement glaciaire. En aval de ces collines, des terrasses bien développées, d'origine fluvioglaciale, marine ou fluviale, complètent l'aspect physique de cette zone. La dernière zone, située dans la partie amont du bassin, est caractérisée également par des collines rocheuses ayant des formes profilées et un relief peu différencié. Ces collines sont recouvertes de tills glaciaires et présentent de nombreux plans d'eau peu profonds. Sous la limite maximale de la mer de Tyrrell, les sédiments marins comblent partiellement les dépressions, tandis que l'action des vagues a

dégagé les replats sommitaux et les versants (Parent et Paradis, 1993 et 1994; Hydro, 1993).

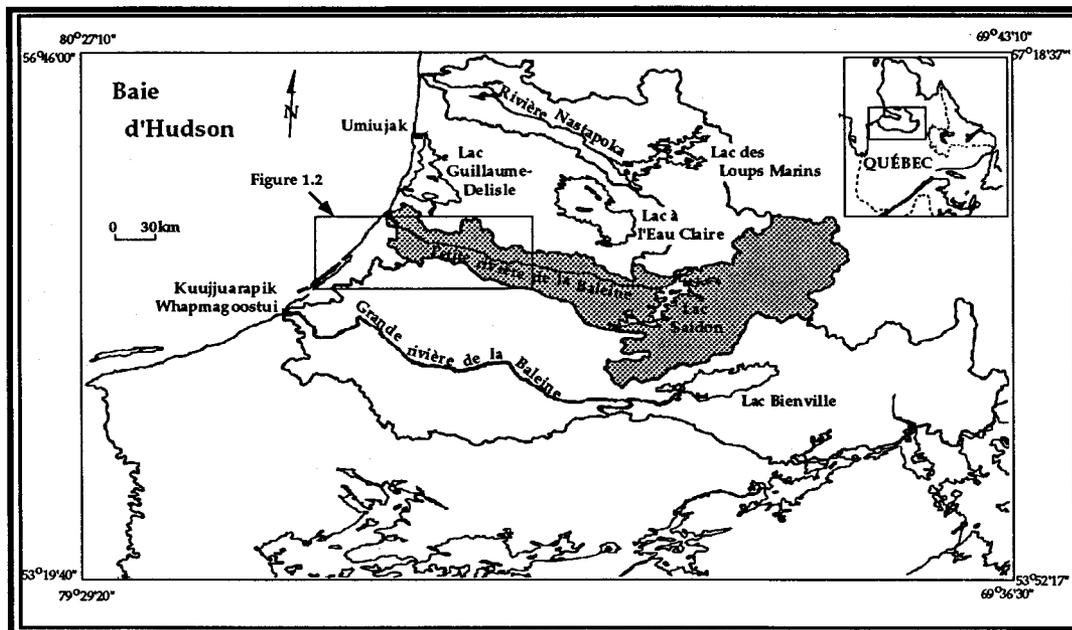


Figure 1.1 : Localisation du bassin hydrographique de la Petite rivière de la Baleine (tirée de Parent et Paradis, 1993).

Les lacs PBA-3 et PBA-5, qui font l'objet de cette recherche, se situent à l'intérieur du bassin versant de la Petite rivière de la Baleine.

Le lac PBA-3 est situé à une dizaine de kilomètres au nord de la Petite rivière de la Baleine et à plus de 60 km à l'intérieur des terres hudsoniennes (figure 1.2, UTM 443500 E et 6198220 N, zone 18). Ce petit lac, d'une superficie d'environ 1 km<sup>2</sup>, recueille les eaux d'un bassin se limitant pratiquement aux berges de ce dernier. Il possède une profondeur bathymétrique de 7 m (figure 1.3A).

Le lac PBA-5 est localisé au sud de la rivière Boutin, l'un des principaux affluents de la Petite rivière de la Baleine, à près de 110 km de la côte (figure 1.2, UTM 468200 E et 6167600 N, zone 18). D'une superficie légèrement supérieure à 1 km<sup>2</sup>, il est situé en terrain plus tourmenté. Malgré une profondeur bathymétrique de seulement 1 m, il draine un bassin relativement plus grand que celui du lac PBA-3 (figure 1.3B).

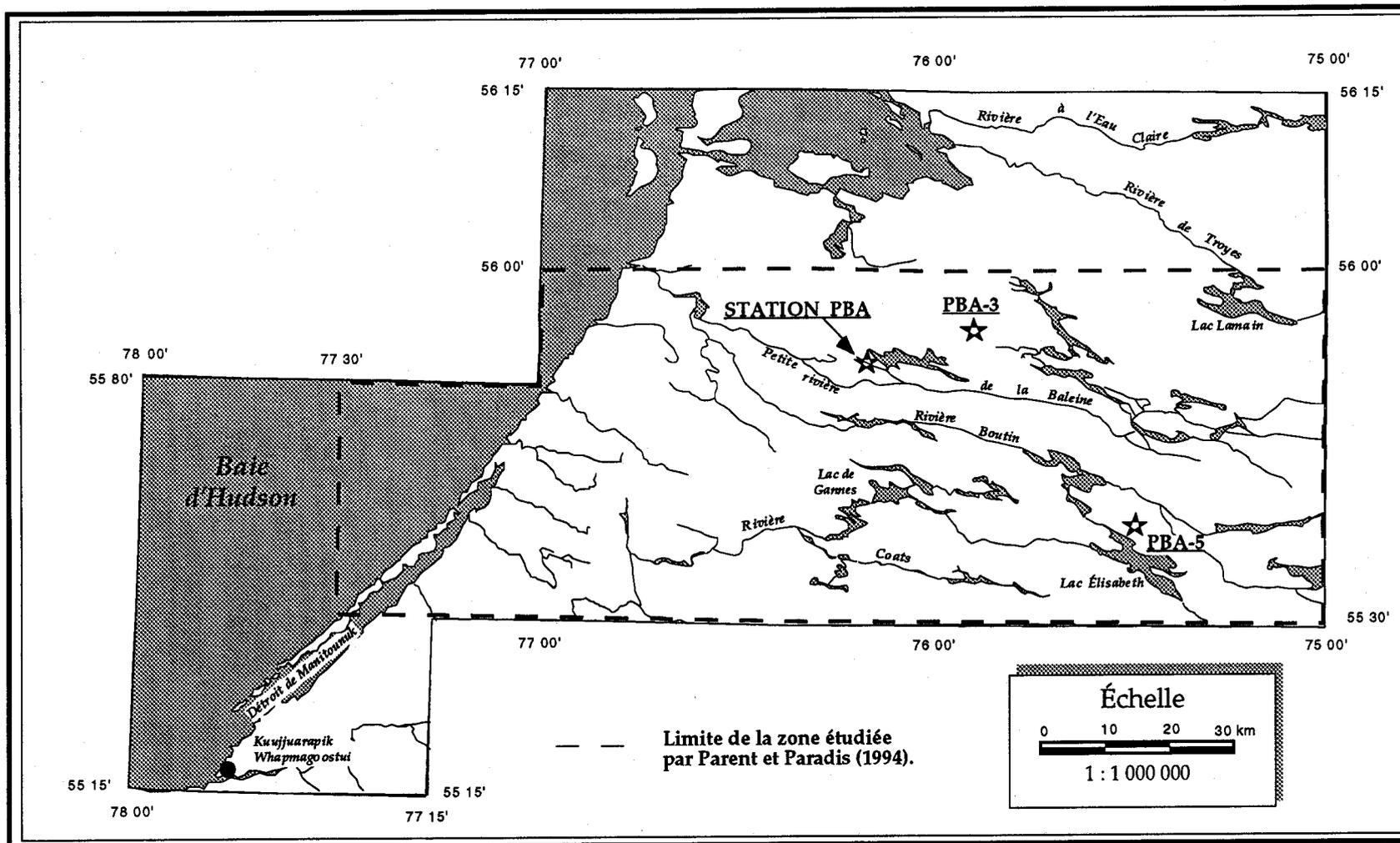


Figure 1.2 : Localisation et principaux toponymes de la région de la Petite rivière de la Baleine et des lacs PBA-3, PBA-5 (tirée de Parent et Paradis, 1994).

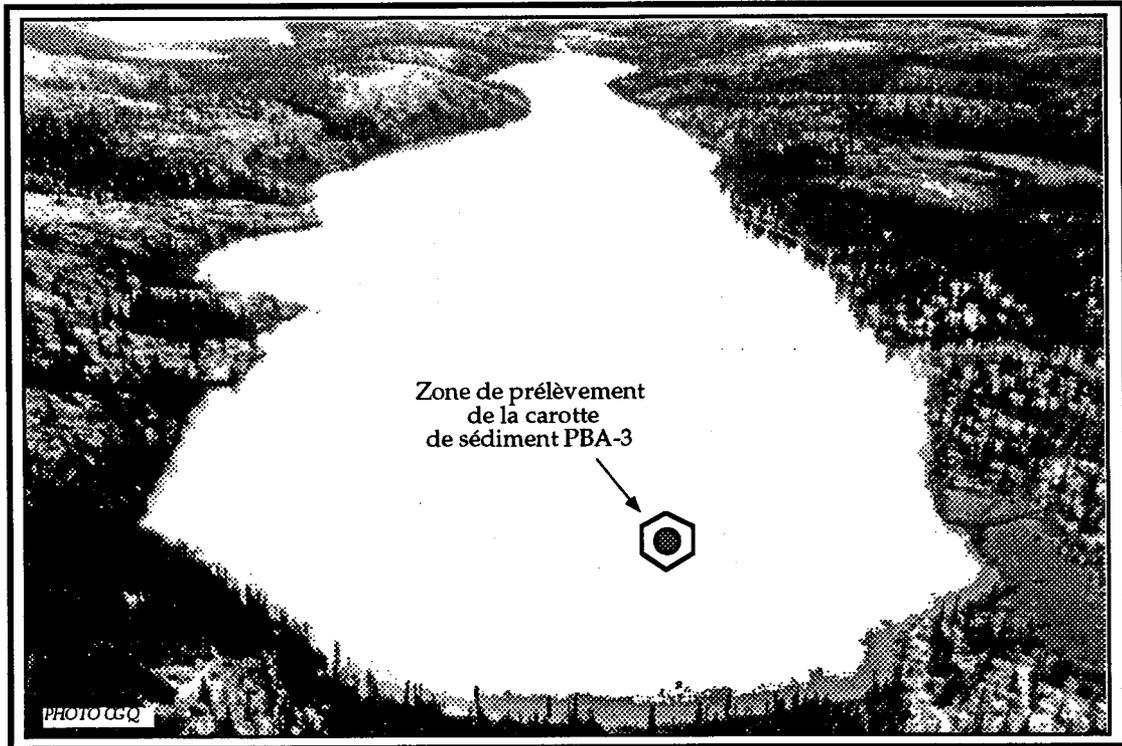


Figure 1.3A : Vue aérienne du lac PBA-3

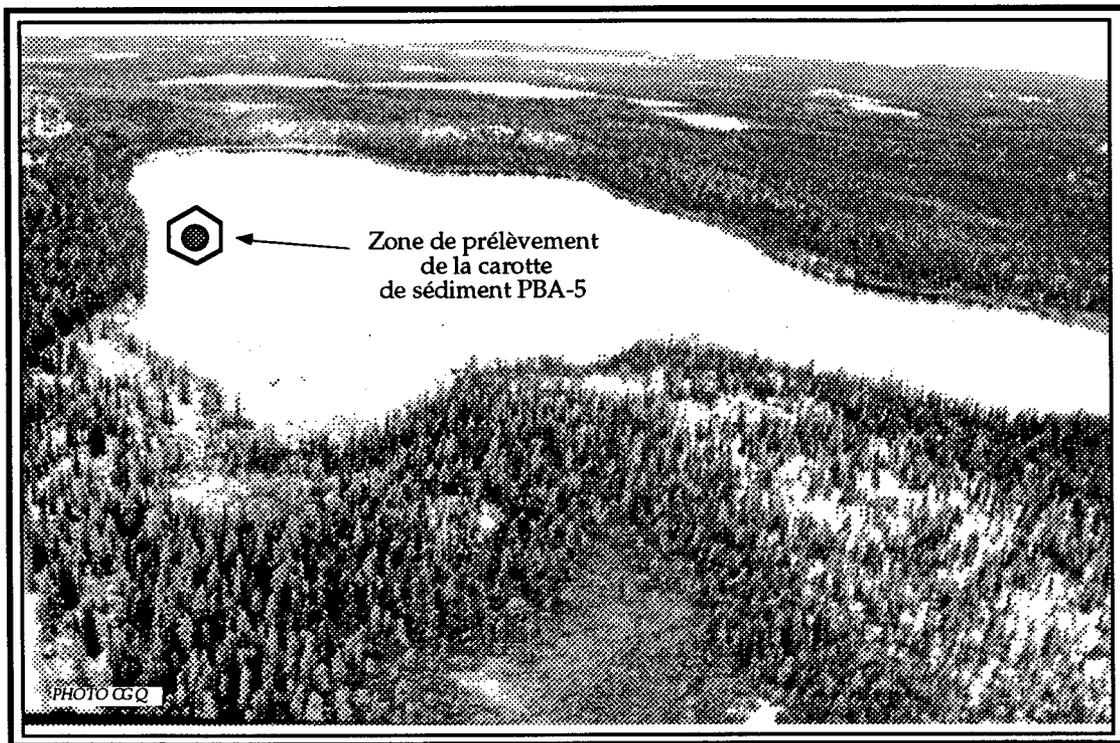


Figure 1.3B : Vue aérienne du lac PBA-5

## 1.2 Conditions climatiques

Les conditions climatiques peuvent jouer un rôle important dans les processus sédimentaires. Le vent, la pluie et la neige transportent de nombreuses particules qui peuvent se retrouver dans des environnements parfois lointains de leurs lieux d'origine. Pour sa part, la température influence principalement le type de végétation et sa répartition. En association avec les précipitations, elle contrôle également l'importance du processus d'intempérisme chimique des roches et des dépôts quaternaires. En paléolimnologie, l'identification des espèces végétales à l'aide des pollens et leur abondance dans le sédiment permettent de reconstruire, du moins partiellement, l'histoire des variations climatiques d'un bassin versant d'un lac depuis les dernières glaciations (Flint, 1971; Richard *et al.*, 1982). Dans le cadre de ce projet de recherche, les sédiments recueillis dans les lacs PBA-3 et PBA-5 pourraient contenir une quantité importante de ces particules organiques transportées par les agents climatiques (vent, pluie et neige) et qui proviendraient de la végétation avoisinante du bassin versant.

Le secteur de la Petite rivière de la Baleine, plus particulièrement la zone nord du bassin, se situe en climat subpolaire à polaire. À la station météorologique de Kuujjuarapik, sur la plaine côtière (figure 1.2), les variations mensuelles de température et de précipitation montrent que la région subit des hivers longs et rigoureux, séparés par des étés courts et doux (tableau 1.1). En hiver, la Baie d'Hudson se couvre de glace et de neige formant un prolongement de la surface continentale et favorisant l'extension des conditions polaires sur la côte. Les courants froids et la persistance de la glace dans la baie, après le dégel printanier, retardent généralement le réchauffement de la côte pendant l'été. À l'automne, la température près de la côte reste stable jusqu'à l'apparition des glaces sur les eaux de la Baie d'Hudson. Vers le début du mois de novembre, la glace recouvrant les lacs peut atteindre une épaisseur de 1,3 m, compte tenu de la rigueur du climat à cette latitude (Payette et Filion, 1993; Wilson, 1971; Hydro, 1993).

Tableau 1.1 : Températures et précipitations mensuelles moyennes  
pour la période de 1960 à 1989 à la station Kuujjuarapik.

Mois	Température mensuelle maximum (°C)	Température mensuelle minimum (°C)	Température moyenne (°C)	Précipitations totales (mm)	Pluie (mm)	Neige* (mm)	Fraction nivale (%)
Janvier	-18.0	-27.4	-22.8	30.5	0.2	30.3	99.3
Février	-17.2	-28.2	-22.7	22.9	0.6	22.3	97.4
Mars	-11.6	-24.1	-17.8	21.8	1.7	20.1	92.2
Avril	-1.9	-12.6	-7.3	25.0	7.4	17.6	70.4
Mai	5.8	-3.3	1.2	36.8	22.7	14.1	38.3
Juin	11.6	1.5	6.6	61.4	54.0	7.4	12.1
Juillet	15.2	5.1	10.1	75.8	75.7	0.1	0.1
Août	15.2	6.5	10.5	90.7	90.7	0.0	0.0
Septembre	11.0	3.7	7.3	107.6	92.5	15.1	14.0
Octobre	-4.9	-0.6	2.1	77.7	42.2	35.5	45.7
Novembre	-2.3	-8.1	-5.2	79.5	9.9	69.6	87.5
Décembre	-12.8	-20.8	-16.8	44.1	0.7	43.4	98.4
Moyennes annuelles	15.2	-28.2	-4.6	673.8	398.3	275.5	40.9

\* Hauteur exprimée en équivalent-eau (1 cm de neige égale 1 mm d'eau).

Cf. Hydro, 1993

Les précipitations les plus abondantes se produisent entre juillet et septembre (tableau 1.1), pendant la période la plus chaude. Ces précipitations se situent sur la côte et sur les secteurs continentaux les plus élevés. Annuellement, il tombe entre 550 mm et 750 mm d'eau sur la région, dont 40 % à 45 % sous forme de neige (Payette et Filion, 1993; Hydro, 1993). L'origine des dépressions atmosphériques, la proximité des sources d'humidité et l'orientation des reliefs d'est en ouest influencent grandement la répartition géographique des précipitations. Le réseau hydrographique de la Petite rivière de la Baleine se caractérise par la présence de grands lacs en amont avec une multitude d'exutoires qui concentrent les eaux vers la rivière à l'approche de la côte. En période estivale, les étendues lacustres subissent un marnage annuel moyen de l'ordre de 1,1 m. Ce marnage a été déterminé aux lacs Mollet et Saindon situés en amont du bassin hydrographique de la Petite rivière de la Baleine et au lac Kakupis situé plus en aval (figure 1.4).

La période de croissance de la végétation s'étend de mai à octobre. Près de la côte, la période sans gel se limite à 77 jours entre la fin de juin et la mi-septembre (Hydro, 1993). Ainsi, le bassin de la Petite rivière de la Baleine se situe à la frontière de la forêt boréale et de la toundra forestière (figure 1.5), principalement à cause du climat rigoureux et de la limitation du nombre de jours estivaux (Payette et Filion, 1993; Payette, 1983).

Sur la côte comme sur le continent, la vitesse moyenne annuelle des vents varie entre 15 et 20 km/h (Hydro, 1993). À la station de Kuujuarapik, les vents prédominants proviennent généralement de l'ouest ou du sud-est (figure 1.6). En été, les vents proviennent occasionnellement du nord-est et plus fréquemment du sud et de l'ouest. En hiver, les vents proviennent uniquement de l'ouest ou du sud-est. Les chercheurs du Centre géoscientifique de Québec (CGQ) firent, entre le 1 août 1993 et le 5 août 1994, la mesure de la provenance des vents à une station située à proximité du lac PBA-3 (figure 1.2). Ces mesures montrent que les vents estivaux sont prédominants du nord-ouest (figure 1.6) tandis que l'hiver, ils sont partagés avec des vents du sud-est, conférant ainsi une orientation des vents quasi parallèle aux grains topographiques (Parent et Michaud, 1997).

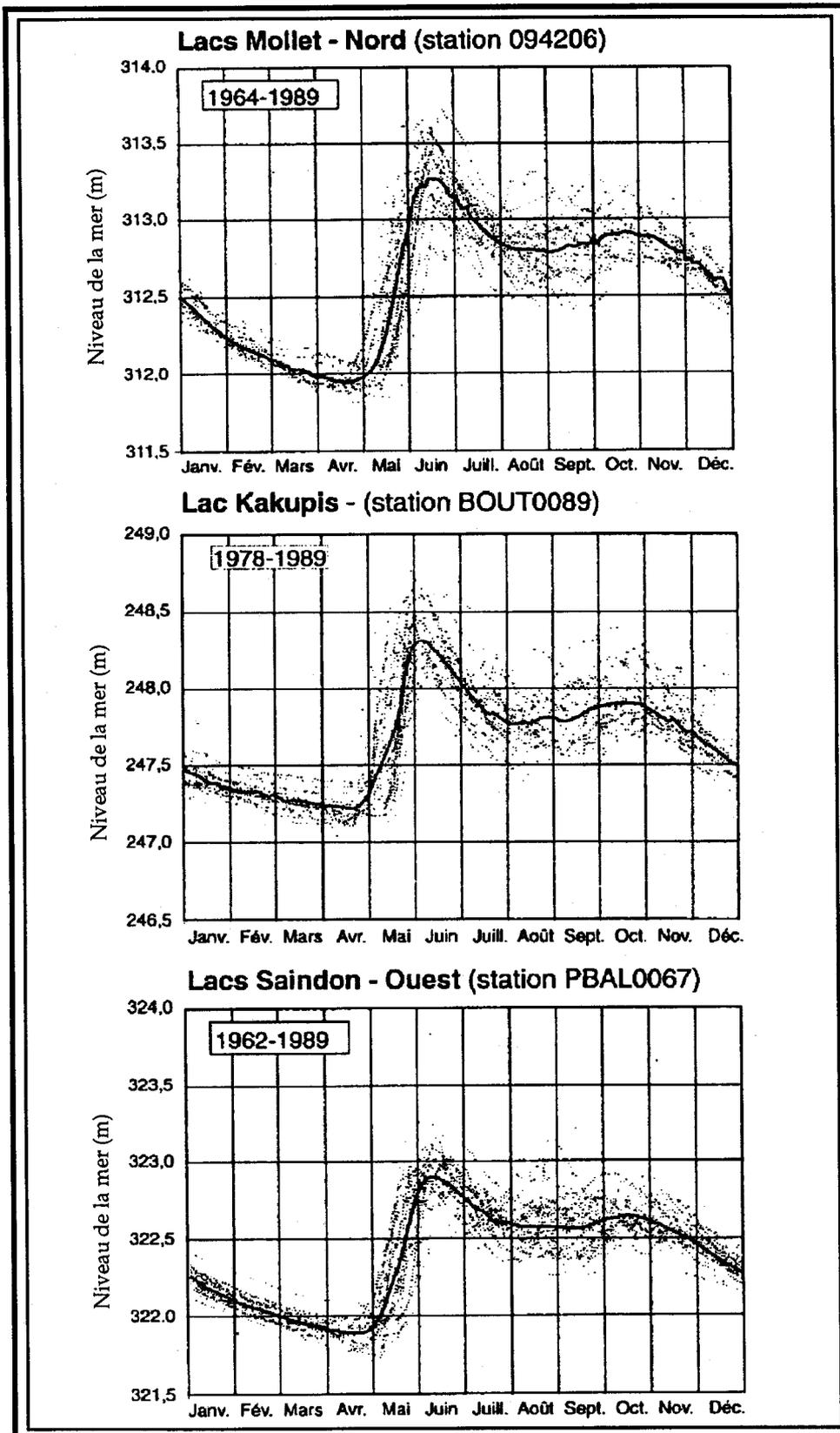


Figure 1.4 : Marnage de trois lacs de la région de la Petite rivière de la Baleine (tirée de Hydro, 1993).

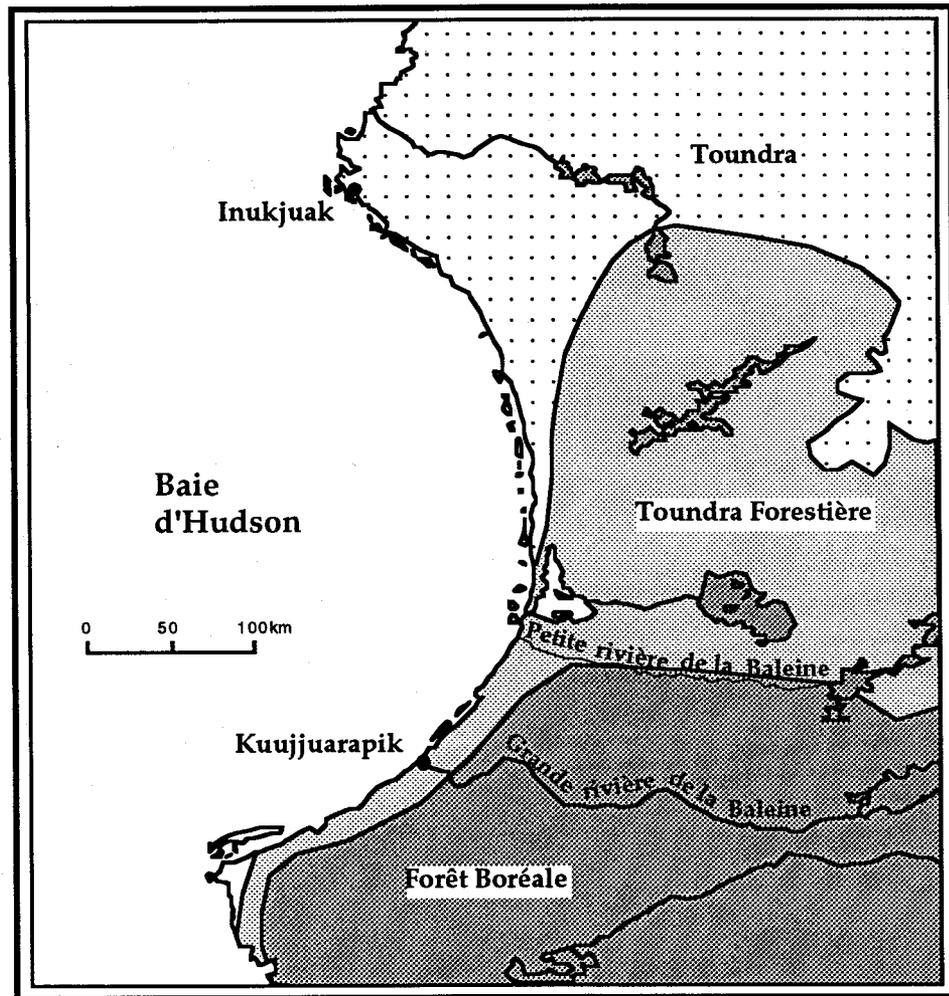


Figure 1.5 : Limite de la forêt boréale (adaptée de Payette et Filion, 1993).

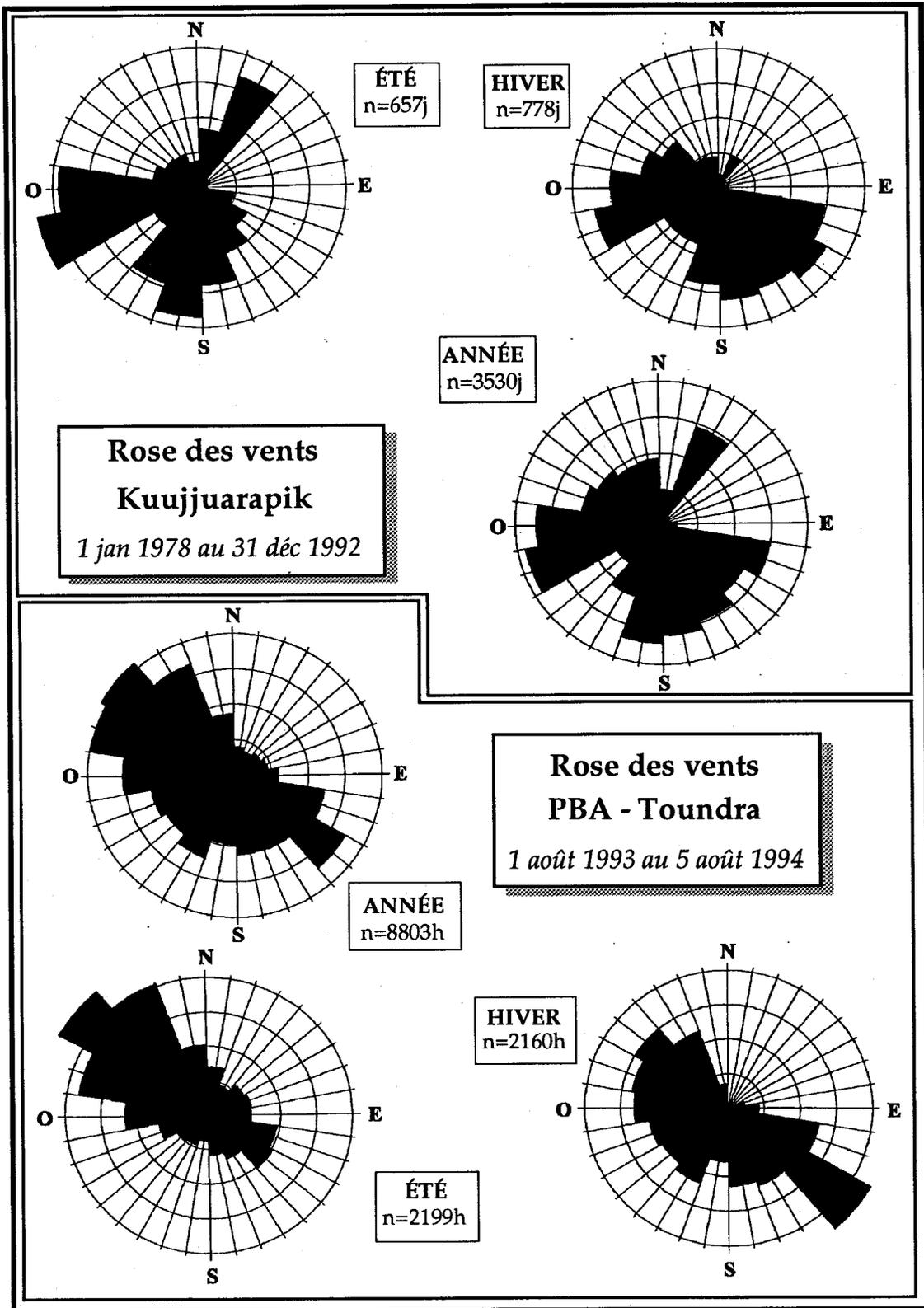


Figure 1.6 : Provenance des vents dans le secteur de la Petite rivière de la Baleine (Parent et Michaud, 1997).

### 1.3 Contexte géologique régional

Le socle rocheux du secteur de la Petite rivière de la Baleine se compose principalement de roches plutoniques et gneissiques de la sous-province archéenne de Bienville, ayant plus de 2 700 millions d'années. Ces roches font partie de la province tectonique du Supérieur et se caractérisent par leurs directions structurales généralement orientées E-W. Les failles et le grain tectonique régional du complexe de Bienville, le principal élément structural du secteur, marquent la structure du relief et de l'hydrographie par leurs orientations E-W et ENE-WSW. Une couverture de roches protérozoïques, appelée Groupe de Manitounuc, principalement composée d'unités de roches sédimentaires arénacées et carbonatées forme une étroite bande côtière marquée par des couches sommitales de basaltes (Parent et Paradis, 1994; Eade, 1966; Ciesielski, 1991; Chandler et Schwarz, 1980; Chandler, 1988).

Le substrat régional se compose de granites et de granodiorites avec parfois de petits assemblages de roches volcaniques. Ce substrat archéen est métamorphisé aux faciès des amphibolites (orthogneiss) et des granulites. Il présente une composition minéralogique felsique relativement variable avec des unités lithologiques qui contiennent des minéraux relativement peu solubles avec très peu de carbonate (figure 1.7).

Les lacs PBA-3 et PBA-5 surplombent ainsi des granites et des granodiorites d'âge Archéen. Le lac PBA-3 se situe sur un replat topographique formé par les roches granitiques, tandis que le lac PBA-5 se trouve dans un secteur ayant un relief plus tourmenté et dominé par des fractures anciennes (figures 1.3A, 1.3B et 1.7).

Outre la carte géologique régionale du secteur, la figure 1.7 présente également les indices minéralisés répertoriés. Ces indices se composent principalement de plomb, de zinc et d'argent et sont localisés près de la côte à proximité du contact lithologique entre le socle précambrien et la couverture sédimentaire protérozoïque (Avramtchev, 1982; COGITE, 1992).

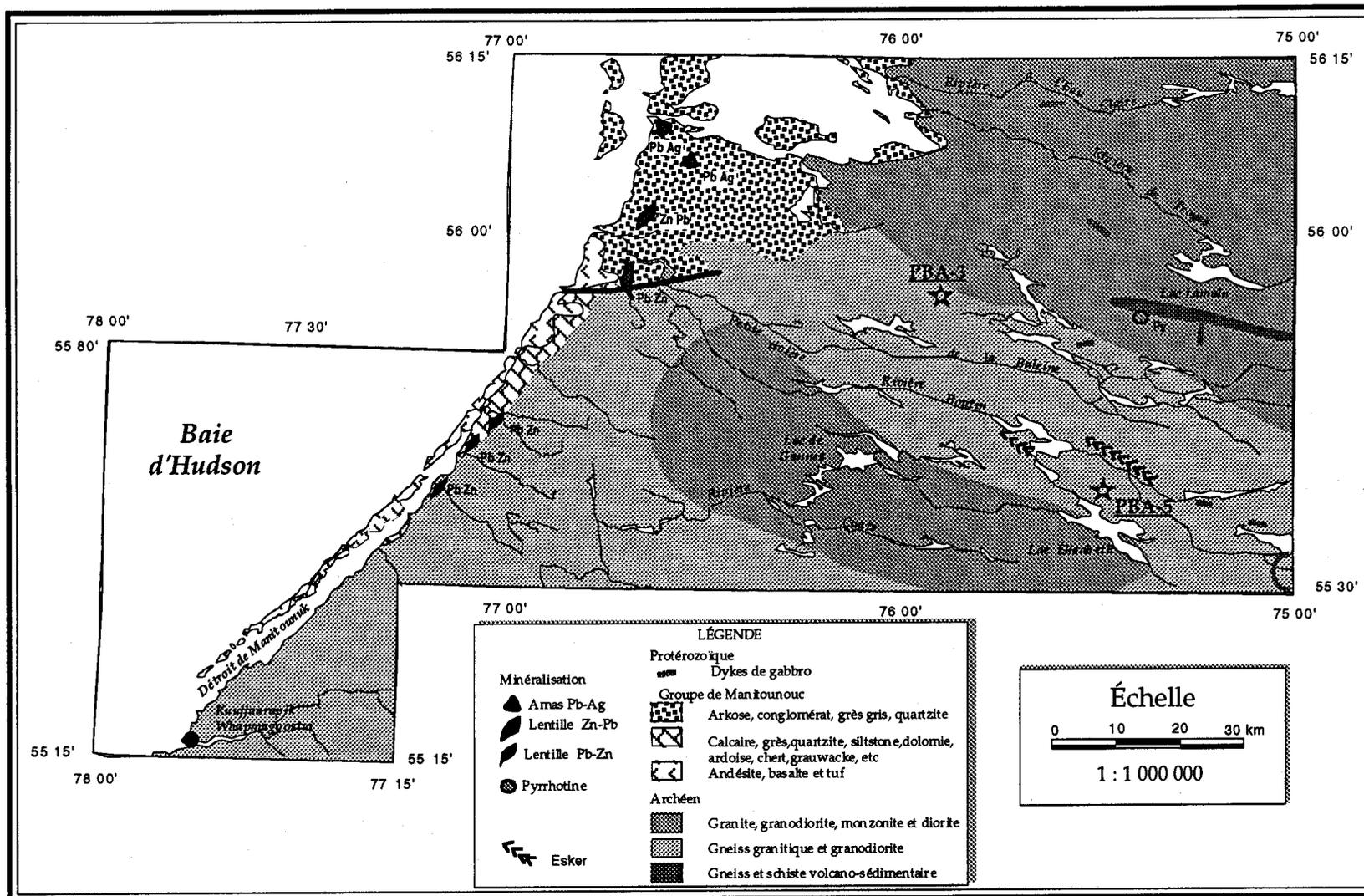


Figure 1.7 : Géologie générale du secteur de la Petite rivière de la Baleine (adaptée de Avramtchev, 1982).

## 1.4 Géologie du quaternaire

Pendant la période glaciaire du Wisconsin, les vastes territoires de la partie orientale de la Baie d'Hudson se trouvaient ensevelis sous un épais manteau de glace. L'écoulement de ces glaces WNW aurait débuté il y a 9 000 ans, et devrait son existence à la formation de courants glaciaires originant du sud de la Baie d'Hudson (Dyke et Prest, 1987; Parent et Paradis 1993). Les études récentes de Parent et Paradis (1993) montrent que le mouvement régional des glaces vers l'ouest semble correspondre à une caractéristique intrinsèque de l'Islandis laurentien, alors que des mouvements tardifs vers le sud-ouest, observés le long de la côte, seraient reliés à la formation d'un courant glaciaire dans la partie sud de la Baie d'Hudson. Toute cette période glaciaire, qui ne doit pas excéder 2 000 ans selon le modèle préconisé par Hughes (1987), a engendré le dépôt d'un till discontinu d'épaisseur variable. Les stries glaciaires répertoriées par Parent et Paradis (1994) sur le territoire montrent que l'ancien mouvement glaciaire vers le nord fut suivi d'un mouvement vers l'WNW et qui a, lui-même, subi une déflexion tardiglaciaire vers le SW (figure 1.8).

Ces écoulements tardiglaciaires de la côte orientale de la Baie d'Hudson ont précédé la période de déglaciation. Le lac postglaciaire Ojibway, d'abord situé dans la partie sud de la Baie James, s'est par la suite étendu jusqu'au Détroit de Manitounuk. Durant cette période glaciolacustre (vers 7 800- 8 000 ans B.P.), l'invasion des eaux marines de la mer de Tyrrell fait progresser le retrait du front glaciaire vers l'intérieur des terres. La limite de l'incursion marine varie au niveau régional entre 275 m (Archer, 1968) et 315 m (Hillaire-Marcel, 1976) d'altitude. À ces altitudes, il est donc possible de trouver des sédiments marins d'épaisseurs variables ayant comme faciès prédominant des silts argileux d'eau profonde (Parent et Paradis, 1993). Le retrait des eaux marines du continent, bien que très rapide au moment de la déglaciation, se poursuit encore à un rythme de 10 à 15 mm par année (Parent et Paradis, 1994).

Les lacs PBA-3 et PBA-5 se situent au-dessous de la limite marine post-glaciaire. Les fonds de ces deux lacs sont tapissés d'argile marine holocène (voir chapitre III).

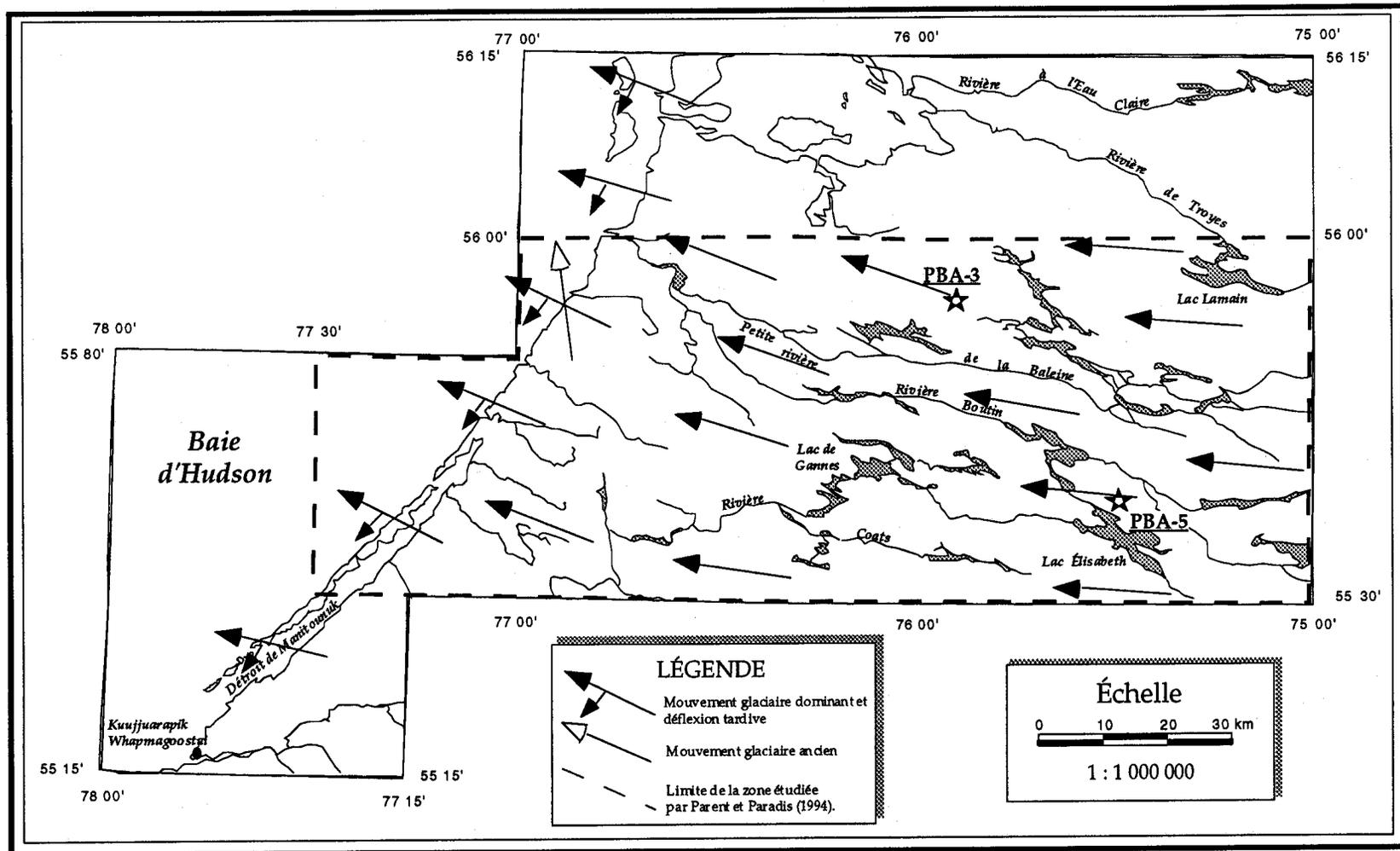


Figure 1.8 : Direction des mouvements glaciaires dans la région de la Petite rivière de la Baleine et des lacs PBA-3, PBA-5 ( modifiée de Parent et Paradis, 1993).

## 1.5 Contexte géochimique régional

En terme de géochimie régionale, les travaux réalisés dans le cadre du projet Hudsonnie par le Centre géoscientifique de Québec permettent de dresser une image globale de la géochimie (Parent *et al.*, 1995). Au total, une centaine de stations furent visitées et échantillonnées pour le till provenant de l'horizon C des sols. Lorsque l'horizon C était absent ou difficile d'accès, les équipes de terrain prélevaient des horizons BC et Bf. Ces travaux d'échantillonnage régionaux ont permis d'obtenir une densité régionale de 1 éch./75 km<sup>2</sup>. Les résultats géochimiques de ce levé montrent quelques grandes tendances régionales et géochimiques qui se résument ainsi :

Les concentrations les plus élevées en Cr, Ni, Pb, V, Hf, Nb, Rb et Zr sont distribuées selon une série de trois ou quatre bandes subparallèles alignées NW-SE, à la fois selon le grain structural du substrat rocheux et selon la dernière direction d'écoulement glaciaire.

Certains éléments (Ca, Na, Sc et Sr) présentent des patrons de distribution régionaux marqués par des concentrations décroissantes vers l'ouest.

D'autres éléments, comme les Ba, Cu, Hg, Th, U et Zn, montrent des patrons de distribution marqués par des valeurs croissantes vers l'ouest.

Enfin, comme il a déjà été démontré par plusieurs auteurs (Anderson, 1979; Boyle, 1974; Beus et Gregorian, 1977), les concentrations en Hg contenues dans les différents horizons pédologiques sont étroitement corrélées aux concentrations en carbone organique dans les sols de type podzol.

Les concentrations moyennes ainsi que les valeurs minimales et maximales de la plupart des éléments majeurs et traces dosés dans ces échantillons de till sont présentées au tableau 1.2. Bien que ces résultats analytiques d'échantillons de till ne soient pas directement comparables à ceux des échantillons de sédiments de lacs de la présente recherche, ils seront utilisés comme base de référence pour l'interprétation géochimique. Cette comparaison est valide car la fraction détritique silicatée des sédiments provient de l'érosion des tills du bassin versant.

Tableau 1.2 : Statistiques descriptives de la géochimie des tills  
(Tiré de Parent *et al.*, 1995).

<i>Éléments chimique</i>	<i>n</i>	<i>Moyenne arithmétique</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Écart-type</i>
Barium (ppm) *1	99	832	679	1015	67.7
Brome (ppm)	99	15.4	0.69	73.6	14
Calcium (ppm)	99	16659	10000	25600	3823
Cérium (ppm)	99	85.1	45.1	141	15.5
Chrome (ppm)	99	55	31	86	9.7
Cobalt (ppm)	99	6	3.2	11	1.2
Cuivre (ppm)	99	17.8	8	31	4.1
Fer (ppm)	99	30500	13200	46300	5850
Galium (ppm)	99	11.2	5	21	2.2
Hafmium (ppm)	99	14.4	9	32	3.2
Mercuré (ppb) *2	98	12.91	1.62	60.2	10.64
Néodyme (ppm)	99	35.7	17	61	7.3
Nickel (ppm)	99	27.1	9	45	6.4
Niobium (ppm)	99	5.3	2	11	1.8
Plomb (ppm)	99	20.2	15	31	2.9
Rubidium (ppm)	99	73.9	54	107	10.2
Samarium (ppm)	99	5.9	2.8	9.4	1.15
Scandium (ppm)	99	8.5	5.8	11.7	1.1
Sodium (ppm)	99	25370	16600	29100	2312
Strontium (ppm)	99	388	276	457	39.7
Terbium (ppm)	99	0.55	0.25	0.774	0.12
Thorium (ppm)	99	10	5	20	2.64
Uranium (ppm)	99	1.9	0.8	7.6	1.07
Vanadium (ppm)	99	95.3	51	181	19.6
Ytterbium (ppm)	99	1.43	0.84	2	0.2
Zinc (ppm)	99	38.2	31	59	4.6
Zirconium (ppm)	99	511	46	1125	122
Carbone (%)	85	1.53	0.18	4.2	1.27
Azote (%)	85	0.08	0.02	0.23	0.05

\*1 ou ug/g; \*2 ou ng/g

## CHAPITRE II

### MÉTHODOLOGIE

La démarche méthodologique de ce projet est présentée à la figure 2.1 sous la forme d'un organigramme logique. Compte tenu que le volume d'échantillon prélevé est relativement petit, cette démarche vise à optimiser la quantité de matériel pour chaque échantillon afin de pouvoir obtenir un nombre suffisant d'analyses en fonction des objectifs visés.

#### 2.1 Échantillonnage sur le terrain

L'échantillonnage d'une carotte de sédiments pour chacun des lacs PBA-3 et PBA-5 a été réalisé par une équipe multidisciplinaire au CGQ-CGC sous la supervision scientifique et technique de monsieur Michel Parent. Le carottage de ces sédiments de lac faisait partie d'un important levé de till de base qui a couvert la partie ouest du bassin de la Petite rivière de la Baleine (Parent et Paradis, 1993 et 1994).

Des tubes de polyéthylène, de 7 cm de diamètre, étaient enfoncés verticalement dans le sédiment des lacs jusqu'à ce que le matériel sédimentaire offre une grande résistance à l'enfoncement. Ensuite, on plaçait un piston de caoutchouc sur l'extrémité libre du tube, afin de retenir par succion le sédiment, et on remontait le carottier vers la surface. Cette manipulation se faisait lentement et minutieusement de manière à ne pas perturber le sédiment. Hors de l'eau, les extrémités des tubes étaient obstruées et fermées hermétiquement pour le transport à l'aide de capuchons de plastique.

#### 2.2 Transport et conservation

En raison de leurs positions isolées, l'abord des sites d'échantillonnage des lacs PBA-3 et PBA-5 nécessitait l'utilisation d'un hélicoptère et d'un zodiac. Outre ces deux moyens de transport, il faut ajouter l'avion et le camion pour le transport des carottes du site d'échantillonnage

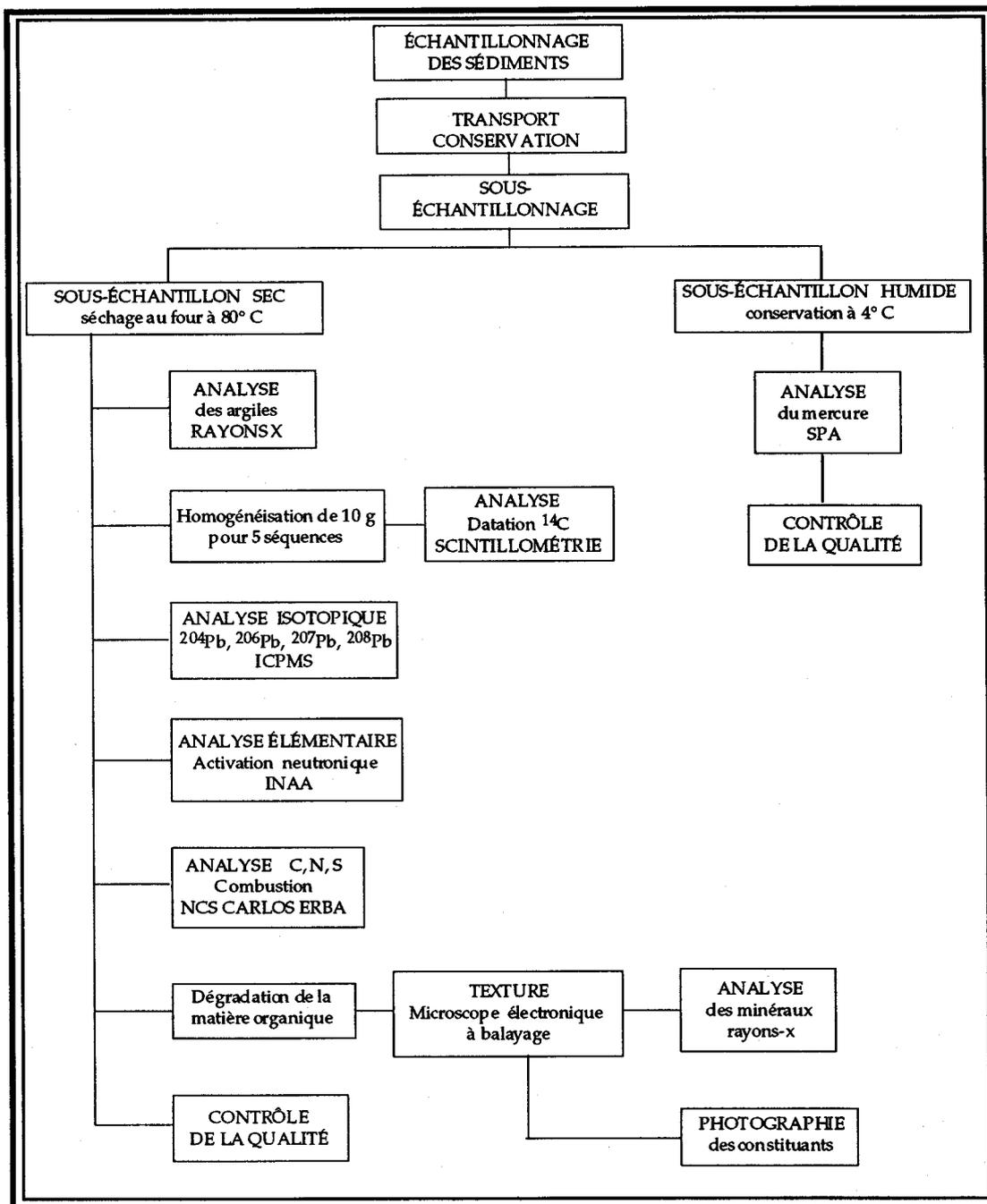


Figure 2.1 : Organigramme de la démarche méthodologique pour l'échantillonnage, le transport, la préservation et l'analyse chimique des sédiments des lacs PBA-3 et PBA-5.

jusqu'au laboratoire de l'INRS de Québec. Malgré ces contraintes de déplacement, les tubes étaient gardés en position verticale jusqu'à leur destination.

Les carottes de sédiments lacustres ont été conservées à l'obscurité dans une chambre froide maintenue à une température de +4° C environ. Bien que cela aurait été préférable pour préserver les propriétés chimiques du sédiment, les contraintes physiques de l'échantillonnage et du transport ainsi que le délai d'au moins quatre mois entre le prélèvement des carottes et leur sous-échantillonnage n'ont pas permis de garder les sédiments dans des conditions anoxiques.

### 2.3 Sous-échantillonnage des carottes

À l'automne 1992, l'extrusion des sédiments de leurs tubes de polyéthylène fut réalisée au laboratoire de l'INRS à l'aide d'un piston de bois ajusté à la grosseur des tubages. Une plaque de Plexiglas™, préalablement décontaminée à l'aide d'une solution d'acide nitrique, servait de réceptacle temporaire pour recueillir les sédiments avant leur sous-échantillonnage.

Immédiatement après l'extrusion mécanique des carottes, un système de sous-échantillonnage à guillotine permettait de découper les carottes de sédiments en fines tranches millimétriques (figure 2.2). Ce système horizontal de sous-échantillonnage à guillotine est similaire à celui utilisé pour le découpage des carottes de sédiments destinées aux examens aux rayons X et permet, notamment, de conserver les structures sédimentaires (Britt *et al.*, 1992). Dans ce projet de recherche, l'épaisseur des tranches était de 0,5 cm pour les cinq premiers centimètres des carottes et de 1 cm pour les portions restantes.

Les bordures de chacune des tranches de sédiments étaient éliminées afin d'éviter la possibilité d'une contamination par les tubes (figure 2.3). La portion restante de chaque tranche était ensuite divisée en deux parties approximativement égales et placée dans des bouteilles en plastique de type pilulier. Un nettoyage préalable des bouteilles avec de l'acide nitrique

“Aristar” et un rinçage à l’eau déionisée de type Millipore réduisaient les risques de contamination.

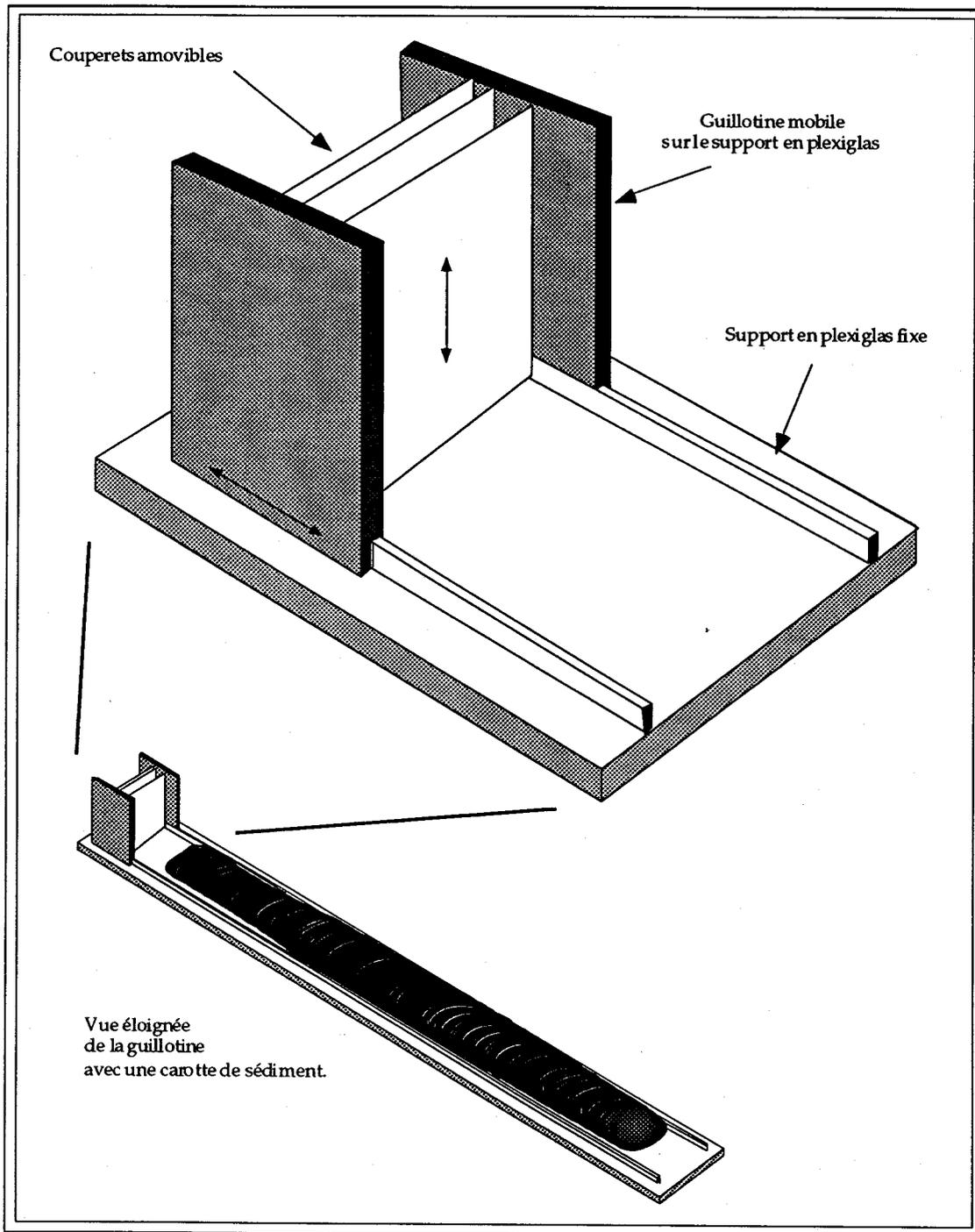
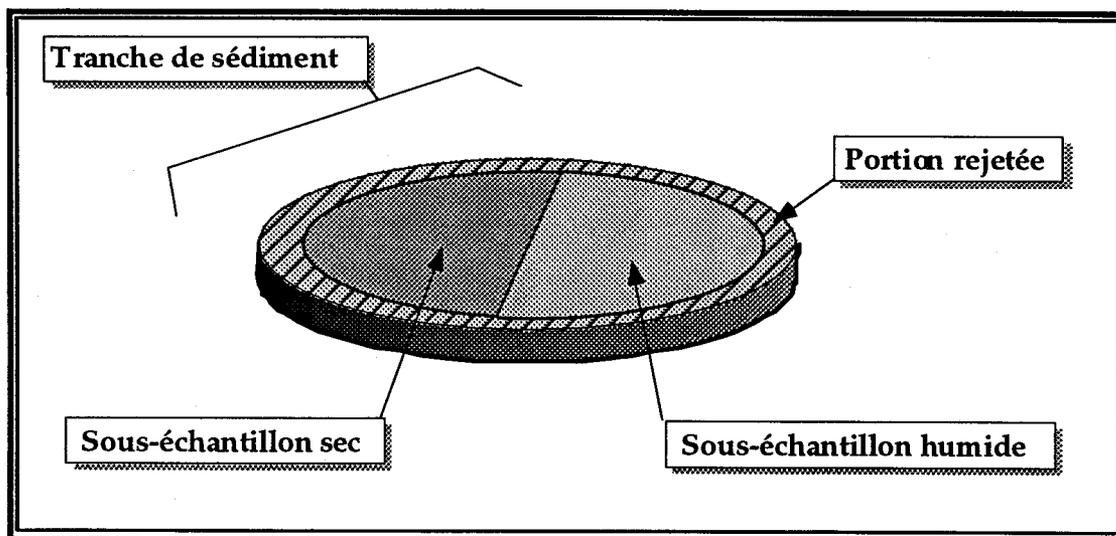


Figure 2.2 : Guillotine pour le sous-échantillonnage des sédiments.



**Figure 2.3 : Répartition des sous-échantillons effectuée pour chaque tranche de sédiment.**

Les numéros attribués aux sous-échantillons permettaient de faire une identification rapide de la carotte et de la profondeur du sédiment. Par exemple, le numéro 3022 identifie la carotte PBA-3 et le sous-échantillon prélevé entre 21 et 22 cm de profondeur.

Une portion humide des sous-échantillons était conservée dans l'obscurité à une température d'environ +4° C. L'autre portion était pesée et ensuite séchée au four à +80° C pour la détermination du pourcentage d'humidité. Au total, 104 sous-échantillons étaient préparés à partir des sédiments de la carotte PBA-3, tandis que l'épaisseur de sédiments de la carotte PBA-5 permettait une récolte de 88 sous-échantillons.

## 2.4 Analyses géochimiques et microscopiques

La méthodologie analytique retenue pour ce mémoire de recherche permet d'obtenir un nombre maximum d'analyses chimiques en utilisant une quantité minimale de matériel par sous-échantillon de sédiment. Le tableau 2.1 présente, pour les différents paramètres dosés, les méthodes

analytiques ainsi que la répartition des sous-échantillons de chacune des carottes de sédiments lacustres.

#### 2.4.1 Éléments majeurs et en trace

Les sous-échantillons de sédiments ont été broyés manuellement à l'aide d'un mortier en agate et mis dans de petites fioles de 10 ml. Ces fioles, emplies à environ 70 % de leur capacité, contenaient entre 0,5 g et 1 g de sédiment sec. Après un séjour au réacteur nucléaire de l'Université McMaster pour irradiation en neutron thermique, chaque sous-échantillon a fait l'objet de deux comptages de 3600 sec. sur le détecteur au germanium (EGEG-Ortec) de l'INRS-Géoressources. Le premier comptage permettait la détection des éléments à courte demi-vie (As, Au, Ca, Mo, Na, Sb, W, Ho, La, Lu, Sm, U et Yb), tandis que le second comptage permettait le dosage des éléments à longue demi-vie (Ag, Ce, Cs, Eu, Hf, Nd, Sc, Ta, Tb, Th, K, Ba, Co, Cr, Ni, Rb, Se, Zn, Fe, Sr et Zr) (Hall *et al.*, 1990).

Les analyses par activation neutronique instrumentale (INAA) ont permis de mesurer 34 éléments chimiques dont les résultats sont présentés à l'annexe 1A. Des duplicata et des standards NBS (National Bureau of Standard) ont été introduits dans la série d'échantillons afin d'évaluer la précision et l'exactitude des résultats (INRE, 1993). La précision des analyses est la capacité d'une méthode analytique à reproduire la même teneur à plusieurs reprises pour un dosage, tandis que l'exactitude est la capacité à reproduire une teneur déjà connue par des dosages antérieurs. Ce contrôle de la qualité des analyses donne un intervalle de confiance d'environ 10 % aux résultats qui se situent au-dessus de la limite de détection analytique qui représente la barrière inférieure de la méthode à pouvoir fournir des teneurs précises et exactes (annexe 2-A).

#### 2.4.2 Le mercure

Le mercure, dans les sédiments de lacs, a été dosé par spectrophotométrie en fluorescence atomique (SFA) sur un appareil de marque P.S. Analytical (modèle Merlin Plus) de l'INRS-Géoressources. Généralement, la mesure du mercure par fluorimétrie est généralement très

**Tableau 2.1 : Description des méthodes analytiques pour chacun des paramètres analysés et du nombre de sous-échantillons utilisés pour chacune des carottes de sédiment des lacs PBA-3 et PBA-5.**

<i>Paramètres analysés</i>	<i>Méthodes analytiques</i>	<i>Laboratoire</i>	<i>Nombre de sous-échantillon</i>	<i>Remarques</i>
Ag, As, Au, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Mo, Na, Ni, Nd, Rb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, W, Yb, Zn, Zr.	Activation neutronique avec 2 comptages le premier pour les isotopes à courtes demi-vie le second pour les isotopes à longues demi-vie	INRS-GÉO	34 éch. PBA-3 66 éch. PBA-5	Détecteur no : 2
Hg	Extraction partielle du Hg HCl - 1N Fluorimétrie	INRS-GÉO	24 éch. PBA-3 35 éch. PBA-5	Sous-échantillons humides
Carbone total Azote total Soufre total	Analyseur NCS CARLOS - ERBA	INRS-EAU	32 éch. PBA-3 61 éch. PBA-5	7 sous-échantillons d'argile
Isotopes du plomb $^{204}\text{Pb}$ , $^{206}\text{Pb}$ , $^{207}\text{Pb}$ , $^{208}\text{Pb}$	HCl - 1N pour le Pb extractible Nébulation - ICPMS	INRS-GÉO	15 éch. PBA-3 20 éch. PBA-5	
$^{14}\text{C}$	Détecteur $^{14}\text{C}$ Scintillomètre ( $\text{CO}_2$ )	CGC-CGQ	3 éch. PBA-3 2 éch. PBA-5	séquences 3008-3012, 3035-3045, 3095-3099, 5011-5019, 5070-5077
Minéralogie des argiles	Diffraction des rayons X	U. LAVAL	2 éch. PBA-5	Sous-échantillons à la base de la carotte PBA-5
Texture de la gyttja	Microscope électronique à balayage (MEB) lumière réfléchie	U. LAVAL	2 éch. PBA-3 2 éch. PBA-5	

précise (Okumura *et al.*, 1993). D'ailleurs, l'analyseur Merlin Plus donne une précision d'environ  $\pm 1$  ppb.

Environ 1 g de sédiment humide est introduit dans des bombes en Téflon Saville X™. Une attaque à l'acide chlorhydrique diluée (1N) ultrapur permet l'extraction du mercure contenu dans la fraction associée aux carbonates et aux hydroxydes de Fe-Mn. Une réaction de réduction de ce mercure extractible est ensuite obtenue par l'ajout de chlorure stanneux ( $\text{SnCl}_2$ ) avant d'être analysé (annexe 1B). La qualité des résultats pour le mercure (annexe 2B) a été assurée par l'ajout de double d'échantillons (duplicata) et par la détermination de blancs de laboratoire et de standards de sédiments NBS.

#### 2.4.3 Le carbone, l'azote et le soufre

L'analyseur élémentaire NCS de marque CARLO-ERBA de l'INRS-Eau permet une analyse simultanée du carbone (C), de l'azote (N) et du soufre (S) avec une précision d'environ  $\pm 1$  %. De l'oxyde de vanadium, favorisant l'oxydation de la matière organique, est ajouté aux sédiments ayant un poids initial qui varie entre 2,5 et 5 mg de sédiments secs. Ainsi, principalement à cause de la faible quantité de matériel nécessaire pour l'analyse, il fut possible de faire des mesures de NCS pour plus d'une centaine de sous-échantillons (annexe 1C).

Les duplicata d'échantillons et l'ajout de standards internes et d'étalons NBS garantissaient le contrôle de la qualité des résultats. Ces données sont présentées à l'annexe 2C pour chacune des carottes de sédiments lacustres.

#### 2.4.4 Les isotopes du plomb

La mesure des isotopes du plomb ( $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) est effectuée à l'aide d'un spectromètre de masse à source plasma (ICPMS : Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) de l'INRS-Géoressources (Ketterer *et al.*, 1991). Il faut préciser que l'analyse des isotopes de plomb est réalisée à partir du plomb extractible contenu dans les échantillons. L'attaque du plomb extractible est réalisée à l'aide de  $\text{HNO}_3$  (1N) sur une quantité de 0.1 g de sédiments secs (dilution 1:1000) et permet d'obtenir une précision analytique

d'environ 0.1 ppm (annexe 1B). Le contrôle de la qualité des résultats qui est présenté à l'annexe 2B, est assuré par l'ajout de standards NBS et par des duplicata d'échantillons.

#### 2.4.5 Datation $^{14}\text{C}$

Cinq datations au radiocarbone  $^{14}\text{C}$  sont réalisées par scintillométrie au  $\text{CO}_2$  dans les laboratoires de la Commission Géologique du Canada (C.G.C.) d'Ottawa (Lowdon, 1985). Ce type de datation requiert un poids net de 10 g de sédiments secs par échantillon. Compte tenu que les sédiments des lacs PBA-3 et PBA-5 sont principalement constitués d'une gyttja extrêmement légère (densité  $< 1.1 \text{ g/cm}^3$ ), il fut nécessaire de combiner plusieurs sous-échantillons pour ces analyses. Ainsi, des séquences de 5 à 10 cm d'épaisseur ont permis d'obtenir quatre radiodatations (annexe 3A) pour les deux carottes de sédiments lacustres.

Malheureusement, la quantité de matière organique contenue dans les sous-échantillons de gyttja est généralement inférieure à 25 % (voir section 3.1.2). Selon nos observations, cette faible quantité de matière organique semble influencer l'exactitude des datations.

#### 2.4.6 La minéralogie des argiles

La carotte de sédiments du lac PBA-5 présentait à sa base une épaisseur d'environ 10 cm d'argile grise vraisemblablement glaciolacustre. Pour deux sous-échantillons de cette séquence, l'identification du contenu minéralogique de l'argile a été effectuée par diffraction des rayons X sous la supervision de monsieur Marc Choquette du Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval (DGUL, 1992). Le rayonnement utilisé était celui du Cuivre  $K\alpha$  avec un filtre LiF généré à 40 kilovolts et 20 milliampères. L'échelle d'intensité était de 100 coups par seconde avec un mouvement de balayage de  $1^\circ 2\theta$  par minute. Les résultats spectraux sont présentés à l'annexe 3B avec l'identification des principaux minéraux.

#### 2.4.7 La texture de la gyttja

Comme la gyttja est une forme sédimentaire particulièrement spongieuse, légère et extrêmement fine, il devenait opportun de pouvoir observer directement la texture de ce sédiment. Le microscope électronique à balayage (MEB) en lumière réfléchie offre cette possibilité d'observer, d'identifier et d'analyser certaines composantes microscopiques. Ainsi quatre échantillons de gyttja furent examinés et photographiés à l'aide du MEB du Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval sous la supervision de monsieur Marc André Bérubé. Un assemblage photographique est présenté au chapitre III de ce mémoire, tandis que l'annexe 3C contient les spectres analytiques de certaines composantes minérales de ces sédiments lacustres.

#### 2.4.8 La densité de la gyttja

La densité vraie ( $\rho_v$ ) de la gyttja a été calculée pour une dizaine de sous-échantillons de la carotte PBA-5. D'abord, la densité spécifique ( $\rho_{sp}$ ) fut mesurée à l'aide d'un pycnomètre de 20 ml maintenu à une température de 20° C. Ensuite, cette densité spécifique servait au calcul de la densité vraie des sédiments (Kézdi, 1980). L'annexe 3D présente en détail, le calcul de cette densité vraie et ses résultats.

## CHAPITRE III

### PRÉSENTATION ET DESCRIPTION DES RÉSULTATS

Ce chapitre présente les données géochimiques et physiques ainsi que des observations sur les sédiments de lacs de ce projet d'étude. Ces résultats sont d'abord présentés pour la carotte de sédiments du lac PBA-5 et ensuite, pour celle du lac PBA-3. Nous avons préféré présenter d'abord les résultats de la carotte PBA-5 en raison de sa plus grande variabilité géochimique et aussi à cause de la présence d'argile glaciolacustre à sa base. Cette argile témoigne d'un échantillonnage complet de la colonne sédimentaire lacustre depuis le retrait des glaces continentales. Ce chapitre inclut également quelques hypothèses sur le régime sédimentaire de ces lacs, lesquelles hypothèses seront reprises avec d'autres interprétations dans le chapitre IV.

#### 3.1 Sédiments du lac PBA-5

##### 3.1.1 Structure et texture du sédiment

La colonne stratigraphique de la carotte de sédiments du lac PBA-5 est présentée à la figure 3.1.1 avec une brève description structurale et un aperçu de sa texture interne. De l'interface eau-sédiment vers la base, on observe d'abord un sédiment de type gyttja sur une longueur de 73 cm. Sous cette séquence, une seconde séquence de 10 cm de longueur contient des argiles holocènes. Cette seconde portion argileuse se divise également en deux parties. La première, entre 73 cm et 79 cm, présente une argile molle, très peu compacte, de couleur gris-noirâtre, tandis que la seconde partie, qui forme la base réelle de la carotte entre 79 cm et 83 cm, est constituée d'une argile grise et compacte.

La gyttja, qui résulte d'un processus sédimentaire relativement lent, est formée d'un matériel extrêmement fin saturé en eau. Ce matériel confère au sédiment de la carotte PBA-5 un caractère spongieux et collant. Habituellement, la matrice sédimentaire de la gyttja contient des pollens, des

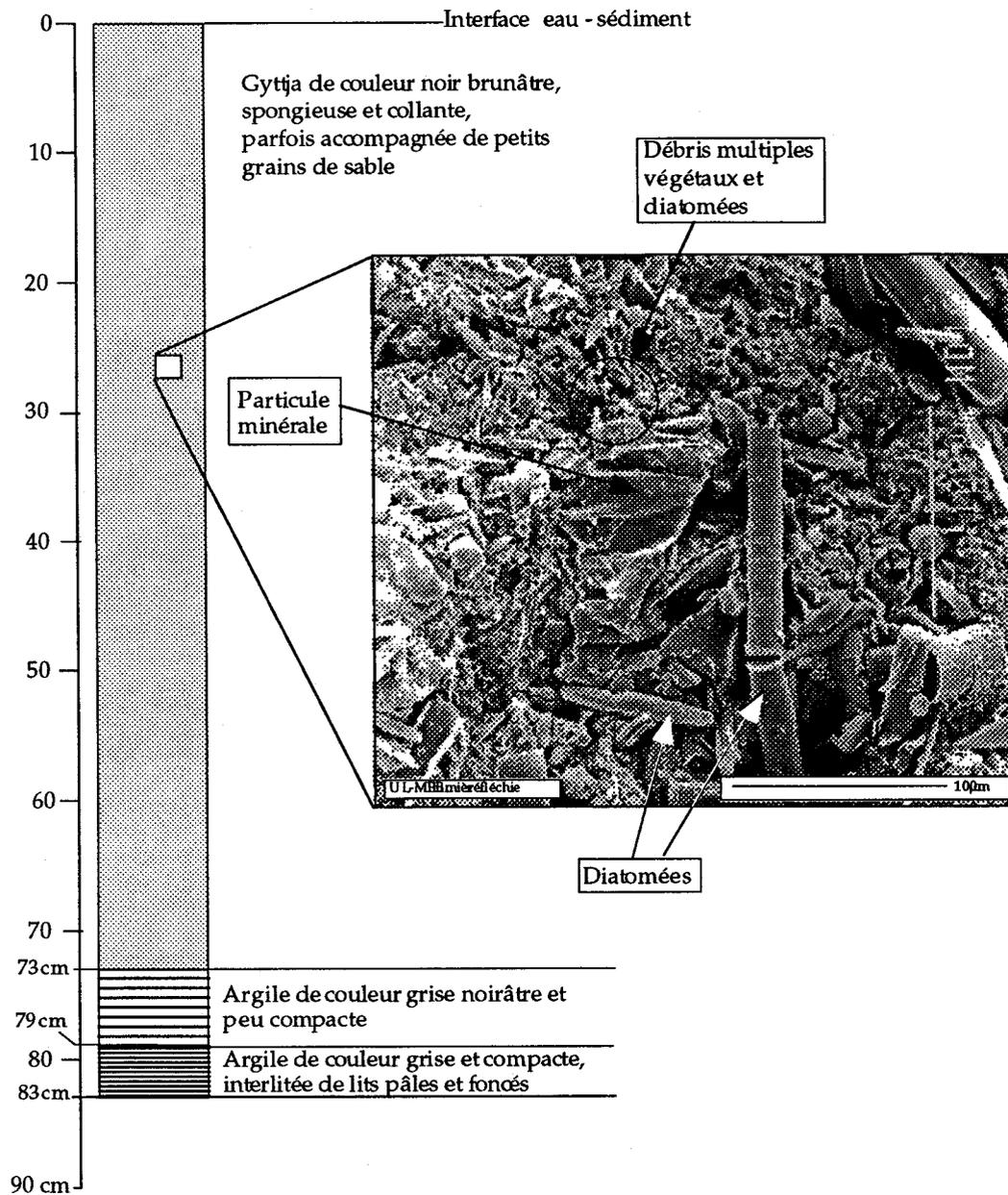


Figure 3.1.1 : Stratigraphie de la carotte de sédiments PBA-5.

spores, des tests siliceux de diatomées et autres débris végétaux ayant un diamètre variant entre 0,1 et 0,01 mm (Flint, 1971). La gyttja de la carotte PBA-5 possède une matrice constituée presque exclusivement de tests de diatomées (figure 3.1.1). On y trouve, à l'occasion, de rares particules terrigènes de la taille des sables parfaitement incorporées à cette structure spongieuse.

Les particules apportées au bassin lacustre du lac PBA-5 auraient pu être transportées par le vent, les précipitations, les insectes et, à un degré moindre, par l'érosion mécanique du bassin versant (Flint, 1971). Cependant, l'absence presque complète de matériaux exotiques dans la gyttja montre la faible importance de ces mécanismes sur l'environnement immédiat de ce lac. Les tests de diatomées sont produits par des algues vertes qui, selon les espèces, varient en formes et en grosseurs. Les tests de diatomées se déposent au fond du bassin sans ségrégation granulométrique ou orientation préférentielle des grains. D'ailleurs, la gyttja de la carotte PBA-5, qui est de couleur noire brunâtre, ne présente aucune variation granulométrique ou colorimétrique. Les particules formant la gyttja se sont enchevêtrées et agglomérées les unes aux autres en formant une structure très poreuse et extrêmement légère donnant ainsi la possibilité aux eaux interstitielles de circuler librement.

La partie molle et peu compacte de l'argile est formée d'un mélange hétérogène d'argile et de gyttja. Cette portion semble être la résultante d'une zone de transition entre l'argile et la gyttja, mais il est possible qu'elle puisse s'être formée accidentellement au cours des manipulations lors de l'extrusion de la carotte.

À la base de la carotte de sédiments lacustres, l'argile compacte est interstratifiée de petits lits gris foncé et gris pâle. Cette argile est très finement grenue et ne contient aucun grain sablonneux. Selon le contexte quaternaire, l'origine des argiles de ce secteur est directement reliée à une sédimentation postglaciaire formée par la mer de Tyrrell (Parent et Paradis, 1993 et 1994).

### 3.1.2 Composante organique

Comme souligné dans la section 3.1.1, la gyttja de la carotte de sédiments du lac PBA-5 est principalement composée d'une forte proportion de diatomées. La position nordique du lac PBA-5, le situant à la limite boréale de la végétation arborescente, réduit d'autant la possibilité d'apports en pollens, en brindilles et autres débris forestiers. Ainsi, à l'examen de quelques échantillons de gyttja au microscope électronique (figure 3.1.1 et planches 1 et 2) et à l'identification de quelques espèces par monsieur Pinetz du Centre d'études nordiques du Québec, il apparaît que ce sédiment contient des diatomées similaires aux diatomées observées dans les sédiments de lacs de la région de Yellowknife. Bien qu'il n'ait pas fait une étude complète et détaillée de la colonne sédimentaire, monsieur Pinetz convenait que ces différentes espèces, de type nordique, devaient vivre et se développer entre 5 et 7 mètres de profondeur d'eau.

Exceptionnellement, outre les diatomées, il est possible d'observer les débris d'un insecte (planche 2) et des matières organiques végétales, qui forment une fraction sédimentaire inférieure à 20 %. En général, la matière organique est extrêmement fine et tapisse la majorité des diatomées ouvertes ou fracturées.

### 3.1.3 Composante minérale

Outre les débris organiques et les diatomées, la gyttja contient également quelques particules détritiques silicatées (<1 %) provenant vraisemblablement de l'érosion mécanique des roches et dépôts quaternaires du bassin versant du lac (planche 1). Ces grains ont été identifiés par l'analyseur aux rayons X du microscope à balayage électronique (MEB) comme des grains de quartz et de feldspaths (les spectres sont présentés à l'annexe 3C). Notons qu'au moment du broyage manuel des échantillons, à l'aide d'un pilon en agate, des petits grains de sable (quartz?) furent occasionnellement détectés sur toute la longueur de cette carotte de sédiments.

Deux échantillons du matériel argileux, situés à la base de la carotte PBA-5, furent analysés par diffraction des rayons X. Les minéraux constituant

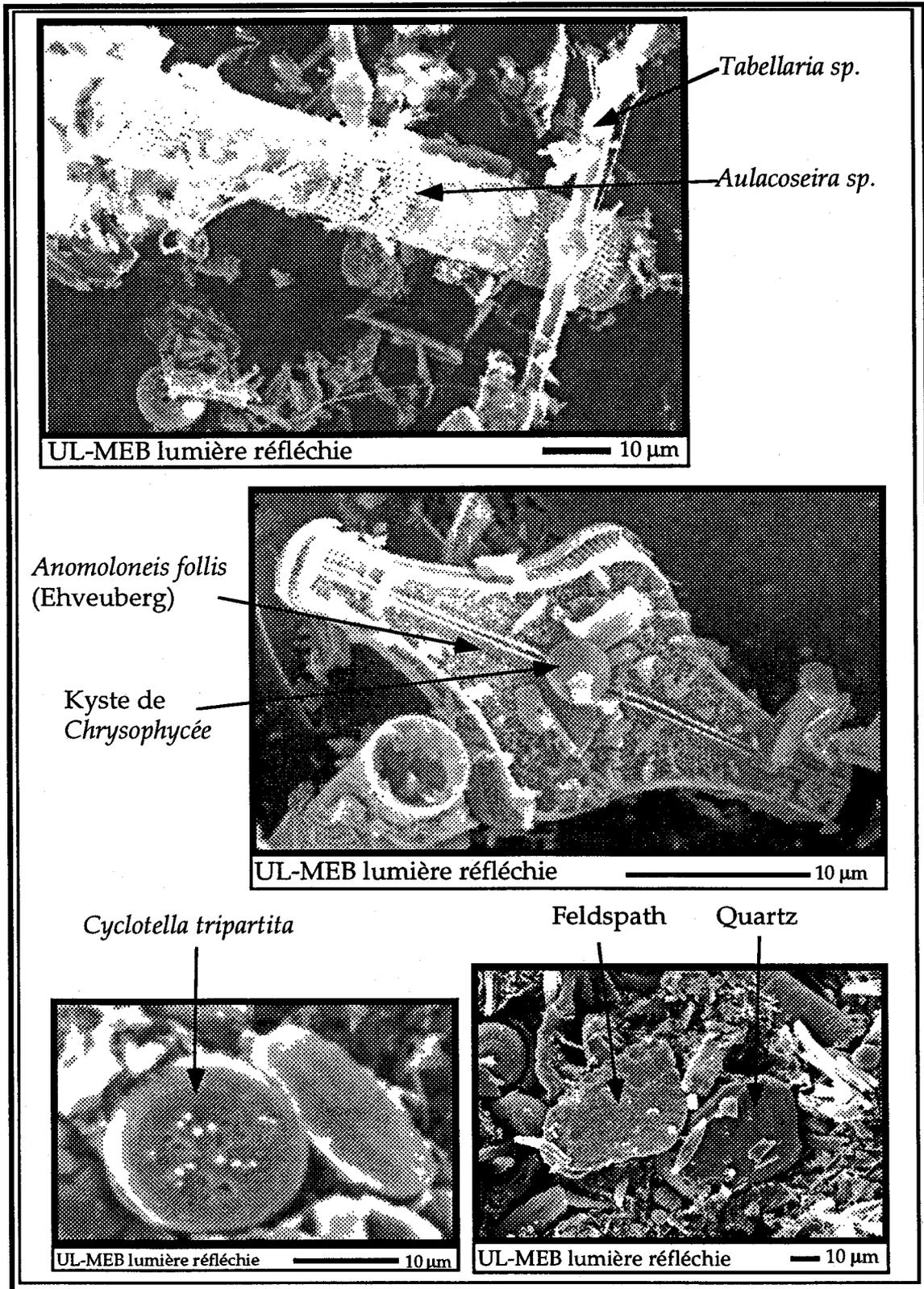


Planche 1 : Espèces de diatomés et grains terrigènes dans les sédiments du lac PBA-5 (Identification par M. Pinetz, Centre d'études nordiques).

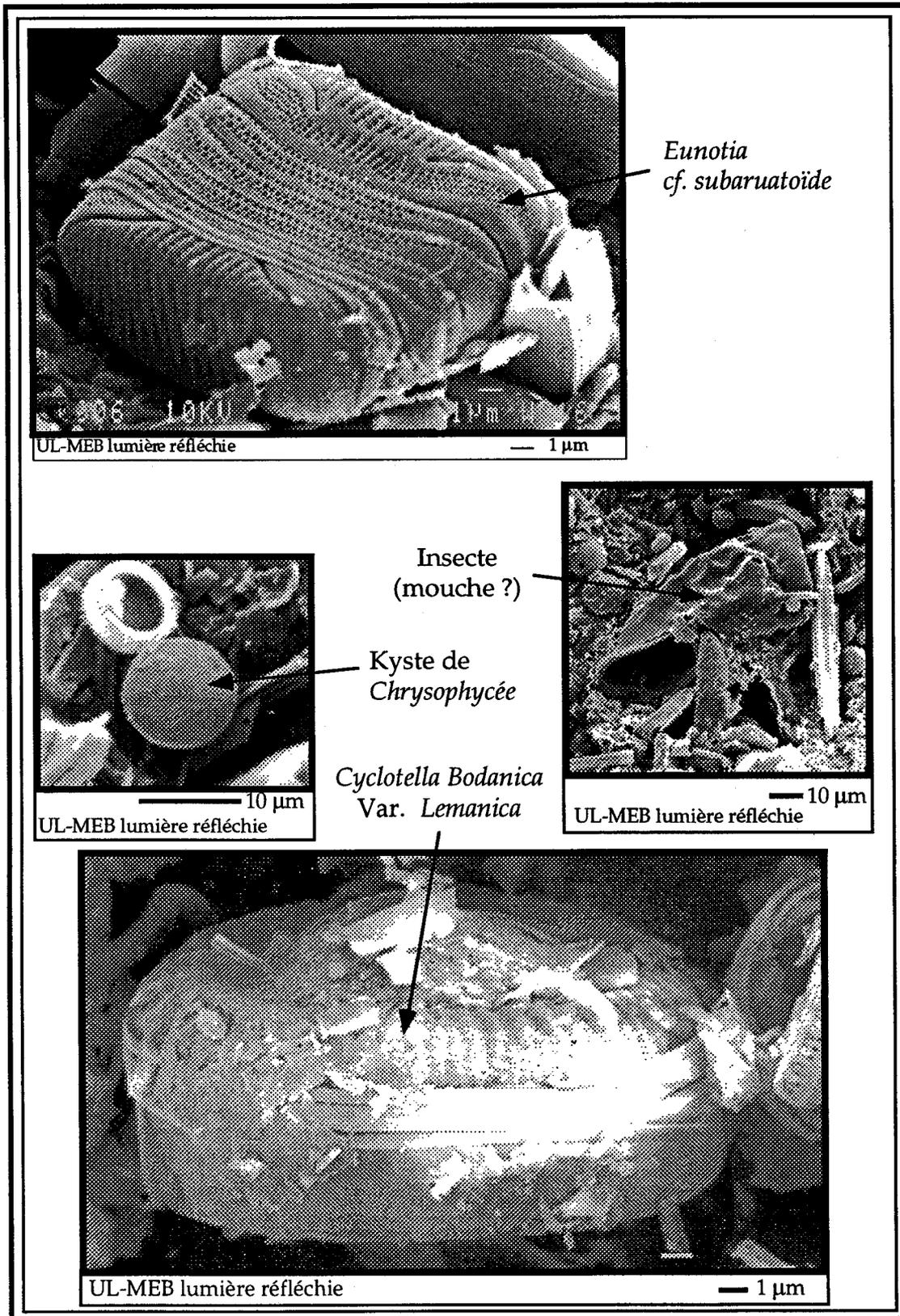


Planche 2 : Espèces de diatomées et insecte dans les sédiments du lac PBA-3 (Identification par M. Pinetz, Centre d'études nordiques).

ce matériel argileux sont principalement des illites, des chlorites, des amphiboles, des feldspaths et du quartz. La présence de kaolinite peut également être soupçonnée. L'échantillon situé au sommet de la colonne d'argile (73 cm) contenait en plus de l'apatite. Les spectres de détection de ces minéraux sont présentés à l'annexe 3B. La composition de ces argiles correspond assez bien avec les observations effectuées par Hillaire-Marcel et Preda (1974) sur les argiles holocènes des secteurs avoisinants.

### 3.1.4 Propriétés physiques du sédiment

#### 3.1.4.1 Pourcentage d'humidité

Au moment du sous-échantillonnage des sédiments, une portion de chacune des tranches de sédiments fut séchée afin de déterminer le pourcentage d'humidité. La figure 3.1.2 présente le profil du pourcentage d'humidité dans les sédiments de la carotte PBA-5.

Le pourcentage d'humidité varie beaucoup selon la nature du sédiment. La gyttja renferme plus de 88 % d'eau, tandis que l'argile en contient moins de 60 %. Dans la gyttja, le pourcentage d'humidité est relativement stable entre 0 et 19 cm avec des valeurs voisines de 89,5 %. À 20 cm de profondeur, le contenu en eau augmente brusquement à 93 % et demeure stable jusqu'au contact avec l'argile à 73 cm. À partir de ce contact, le pourcentage d'humidité décroît plus ou moins progressivement pour atteindre une valeur de 27 % à la base de la carotte de sédiments. Cette décroissance progressive du pourcentage d'eau de la gyttja vers l'argile compacte peut refléter l'existence d'une zone de transition entre les argiles et les sédiments plus récents.

La variation brusque du contenu en eau notée à 20 cm pourrait être reliée aux manipulations exercées sur le sédiment après sa sortie des eaux du lac PBA-5. Ainsi, la position verticale du tube, les vibrations durant le transport, le dessèchement par gravité du sommet vers la base et le changement de certains paramètres environnementaux représentent tous des

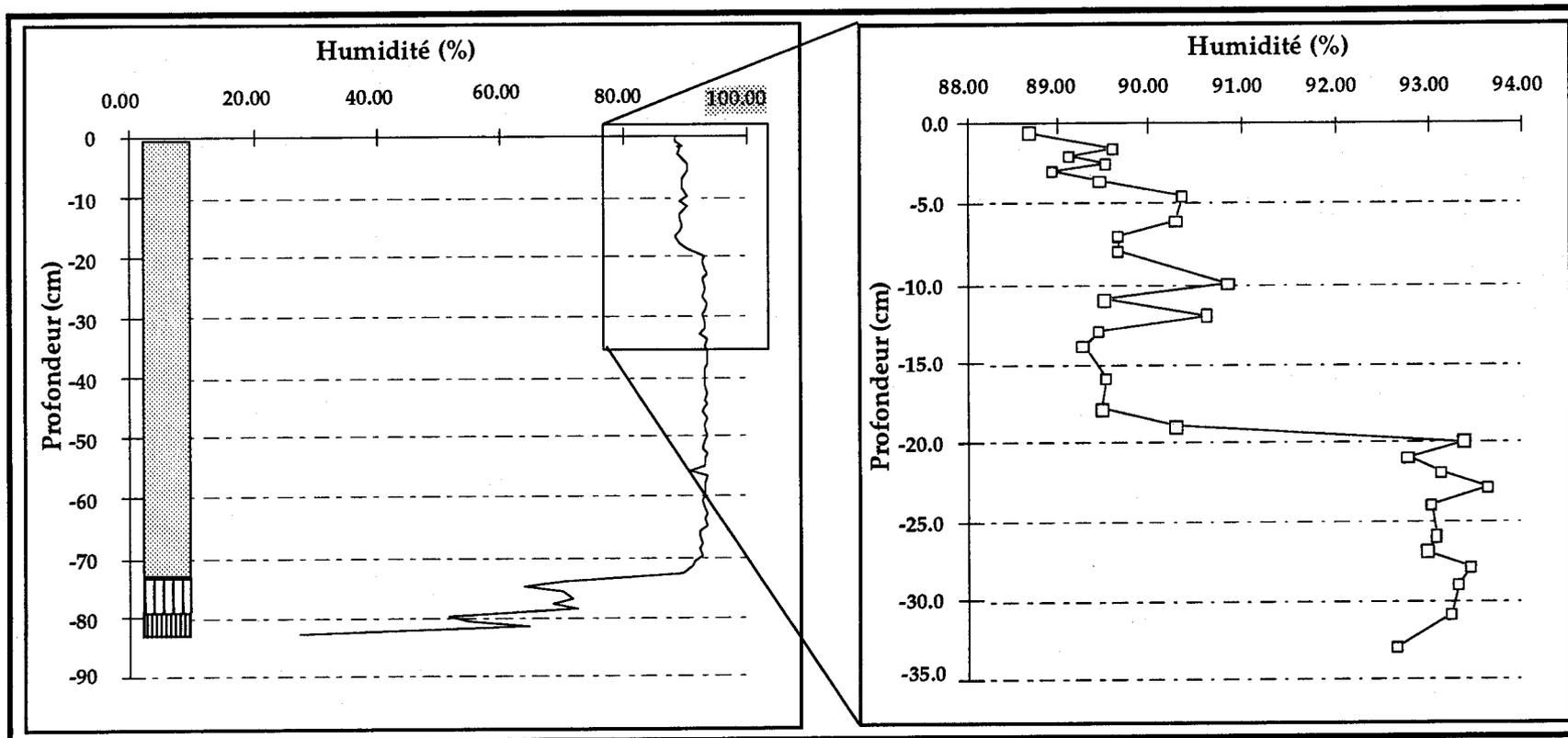


Figure 3.1.2 Pourcentage d'humidité dans les sédiments de la carotte PBA-5.

facteurs pouvant avoir produit des variations du contenu en eau du sédiment. Normalement, dans un sédiment très homogène, comme la gyttja, ces variations devraient toutefois être graduelles et non brusques comme le montrent les sédiments de la carotte PBA-5. Bien que cette variation soit de faible intensité (~4 %), nous croyons plutôt qu'il s'agit d'un changement dans les conditions sédimentologiques de ce petit bassin. Ce changement aurait vraisemblablement réorienté ou restructuré le sédiment différemment en lui permettant de contenir une plus faible quantité d'eau.

#### 3.1.4.2 Densité du sédiment

La densité vraie ( $\rho_v$ ) de la gyttja et de l'argile a été calculée (annexe 3D) à l'aide de la densité spécifique ( $\rho_{sp}$ ) mesurée avec un pycnomètre pour neuf sous-échantillons de la carotte PBA-5 (Kézdi, 1980).

La densité vraie de la gyttja est extrêmement faible et s'approche de  $1,07 \text{ g/cm}^3$ , tandis que la densité de l'argile, plus compacte, atteint  $2,37 \text{ g/cm}^3$ . Ces calculs de densité montrent que les particules formant la gyttja sont pratiquement en suspension dans l'eau, conférant à ce sédiment une structure très poreuse.

### 3.1.5 Composition chimique

#### 3.1.5.1 Carbone, azote et soufre

Les résultats analytiques du carbone total ( $C_t$ ), de l'azote total ( $N_t$ ) et du soufre total ( $S_t$ ) montrent une distribution verticale (figure 3.1.3) qui ressemble beaucoup à celle du pourcentage d'humidité mentionné dans la section 3.1.4.1. On observe, pour les trois éléments, une augmentation rapide des concentrations au contact entre la gyttja et l'argile (zone de transition) et une diminution toute aussi rapide à une profondeur de 20 cm.

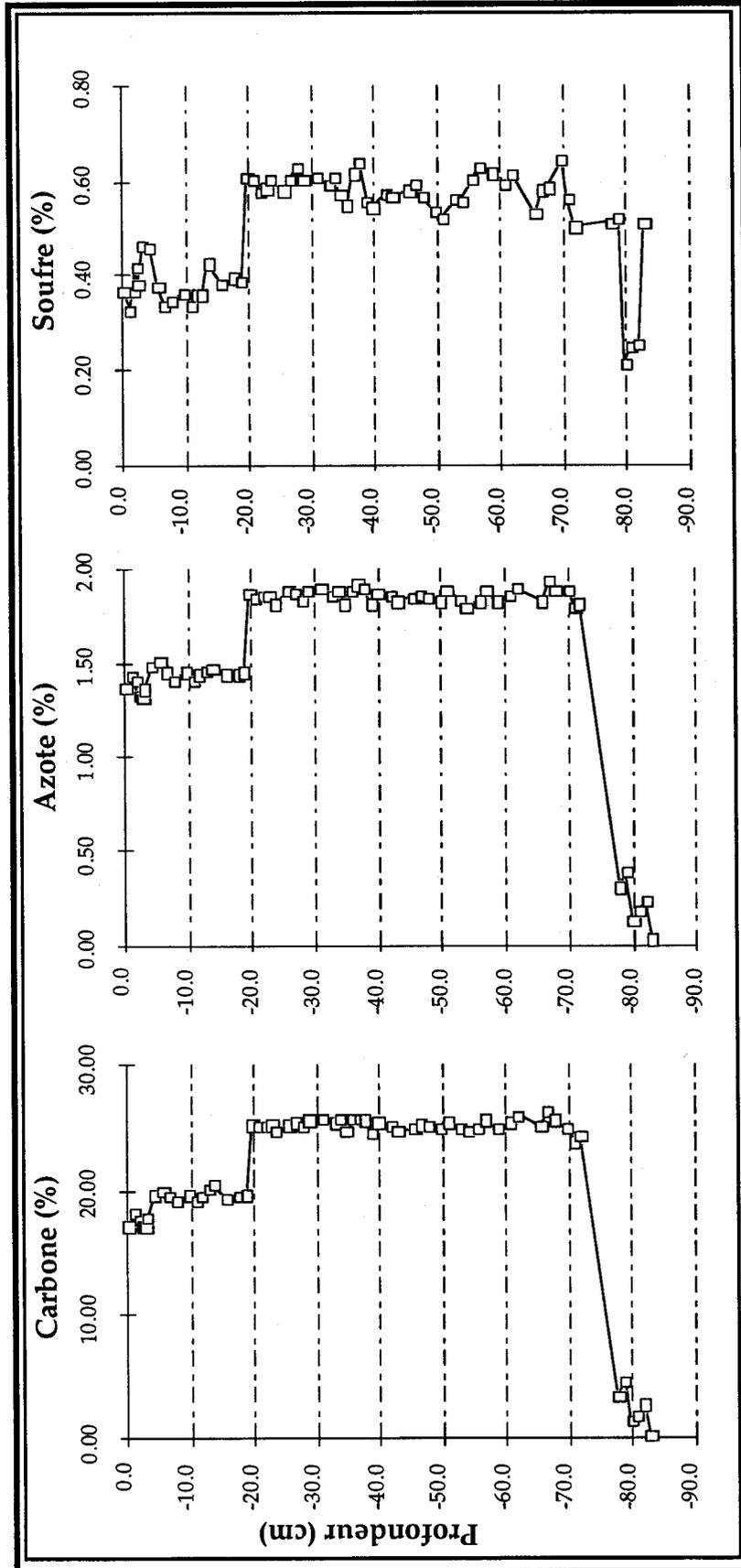
Ainsi, comme attendu, les échantillons argileux situés à la base contiennent très peu de carbone (<5 %) et d'azote (<0,5 %), avec un contenu en soufre qui varie entre 0,2 % et 0,5 %. Ces concentrations en  $C_t$  et en  $N_t$  sont similaires à celles mesurées pour les dépôts quaternaires (horizon B et till -

Tableau 1.2) sur l'ensemble de la région de la Petite rivière de la Baleine (Parent *et al.*, 1995). Elles reflètent la quasi-absence de la matière organique dans des dépôts glaciolacustres.

Pour la gyttja, outre le changement significatif des concentrations à 20 cm, les teneurs en  $C_t$ ,  $N_t$  et  $S_t$  demeurent relativement constantes sur toute la longueur de la carotte de sédiments. Les concentrations, sous la barre des 20 cm, varient de 23 % et 27 % pour le  $C_t$ , de 1,75 % à 2 % pour  $N_t$  et de 0,5 % à 0,67 % pour  $S_t$  et de 17 % à 21 % pour le  $C_t$ , de 1,2 % à 1,5 % pour  $N_t$  et de 0,3 % à 0,5 % pour le  $S_t$  au-dessus de cette limite. Les concentrations relativement faibles en carbone, azote et soufre dans la partie supérieure de la carotte de sédiments tendent à confirmer qu'il s'agit possiblement d'un changement important dans les apports particuliers biogéniques et détritiques silicatés dans le lac PBA-5.

L'étude des variations du rapport C/N apporte quelques éléments additionnels sur la nature des changements environnementaux ayant affecté le bassin (figure 3.1.4). Dans la gyttja, on observe trois cycles de diminution du rapport C/N. Le premier se situe entre 35 et 65 cm, le second entre 15 et 35 cm et enfin, le dernier entre l'interface eau-sédiment et 15 cm. Le premier et le second cycles montrent des pentes semblables et témoignent possiblement de variations similaires dans l'environnement du lac. Le dernier cycle est toutefois beaucoup plus prononcé. Il est caractérisé par un rapport C/N variant de 14 à 12,5.

La variation du rapport C/N peut être reliée à la diagenèse précoce du sédiment. Les principaux processus de dégradation de la matière organique comme l'oxydation de la matière organique, la dénitrification, la méthanogénèse et la fermentation, agissent principalement dans la zone oxydante en présence d'oxygène ou dans la zone réductrice en l'absence d'oxygène (Adams *et al.*, 1990). Dans les lacs du bouclier canadien, ces processus sont généralement actifs dans les dix premiers centimètres de sédiment ou jusqu'à une dégradation complète de la matière organique (Baudo *et al.*, 1990). Dans la partie supérieure de la carotte PBA-5, la diminution du rapport C/N pourrait être reliée à ces processus diagenétiques.



**Figure 3.1.3 Variations des pourcentages de carbone, azote et soufre dans les sédiments de la carotte PBA-5.**  
 Les concentrations se rapportent au sédiment sec. Les variations sont donc indépendantes des teneurs variables en eau.

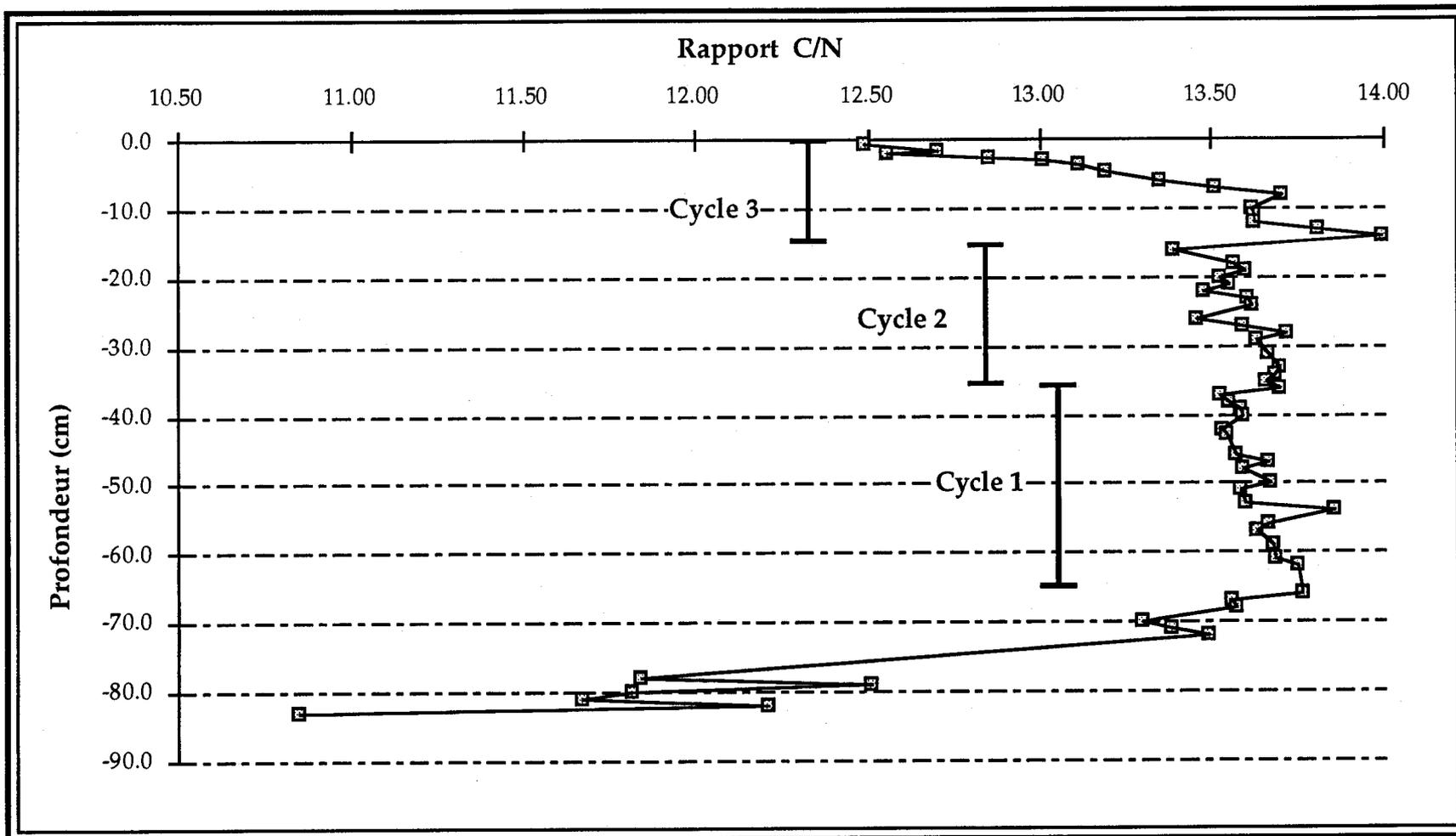


Figure 3.1.4 : Variations du rapport carbone/azote dans les sédiments de la carotte PBA-5.

La dégradation de la matière organique sous l'interface eau-sédiment entraînerait une perte en carbone organique par le biais de la formation de  $\text{CO}_2$  (g). Également, la méthanisation, production de  $\text{CH}_4$  engendrerait une nouvelle perte en carbone dans la zone réductrice. Ces pertes successives en carbone peuvent faire diminuer sensiblement la quantité de carbone présente dans le sédiment et possiblement légèrement diminuer le rapport C/N. Toutefois, le processus de dénitrification, transformation des acides aminées et autres composées organiques en nitrates solubles, est très importante dans la zone réductrice du sédiment. Ce processus fait diminuer rapidement la quantité d'azote dans le sédiment et fait augmenter le rapport C/N du sédiment (Salomons et Förstner, 1984). La combinaison de ces processus, peut donner une courbe de distribution du rapport C/N similaire à celle observée dans la partie supérieure de la carotte PBA-5 (entre 0 et 15 cm).

Au-dessous de la zone d'oxydoréduction, à environ une dizaine de centimètres sous l'interface eau-sédiment, les processus diagénétiques, cités précédemment deviennent inactifs ou mineurs, principalement à cause des conditions très réductrices du milieu et surtout de l'appauvrissement en nutriments essentiels aux maintiens de l'activité métabolique des bactéries. Si en fonction du temps, les sources de matières organiques apportées au bassin sont identiques et constantes, le rapport C/N devrait être invariable. Toutefois, on observe deux cycles de diminution du rapport C/N dans la carotte de sédiment PBA-5. Ces variations peuvent s'expliquer par une perte en carbone ou par un gain en azote. On peut suggérer ici deux processus pouvant expliquer cette situation:

- 1) Un changement dans la source des apports en matière organique particulaire. Ce changement de source de la matière organique pourrait apporter au bassin lacustre de la matière organique différente de celle apportée antérieurement et, ainsi, modifier significativement le rapport C/N du sédiment. Cette variation serait progressive et relativement lente puisque le rapport C/N varie faiblement dans le profil sédimentaire étudié. Ce changement dans la source des apports en matière organique au bassin peut être relié à la situation géographique particulière du lac PBA-5. En effet, le lac PBA-5 est situé à la frontière nord de la forêt boréale (figure 1.5). Il demeure possible que la végétation locale soit influencée par des changements de

climat affectant ainsi la productivité végétale (Meyers et Ishiwatari, 1993).  
 2) Une diminution de l'apport en carbonate détritique vers le bassin. Dans ce travail, le rapport C/N est calculé à partir des concentrations en carbone total et en azote total. Bien qu'il n'y ait pas de roches carbonatées dans l'environnement immédiat du bassin de ce lac (figure 1.7), il est toujours possible qu'une légère diminution de la quantité de carbonate détritiques, même si elle est infime, ait une influence directe sur les variations du rapport C/N. En plus, ce second processus peut être relié au premier dans un scénario de changements climatiques à travers le temps. En fait, un changement climatique important pourrait entraîner une augmentation ou une diminution de la profondeur d'eau du lac. Un tel changement aurait pour effet de déstabiliser les berges du lac et par conséquent, entraînerait une modification dans les apports terrigènes.

### 3.1.5.2 Métaux, métalloïdes

En plus du C, N et S, nous avons analysé une trentaine d'autres éléments pour la majorité des échantillons de sédiments du lac PBA-5. Ces résultats sont présentés sous la forme de distribution verticale en fonction de la profondeur dans les figures 3.1.5 à 3.1.11. Les éléments forment cinq groupes selon leurs affinités géochimiques :

- Métaux alcalins et alcalino-terreux (Ca, Na, Ba, Cs, Rb, Sr) - figure 3.1.5;
- Métaux lourds (Co, Cr, Hf, Mo, Ni, Sb, Sc, Ta, W, Zn, Fe) - figure 3.1.6;
- Lanthanides (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Lu) - figure 3.1.7;
- Actinides (Th, U) - figure 3.1.7;
- Métalloïdes (As, Se) - figure 3.1.9.

De plus, nous avons calculé le rapport Th/U (figure 3.1.8), analysé la fraction extractible en Hg et Pb des sédiments (figure 3.1.10) et quantifié les rapports isotopiques de la fraction extractible du Pb (figure 3.1.11). Afin de mieux regrouper certains éléments entre eux et de pouvoir définir leurs affinités terrigènes ou organiques, nous avons calculé la matrice de corrélation des éléments et réalisé une analyse statistique multivariée par la technique de l'analyse en composantes principales. Les résultats de ces études statistiques sont présentés aux tableaux 3.1.1 et 3.1.2.

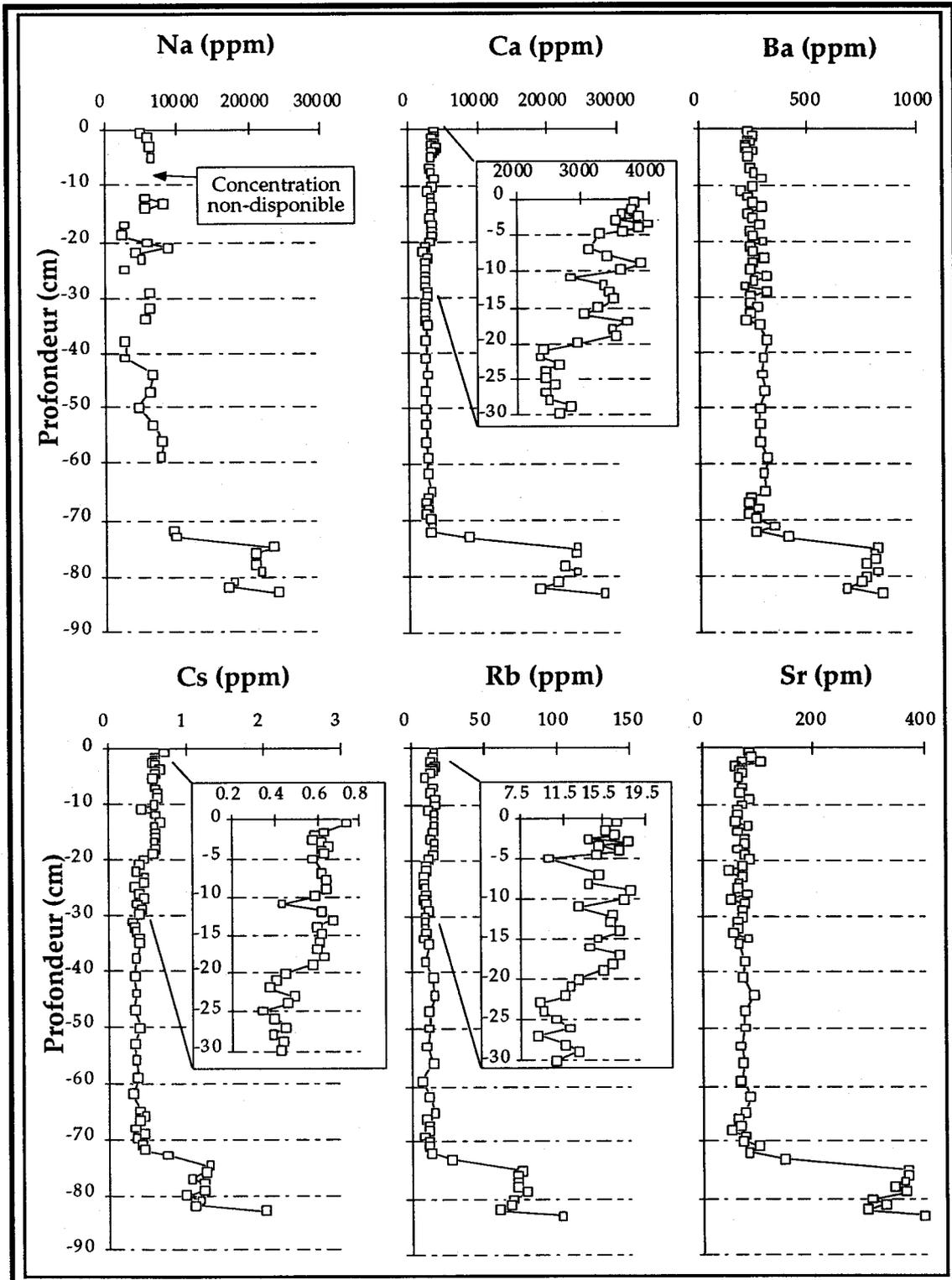


Figure 3.1.5 : Distribution des métaux alcalins et alcalino-terreux dans les sédiments de la carotte PBA-5.

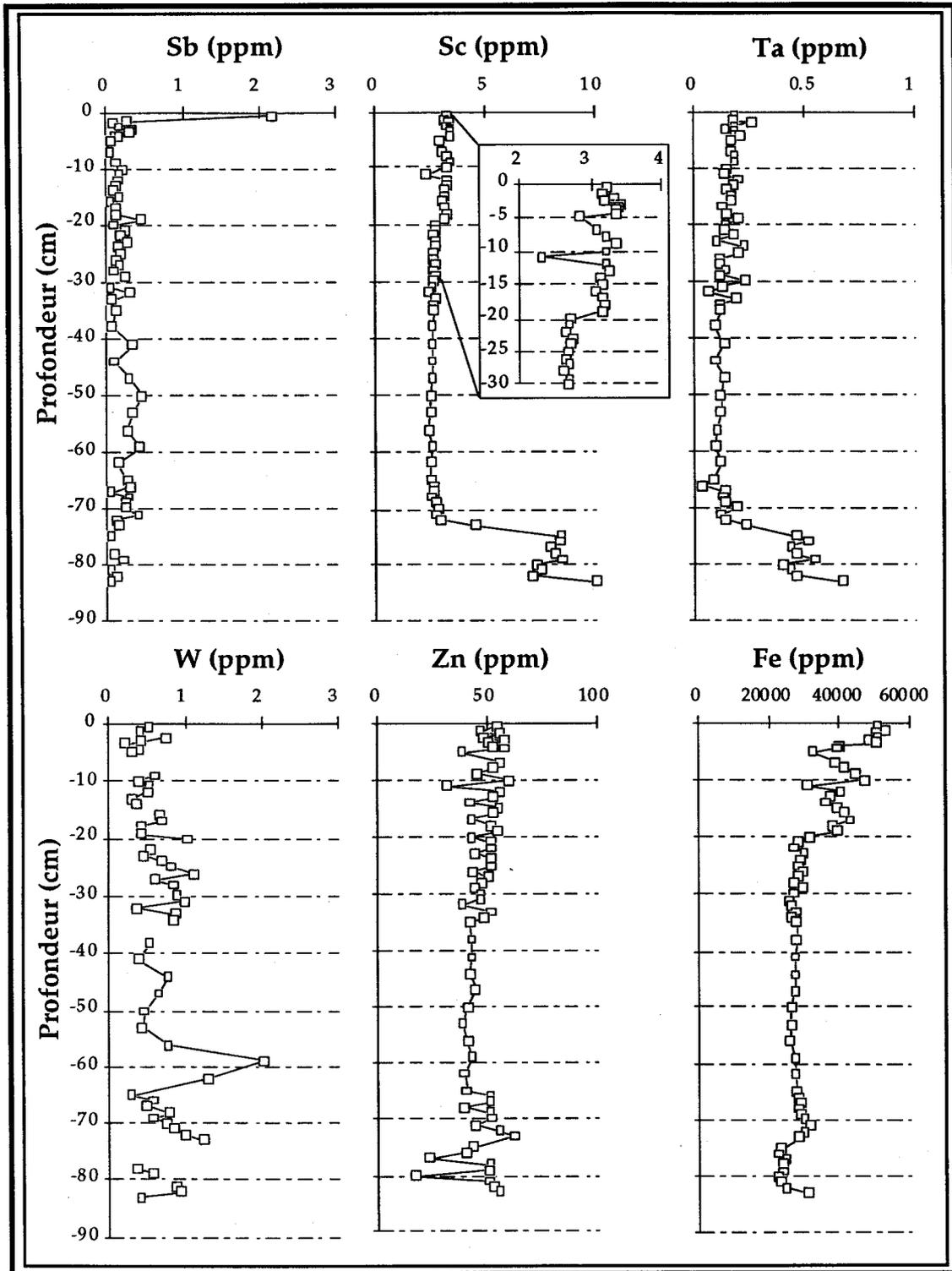


Figure 3.1.6 (suite) : Distribution des métaux lourds dans les sédiments de la carotte PBA-5.

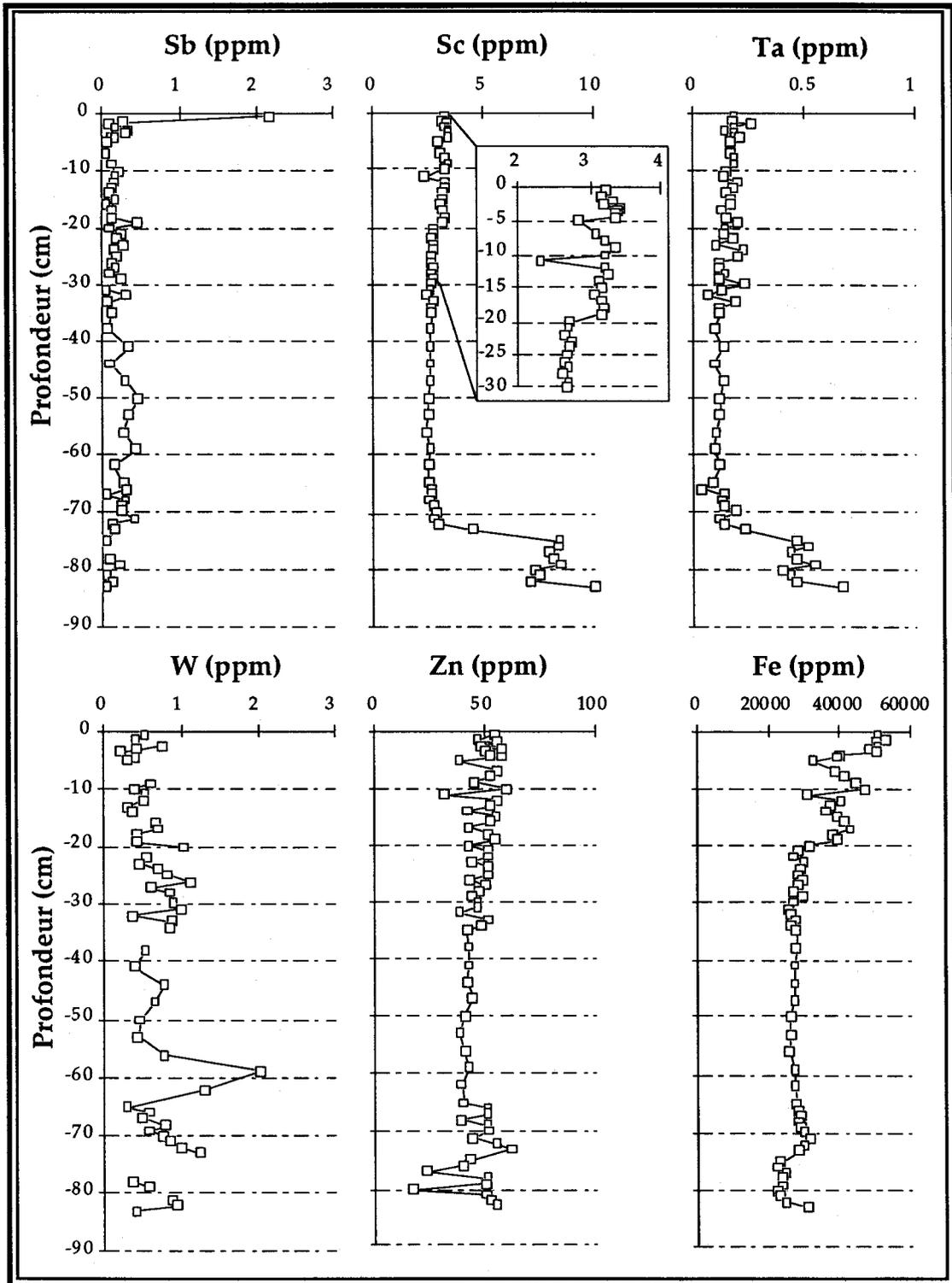


Figure 3.1.6 (suite) : Distribution des métaux lourds dans les sédiments de la carotte PBA-5.

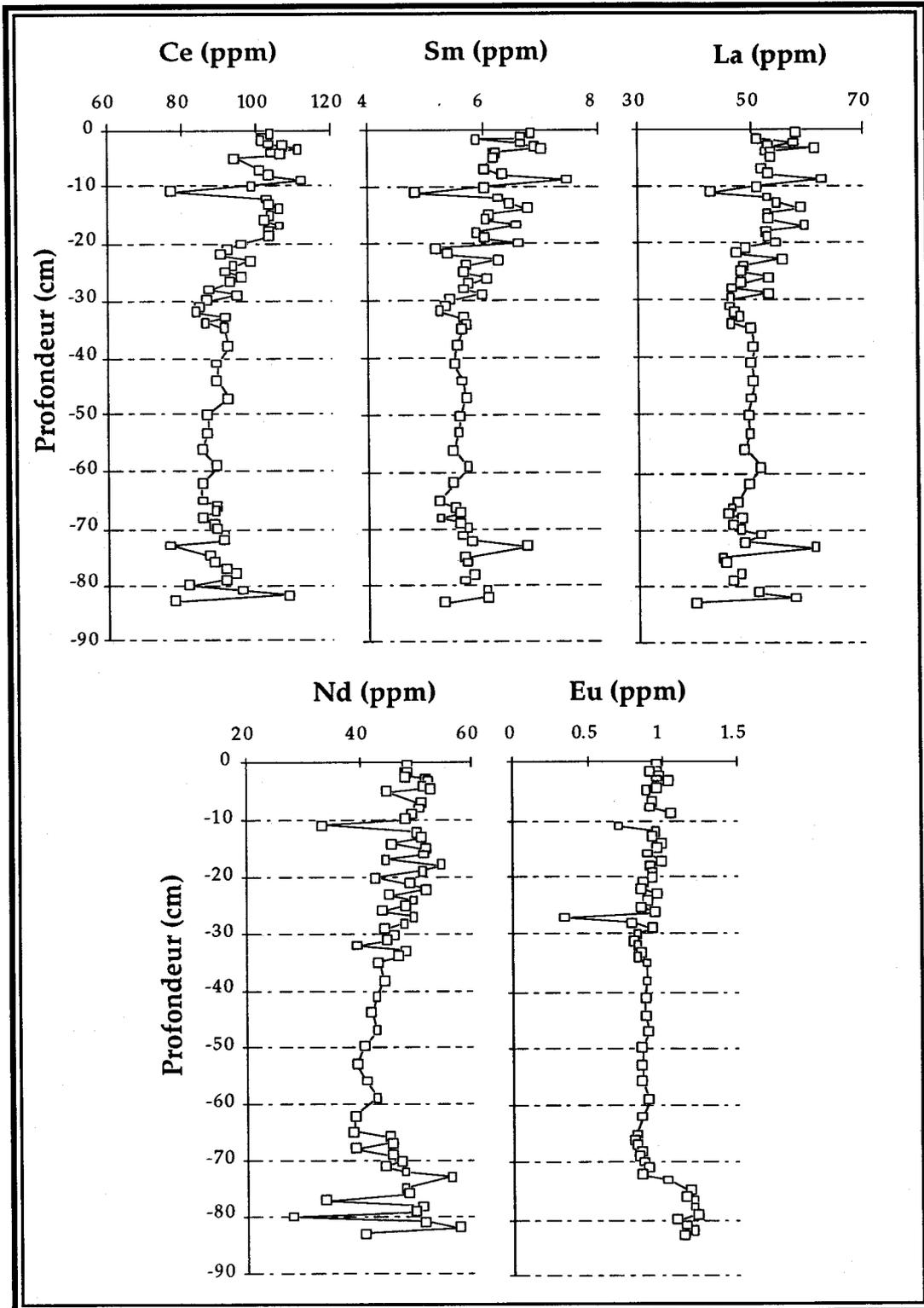


Figure 3.1.7 : Distribution des terres rares dans les sédiments de la carotte PBA-5.

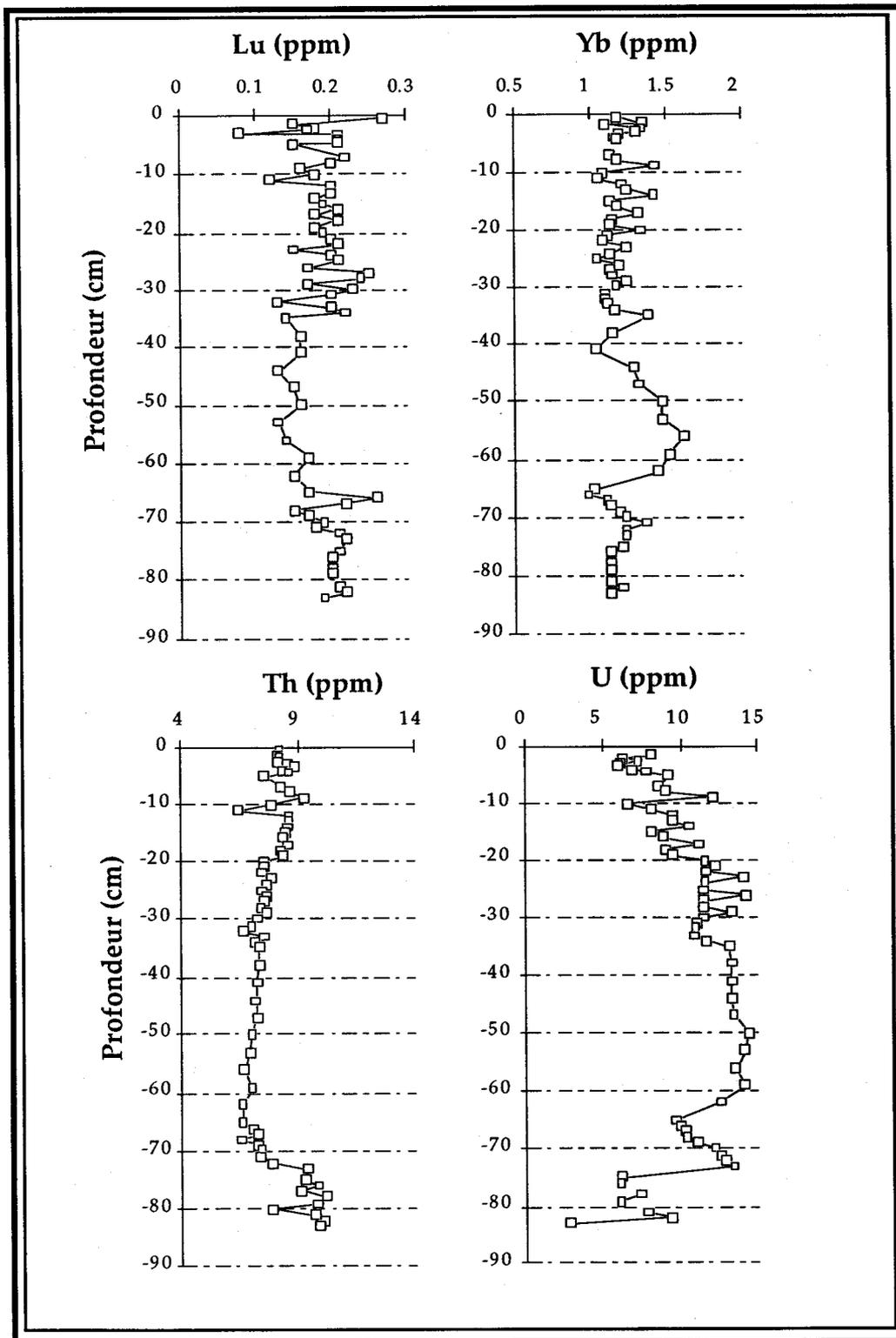


Figure 3.1.7 (suite) : Distribution des terres rares et des actinides (Th et U) dans les sédiments de la carotte PBA-5.

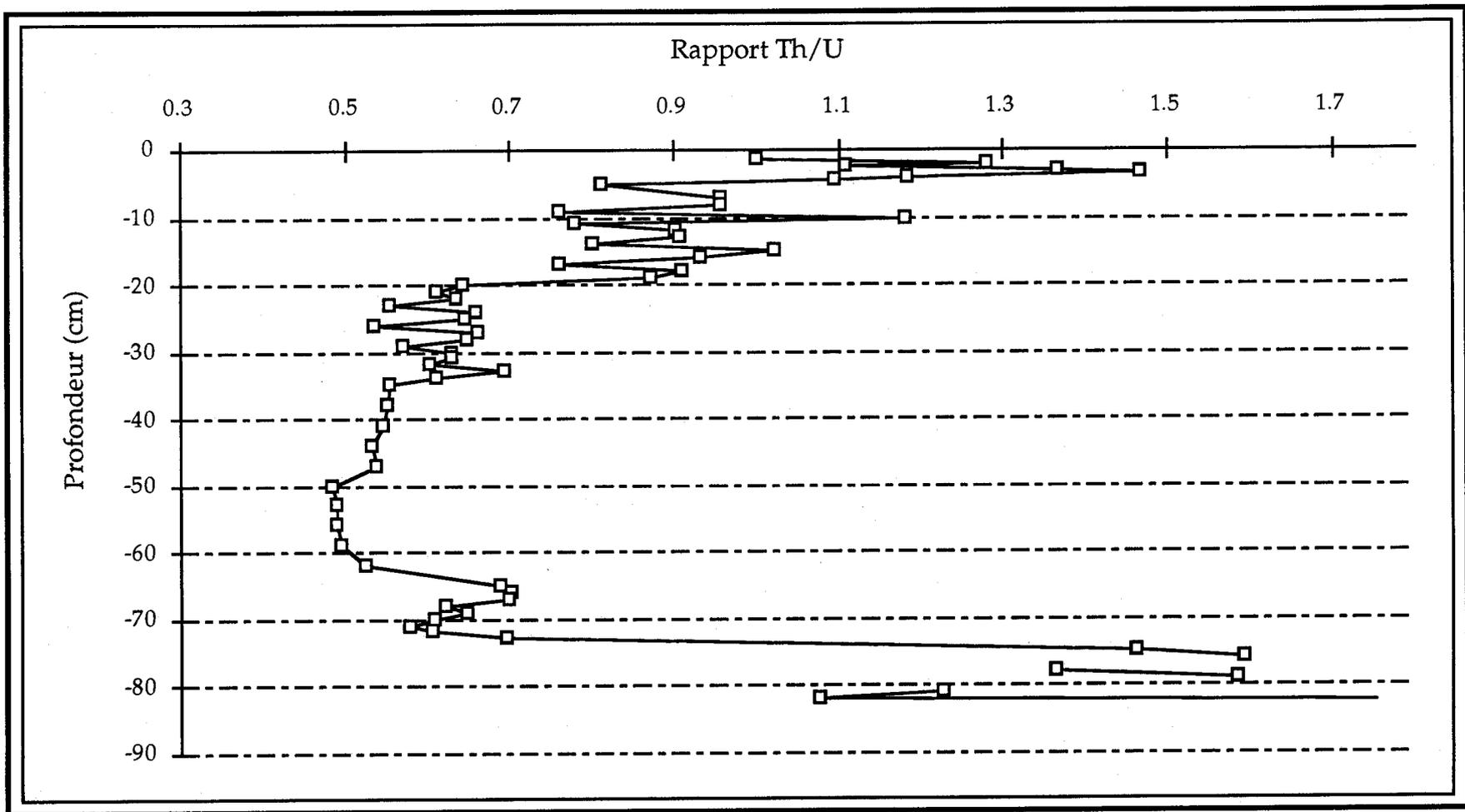


Figure 3.1.8 : Variations du rapport Th/U dans les sédiments de la carotte PBA-5.

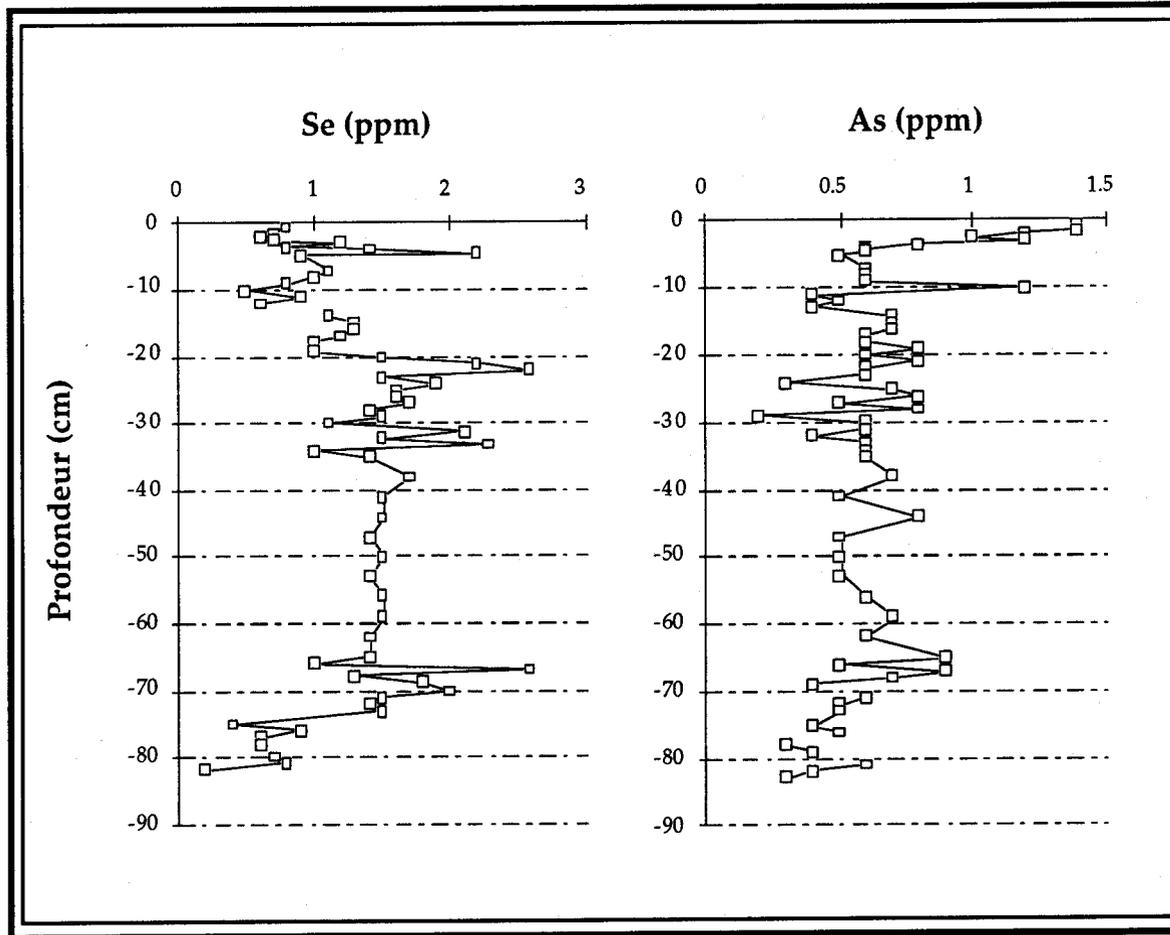


Figure 3.1.9 Distribution des métalloïdes dans les sédiments de la carotte PBA-5.

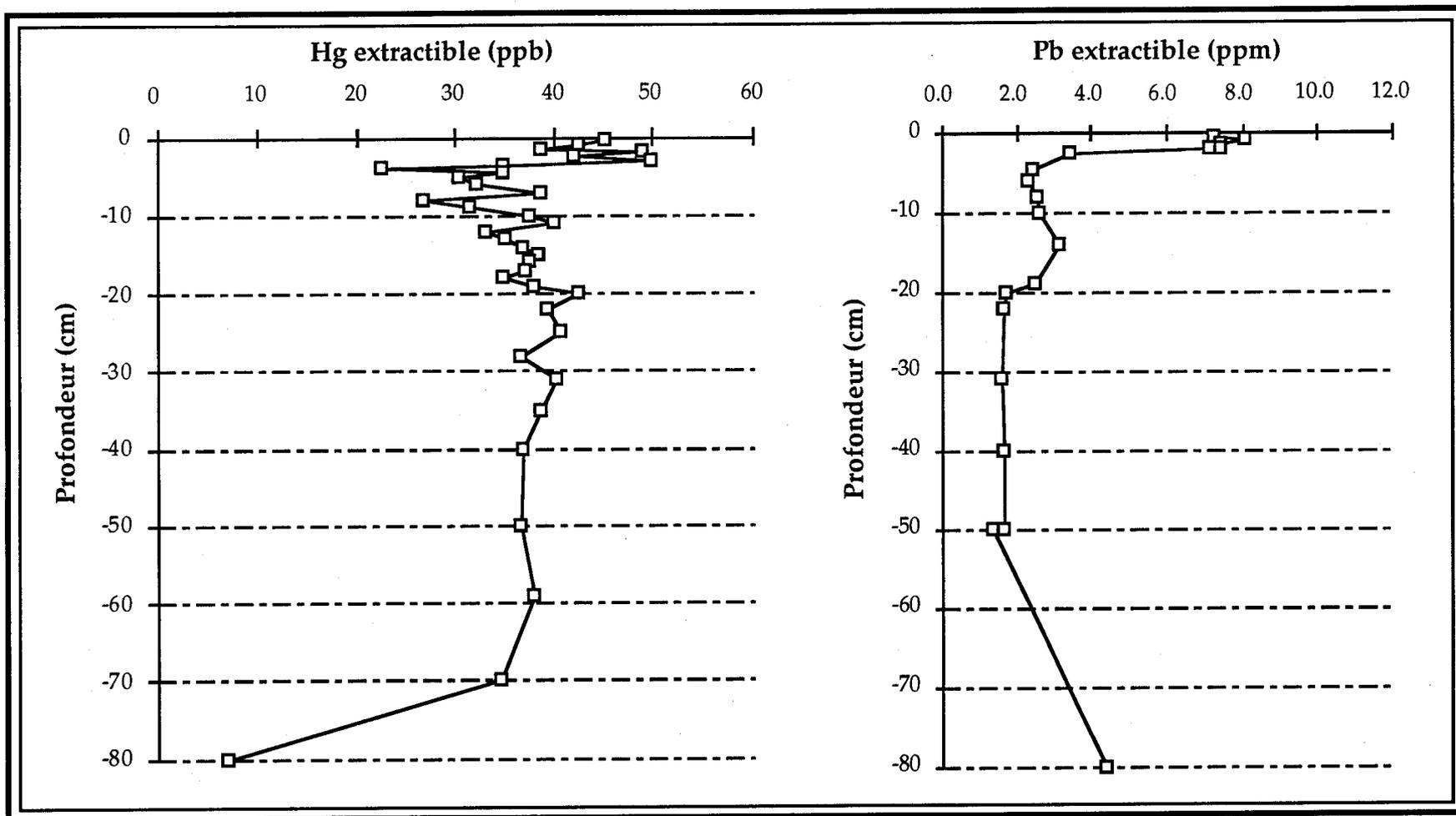


Figure 3.1.10 : Distribution du Hg<sub>ext</sub> et du Pb<sub>ext</sub> dans les sédiments du lac PBA-5.

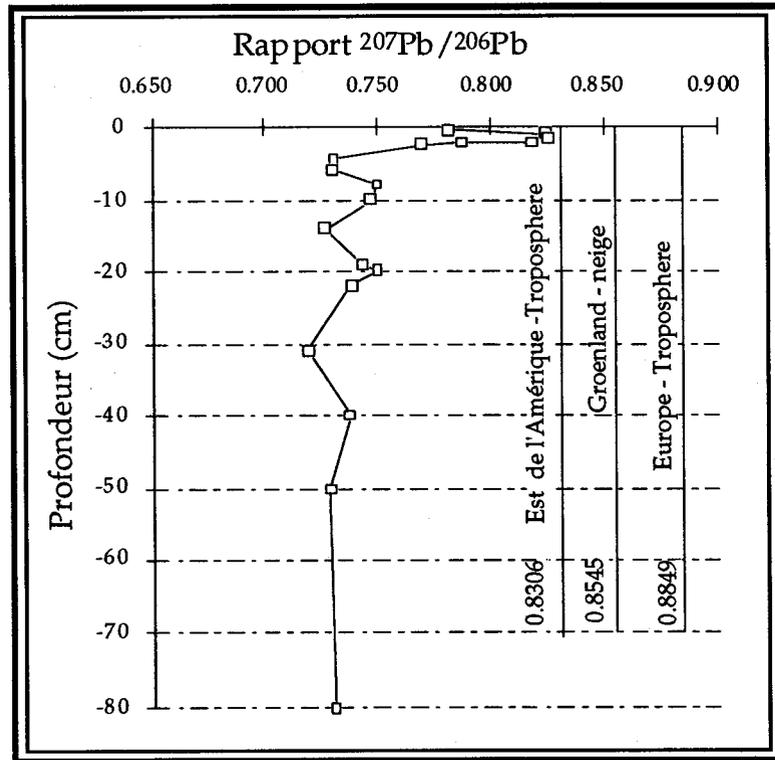


Figure 3.1.11-A : Distribution du rapport  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  pour les sédiments de la carotte PBA-5.

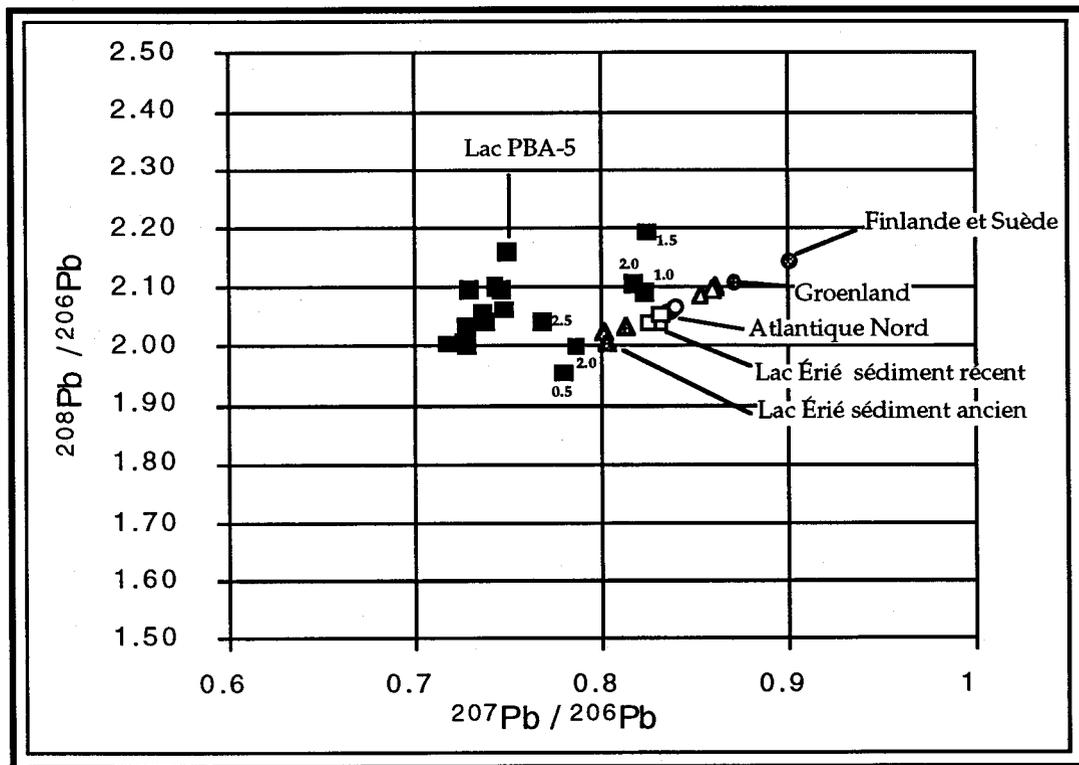


Figure 3.1.11-B : Relation entre le rapport  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  et le rapport  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  pour les sédiments de la carotte PBA-5.

Tableau 3.1.1 Matrice de corrélation des sédiments du lac PBA-5

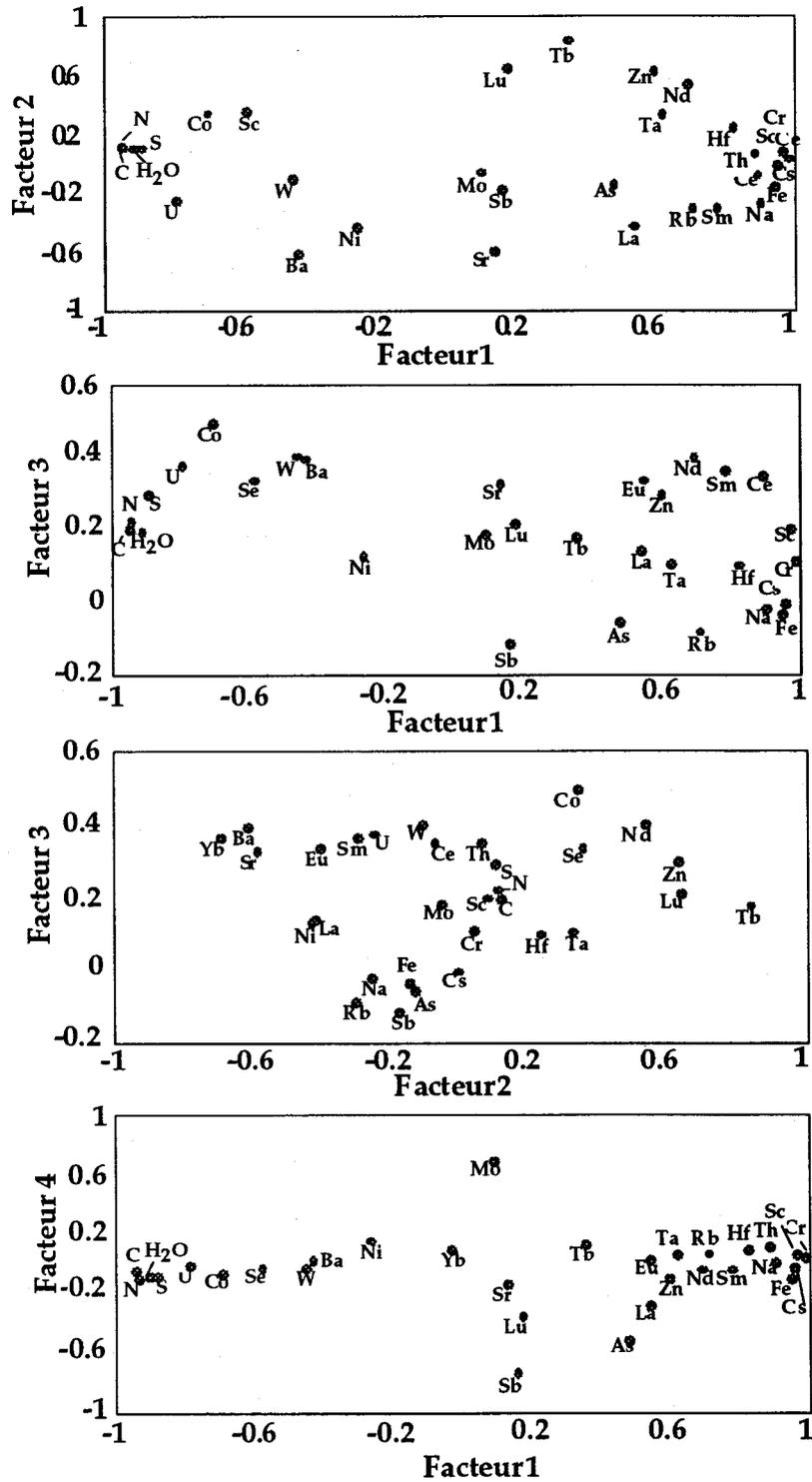
Corrélations PBA-5 (n=54)

	C	N	S	H2O	Fe	Na	Ba	Cs	Rb	Sr	Co	Cr	Hf	Ta	Mo	Ni	Sb	Sc	W	Zn	Se	As	La	Sm	Tb	Yb	Th	U		
C	1.00																													
N	0.99	1.00																												
S	0.93	0.94	1.00																											
H2O	0.95	0.95	0.92	1.00																										
Fe	-0.92	-0.90	-0.84	-0.86	1.00																									
Na	-0.88	-0.87	-0.80	-0.84	0.89	1.00																								
Ba	0.44	0.44	0.41	0.42	-0.34	-0.20	1.00																							
Cs	-0.90	-0.91	-0.88	-0.88	0.88	0.86	-0.38	1.00																						
Rb	-0.68	-0.68	-0.67	-0.71	0.68	0.76	-0.06	0.63	1.00																					
Sr	-0.12	-0.10	-0.05	-0.10	0.25	0.31	0.36	0.11	0.24	1.00																				
Co	0.81	0.84	0.88	0.81	-0.82	-0.86	0.93	0.89	-0.40	0.94	0.68	0.09	-0.62	1.00																
Cr	-0.91	-0.90	-0.82	-0.86	0.81	0.74	-0.52	0.75	0.52	0.04	-0.39	0.83	1.00																	
Hf	-0.75	-0.74	-0.65	-0.71	0.74	0.71	-0.49	0.51	0.29	-0.05	-0.33	0.62	0.54	1.00																
Ta	-0.55	-0.55	-0.48	-0.50	0.54	0.45	-0.49	0.51	0.29	-0.05	-0.33	0.62	0.54	1.00																
Mo	-0.11	-0.12	-0.03	-0.10	0.07	0.14	0.03	0.02	0.12	0.23	0.05	0.12	0.23	0.07	1.00															
Ni	0.21	0.21	0.20	0.16	-0.21	-0.16	0.46	-0.22	0.00	0.15	0.05	-0.24	-0.26	-0.34	0.00	1.00														
Sb	-0.18	-0.14	-0.11	-0.15	0.23	0.19	0.02	0.21	0.16	0.16	-0.15	0.11	0.05	-0.01	-0.34	-0.04	1.00													
Sc	-0.86	-0.85	-0.79	-0.83	0.89	0.87	-0.36	0.93	0.66	0.11	-0.55	0.99	0.83	0.62	0.14	-0.24	0.09	1.00												
W	0.44	0.44	0.46	0.41	-0.37	-0.38	0.34	-0.47	-0.43	0.16	0.39	-0.42	-0.33	-0.20	0.11	0.17	-0.06	-0.39	1.00											
Zn	-0.42	-0.41	-0.40	-0.41	0.50	0.35	-0.50	0.55	0.29	-0.15	-0.05	0.64	0.64	0.55	0.04	-0.35	0.07	0.69	-0.20	1.00										
Se	0.63	0.66	0.65	0.57	-0.62	-0.63	0.16	-0.58	-0.50	-0.27	0.71	-0.52	-0.32	-0.20	-0.16	0.25	-0.16	-0.47	0.22	-0.05	1.00									
As	-0.44	-0.40	-0.35	-0.37	0.62	0.46	-0.22	0.35	0.43	0.30	-0.27	0.45	0.41	0.23	-0.13	-0.08	0.39	0.40	-0.09	0.33	-0.30	1.00								
La	-0.49	-0.46	-0.47	-0.45	0.63	0.57	0.03	0.51	0.37	0.36	-0.43	0.51	0.53	0.22	-0.19	-0.13	0.12	0.49	-0.18	0.07	-0.39	0.46	1.00							
Sm	-0.68	-0.67	-0.60	-0.64	0.77	0.75	-0.07	0.78	0.52	0.31	-0.47	0.81	0.83	0.39	0.10	-0.02	0.17	0.81	-0.23	0.33	-0.46	0.35	0.63	1.00						
Tb	-0.21	-0.22	-0.23	-0.23	0.19	0.07	-0.57	0.32	0.05	-0.39	0.07	0.39	0.51	0.48	0.09	-0.37	-0.21	0.45	-0.11	0.02	0.11	0.05	-0.18	0.02	1.00					
Yb	-0.01	-0.02	0.01	-0.05	0.03	0.10	0.48	-0.02	0.13	0.43	-0.08	-0.02	-0.13	-0.16	0.13	0.25	0.06	-0.01	0.34	-0.34	-0.11	-0.02	0.30	0.31	-0.46	1.00				
Th	-0.76	-0.76	-0.71	-0.74	0.78	0.75	-0.25	0.88	0.57	0.10	-0.47	0.92	0.73	0.59	0.12	-0.19	0.01	0.94	-0.36	0.63	-0.37	0.25	0.50	0.85	0.41	0.03	1.00			
U	0.80	0.80	0.71	0.75	-0.77	-0.72	0.68	-0.72	-0.50	0.11	0.59	-0.76	-0.71	-0.52	-0.10	0.30	-0.08	-0.71	0.49	-0.54	0.45	-0.49	-0.26	-0.40	-0.41	0.39	-0.51	1.00		

Tableau 3.1.2 Analyse factorielle des sédiments  
du lac PBA-5.

STAT. FACTOR ANALYSIS	Factor Loadings (Unrotated) (pba5.sta) Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)			
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
C	-.94780*	.115868	.200504	-.064643
N	-.94109*	.106622	.221640	-.110788
S	-.88844*	.102813	.290411	-.092979
H2O	-.90970*	.106490	.192583	-.100181
FE	.94780*	-.150739	-.030632	-.113478
NA	.90219*	-.262750	-.021181	.005171
BA	-.43724	-.618932	.395047	.011493
CS	.95484*	-.012856	-.001512	-.029116
RB	.70874*	-.303769	-.084378	.060225
SR	.13110	-.592130	.328568	-.150063
CO	-.70145*	.339328	.493819	-.083687
CR	.98333*	.035774	.109726	.038632
HF	.82294*	.233890	.100270	.087687
TA	.62302	.328561	.107161	.048575
MO	.09141	-.060136	.184343	.700908*
NI	-.26788	-.436642	.130108	-.149017
SB	.15614	-.179702	-.114574	-.743176*
SC	.96634*	.077663	.202805	.049825
W	-.45372	-.110290	.402132	-.043214
ZN	.59962	.631468	.295858	-.107134
SE	-.58735	.353075	.336610	-.040526
AS	.48097	-.133073	-.056636	-.525000
LA	.54385	-.423467	.143109	-.295295
CE	.89285*	-.073911	.347507	.043272
ND	.69214	.535504	.399200	-.048328
SM	.77815*	-.300579	.362626	-.047254
EU	.54622	-.408708	.337251	.011096
TB	.35359	.836165*	.177382	.124582
YB	-.03208	-.695814	.363878	.083452
LU	.17208	.640555	.212081	-.366079
TH	.88579*	.063491	.348062	.097055
U	-.79171*	-.254034	.374697	-.016626
Expl.Var	15.48288	4.420711	2.247871	1.712550
Prp.Totl	.48384	.138147	.070246	.053517

Tableau 3.1.2 (suite) Analyse factorielle des sédiments  
du lac PBA-5.



Les profils de distribution des éléments majeurs et traces permettent de délimiter quatre principales variations significatives des concentrations. Ces dernières reflètent l'évolution de la dynamique sédimentaire du lac PBA-5. Ces variations de concentrations prédominent sur la variabilité intrinsèque des analyses qui est reliée à la précision ou à l'exactitude des méthodes analytiques. De la base vers le sommet de la carotte PBA-5, on peut observer des changements significatifs de concentrations à 73 cm, 20 cm, entre 20 et 0 cm et à 5 cm.

Le premier changement, à une profondeur de 73 cm, correspond au contact entre l'argile et la gyttja. Ce contact souligne le passage d'un milieu sédimentaire glaciolacustre à lacustre. En remontant dans la colonne sédimentaire, ce changement est principalement marqué par une diminution des concentrations en Na, Ca, Ba, Cs, Rb, Sr, Hf, Cr, Sr, Ta, Eu et Th. Les abondances de ces éléments sont de 1,5 à 3 fois plus faibles dans la gyttja que dans l'argile. Ceci reflète la composition essentiellement minérale des argiles et un processus de dilution des éléments traces par la matière organique de plus en plus importante vers le sommet de la carotte. Toutefois, les concentrations en Co, Mo, U, Fe, Se, As et Hg de la gyttja sont légèrement plus élevées que dans l'argile. Enfin, les concentrations en Ni, Sb, W, Zn et les autres terres rares ne semblent pas significativement affectées par le changement de milieu de sédimentation.

En examinant la géologie locale, on constate que le socle rocheux est principalement constitué de granites et de granodiorites, avec parfois de petits assemblages de roches volcaniques. Ce substrat archéen est métamorphisé aux faciès des amphibolites (orthogneiss) et des granulites (Parent et Paradis, 1994; Eade, 1966; Ciesielski, 1991; Chandler et Schwarz, 1980; Chandler, 1988). Les métaux alcalins et alcalinoterreux et les actinides ont habituellement une plus grande affinité avec les roches felsiques, contenant des feldspaths, des micas, des amphiboles ou des pyroxènes et des minéraux accessoires comme les zircons et l'apatite. Les métaux plus lourds comme le Ni, le Co, le Cr, le Zn et le Fe sont plus abondants dans des roches mafiques, ultramafiques ou des formations de fer (Boyle, 1974; Beus et Gregorian, 1977; Levinson, 1974). Il est intéressant de souligner que la composition de l'argile analysée, à la base de la carotte de sédiment PBA-5, semble refléter la composition des

formations géologiques locales, compte tenu que l'argile glaciolacustre est principalement formée de particules détritiques terrigènes provenant de cet environnement géologique. Au contraire, la chimie de la gyttja montre un certain déséquilibre avec la géologie locale puisque ce sédiment est principalement formé de particules biogéniques (diatomées) avec une proportion beaucoup moindre de particules détritiques terrigènes (sections 3.1.1 à 3.1.3).

Dans l'ensemble, la gyttja et les argiles du lac PBA-5 montrent des spectres de terres rares enrichis en terres rares légères et appauvris en terres rares lourdes. Ce type de fractionnement des lanthanides implique une source sédimentaire à dominance felsique. La figure 3.1.12 montre, en effet que les abondances en terres rares légères sont enrichies de plus de 1000 % par rapport aux valeurs observées dans les volcaniques mafiques (basalte tholéitique) et ultramafiques archéennes de la province tectonique du Supérieur. De plus, les abondances en terres rares des sédiments du lac PBA-5 sont également enrichies par rapport à la valeur moyenne de la croûte continentale nord américaine estimée par la valeur du NASC (North American Shale Composite; Gromet *et al.*, 1984). Toutefois, l'absence de pic négatif en Eu sur les spectres normalisés suggère que la source des sédiments n'est pas granitique. Dans l'ensemble, la signature observée en terres rares correspond à celle d'une source ignée ayant une composition grossièrement granodioritique. Rappelons ici, que l'appauvrissement en terres rares lourdes par rapport au NASC suggère fortement que la composante détritique minérale des sédiments du lac PBA-5 dérive d'une source lithosphérique archéenne (Ex. Condie, 1993).

En fonction de la profondeur, les abondances en terres rares légères des sédiments montrent une légère diminution de concentration vers les termes argileux. Étant donné la très faible solubilité de ces éléments traces, les variations observées dans le profil sédimentaire ne reflètent pas des processus diagénétiques. Les tendances géochimiques observées suggèrent, *a priori*, un accroissement de la charge terrigène silicatée vers le sommet de la carotte.

La seconde variation significative des teneurs se situe vers 20 cm de profondeur sous l'interface eau-sédiment. Le changement des concentrations est aussi important que celui décrit précédemment, mais ce dernier implique

seulement le Ca, Cs, Rb, Hf, Co, Cr et Sc. Pour ces éléments, à la limite de 20 cm, les concentrations augmentent ou diminuent, selon le cas, dans le sens inverse du changement précédent de concentrations observé vers 73 cm.

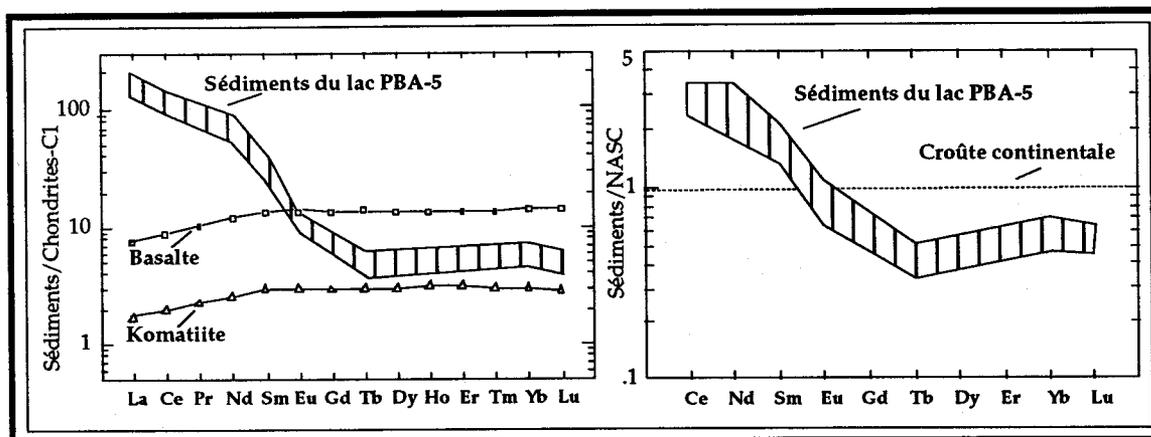


Figure 3.1.12 Diagrammes des terres rares normalisés au NASC.

Vraisemblablement, cette seconde fluctuation des concentrations est également reliée aux caractéristiques physiques du bassin sédimentaire. Nous suggérons que cette fluctuation reflète une diminution relativement rapide de la bathymétrie du lac. Ce changement bathymétrique peut avoir favorisé le lessivage et l'érosion mécanique des berges et le transport de particules silicatées vers le milieu lacustre. Cette diminution de la bathymétrie du lac est corroborée par la présence de tourbes et de sédiments lacustres observés à quelques dizaines de mètres de ce lac au moment de l'échantillonnage des tills (Parent et Paradis, 1994; Monsieur Parent, communication personnelle) et aussi, par l'observation dans les sédiments de vestiges de diatomées vivant à des profondeurs d'eau de 5 à 7 m (section 3.1.2).

Il est probable que l'apport en éléments majeurs et traces à ce lac soit de type détritique plutôt que chimique. Tous les éléments chimiques en cause, sauf le calcium, sont pratiquement insolubles dans un milieu aquatique comme le lac PBA-5. D'un autre côté, les particules détritiques apportées aux sédiments doivent être petites (argile ou silt) puisque aucun changement de texture ou de structure n'est mégascopiquement observable dans cette portion de la gyttja. De plus, nous pouvons supposer qu'une augmentation de l'apport en particules fines silicatées pourrait faire diminuer le contenu en

eau dans la gyttja par une réorganisation des particules au moment de la déposition.

La troisième séquence de fluctuation des concentrations est beaucoup plus continue et met en cause des éléments potentiellement mobiles lors de la diagénèse des sédiments. Par exemple, le fer, l'uranium et le sélénium sont des métaux pouvant être fractionnés lors de la dégradation de la matière organique et de changement de potentiel d'oxydo-réduction des fluides interstitiels du sédiment. On observe, selon le type d'élément, une diminution ou une augmentation graduelle des concentrations à partir d'environ 20 cm jusqu'à l'interface eau-sédiment.

Les concentrations en fer oscillent à trois reprises dans cette séquence sédimentaire. Ces oscillations montrent que le fer est relativement instable près de la zone d'oxydoréduction qui demeure difficile à définir en l'absence d'analyses élémentaires des fluides interstitiels du sédiment. En considérant le changement de bathymétrie comme une hypothèse à retenir pour cette portion superficielle du sédiment, les fluctuations du fer pourraient être entre autres expliquées par le lessivage et l'érosion des minéraux ferrugineux sur les berges du lac. En effet, la magnétite, la limonite et l'ilménite ont généralement tendance à se concentrer sur les berges principalement à cause du mouvement répété des vagues. L'érosion et le lessivage des berges aurait pour effet d'augmenter le contenu en fer dans les sédiments par un apport en particules détritiques riches en Fe. Une autre possibilité serait d'envisager l'existence de slumps sédimentaires reliées à des instabilités des sédiments lacustres. Ces événements ponctuels dans le temps peuvent expliquer la présence de discontinuités dans le profil du Fe dans la colonne sédimentaire. Il est important de souligner que ce processus de slumping n'est pas incompatible avec le scénario de forte réduction bathymétrique. En effet, la réduction bathymétrique crée de fortes instabilités des sédiments en bordure du lac.

Un second processus d'enrichissement du fer près de l'interface eau-sédiment, et vraisemblablement aussi important, est la mobilisation d'une partie du fer par les fluides diagénétiques lors de la dégradation de la matière organique. Cette dégradation bactérienne de la matière organique diminue

rapidement le potentiel d'oxydo-réduction des fluides interstitiels du sédiment et permet la migration par diffusion du  $\text{Fe}^{+2}$  vers la colonne d'eau. Suite à la rencontre des fluides oxydants près de l'interface eau-sédiment, les hydroxydes de Fe précipitent localement créant ainsi un enrichissement du sédiment en fer. Malheureusement, en l'absence de données géochimiques provenant d'attaques séquentielles du sédiment, nous ne pouvons quantifier l'importance relative de ces deux processus.

À l'opposé du fer, les concentrations en uranium passent graduellement de 15 ppm à 5 ppm dans les premiers 60 cm de la gyttja. Cette variation progressive pourrait représenter, à prime abord, une diminution graduelle dans les apports détritiques silicatés au lac PBA-5. Cependant compte tenu des très faibles variations d'abondance en Th, les variations des teneurs en U reflètent possiblement d'autres processus. Le rapport Th/U, qui est généralement utilisé comme traceur pétrogénétique dans les roches ignées (Govett, 1983), a été calculé pour l'ensemble de la carotte sédimentaire du lac PBA-5. Le profil de la figure 3.1.8 montre six changements relativement abrupts du rapport Th/U. Le changement le plus important se situe dans la transition entre le mode sédimentaire glaciolacustre (argile) et le mode lacustre (gyttja), dominé par une sédimentation biogénique. Dans la zone argileuse, le rapport Th/U reflète la composition des roches granodioritiques. Par la suite, le rapport Th/U change radicalement en raison d'un enrichissement en U des sédiments lacustres. Cet enrichissement peut s'expliquer par le fait que la matière organique fixe fortement l'uranium par rapport au thorium qui demeure totalement insoluble dans l'eau.

Entre 20 et 10 cm, le rapport Th/U reflète probablement une nouvelle augmentation de la charge détritique silicatée. L'enrichissement de ce rapport entre l'interface eau-sédiment et 10 cm de profondeur reflète surtout la diagénèse précoce du sédiment. Dans ces conditions, le Th est strictement immobile et l'U sera fractionné en fonction des changements du potentiel d'oxydoréduction et de la précipitation des hydroxydes de Fe et Mn qui peuvent fortement fixer l'uranium par adsorption. Outre l'effet diagénétique dans les premiers 5 cm, l'augmentation progressive du rapport Th/U depuis la fin de l'époque glacio-lacustre reflète probablement une augmentation du degré d'intempérisme chimique du bassin versant.

Pour le sélénium, le changement des concentrations dans les derniers 20 cm de sédiments est presque identique à celui observé pour l'uranium. Généralement, le sélénium est libéré dans l'environnement par les processus d'altération des roches (Marier et Jaworski, 1983). Il peut être particulièrement abondant en présence de sulfures divers (Boyle, 1974). De plus, le sélénium est fréquemment identifié comme un élément chimique pouvant agir sur la désintoxication du mercure dans les organismes vivants (Craig, 1980; McNeal and Balistrieri, 1989). Compte tenu que le sélénium présente un profil géochimique semblable à celui du soufre et de l'uranium, la diminution graduelle du sélénium dans cette portion supérieure du sédiment pourrait souligner un changement dans les processus d'altération des roches du bassin versant ou une modification dans l'apport des matériaux terrigènes entraînant une dilution des teneurs en Se par l'augmentation croissante de la charge terrigène silicatée. Compte tenu de l'importance de la diminution des abondances en Se, nous favorisons la seconde hypothèse au détriment d'une interprétation impliquant de très grands contrastes climatiques. Suite à l'érosion des roches et au transport de Se par les eaux de ruissellement, la matière organique (algues) du lac va rapidement fixer le Se dissous (micronutriment). Ainsi, par la suite, le Se sédimente avec la matière organique particulaire. Ce qui explique les corrélations statistiques observées dans le tableau 3.1.2 (facteur 1 vs facteur 2) entre le Se et les composantes de la matière organique particulaire (C, N et S)

Les profils de l'arsenic (As), du plomb extractible ( $Pb_{ext}$ ) et du mercure extractible ( $Hg_{ext}$ ) présentent des variations significatives de concentrations près de l'interface eau-sédiment (entre 0 et 2,5 cm). En effet, dans cette partie superficielle du sédiment, les concentrations de ces trois paramètres passent de 0,5 à 1,4 ppm As, de 30 à 50 ppb  $Hg_{ext}$  et de 2,2 à 8,0 ppm  $Pb_{ext}$ . Comme suggéré par les travaux de nombreux chercheurs, il est permis de croire que cette portion supérieure de la carotte PBA-5 aurait été soumise à des apports de polluants anthropiques (Benoit et Lucotte, 1994; Ouellet et Jones, 1983; Langlois, 1994; C.R.E. 1993; Perreault, 1992; Louchouart, 1992; Poissant et Béron, 1993). Cependant, certains travaux ont montré que le processus de diagénèse précoce du sédiment est parfois associé à un enrichissement en certains métaux lourds qui s'accroît généralement vers la surface du

sédiment. En effet, dans la zone d'oxydo-réduction du sédiment, le manganèse et le fer sont successivement réduits en fonction de l'accroissement du potentiel réducteur des fluides interstitiels du sédiment. Le fer et le manganèse réduits peuvent diffuser vers la surface et sont réoxydés dans les zones plus oxydantes (Belzile *et al.*, 1989). Cette diffusion du fer et du manganèse provoque un gradient de concentration de ces métaux entre la zone réductrice et la zone oxydante (Carignan, 1989). Lorsque le fer et le manganèse sont oxydés, ils auront tendance à adsorber plus ou moins fortement les autres métaux libres dans les eaux interstitielles.

Toutefois, grâce à l'utilisation des isotopes de Pb, il est possible de démontrer que l'enrichissement du Pb observé près de la surface n'est pas uniquement relié à ce processus diagénétique. En fait, le plomb autochtone et le plomb anthropique, à cause de leurs origines différentes, possèdent des signatures isotopiques très distinctes. Le plomb autochtone aura une signature isotopique crustale et invariable dans le temps ( $t < 10^6$  ans) puisqu'il origine toujours de la même source. Un ajout de plomb anthropique dans le sédiment entraînera une variation du rapport isotopique du plomb et trahira sa présence.

Les données isotopiques du plomb ( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) révèlent que les rapports en  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  sont plus élevés pour la portion situés entre 0-2,5 cm de profondeur. Dans cette section le rapport varie de 0,72 à 0,83. La figure 3.1.11-A présente également les valeurs moyennes du rapport  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  mesurées dans la troposphère et dans la neige pour l'est de l'Amérique, le Groenland et l'Europe (Véron *et al.*, 1994; Boutron *et al.*, 1994). Sur cette figure, on observe que le rapport  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  maximum atteint dans les sédiments de la carotte PBA-5 est voisin des valeurs moyennes de particules troposphériques provenant de l'est de l'Amérique du Nord. Dans la même perspective, la figure 3.1.11-B présente quelques valeurs obtenues pour les rapports  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  et  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  pour des régions situées en périphérie du Québec (Boutron *et al.*, 1994; Véron *et al.*, 1994; Ritson *et al.*, 1994; Rosman *et al.*, 1994; Ohlander *et al.*, 1993). Les rapports isotopiques mesurées pour les sédiments superficiels de la carotte PBA-5 sont très similaires aux valeurs rapportées pour le lac Érié et pour l'Atlantique Nord. L'examen des rapports isotopiques du Pb suggère fortement que le lac PBA-5 subit, depuis un certain

temps, l'influence d'une contamination anthropique diffuse provenant de l'atmosphère.

Comme nous l'avons spécifié précédemment, les profils du mercure et de l'arsenic montrent également une variation significative des concentrations entre 0 et 2,5 cm. Toutefois, il serait hasardeux de relier directement le comportement de ces deux éléments (Hg et As) à celui du plomb. Notamment, entre 0 et 20 cm, les profils du mercure et de l'arsenic sont très similaires aux profils des autres paramètres affectés par les processus diagénétiques (voir Fe et rapport Th/U). Nous croyons que les variations géochimiques observées pour le mercure, et vraisemblablement l'arsenic, reflètent une combinaison variable des effets reliés à la mobilisation diagénétique des métaux et à l'influence d'un apport en polluants atmosphériques d'origine anthropique. En l'absence de données sur le flux diagénétiques des métaux dans les fluides interstitiels des sédiments, nous ne pouvons évaluer avec certitude l'importance des apports diagénétiques et anthropiques.

### 3.2 Sédiments du lac PBA-3

Les sédiments lacustres de la carotte du lac PBA-3 présentent une image très similaire aux sédiments du lac PBA-5 (figure 3.2.1). Les caractéristiques physiques et structurales de cette gyttja sont identiques à la carotte précédente, exception faite de la zone argileuse formant la base de la carotte qui fut perdue au moment de l'échantillonnage. Le contenu en diatomées (planche 2) est aussi abondant, et cette silice amorphe est occasionnellement accompagnée de petits grains de sable.

Le pourcentage en eau dans la gyttja est légèrement inférieur (environ 88 %) à celui de la carotte PBA-5 (environ 93 %). À partir de la base (100 cm) jusqu'à 70 cm de profondeur (figure 3.2.2), on observe une augmentation du contenu en eau dans les sédiments de gyttja. Cette augmentation est similaire à l'augmentation observée dans la carotte PBA-5 au niveau de la zone de transition argile-gyttja. Cette section de la carotte PBA-3 contient possiblement plus de matériaux terrigènes modifiant ainsi la texture de la gyttja et affectant

le contenu en eau. Ensuite, on observe sur le profil du pourcentage en eau une légère variation du contenu en eau à 35 cm de profondeur. Cette variation est essentiellement attribuable à la méthode de sous-échantillonnage puisque la section 35 - 100 cm fut sous-échantillonnée quatre jours après la section 0 - 35 cm. Les sédiments, laissés sous une hotte à flux laminaire durant cette période, ont eu la possibilité de dessécher légèrement. Enfin, on observe une fluctuation relativement importante du contenu en eau entre 0 et 5 cm. Cette variation semble *a priori* correspondre aux observations effectuées pour la carotte PBA-5 pour la séquence 0 - 20 cm et serait possiblement reliée à un changement dans le régime sédimentaire.

Les analyses géochimiques de la gyttja de la carotte PBA-3 donnent peu d'informations sur d'éventuels changements de régime sédimentaire de ce lac. Le lac PBA-3 est caractérisé par une bathymétrie actuelle d'environ 10 m d'eau. Bien que nous n'avons pas effectué d'études détaillées des populations de diatomées, le maintien dans le temps de cette profondeur d'eau tend à être confirmée par la présence dans les sédiments d'espèces de diatomées ayant proliféré à une profondeur d'eau d'environ 5 à 7 mètres (*Eunotia*, *Cyclotella Bodanica*, Etc.). Ce lac ne semble pas avoir subi, comme le lac PBA-5, de changements bathymétriques majeurs depuis sa formation.

Pour cette carotte de sédiments, les variations géochimiques les plus significatives se situent principalement sous l'interface eau-sédiment, entre 0 et 5 cm de profondeur (figures 3.2.3 à 3.2.5). D'autres variations, notamment pour le carbone et l'azote (figure 3.2.3) et pour le mercure et l'arsenic (figure 3.2.5), sont également observées entre 15 et 80 cm de profondeur.

Il est relativement difficile de déterminer avec précision la zone d'oxydoréduction de ce sédiment. En effet, les fluctuations des abondances en carbone et azote sont toutes aussi importantes en profondeur (~70 cm) qu'en surface (0-5 cm) faisant varier les concentrations d'environ 1 % pour le carbone et d'environ 0,05 % pour l'azote. Les rapports C/N et Th/U (voir annexes 1A et 1C) ne donnent aucunes informations supplémentaires sur la localisation de la zone d'oxydoréduction. Nous croyons, principalement à cause de la diminution de la quantité de carbone près de la surface, que la zone RÉDOX est d'environ 5 à 10 cm d'épaisseur.

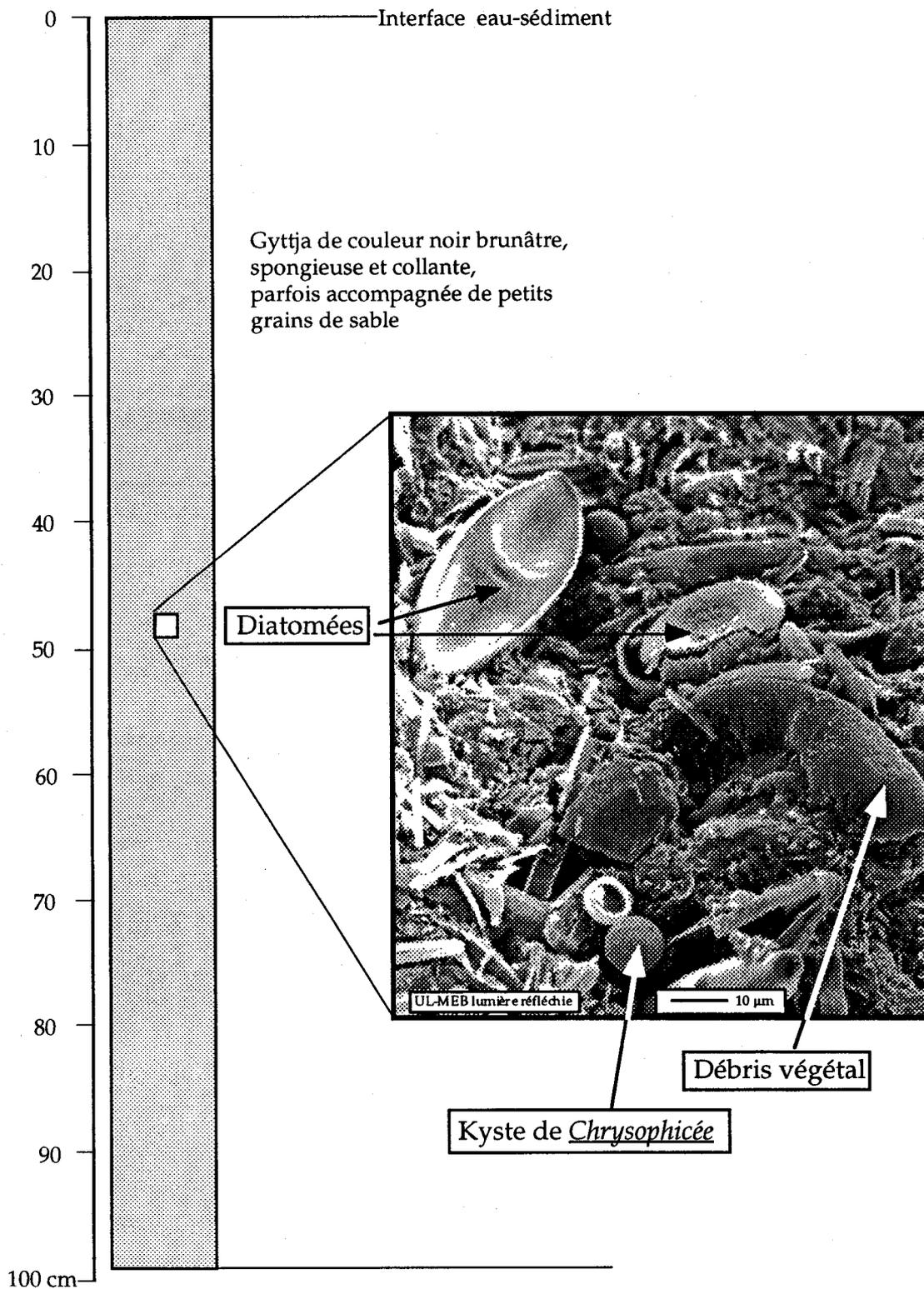


Figure 3.2.1 : Stratigraphie de la carotte de sédiments PBA-3.

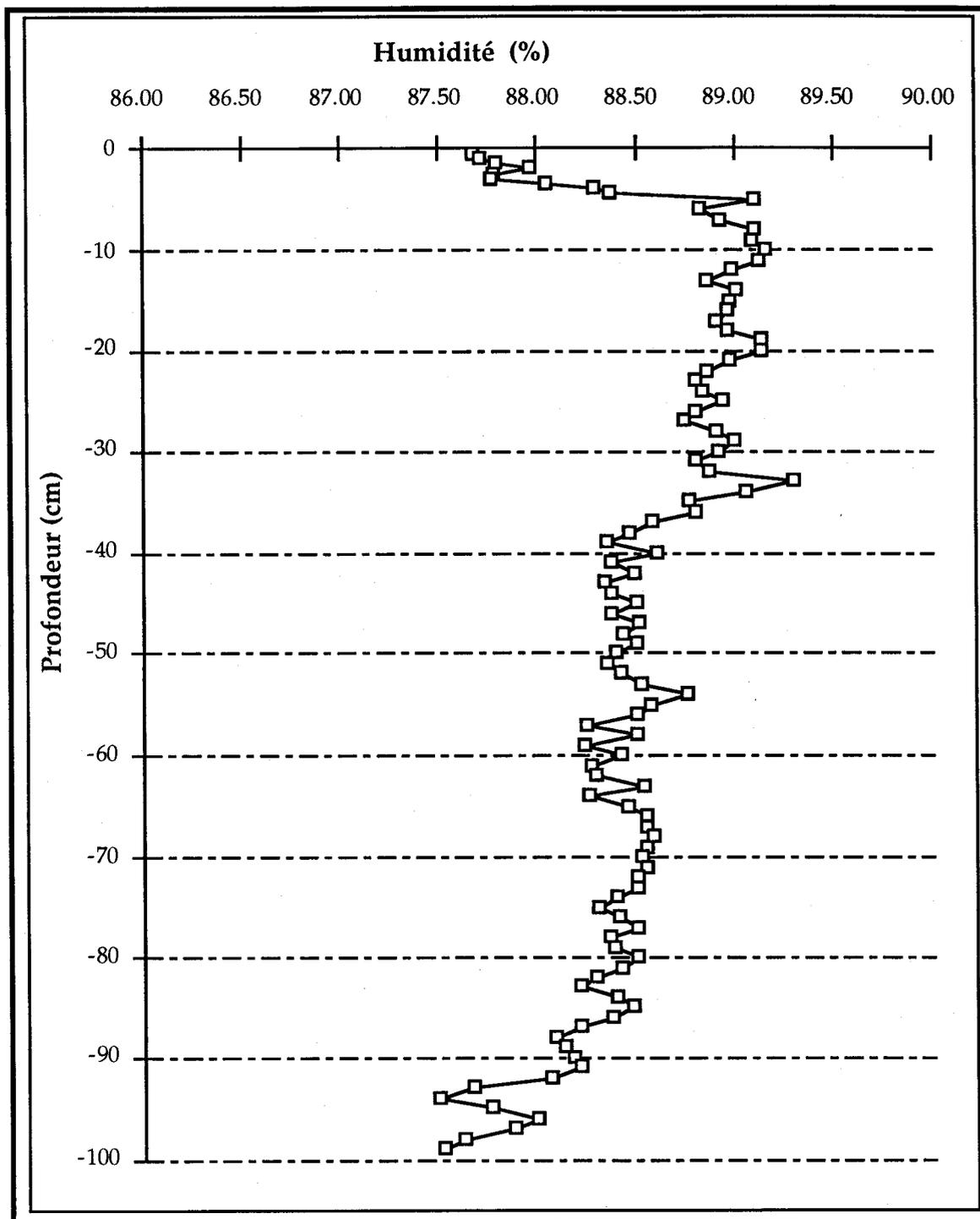


Figure 3.2.2 Pourcentage d'humidité dans les sédiments de la carotte PBA-3.

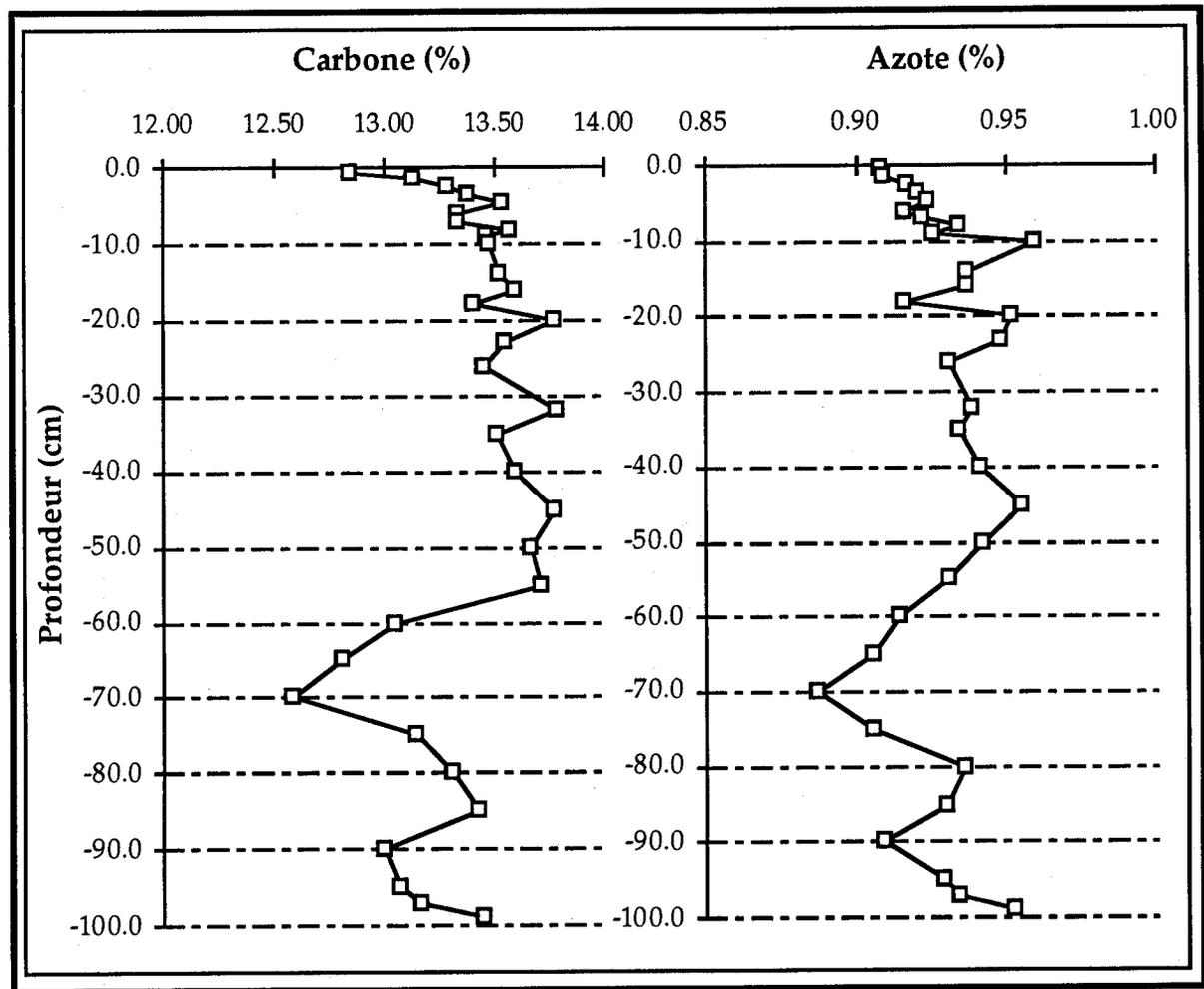


Figure 3.2.3 Pourcentage en carbone et azote dans les sédiments de la carotte PBA-3.

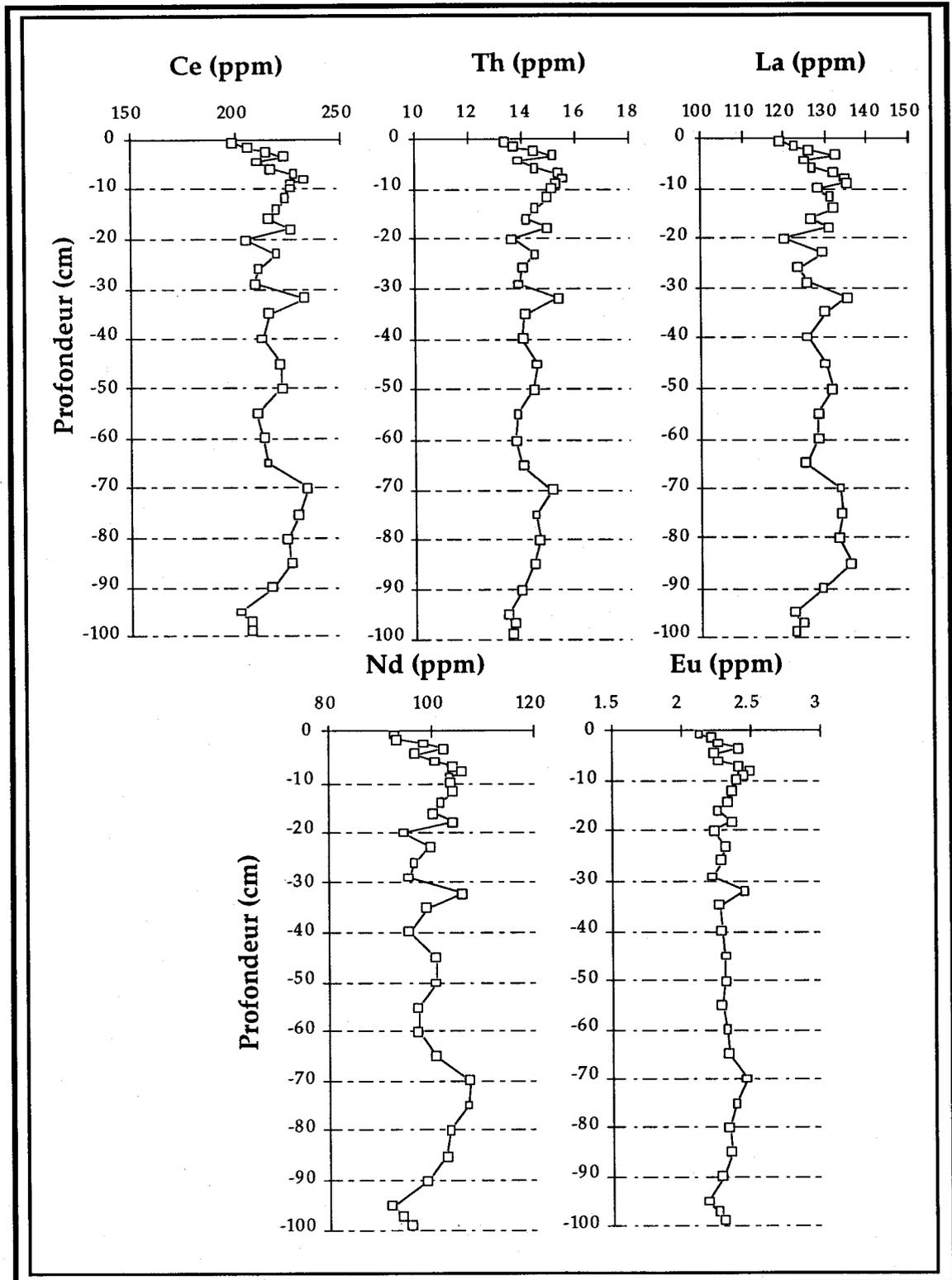


Figure 3.2.4 : Distribution des terres rares dans les sédiments de la carotte PBA-3.

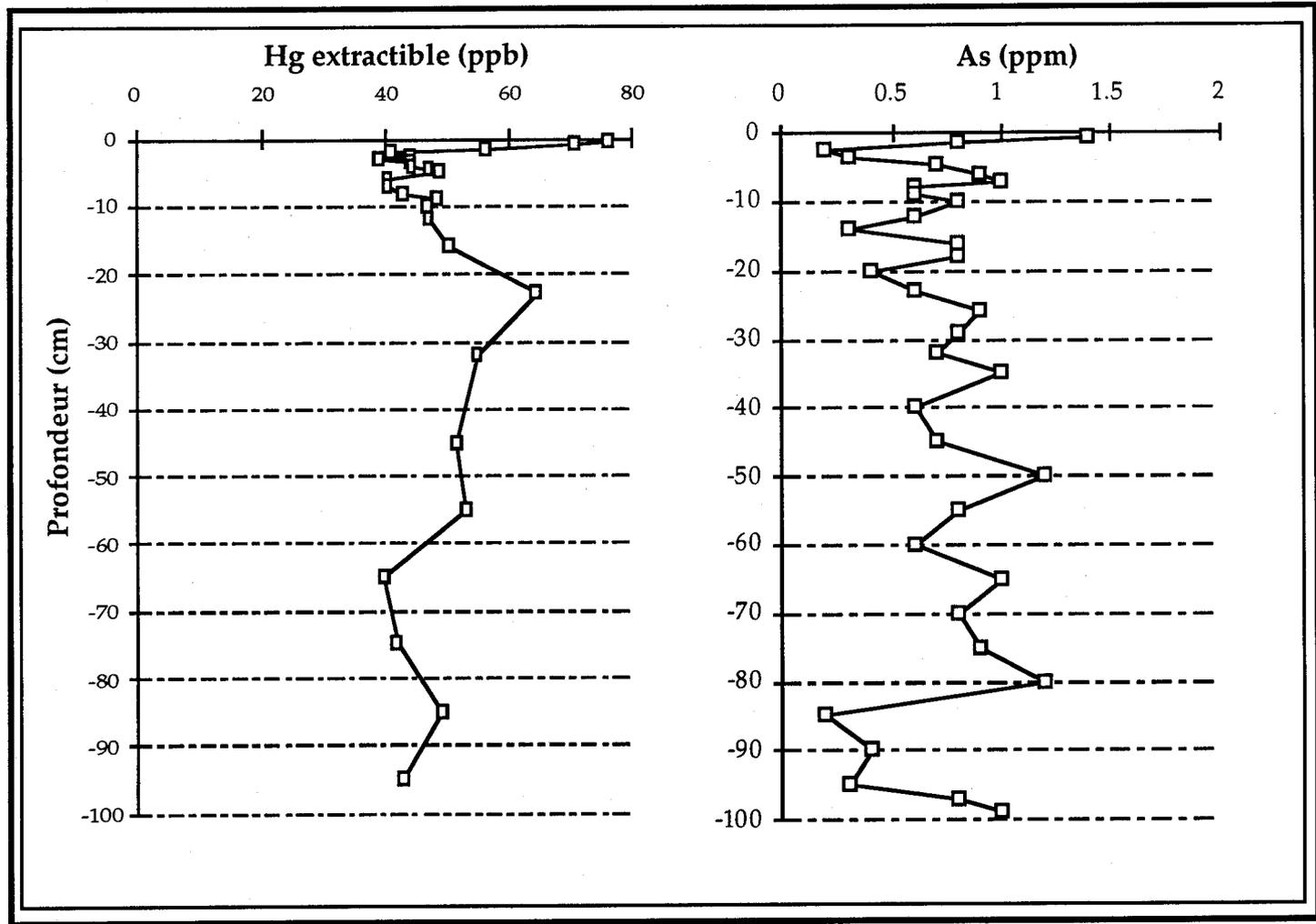


Figure 3.2.5 Distribution du mercure extractible et de l'arsenic dans les sédiments de la carotte PBA-3.

Afin de mieux visualiser les variations géochimiques de la carotte PBA-3, nous avons calculé une moyenne mobile, d'ordre 3, sur les profils des rapports C/N et Th/U et du sodium (figure 3.2.6). Bien que cette technique statistique ait pour effet secondaire de déplacer légèrement les minima et les maxima, elle permet néanmoins d'observer cinq cycles sur l'ensemble du profil du rapport C/N. Il est intéressant de souligner que ces cinq cycles se reproduisent, en partie, sur les profils du Na et du rapport Th/U.

$$X_{\text{calculé}} = (X_{p-1} + X_p + X_{p+1}) / 3$$

X => Concentration de l'élément chimique

p => Profondeur dans la colonne de sédiment

Dans le premier cycle, entre 65 et 100 cm, on observe une augmentation suivie d'une diminution du rapport C/N. De manière similaire, on observe une variation des concentrations en sodium pendant ce cycle, tandis que le rapport Th/U diminue légèrement. Le second cycle, entre 40 et 65 cm, montre toujours une augmentation du rapport C/N. Cette fluctuation est également accompagnée d'une augmentation du rapport Th/U. Le troisième et le quatrième cycle du rapport C/N, entre 14 et 23 cm, montrent une stabilité relative dans le temps avec de faibles variations, tandis que les concentrations en Na présentent une importante diminution durant le troisième cycle suivie d'une augmentation aussi importante au quatrième cycle. Enfin, le cinquième cycle, entre 0 et 14 cm, peut être divisé en deux parties. La première partie, entre 8 et 14 cm, semble une continuité du quatrième cycle, du moins pour le rapport Th/U. La seconde partie, entre 0 et 8 cm, est caractérisée par une diminution relativement rapide du rapport Th/U. Cette diminution du rapport Th/U est possiblement relié à la mobilité relative de l'uranium et du thorium dans la zone d'oxydoréduction.

Les variations observées dans la distribution du rapport C/N ne peuvent s'expliquer par une simple modification de la productivité biologique du lac. Si l'on considère les abondances en C et N comme étant essentiellement organique, alors le rapport C/N devrait être indépendant des variations de la charge détritique silicatée par rapport à celle organique. Pour mettre en évidence une augmentation de la productivité biologique, relative,

il faut se référer à l'abondance absolue en C et en N du sédiment. En réalité, les fluctuations du rapport C/N peuvent avoir deux origines. La première implique une modification de la source en matière organique particulière étant donné que les particules organiques forestières ont une signature C/N distincte de celle des alques. La seconde est liée au fractionnement du rapport C/N dans la zone de dénitrification de la matière organique dans la partie sommitale de la colonne sédimentaire d'un lac. Cette dernière est particulièrement bien mise en évidence sur la figure 3.2.6 où entre 0 et 4 cm de profondeur le rapport C/N augmente avec la profondeur.

L'examen de ces cycles indique que les variations du rapport Th/U ne peuvent s'expliquer par une simple modification de la source des particules détritiques dans le bassin versant. En effet, compte tenu de la faible superficie du bassin versant, de son altitude et d'une géologie relativement simple et monotone, le fractionnement du rapport Th/U reflète probablement un découplage de ces deux éléments lors de l'intempérisme chimique des roches et des tills du bassin versant. Le rapport Th/U est généralement considéré comme un rapport très sensible aux fluctuations du degré d'intempérisme chimique de la croûte continentale. Ce fractionnement des actinides naturels s'explique par une forte solubilité de l'uranium lors de la formation des sols. D'un autre côté, le thorium est insoluble dans des conditions de basses températures (<100°C). Il en résulte une augmentation prévisible du rapport Th/U des roches superficielles et des tills altérés par les processus pédogénétiques. Dans le cas du lac PBA-3, l'érosion mécanique et le transport de ces particules détritiques, par ruissellement et transport éolien, contribuent au bilan sédimentaire du lac. Les tendances observées sur la figure 3.2.6 soulignent probablement l'accroissement du degré d'altération des formations géologiques du bassin versant en réponse aux changements à long terme ayant affecté cette partie du Québec depuis le retrait des grands glaciers continentaux.

Il faut toutefois souligner que Mann et Fyfe (1985) ont démontré que certaines algues communes des eaux douces de l'Ontario peuvent incorporer des quantités significatives d'uranium. Compte tenu de l'abondance des algues dans l'histoire du bassin lacustre étudié, ce paramètre doit être considéré dans l'interprétation des données du lac PBA-3. Cependant, il faut réaliser que dans les conditions oxydantes de l'eau du lac PBA-3, les

concentrations en uranium dans l'eau seront saturées et qu'il est difficile d'envisager un modèle hydrogéochimique impliquant des variations, dans le temps, des abondances en uranium dissous dans les eaux du lac. Dans des conditions de sous-saturation des eaux en uranium, l'on pourrait expliquer les variations observées en uranium de la matière organique algaire par une incorporation proportionnelle aux concentrations d'uranium dissous dans la colonne d'eau.

Compte tenu de ces considérations, il devient impossible d'expliquer la diminution progressive des abondances en uranium des sédiments du lac PBA-3 (augmentation du rapport TH/U) par des variations de la composition des eaux. La meilleure interprétation implique vraisemblablement, l'intempérisme chimique des formations géologiques du bassin versant qui produit des particules détritiques appauvries en uranium par rapport au thorium.

Compte tenu que les observations suggèrent des modifications possibles au niveau des apports en matières détritiques et organiques et des variations du degré d'intempérisme chimique des sols et roches du bassin versant, il est plus facile de qualifier les variations en mercure et en arsenic dans la colonne sédimentaire. Pour le mercure, entre 14 et 100 cm, on note que le profil des concentrations est relativement similaire au profil du rapport C/N, et ce, malgré le faible nombre d'analyses effectuées pour cette portion de la carotte. Cette concordance suggère que le mercure est principalement relié à la fraction biogénique plutôt qu'au pôle déritique silicatée. Dans la portion supérieure de la carotte, entre 0 et 14 cm, le mercure semble avoir un comportement pratiquement inversement proportionnel à celui du rapport Th/U pour la même portion de sédiment. Ces fluctuations de concentration peuvent être reliées au processus d'oxydoréduction qui affecte les sédiments entre 0 et 10 cm. L'arsenic, pour sa part, présente un profil de variation des concentrations semblable à celui du rapport Th/U. À l'exception de la portion située entre 80 et 100 cm, les concentrations en As diminuent graduellement entre 5 et 80 cm. Entre 0 et 5 cm de profondeur (figure 3.2.5), les concentrations en As passent en moyenne de 0,7 ppm à une teneur de 1,4 ppm.

Malheureusement, les analyses du  $Pb_{ext}$  et des isotopes du plomb n'ont pas été réalisées pour les sédiments lacustres de cette carotte. Il serait donc hasardeux d'établir la présence de contaminants anthropiques dans la partie sommitale de cette carotte de sédiment.

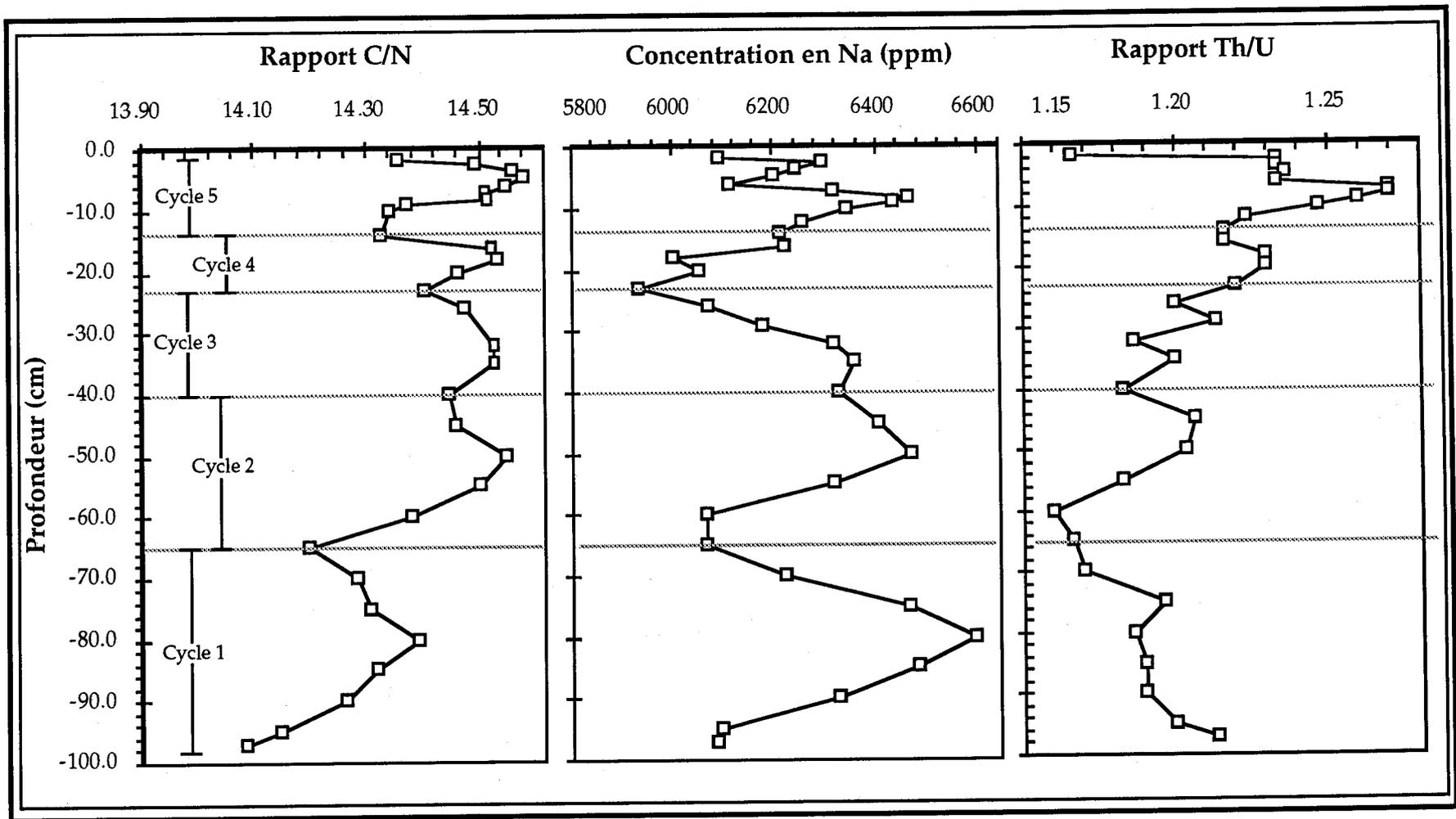


Figure 3.2.6 : Moyenne mobile du profil des concentrations en Na et des rapports C/N et Th/U.



## CHAPITRE IV

### INTERPRÉTATION ET CONCLUSION

La séquence argileuse rencontrée à la base de la carotte de sédiments lacustres PBA-5 contient exclusivement des particules fines et bien triées lui conférant un aspect relativement compact. Les analyses de diffraction des rayons X de cette argile indiquent un contenu minéralogique similaire aux argiles holocènes déjà observées sur ce territoire (Hillaire-Marcel et Preda, 1974). La composition chimique de cette argile correspond également à la composition chimique des tills et des roches avoisinantes (Parent *et al.*, 1995). Le matériel composant la séquence argileuse de ce sédiment de lac est le témoin d'une déposition postglaciaire associé à un très faible degré d'intempérisme chimique des dépôts quaternaires environnants et du socle rocheux, lors de l'érosion de ces particules détritiques.

L'activité sédimentaire postglaciolacustre change ensuite rapidement pour une sédimentation de type gyttja, essentiellement constituée de matières organiques (résidus d'algues, pollens), et de particules biogéniques principalement constituées de diatomées (silice amorphe) provenant des algues vertes de ce lac.

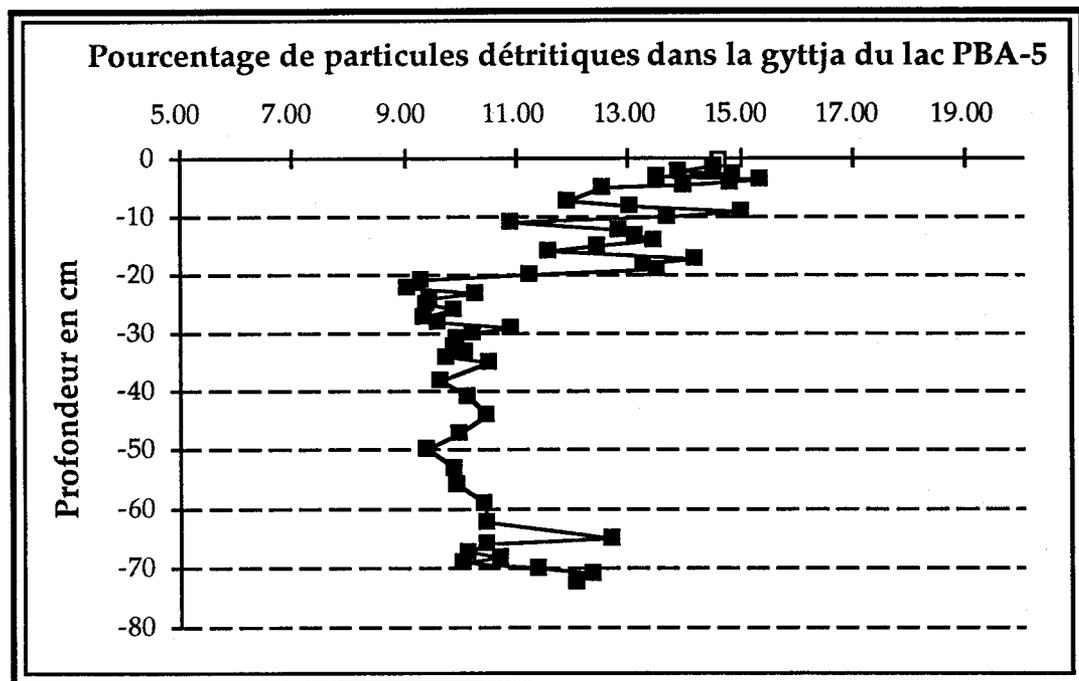
La texture et la structure particulière de la gyttja permettent, l'incorporation d'une grande quantité d'eau interstitielle pouvant atteindre plus de 90% (carotte PBA-5) de la masse totale du sédiment. Cette caractéristique confère à la gyttja une densité extrêmement faible d'environ 1,07 g/cm<sup>3</sup>. Cette forte proportion d'eau dans la gyttja favorise la circulation diffusive de l'eau interstitielle. Ce processus aura des répercussions géochimiques fondamentales pour certains éléments potentiellement mobiles (ex. Fe, U, Mn, etc.), en fonction des variations des conditions Eh-pH rencontrées dans la zone d'oxydoréduction du sédiment.

L'identification des diatomées, observées dans les sections médianes des carottes de sédiments, a permis de répertorier plusieurs espèces (*Tabellaria sp.*, *Aulacoseira sp.*, *Anomoloneis follis*, etc.) ayant vécu dans des conditions lacustres à une profondeur d'environ 5 à 7 m d'eau. Cette caractéristique n'est

pas négligeable pour le lac PBA-5 puisque actuellement, ce lac est caractérisé par une profondeur d'environ 1,1 m. Cette variation de la bathymétrie du lac pourrait être reliée à plusieurs paramètres pouvant influencer le bilan hydrique du bassin versant comme, par exemple, la formation d'un nouvel exutoire, la disparition de certains affluents ou une diminution progressive des précipitations dans le bassin versant. Toutefois, ce processus, de diminution de la profondeur d'eau dans un lac, est fréquemment observé dans le nord-ouest québécois. Les nombreuses tourbières plus ou moins étendues de l'Abitibi en sont un témoignage.

La fraction détritique de ces sédiments, principalement pour la carotte PBA-5, présente des variations géochimiques particulièrement importantes. Dans la séquence sédimentaire de la gyttja, on observe plusieurs variations significatives des concentrations élémentaires. Par exemple, l'enrichissement des teneurs en Na, Ca, Rb, Cr et terres rares suggère un accroissement de la charge sédimentaire terrigène qui est possiblement lié à l'évolution de la bathymétrie du lac PBA-5. En période glaciolacustre, l'absence de végétations terrestres et l'abondance du ruissellement provenant de la fonte du front glaciaire et des précipitations ont favorisé le transport des particules fines du till et leurs sédimentations dans des dépressions topographiques comme celle du lac PBA-5. Suite au retrait complet des glaces, le climat de cette région s'est considérablement modifié favorisant la colonisation des berges du lac par de la biomasse terrestre (lichens, mousses, etc.) et des arbustes. Ce processus a permis de stabiliser les berges des lacs et de minimiser ainsi l'érosion des particules détritiques. L'enrichissement en Na et autres métaux observés au sommet dans la carotte PBA-5 (entre 0 et 20 cm) suggère qu'il s'est produit une modification importante dans les apports détritiques. Cette modification peut être reliée à un changement dans la morphologie des berges du lac. En effet, les observations effectuées sur les vestiges d'algues vertes ayant vécu à des profondeurs avoisinant 5 mètres d'eau et les variations géochimiques, suggèrent que la profondeur de ce lac a diminué relativement rapidement. Cette diminution de la profondeur d'eau du lac aurait eu pour effet de déstabiliser les berges du lac. Le matériel sédimentaire non consolidé par la biomasse terrestre, de nouveau soumis aux intempéries, aurait pour effet d'augmenter l'apport en minéraux détritiques silicatés au lac.

Il est d'ailleurs possible d'estimer cette charge détritique apportée au lac PBA-5 en utilisant les concentrations en sodium qui ne sont pas affectées par le processus de diagenèse précoce des sédiments. En prenant une concentration d'environ 3,5 %  $\text{Na}_2\text{O}$  pour la fraction fine du till quaternaire de la région (tableau 1.2 - transformation de la concentration Na en  $\text{Na}_2\text{O}$ ) et sachant que l'essentiel du  $\text{Na}_2\text{O}$  dans les sédiments lacustres est d'origine détritique silicatée, nous pouvons estimer à environ 12 % le pourcentage de particules détritiques accumulées dans les sédiments du lac. La figure 4.1 montre une augmentation importante de la proportion de ce pourcentage à proximité de l'interface eau-sédiment.



**Figure 4.1 : Pourcentage de particules détritiques dans la gyttja du lac PBA-5 estimé à l'aide du pourcentage en  $\text{Na}_2\text{O}$ .**

Cette composante détritique silicatée semble être de nature différente entre la gyttja et les argiles glacio-lacustres. Ceci est très clairement mis en évidence par les rapports d'éléments réfractaires comme Ta/La et Hf/Sm. La figure 4.2 montre que la fraction détritique silicatée de la gyttja est caractérisée par de très faibles rapports Ta/La et Hf/Sm. Ceci suggère que la source sédimentaire locale par rapport au lac PBA-5 à une très forte composante crustale (roches ignées dérivées de l'assimilation de la croûte).

L'enrichissement en Ta/La et Hf/Sm des sédiments glacio-lacustres suggère une plus grande composante juvénile (ou mantellique). Cette dernière peut résulter de particules provenant de roches basaltiques. Ainsi, la source des particules détritiques silicatées de la gyttja du lac PBA-5 serait des roches felsiques locales tandis que la source des sédiments glacio-lacustres du lac PBA-5 serait des roches ignées avec une contribution basaltique (mafique) importante.

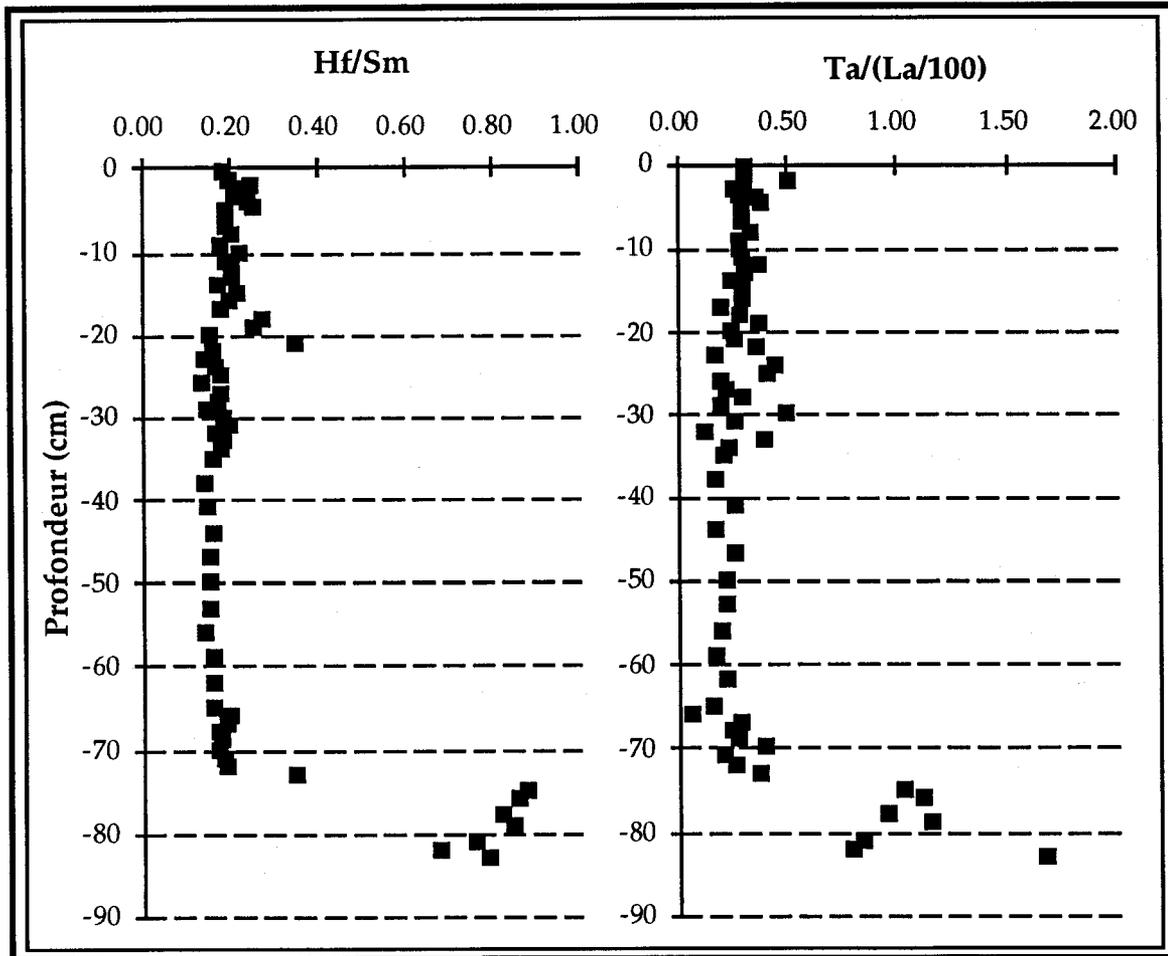


Figure 4.2 : Rapport Hf/Sm et Ta/(La/100) carotte PBA-5.

Le lac PBA-3 présente une image évolutive beaucoup plus difficile à interpréter. Les cycles géochimiques observés au niveau du rapport C/N et les concentrations en sodium portent à croire que ce lac n'a pas subi de modifications bathymétriques importantes. Toutefois, les variations du rapport Th/U semblent bien refléter, en fonction du temps, une

augmentation progressive du degré d'intempérisme chimique du bassin versant. Enfin, le pourcentage moyen de particules détritiques silicatées contenu dans la gyttja, estimé à l'aide du pourcentage de  $\text{Na}_2\text{O}$ , est de 24 %.

Sous l'interface eau-sédiment, entre 0 et 20 cm pour le lac PBA-5 et entre 0 et 14 cm pour le lac PBA-3, il est possible d'observer plusieurs variations géochimiques. Ces variations géochimiques semblent associées aux processus de diagénèse précoce du sédiment, à la présence d'une zone d'oxydoréduction et aux apports en métaux anthropiques. Les données géochimiques recueillies pour les lacs PBA-3 et PBA-5 montrent que ces processus sont difficilement quantifiables en l'absence de données analytiques sur les flux diffusifs de ces métaux.

La diagénèse précoce, processus de dégradation de la matière organique dans la zone d'oxydoréduction du sédiment, semble être à l'origine d'une augmentation des concentrations en fer et d'une diminution du rapport C/N des sédiments. Pour la carotte PBA-5, la zone d'oxydoréduction du sédiment est assez bien définie par l'augmentation du rapport Th/U et aussi par les fortes abondances en Fe et Co. Dans cette partie de la colonne sédimentaire, le rapport Th/U est principalement contrôlé par la grande mobilité de l'uranium par rapport au Th, qui est un élément très réfractaire contenu dans les minéraux silicatés. Toutefois, les variations du rapport Th/U, dans l'ensemble des sédiments, peuvent également être influencées par une augmentation du degré d'intempérisme chimique du bassin versant.

Toujours entre 0 et 20 cm de profondeur, on note un enrichissement important des concentrations en terres rares légères (La, Ce, Nd, Sm) et intermédiaires (Eu, Tb). Cet enrichissement pourrait être relié à l'absorption, à l'adsorption ou à la complexation préférentielle des terres rares légères avec la matière organique. Toutefois, l'étude des corrélations entre les terres rares légères et le C élémentaire montre aucune corrélation significative entre ces paramètres (Annexe 3E). Cette augmentation pourrait également être reliée à l'adsorption des terres rares légères avec les hydroxydes de fer. D'ailleurs l'étude de l'histogramme (Fe vs éléments; annexe 3E) suggère, *a priori*, un contrôle de la distribution des terres rares par le Fe. Cependant, en comparant l'histogramme Fe-éléments de la partie 0-20 cm avec celui de la partie 20-70

cm de profondeur, on constate qu'il n'y a pas de différences fondamentales entre la section peu profonde, affectée par la diagénèse précoce des sédiments, et la section plus ancienne et plus profonde du sédiment. Enfin, considérant que les terres rares sont normalement associées aux particules détritiques silicatées dans les sédiments anciens et récents, alors il semble raisonnable de suggérer une augmentation de l'apport en particules détritiques silicatées. Ce point peut être vérifié en comparant les corrélations entre les terres rares légères et d'autres métaux résiduels et essentiellement détritiques comme le Sc et le Cr. Ces métaux étant totalement insolubles dans les fluides interstitiels des sédiments et dans l'eau des lacs, leurs abondances dans les sédiments sont un reflet direct de l'importance de la charge silicatée dans le sédiment. Il est intéressant de souligner que dans les sédiments du lac PBA-5, les fortes corrélations Sc-terres rares légères et Cr-terres rares légères sont pratiquement identiques entre 0-20 cm et 20-70 cm ce qui démontre que les terres rares légères ne sont pas influencées par la diagénèse précoce des sédiments.

L'intempérisme chimique du bassin versant peut être un facteur extrêmement important qui influence la composition géochimique des sédiments. Considérant qu'en période glaciaire, les conditions froides ne favorisent pas le processus d'intempérisme chimique des formations superficielles des bassins (Nesbitt et Young, 1989) et que le climat s'est progressivement réchauffé au cours de l'Holocène, nous devons vérifier si une partie des variations géochimiques observées dans le profil de sédiment n'origine pas des variations du degré d'intempérisme chimique du bassin versant. Pour évaluer l'importance de ce processus, il faut d'abord rappeler quelques points fondamentaux reliés à la formation des sols.

Dans un premier temps, il faut réaliser que la composition des tills quaternaires de la région était essentiellement composée de minéraux frais provenant de l'érosion mécanique des roches régionales. Dans ce cas, le degré d'intempérisme chimique des tills quaternaires était pratiquement nul à l'époque de la sédimentation des particules détritiques fines qui forment la base de la colonne sédimentaire du lac PBA-5 (époque glacio-lacustre). Lors du réchauffement, durant l'Holocène, la partie supérieure des tills s'est progressivement transformée en sols. Lors de cette transformation,

l'hydrolyse des silicates, le lessivage du Ca (Sr) de plagioclases, la destruction partielle des ferromagnésiens, l'oxydation des sulfures de fer ont considérablement modifié la composition chimique des tills quaternaires en produisant des sols chimiquement et minéralogiquement distincts de celui des tills quaternaires. Lors de la formation des sols, les données de la littérature montrent que les éléments alcalins et alcalino-terreux auront une mobilité relative variable en fonction du rayon ionique et de la valence des différents cations présents dans le profil de sol (Nesbitt et Young, 1989; Cox et Lowe, 1995). Par exemple, les cations comme le  $K^+$  (et  $Rb^+$ ,  $Cs^+$ ) et le  $Na^+$  auront tendance à rester dans le sol tandis que des cations comme le  $Ca^{+2}$  et le  $Sr^{+2}$  ( $Mg^{+2}$ ) seront lessivés du sol lors de la percolation des eaux de pluie ou de fonte des neiges (La Flèche et Camiré, 1996). Ainsi, pour résumer, le sol deviendra de plus en plus résiduel et des rapports élémentaires comme  $Na/Ca$ ,  $Na/Sr$ ,  $Rb/Sr$ ,  $Ca/Sr$  seront de plus en plus élevés lors de l'augmentation du degré d'intempérisme chimique des sols d'un bassin versant. Les particules de sols, transportées par le vent ou par les eaux de ruissellement, seront acheminées vers le lac et pour sédimenter. Ainsi, la géochimie des sédiments de lac permet de mettre en évidence l'évolution secondaire des conditions d'intempérismes chimique d'un bassin versant.

La figure 4.3 montre l'évolution de certains rapports permettant d'évaluer l'évolution du degré d'intempérisme chimique du bassin versant du lac PBA-5. Ces profils montrent qu'entre 70 cm et l'interface eau-sédiment, les conditions d'intempérisme chimique augmentent progressivement. Les rapports observés dans les argiles glacio-lacustres sont caractéristiques des valeurs observées dans les roches ignées intermédiaires et felsiques relativement fraîches.

Malgré la présence de moins de 15% de particules silicatées détritiques dans la gyttja du lac PBA-5, l'abondance en terres rares, comme le La, est équivalente et parfois supérieure à celle observée dans les argiles glacio-lacustres qui sont essentiellement constituées de particules minérales. En normalisant les données pour éliminer l'effet de dilution des terres rares par la matière organique, l'on constate que la fraction détritique silicatée de la gyttja du lac PBA-5 possède des abondances en La supérieures à 300 ppm. Ces très fortes abondances en terres rares légères sont de beaucoup supérieures à

celles normalement observées dans les roches précambriennes qui forment le socle rocheux de la région étudiée. Afin d'expliquer cet enrichissement considérable en terres rares de la fraction détritique silicatée de la gytja, il faut faire intervenir un processus permettant d'enrichir en terres rares les particules détritiques silicatées. Le mécanisme le plus simple pour expliquer ceci est le processus d'enrichissement en métaux réfractaires des sols (métaux résiduels). Nous savons que les terres rares et les éléments comme le Cr, Sc, Zr, Hf et Al sont fortement concentrés dans les minéraux secondaires des profils d'altérations des roches (formation des sols). Ces éléments ne sont pas solubilisés par la circulation de l'eau de percolation dans les sols et lors de l'érosion mécanique des sols, les terres rares et autres composés réfractaires pourront être quantitativement transportés vers les cours d'eau ou les lacs. Dans le cas d'un faible degré d'érosion mécanique des profils de sol, il est probable que la fraction fine du sol, constitué surtout de minéraux secondaires enrichis en terres rares et autres métaux réfractaires, sera transportée vers des bassins lacustres comme celui du lac PBA-5.

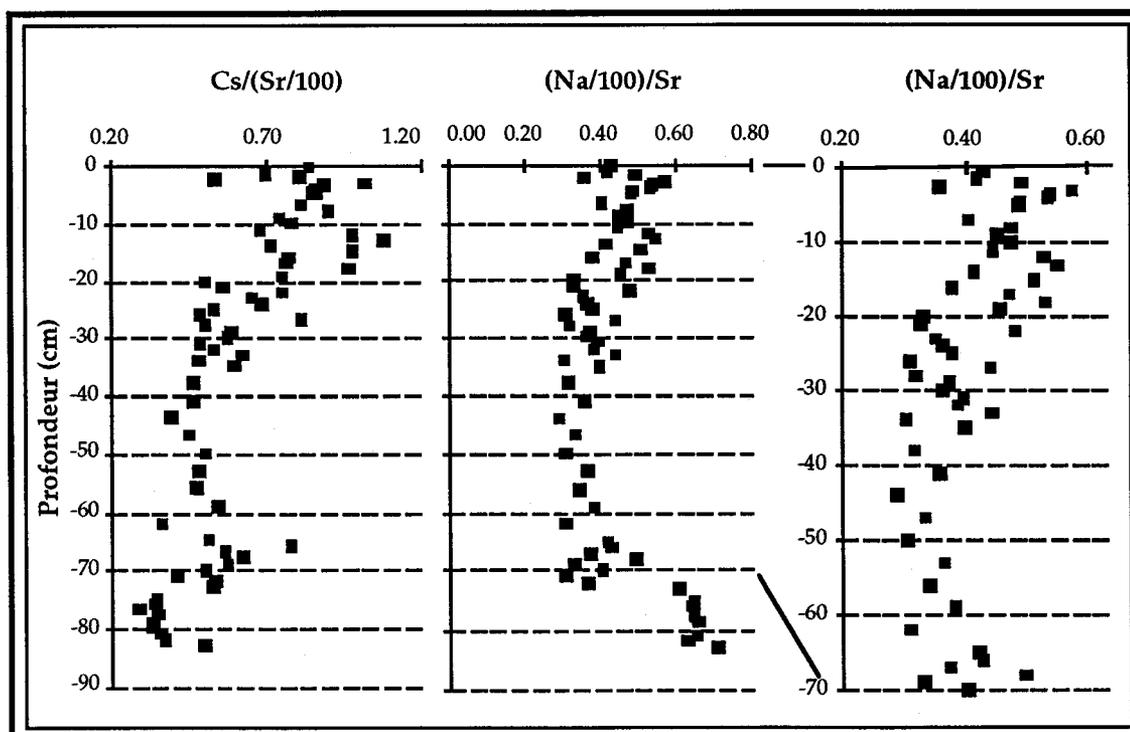


Figure 4.3 : Rapport  $Cs/(Sr/100)$  et  $(Na/100)/Sr$  carotte PBA-5.

L'augmentation des concentrations en Hg, Pb et As près de l'interface eau-sédiment pourrait également refléter, à des degrés variables, l'importance des processus diagénétiques des sédiments. Cependant, l'analyse des isotopes de plomb ( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) permet d'émettre l'hypothèse d'un apport anthropique atmosphérique à ces bassins. En effet, les rapports isotopiques du  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , entre l'interface eau-sédiment et 2 cm de profondeur, atteignent des valeurs voisines de 0,825, ce qui se rapproche considérablement de la valeur moyenne de 0,831 mesurée dans la troposphère de l'est de l'Amérique (figure 4.4). De plus, la relation entre les rapports isotopiques  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  et  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  pour les premiers 2,5 cm de la carotte PBA-5 montre que les apports anthropiques seraient similaires à ceux mesurés dans les sédiments du lac Érié. Ces apports anthropiques pourraient provenir des pluies et de la neige qui sont transportées par les vents dominants provenant de l'ouest ou localement du nord-ouest. D'ailleurs, ce transport de contaminants dans l'atmosphère a clairement été démontré par plusieurs chercheurs à des latitudes voisines des lacs PBA-3 et PBA-5 (Poissant et Béron 1993) ou dans la neige recouvrant les glaces polaires (Boutron *et al.*, 1994; Rosman *et al.*, 1994).

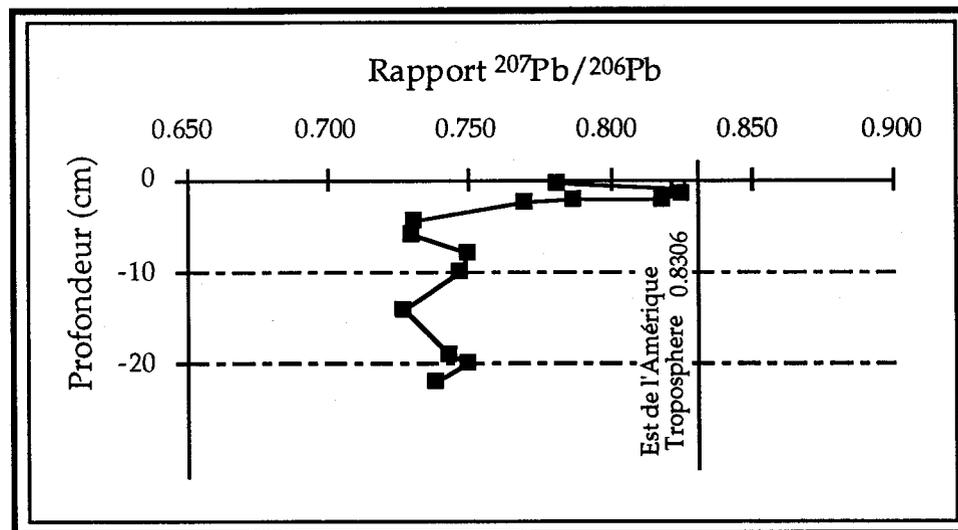


Figure 4.4 : Rapport isotopique du plomb près de l'interface eau-sédiment dans la carotte de sédiments du lac PBA-5.

L'évolution géochimique globale des apports aux bassins sédimentaires des lacs PBA-3 et PBA-5 est relativement facile à documenter pour la période

postglaciaire à aujourd'hui. Toutefois, les différents processus agissant dans la zone d'oxydoréduction des sédiments ne peuvent être précisés quantitativement en raison de la méthodologie utilisée pour ce projet de recherche. Pour l'étude de ces processus complexes, il serait nécessaire d'effectuer le prélèvement des sédiments sous une atmosphère d'azote afin d'éviter l'oxydation des sédiments au contact de l'air ambiant. Cette procédure de prélèvement permettrait d'effectuer des analyses séquentielles qui aurait comme avantage de pouvoir quantifier les proportions relatives des concentrations chimiques reliées à la matière organique de celles reliées aux particules terrigènes (Tessier *et al.*, 1979; Hoffman et Fletcher, 1978). Notons, que ces précautions fondamentales pour le mode d'échantillonnage des sédiments nécessiteraient la mise en place, sur les berges du lac, d'un laboratoire mobile. En effet, nous ne pouvons préserver les sédiments de lac dans des conditions physico-chimiques et thermiques identiques à celles des sédiments dans le lac sur de longues périodes. De la même manière, l'utilisation de méthodes de préservation comme la lyophilisation (séchage à froid) n'est pas adéquate, car elle produit de fortes modifications de la spéciation chimique des métaux dans le sédiment.

Les datations de la matière organique par la technique du  $^{14}\text{C}$  pourraient être grandement améliorées en prélevant un plus grand volume d'échantillons de sédiments de gyttja. De plus, l'ajout d'analyses d'isotopes ayant une courte demi-vie ( $^{210}\text{Pb}$  et de  $^{137}\text{Cs}$ ) pourrait permettre d'estimer mathématiquement la variation du taux d'accumulation sédimentaire et de calculer l'âge des sédiments pour la période industrielle.

Comme les vents dominants d'été, à l'intérieur des terres, proviennent du NO, il serait essentiel de recueillir des échantillons d'eau de précipitations, afin de vérifier l'importance relative des apports atmosphériques et possiblement anthropiques de ce secteur du Moyen-nord québécois.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abernathy A.R. et Cumbie P.M. (1977) Mercury Accumulation by Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) in Recently Impounded Reservoirs. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 17, pp. 595-602.
- Adams D.D., Fendinger N.J. et Glotfelty D.E. (1990) *Biogenic gas production and mobilization of in-place sediment contaminants by gas ebullition*. Dans: Baudo R., Giesy J. P. et Muntau H. (ed.), *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants*. Lewis Publishers Inc, Boston. pp 215-236.
- Anderson A. (1979) Mercury in soils. Dans: Nriagu J. (ed.), *The biogeochemistry of mercury in the environment*. Elsevier, North-Holland Biomedical Press, New-York, pp. 79-112.
- Archer R.D. (1968) The upper marine limit in the Little Whale River area, New Quebec. *Arctic*, Vol. 21, pp. 153-160.
- Avramtchev L. (1982) *Catalogue des gîtes minéraux du Québec, Région de la Baie d'Hudson*. Ministère de l'énergie et de ressources du Québec DPV-926, 13p.
- Baudo R., Giesy J. P. et Muntau H. (1990) *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants*. Lewis Publishers Inc, Boston. 405 p.
- Belzile N. et al. (1989) In situ collection of diagenetic iron and manganese oxyhydroxides in lacustrine sediments. *Nature*, Vol. 340, No. 6232, pp. 376-377.
- Benoit C. et Lucotte M, (1994) Enquête sur le mercure du Moyen-Nord québécois. *Interface*, No. 2, pp 27-35.
- Beus A.A. et Gregorian S.V. (1977) *Geochemical Exploration methods for Mineral Deposits*. Applied Publishing Ltd, Wilmette, Illinois, U.S.A. 287p.
- Boutron C.F., Candelone J.-P. et Hong S. (1994) Past and recent changes in the large-scale tropospheric cycles of lead and other heavy metals as documented in Antarctic and Greenland snow and ice: A review. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, No: 15, pp. 3217-3225.

- Boyle R.W. (1974) *Elemental associations in Mineral Deposits and Indicator Elements of Interest in Geochemical Prospecting* (revised). Commission Géologique du Canada, Geological Survey, Paper 74-45.
- Britt S.L., Bottjer D.J., Fischer A.G., Flocks J.G. et Gorsline D.S. (1992) X-Radiography of Horizontal core slabs: a Method for greater retrieval of Sediment core Data. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol.62 No:4 pp. 718-744.
- Carignan R. (1989) *Géochimie et géochronologie sédimentaire récente de huit lacs du Témiscamingue*. Ministère de l'environnement du Québec, Bureau de coordination de la recherche et du développement, Direction de la qualité du milieu aquatique. Collection: Précipitations Acides. 142 p.
- Chandler F.W. (1988) *The early Proterozoic Richmond Gulf Graben, east Coast of Hudson Bay, Quebec*. Geological Survey of Canada Bulletin 362, 76p.
- Chandler F.W. et Schwarz E.J. (1980) *Tectonics of the Richmond Gulf Area, northern Québec - A hypothesis; Current Research*, Geological Survey of Canada Open file 840m 1 carte à 1:50 000.
- Ciesielski A. (1991) *Geology of the Easter Superior Province, Janes Bay and Bienville subprovinces, Quebec*. Geological Survey of Canada, Open File 2398 8p.
- COGITE (1992) *Basse de données sur les gîtes miniers au Québec*. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, support informatique.
- Condie K. C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, No: 104, pp. 1-37.
- Cossa D., Michel P., Noël J. et Auger D. (1992) Vertical mercury profile in relation to arsenic, cadmium and copper at the North Atlantic ICES reference station. *Oceanologica Acta*, Vol. 15, No:6, pp. 603-608.
- Cox R. et Lowe D.R. (1995) A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediments and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover. *Journal of sedimentary Research*, A65, pp. 1-12.

- Craig, P.J. (1980) *Metal Cycles and Biological Methylation*. Dans: Huntzinger O., (Ed.), *Handbook of Environmental Chemistry*: Springer Verlag, Vol 1A, pp 169-227.
- C.R.E. (1993) Biogéochimie du mercure dans les lacs et réservoirs. *Chaire de Recherche en Environnement /Hydro-Québec/CRSNG/UQAM*. Montréal, Rapport annuel 1992-93, pp 13-33.
- DGUL, (1992) Notes de cours, Minéralogie des argiles. Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval, GLG-60451.
- Dropro J. G. et Ongley E. D. (1994) Flocculation of suspended sediment in Rivers of Southeasters Canada. *Water Res.* Vol. 28, No. 8, pp. 1799-1809.
- Dyke A.S. et Prest V.K. (1987) Late Wisconsinian and Holocene history of the Laurentide Ice Sheet. *Géographie physique et Quaternaire*, Vol 41 No:2.
- Eade K.E. (1966) *Fort George River and Kaniapiskau River (West half) map-areas, New Quebec*. Geological Survey of Canada, Memoir 339, 84p.
- Flint R. F. (1971) *Glacial and Quaternary Géology*. John Wiley and Sons, Inc. 892p.
- Govett G. J. S. (1983) *Rock Geochemistry in Mineral Exploration*. - Volume 3 of *Handbook of Exploration Geochemistry*. Elsevier scientific Publishing Compagny, Amsterdam, 461p.
- Gromet L.P., Dymek R.F., Hashin L.A. et Korotev R.L. (1984) The North American shale composite: Its compilation major and trace element characteristics. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, Vol. 48, pp. 2469-2482.
- Hall G.E.M., Bonham-Carter G.F., MacLaurin A.I. et Ballantyne S.B. (1990) Comparison of Instrumental Neutron Activation Analysis of geological materials with other multielement techniques. *Talanta*, Vol. 37, No:1, pp. 135-155.
- Hillaire-Marcel C. (1976) La déglaciation et le relèvement isostatique sur la côte est de la baie d'Hudson. *Cahiers de Géographie de Québec*, Vol. 20, pp. 185-220.
- Hillaire-Marcel C. et Preda M. (1974) Minéralogie d'argiles holocènes lacustres et marines, de la Baie d'Hudson. *Annales de l'ACFAS*, Vol. 41, No. 1, p. 116.

- Hoffman S.J. and Fletcher W.K. (1978) Selective sequential extraction of Cu, Zn, Fe, Mn and Mo from soils and sediments. Proceedings Int. Geochem. Exploration Symposium 7th, Golden, Colorado. Edited by J.R. Watterson and P.K. Theobald, pp. 289-299.
- Hughes T. (1987) *Ice dynamics and deglaciation models when ice sheets collapsed*. Dans: *The Geology of North America*, Ruddiman, W.F. et Wright, H.E. Jr. (Ed.), The Geological Society of America, Boulder, Colorado v. K-3, *North American and adjacent Oceans During the last Deglaciation*. pp. 183-220.
- Hydro, (1993) *Complexe Grande-Baleine - Rapport d'avant projet* (description du milieu). Hydro-Québec Tome 2, Vol:1.
- Hydro et Shoener, (1990) *Évolution des teneurs en mercure des poissons du complexe hydroélectrique La Grande, Québec. : rapport synthèse*. Montréal, Hydro-Québec, vice-présidence Environnement, mai 1990. 100 p.
- INRE (1993) La performance des laboratoires: Assurance de la Qualité. *Bulletin INRE, Institut national de recherche sur les eaux*, No:17 pp. 1-3.
- Jernelov A. et Lann H. (1971) Mercury Accumulation in Food Chains. *Oikos*, Vol. 22, pp. 403-406.
- Ketterer M.E., Peters M.J. et Tisdale P.J. (1991) Verification of a Correction Procedure for Measurement of Lead Isotope Ratios by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Journal of Analytical Atomic spectrometry*, Vol. 6 pp: 439-443.
- Kézdi A. (1980) *Handbook of Soil Mechanics*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- LaFlèche M.R. et Camiré G. (1996) Geochemistry and provenance of metasedimentary rocks from the Archean Golden Pond sequence (Casa Barardi mining district, Abitibi Subprovince). *Revue canadienne des sciences de la terre*, Vol 33, pp: 676-690.
- Langlois C. (1994) La contamination par le mercure dans le nord québécois: État de la situation et rôle du comité de la Baie James sur le mercure. *6e Colloque sur les substances toxiques*, Montréal.
- Levinson, A.A. (1974) *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publishing Ltd, Wilmette, Illinois, U.S.A. 614p.

- Louchouart P. (1992) *Biogéochimie du mercure dans des réservoirs hydro-électriques du Noyen-Nord québécois*. Mémoire de Maitrise UQAM 61p.
- Lowdon, J.A. (1985) *The Geological Survey of Canada Radiocarbon Dating Laboratory*. Geological Survey of Canada, Paper 84-24, 19p.
- Mann H. et Fyfe W.S. (1985) Algal uptake of U and other metals: Implications for global geochemical cycling. *Precambrian Research*, No. 30, pp. 337-349.
- Marier J.R. et Jaworski J.F. (1983) *Interactions du sélénium avec d'autres éléments*. Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, Conseil national de recherches Canada, Ottawa. CNRC No.20644, 85p.
- McNeil J.M. et Balistrieri L.S. (1989) Geochemistry and Occurrence of Selenium: An Overview. Dans: *Selenium in Agriculture and the Environment*. Science Society of America and American Society of Agronomy, Special Publication, No. 23, pp 1- 12
- Meyers P. A. et Ishiwatari R. (1993) Lacustrine organic geochemistry - an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. - Review Paper. *Org. Geochem.* Vol. 20, No. 7, pp. 867-900.
- Nesbitt H.W. et Young G.M. (1989) Formation and diagenesis of weathering profiles. *Journal of Geology* No:97, pp. 129-147.
- Okumura M., Fukushi K., Willie S.N. et Sturgeon R.E. (1993) Evaluation of atomic fluorescence, absorption and emission techniques for the determination of mercury. *Fresenius J. Anal. Chem.*, No:345, pp. 570-574.
- Ohlander B., Ingri J. et Ponté C. (1993) Lead isotopes as tracers of lead pollution from various sources: an exemple from northern Sweden. *Applied Geochemistry*, Suppl. issue No: 2 pp. 67-70
- Ouellet M. et Jones H.G. (1983) Paleolimnological evidence for the long-range atmospheric transport of acidic pollutants and heavy metals into the Province of Québec, eastern Canada. *Can. J. Earth Sci.*, Vol 20, pp 23-36.
- Parent M., Laflèche M.R., Paradis S.J., Tremblay C. et Boisvert É (1995) *Géochimie régionale du till, région de la Petite rivière de la Baleine, Québec Nordique*. G.S.C.-C.G.Q. Open file 2871.

- Parent M. et Michaud Y. (1997) Provenance des vents dans le secteur de la Petite rivière de la Baleine. Commission géologique du Canada, Centre géoscientifique du Québec (inédit).
- Parent M. et Paradis S. (1993) Interprétation préliminaire des écoulements glaciaires dans la région de la Petite rivière de la Baleine, Région subarctique du Québec; dans *Recherches en cours, Partie C*; Commission géologique du Canada, Étude 93-1C, pp. 359-365.
- Parent M. et Paradis S. (1994) Géologie des formations superficielles région de la Petite rivière de la Baleine, Québec nordique. Commission géologique du Canada/Centre géoscientifique de Québec, Dossier public # 2643, 48p.
- Payette S. (1983) *The forest tundra and present tree lines of the northern Quebec-Labrador Peninsula*, Dans: Morisset, P. et Payette, S. (ed.), *Tree-Line Ecology. Nordicana* 47, pp. 3-23.
- Payette S. et Filion L., (1993) Holocene water-level fluctuations of a subarctic lake at the tree line in northern Québec. *Boreas*, Vol. 22 pp. 7-14.
- Perreault E. (1992) *Problématique relative aux métaux dans les sédiments lacustres du Nord-Ouest québécois*. Mémoire de Maitrise, UQAM 84 p.
- Pérusse M. (1991) *Le mercure : aspects environnementaux relatifs aux aménagements hydroélectriques*. Pour la vice-présidence Environnement, service Santé environnementale. Montréal : Hydro-Québec, août 1991, 64 p.
- Pinetz Ph D. (communication personnelle) Centre d'études nordiques, CEN, Université Laval. Sainte-Foy, Québec.
- Poissant L. et Béron P. (1993) Mise en évidence d'une contamination atmosphérique des eaux de surface au nord du 55e parallèle québécois. *Sciences et Techniques de l'eau*, Vol. 26, No: 1, pp. 13-19.
- Potter L., Kidd D. et Standiford D. (1975) Mercury levels in Lake Powell : Bioamplification of Mercury in Man-Made Desert Reservoir. *Environmental Science & Technology*, Vol. 9, No 1, pp. 41-44
- Richard P.J.H., Larouche A. et Bouchard M.A. (1982) Âge de la déglaciation finale et histoire postglaciaire de la végétation dans la partie centrale du Nouveau-Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, Vol. 36, No:1-2, pp. 63-90.

- Ritson P. I., Esser B. K., Niemeyer S. et Flegal R. (1994) Lead isotopic determination of historical sources of lead to Lake Erie, North America. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, No: 15, pp. 3297-3305.
- Rosman K. J. R., Chisholm W., Boutron C. F., Candelone J. P. et Hong S. (1994) Isotopic evidence to account for changes in the concentration of lead in Greenland snow between 1960 and 1988. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, No: 15, pp. 3265-3269.
- Salomons K. et Förstner U. (1984) *Metals in the hydrocycle*. Berlin, Springer Verlag, 349p.
- Tessier A., Campbell P.G.C., et Bisson M (1979) Sequential extraction procedure for speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, Vol. 51, No. 7, pp. 844-851.
- Tsai, C.H., Iacobellis S. and Lick W. (1987) Flocculation of fine-grained lake sediments due to a uniform shear stress. *J. Grt Lakes Res.* 13, pp. 135-146
- Véron A. J., Church T. M., Patterson C. C. et Flegal A. R. (1994) Use of stable lead isotopes to characterize the sources of anthropogenic lead in North Atlantic surface waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 58, No: 15, pp. 3199-3206.
- Wassmann P. (1993) Regulation of Vertical Export of Particulate Organic Matter from the Euphotic Zone by planktonic Heterotrophs in Eutrophicated Aquatic Environments. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 26, No. 11, pp. 636-643.
- Wilson, C. (1971) *Le climat du Québec. Atlas climatique*. Première partie, Service de météorologie, Ottawa.



## Annexe 1A - Résultats d'analyses géochimiques



ANNEXE 1A : Concentrations en métaux dans les sédiments de la carotte PBA-3.

Numero échantillon	profondeur (cm)	Ca (ppm)	Na (ppm)	Ba (ppm)	Cs (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Hf (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)
3000.5	0.5	2750	5922	302	0.43	21.8	208		0.0039	5.5	37.3	2.74	7.2	38
3001.5	1.5	6640	6064	315	0.41	19.8	216	0.5		5.2	36.8	2.62	6.1	34
3002.5	2.5	12206	6300	352	0.35	20.2	196			5.3	38.4	2.95	3.3	34
3003.5	3.5	10211	6526	328	0.42	21.2	200			5.5	40.7	3.08	3.5	37
3004.5	4.5	9836	5912	338	0.4	19.7	203			5.1	36.8	2.7	4.8	20
3006	6	6967	6163	384	0.44	18.5	190			5.4	40.3	2.89	3.8	42
3007	7	4394	6277	355	0.45	22.7	204	0.2		5.6	40.5	3.02	6.1	37
3008	8	7822	6517	346	0.51	22.1	224	0.3	0.0037	5.8	42.9	3.01	4.7	44
3009	9	13022	6601	407	0.39	23.1	194		0.0033	5.7	40.6	3.01	5.4	50
3010	10	11089	6182	406	0.38	20.4	196		0.0043	5.5	41.1	3.03	2.9	46
3012	12	9645	6247	405	0.48	21.1	173		0.0028	5.4	39.7	2.97	4.9	27
3014	14	13829	6342	315	0.37	22.2	222	0.2	0.003	5.4	39.8	2.88	4.2	22
3016	16	6613	6054	338	0.35	21	211		0.0058	5.4	39	2.83	4.1	20
3018	18	9958	6275	324	0.57	22.7	235		0.0047	5.5	40.7	3.02	4.7	20
3020	20	6116	5682	387	0.35	20.9	215		0.0021	4.9	36	2.85	4.9	36
3023	23	6350	6210	341	0.41	21.3	189			5.3	39.2	2.99	5.4	21
3026	26	9884	5909	357	0.37	19.1	241			5.2	37.6	2.9	3.7	48
3029	29	11430	6095	347	0.5	20.4	236	0.3		5.1	37.3	2.83	4.6	37
3032	32	5146	6541	386	0.5	21	194			5.6	42	3.08	5.6	51
3035	35	6159	6323	332	0.46	21.6	211	0.5		5.2	39	2.98	3.4	36
3040	40	4691	6208	325	0.51	21.9	241		0.0024	5.2	37.9	3.02	8.2	18
3045	45	9327	6449	349	0.39	20.6	202			5.4	40	2.93	3.8	23
3050	50	4064	6552	327	0.48	21.5	247	0.4		5.4	40.2	3.06	6.3	45
3055	55	9978	6402	369	0.41	21.2	226			5.2	38.4	2.76	8.8	26
3060	60	10463	6006	310	0.43	20.7	204			5.2	37.9	2.67	9.2	28
3065	65	17099	5792	350	0.57	21.8	236	0.5		5.4	37.5	2.67	3.2	30
3070	70	3779	6402	374	0.42	21.9	211			5.7	41.6	2.93	4.9	19
3075	75	12012	6481	344	0.35	20.7	217		0.0056	5.5	41.9	2.91	5.6	29
3080	80	2414	6518	332	0.41	20.3	242			5.3	40.4	2.82	3.2	11
3085	85	15460	6780	345	0.55	20.6	220			5.4	41	2.92	4.2	11
3090	90	7341	6154	328	0.52	20.7	229			5.3	38.2	2.77	6	32
3095	95	7620	6046	345	0.41	19.9	198		0.0021	4.9	36.3	2.62	10.4	27
3097	97	8303	6091	308	0.31	19.9	233			5.3	37.5	2.75	7.1	47
3099	99	6616	6139	404	0.38	21.1	232		0.0027	5.1	37.8	2.82	5.1	2

ANNEXE 1A : Concentrations en métaux et en métalloïdes dans les sédiments de la carotte PBA-3.

Numero échantillon	profondeur (cm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Ta (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	Fe (ppm)	Se (ppm)	As (ppm)
3000.5	0.5	0.38	5.87	0.2		74.1	52	31370	1.5	1.4
3001.5	1.5	0.21	5.91	0.2	0.6	62.6	33	24040	1.1	0.8
3002.5	2.5	0.11	6.17	0.15	0.5	66.3	76	23900	1.1	0.2
3003.5	3.5	0.32	6.44	0.17		70	107	24450	1.3	0.3
3004.5	4.5	0.18	5.94	0.25	0.4	59.6	34	22440	1.3	0.7
3006	6	0.04	6.19	0.2	0.6	67.4	72	23460	1.5	0.9
3007	7	0.1	6.43	0.1		70.6	95	24370	2	1
3008	8		6.56	0.16	0.4	71.9	66	23980	1.6	0.6
3009	9	0.09	6.46	0.14	0.6	71.2	91	23760	1.5	0.6
3010	10	0.05	6.4	0.19	0.5	70.3	74	23710	1.6	0.8
3012	12	0.16	6.33	0.11	0.3	68.4	74	22870	1.6	0.6
3014	14	0.31	6.22	0.19	0.6	65.9	66	22960	1.7	0.3
3016	16	0.3	6.11	0.15		67.7	82	23020	1.8	0.8
3018	18	0.14	6.37	0.16	0.3	69.8	57	23290	1.6	0.8
3020	20		5.8	0.13		63.5	70	21650	1.6	0.4
3023	23		6.18	0.16	0.2	70	77	23270	1.5	0.6
3026	26	0.19	6	0.23	0.6	63.3	81	22380	1.6	0.9
3029	29	0.35	5.89	0.11		64.1	46	21850	1.2	0.8
3032	32	0.07	6.56	0.12		71.6	103	24170	1.6	0.7
3035	35	0.22	6.1	0.14		66.4	89	22480	1.5	1
3040	40	0.3	6	0.16	0.3	62.8	70	22390	2.1	0.6
3045	45	0.13	6.26	0.18	0.5	65.6	57	23220	1.5	0.7
3050	50		6.27	0.24	0.4	63.9	63	23180	1.2	1.2
3055	55	0.13	5.96	0.15	0.4	60.4	79	21810	0.9	0.8
3060	60	0.08	5.89	0.13		62	40	22530	1.1	0.6
3065	65	0.25	5.89	0.15		64	77	22610	1.3	1
3070	70		6.41	0.14		70.9	112	24550	1.3	0.8
3075	75		6.33	0.16		66.9	79	24150	1.5	0.9
3080	80	0.14	6.24	0.17	0.3	64.7	56	23460	1.2	1.2
3085	85	1.09	6.3	0.17		64.7	70	23240	2	0.2
3090	90	0.39	6.03	0.11		62.7	84	23640	1.6	0.4
3095	95	0.25	5.68	0.14	0.3	55.3	50	27680	1.7	0.3
3097	97	0.32	5.92	0.14		60.4	46	27690	1.4	0.8
3099	99	0.22	5.94	0.19	0.5	61.4	73	26540	1.5	1

ANNEXE 1A : Concentrations en terres rares dans les sédiments de la carotte PBA-3

Numero échantillon	profondeur (cm)	Ce (ppm)	Eu (ppm)	Ho (ppm)	La (ppm)	Lu (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Tb (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Th/U
3000.5	0.5	198.8	2.14	0.61	119.1	0.34	92.9	13.28	1.05	0.54	1.9	13.37	12.28	1.09
3001.5	1.5	205.9	2.22	0.74	122.7	0.36	93.5	13.64	1.03	0.69	2.31	13.68	11.6	1.18
3002.5	2.5	214.4	2.27	0.55	126.2	0.37	98.8	13.99	1.14	0.53	1.98	14.45	11.74	1.23
3003.5	3.5	222.8	2.42	0.35	132.6	0.37	102.5	14.38	1.15	0.5	2.3	15.12	11.72	1.29
3004.5	4.5	210.2	2.24	0.49	125.3	0.37	97.1	13.91	1.11	0.71	2.2	13.86	11.7	1.18
3006	6	217	2.28	0.69	126.9	0.37	100.7	14	1.08	0.52	1.85	14.47	11.71	1.24
3007	7	227.3	2.42	0.44	132.1	0.38	104.4	14.24	1.2	0.5	2.22	15.35	12	1.28
3008	8	233	2.49	0.41	134.7	0.42	106	14.56	1.18	0.51	2.11	15.56	12.09	1.29
3009	9	226.2	2.44	0.62	135.1	0.39	103.7	14.73	1.1	0.53	2.09	15.28	12.36	1.24
3010	10	225.7	2.4	0.75	128.4	0.37	103.9	13.96	1.13	0.54	2.14	15.11	12.13	1.25
3012	12	223.6	2.37	0.62	131.1	0.39	104.4	14.27	1.18	0.5	2.38	14.96	12	1.25
3014	14	219.5	2.34	0.66	131.9	0.38	102	14.54	1.13	0.62	1.98	14.49	12.39	1.17
3016	16	216	2.26	0.63	126.6	0.36	100.6	13.98	1.08	0.56	2.13	14.17	11.53	1.23
3018	18	225.6	2.37	0.92	131	0.35	104.2	14.44	1.03	0.57	2.35	14.96	11.98	1.25
3020	20	204.4	2.24	0.25	120.1	0.35	94.5	13.18	1.07	0.58	2.05	13.64	11.29	1.21
3023	23	219.5	2.31	0.63	129.6	0.39	99.7	14.21	1.17	0.52	2.32	14.46	11.71	1.23
3026	26	210.8	2.29	0.93	123.4	0.36	96.7	13.59	1.1	0.64	1.81	14.01	11.45	1.22
3029	29	208.6	2.22	0.69	125.6	0.34	95.6	13.94	1.03	0.71	2.39	13.89	12.09	1.15
3032	32	232.8	2.45	0.31	135.3	0.43	106.2	14.49	1.15	0.52	2.6	15.33	12.03	1.27
3035	35	215.5	2.27	0.77	129.9	0.38	99.1	14.17	1.11	0.51	2.08	14.07	12.29	1.14
3040	40	212.2	2.29	0.73	125.7	0.34	95.7	13.89	1.09	0.66	2.17	14.02	11.79	1.19
3045	45	220.9	2.32	0.64	130.1	0.38	100.7	14.17	1.1	0.54	2.31	14.55	11.94	1.22
3050	50	221.6	2.31	0.61	131.7	0.38	100.9	14.49	1.1	0.6	2.24	14.4	11.86	1.21
3055	55	210.2	2.29	0.52	128.4	0.35	97.5	14.2	1.02	0.59	2.08	13.83	11.77	1.18
3060	60	213.3	2.33	0.87	128.3	0.37	97.5	14.39	1.07	0.59	2.55	13.75	11.86	1.16
3065	65	215.2	2.34	0.91	125.2	0.39	100.7	13.91	1.13	0.69	2.28	14.03	12.27	1.14
3070	70	233.9	2.47	0.44	133.6	0.41	107.3	14.5	1.16	0.53	2.47	15.05	12.52	1.2
3075	75	229.2	2.39	0.71	134	0.34	107.1	15.01	1.09	0.58	2.35	14.47	12.35	1.17
3080	80	224.1	2.34	0.49	133	0.39	103.5	14.59	1.15	0.56	2.33	14.62	12.01	1.22
3085	85	226.1	2.35	0.57	135.9	0.4	102.9	14.96	1.08	0.68	2.41	14.45	12.31	1.17
3090	90	216.4	2.29	0.79	129.2	0.37	99.3	14.35	1.06	0.75	2.13	13.93	11.8	1.18
3095	95	201.2	2.19	0.56	122.1	0.33	92.1	13.51	0.99	0.57	2.07	13.44	11	1.22
3097	97	207.5	2.26	0.63	124.5	0.37	94.4	13.78	1.08	0.64	1.99	13.67	11.35	1.2
3099	99	207.6	2.3	0.26	122.5	0.41	96.1	13.49	1.09	0.72	1.95	13.63	11.17	1.22

ANNEXE 1A : Concentrations en métaux dans les sédiments de la carotte PBA-5.

Numéro échantillon	Profondeur (cm)	Ca (ppm)	Na (ppm)	Ba (ppm)	Cs (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Hf (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)
5000.5	0.5	4983	3799	233	0.74	16.8	88	0.24	0.0027	9.1	40.9	1.31	7.3	23
5001.5	1.5	5988	3774	244	0.63	15.6	90	0.43	0.0015	9	39.7	1.34		13
5002	2		3608	231	0.59	16.5	73			10.3	41.3	1.5	14.8	23
5002.5	2.5		3856	238	0.58	14	107	0.21	0.0019	10.8	41.3	1.53		21
5003	3	6290	3507	226	0.62	17.8	61	0.25		11.9	43.4	1.59	15.6	38
5003.5	3.5		3987	218	0.66	15	74	0.24	0.0032	11.9	43.8	1.49		18
5004	4		3848	249	0.62	17	72			13.1	41	1.53	16	17
5004.5	4.5		3636	232	0.63	14.7	74	0.22		12.5	41.4	1.62	12.7	39
5005	5	6335	3262	228	0.58	10.2	67	0.2		10.3	35	1.21		24
5007	7		3097	240	0.62	15.1	76	0.21		9.8	37.3	1.16	13.7	26
5008	8		3382	255	0.64	14	71	0.28		9.3	39.8	1.32	15	27
5009	9		3898	285	0.64	18	86		0.002	9.6	42.2	1.38		25
5010	10		3565	244	0.59	17.4	75		0.0031	9.4	40.3	1.37	12.9	26
5011	11		2826	199	0.43	13	63	0.3		6.4	28.8	0.95		41
5012	12	5647	3330	234	0.62	16.3	63	0.24	0.0022	9.5	40.2	1.3	13.2	19
5013	13	8158	3409	247	0.67	16.1	62		0.002	9.7	40	1.35	14.3	18
5014	14	5804	3495	287	0.6	17	84	0.49		9.4	38.2	1.21		42
5015	15		3233	234	0.62	14.9	63			11	38.9	1.33	13.4	33
5016	16		3010	250	0.61	14.2	79	0.34		10.3	38.3	1.2	14.3	38
5017	17	2923	3680	281	0.6	17	78			10	39.1	1.2		35
5018	18		3451	238	0.63	16.3	65			10.7	39.3	1.64	8.1	
5019	19	2288	3508	247	0.58	15.5	77	0.18		11.3	39.2	1.54	14.8	23
5020	20	5983	2922	295	0.45	13	88	0.38		13.7	32.3	1.04		60
5021	21	8600	2413	237	0.41	12.3	73	0.18	0.0034	16.1	31.9	1.82	15.7	26
5022	22	4422	2353	251	0.37	11.7	49			14.5	31.1	0.9	4.1	19
5023	23	5062	2670	305	0.49	9.2	75			14.2	32.4	0.9		66
5024	24		2450	251	0.46	9.6	67			14.5	32.1	0.97	13	20
5025	25	2801	2439	238	0.34	10.9	64	0.19	0.0021	14.6	31.8	1.04	12.9	
5026	26		2567	313	0.4	12	82	0.23		14.5	30.8	0.86		31
5027	27		2433	256	0.45	9.1	55	0.17		14.8	32.2	1.06	12.6	25
5028	28		2485	211	0.39	11.7	77		0.0017	15.2	30.5	0.99	13.9	26
5029	29	6286	2830	315	0.44	13	75		0.0027	14.1	31.8	0.91		29
5030	30		2655	235	0.42	10.8	73			13.9	31	1.03	12.1	12
5031	31		2582	238	0.32	9.9	65			14.2	29.5	1.08	12.2	35

ANNEXE 1A : Concentrations en métaux dans les sédiments de la carotte PBA-5.

Numéro échantillon	Profondeur (cm)	Ca (ppm)	Na (ppm)	Ba (ppm)	Cs (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Ag (ppm)	Au (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Hf (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)
5032	32	6115	2563	274	0.35	11	66	0.16		12.3	28.3	0.91		27
5033	33		2615	239	0.37	11.2	59			15.5	32.6	1.07	14.2	27
5034	34	5791	2532	222	0.4	9.8	83			14.9	30.8	1.03	12.9	12
5035	35		2735	280	0.41	13	68		0.0027	13.4	30.8	0.91		22
5038	38	2932	2505	310	0.37	11	79			13.7	30.3	0.81		26
5041	41	2970	2632	298	0.34	15	73	0.25	0.0042	13.3	30.4	0.84		43
5044	44	6727	2713	291	0.37	16	93		0.0016	13.2	29.8	0.94		40
5047	47	6091	2595	308	0.35	13	77	0.19		13.6	30.7	0.9		37
5050	50	4608	2442	283	0.4	13.5	79			13.5	28.6	0.88		33
5053	53	6682	2569	283	0.34	11.5	70		0.0035	13.3	28.8	0.87		28
5056	56	7983	2582	282	0.36	15	75	0.22		12.9	28.5	0.81		38
5059	59	7675	2703	317	0.38	8.5	70		0.09	13.3	30.2	0.95		36
5062	62		2721	295	0.32	13	87	0.19	0.0046	13.2	28.7	0.88		42
5065	65		3292	302	0.4	16.3	78	0.25	0.0034	13.4	29.7	0.84		33
5066	66		2713	240	0.49	11.7	63	0.45		14.3	31.5	1.11	11.7	19
5067	67		2628	227	0.4	12.5	70			14.8	31.9	1.1	11	39
5068	68		2777	271	0.35	13	56		0.0025	12.9	29.5	0.94		32
5069	69		2601	227	0.45	9.5	78		0.0031	14	31.1	1.01	13.2	19
5070	70		2958	268	0.37	12.6	73			15.4	31.6	1.03	12.7	15
5071	71		3202	350	0.43	13	103		0.0021	14.2	30.5	1.05		39
5072	72	9464	3132	267	0.46	14.3	85			15.7	33	1.14	15.8	25
5073	73	9779	8887	409	0.77	28.1	146			16.6	40.4	2.35	18.8	29
5075	75	23469	24215	814	1.31	75.7	373		0.0033	11.2	48.8	4.97	2	50
5076	76	20946	23945	800	1.26	73.7	371	0.21		11.2	47.4	4.92	2.7	15
5077	77			809	1.06	73	365			11.7	45.1	3.65		64
5078	78	20822	22594	765	1.22	73.8	346			12.5	48.2	4.82	4.9	34
5079	79	21618	24308	819	1.24	78.9	367			12.1	48.9	4.8	2.8	33
5080	80			764	1	70	305	0.35		10.6	40.3	3.81		41
5081	81	17685	21470	745	1.18	68.9	328		0.0043	12.4	48.1	4.61	5.5	33
5082	82	17104	18709	672	1.11	61	297		0.0023	14.8	46.1	4.15	9.2	25
5083	83	23754	28362	834	2.02	102.6	400	0.28		12.1	63.5	4.23	1.8	45

ANNEXE 1A : Concentrations en métaux et en métalloïdes dans les sédiments de la carotte PBA-5.

Numéro échantillon	Profondeur (cm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Ta (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	Fe (ppm)	Se (ppm)	As (ppm)
5000.5	0.5	2.16	3.25	0.18	0.51	54.2		51056	0.8	1.4
5001.5	1.5	0.25	3.15	0.17	0.41	46.8	14	53319	0.7	1.4
5002	2	0.08	3.31	0.26		55.8	67	50749	0.6	1.2
5002.5	2.5	0.15	3.2	0.18	0.75	48.1	26	51204	0.7	1
5003	3	0.34	3.42	0.14	0.43	57.8	44	48246	1.2	1.2
5003.5	3.5	0.3	3.39	0.18	0.21	49.7	26	50791	0.8	0.8
5004	4	0.12	3.36	0.19		52.6	61	40084	1.4	0.6
5004.5	4.5	0.17	3.38	0.21	0.39	57.4	52	39269	2.2	0.6
5005	5	0.06	2.85	0.16	0.31	38.2		32360	0.9	0.5
5007	7	0.03	3.09	0.16		56	31	39128	1.1	0.6
5008	8		3.22	0.18		52.8	37	41330	1	0.6
5009	9	0.12	3.38	0.18	0.59	45		45022	0.8	0.6
5010	10	0.21	3.21	0.15	0.38	59.7	46	47533	0.5	1.2
5011	11	0.17	2.32	0.13	0.53	31.6		30923	0.9	0.4
5012	12	0.14	3.22	0.2	0.5	55.9	35	40295	0.6	0.5
5013	13	0.12	3.26	0.17	0.3	52.6	40	37609		0.4
5014	14	0.09	3.14	0.15	0.35	41.4		36518	1.1	0.7
5015	15	0.16	3.17	0.16		55.3	60	39464	1.3	0.7
5016	16	0.04	3.07	0.16	0.67	52.1	49	41818	1.3	0.7
5017	17	0.1	3.16	0.12	0.7	42.6		43118	1.2	0.6
5018	18	0.11	3.19	0.15	0.42	51.6	68	38313	1	0.6
5019	19	0.46	3.15	0.2	0.43	53.8	41	39274	1	0.8
5020	20	0.08	2.73	0.14	1.02	42.5		31611	1.5	0.6
5021	21	0.24	2.7	0.13		51.5	79	28608	2.2	0.8
5022	22	0.18	2.65	0.17	0.55	51.9	43	26640	2.6	0.6
5023	23	0.25	2.74	0.1	0.46	43.9		29898	1.5	0.6
5024	24	0.14	2.72	0.22	0.68	51.4	35	28626	1.9	0.3
5025	25	0.18	2.66	0.2	0.8	51.9	33	28155	1.6	0.7
5026	26	0.12	2.64	0.11	1.11	43.3		29325	1.6	0.8
5027	27	0.16	2.71	0.11	0.6	49.6	30	28517	1.7	0.5
5028	28	0.08	2.63	0.14	0.83	47.7	24	26769	1.4	0.8
5029	29	0.22	2.69	0.11		44.1		29353	1.5	0.2
5030	30		2.67	0.23	0.89	46.9	57	26561	1.1	0.6
5031	31	0.04	2.56	0.12	0.97	46.4	29	25829	2.1	0.6

ANNEXE 1A : Concentrations en métaux et en métalloïdes dans les sédiments de la carotte PBA-5.

Numéro échantillon	Profondeur (cm)	Sb (ppm)	Sc (ppm)	Ta (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)	Fe (ppm)	Se (ppm)	As (ppm)
5032	32	0.3	2.41	0.06	0.36	37.9		26064	1.5	0.4
5033	33	0.07	2.73	0.19	0.87	51.5	29	28059	2.3	0.6
5034	34		2.62	0.11	0.83	48	17	26079	1	0.6
5035	35	0.12	2.6	0.11		41.3		28092	1.4	0.6
5038	38	0.07	2.54	0.09	0.51	42		27873	1.7	0.7
5041	41	0.34	2.57	0.13	0.38	42.8		27470	1.5	0.5
5044	44	0.08	2.53	0.09	0.76	41.5		27084	1.5	0.8
5047	47	0.29	2.58	0.13	0.64	43.8		27462	1.4	0.5
5050	50	0.46	2.46	0.11	0.45	40.8		26153	1.5	0.5
5053	53	0.34	2.46	0.11	0.42	38.1		26455	1.4	0.5
5056	56	0.25	2.42	0.1	0.77	41.1		25555	1.5	0.6
5059	59	0.43	2.56	0.09	2.02	42.8		27304	1.5	0.7
5062	62	0.13	2.49	0.11	1.29	39.4		27109	1.4	0.6
5065	65	0.26	2.47	0.08	0.27	40.3		27668	1.4	0.9
5066	66	0.31	2.67	0.03	0.57	50.5	45	28104	1	0.5
5067	67	0.04	2.67	0.13	0.48	50.9	38	28746	2.6	0.9
5068	68	0.27	2.45	0.12	0.79	39.1		28469	1.3	0.7
5069	69	0.22	2.68	0.13	0.57	50.4	42	28676	1.8	0.4
5070	70	0.24	2.79	0.19	0.75	51.5	16	29981	2	
5071	71	0.4	2.7	0.11	0.84	43.9	31	31646	1.5	0.6
5072	72	0.11	2.9	0.13	0.98	55		29857	1.4	0.5
5073	73	0.13	4.45	0.23	1.21	61.7		28438	1.5	0.5
5075	75	0.05	8.36	0.46		42.9	169	23111	0.4	0.4
5076	76		8.32	0.51		39.9	179	22797	0.9	0.5
5077	77		7.92	0.43		23.5	95	24652	0.6	
5078	78	0.09	8.09	0.46	0.36	50.4	147	23576	0.6	0.3
5079	79	0.2	8.5	0.54	0.58	49.7	156	23626		0.4
5080	80		7.29	0.4		16.6	58	22560	0.7	
5081	81	0.04	7.48	0.43	0.87	50.2	150	22954	0.8	0.6
5082	82	0.11	7.07	0.46	0.92	52.4	137	24670	0.2	0.4
5083	83	0.03	10	0.67	0.39	55	129	30971		0.3

## ANNEXE 1A : Concentrations en terres rares dans les sédiments de la carotte PBA-5

Numéro échantillon	Profondeur (cm)	Ce (ppm)	Eu (ppm)	Ho (ppm)	La (ppm)	Lu (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Tb (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Th/U
5000.5	0.5	103.5	0.97		58.2	0.27	48.7	6.85	0.28	0.3	1.19	8.23		
5001.5	1.5	101.7	0.97	0.27		0.15	48.2	6.66	0.28	0.3	1.35	8.16	8.16	1.00
5002	2	100.8	0.92	0.35	50.9	0.18	48.6	5.9	0.5	0.33	1.1	8.17	6.37	1.28
5002.5	2.5	103.1	0.98	0.41	57.6	0.17	48.3	6.67	0.27	0.3	1.34	8.1	7.31	1.11
5003	3	107.2	0.97	0.44	53.5	0.08	52	6.93	0.51	0.39	1.31	8.53	6.24	1.37
5003.5	3.5	111.3	1.04	0.47	61.5	0.21	52.2	7.05	0.28	0.38	1.2	8.86	6.03	1.47
5004	4	104.3	0.95	0.39	52.7	0.21	51.4	6.17	0.49	0.32	1.16	8.34	7.04	1.18
5004.5	4.5	106.4	0.97	0.38	53.7	0.21	52.5	6.23	0.52	0.34	1.19	8.58	7.84	1.09
5005	5	93.9	0.89	0.29	53.7	0.15	45.1	6.18	0.23	0.27		7.59	9.31	0.82
5007	7	100.4	0.93		52.2	0.22	51	6.01	0.49	0.32	1.14	8.25	8.63	0.96
5008	8	102.9	0.92	0.3	53.5	0.2	50.8	6.33	0.51	0.33	1.18	8.7	9.08	0.96
5009	9	112	1.05	0.52	62.6	0.16	49.4	7.46	0.27	0.32	1.44	9.25	12.13	0.76
5010	10	98.4		0.3	51	0.18	48.3	6	0.49	0.33	1.09	7.9	6.68	1.18
5011	11	77	0.71	0.18	42.9	0.12	33.4	4.83	0.19	0.24	1.06	6.37	8.15	0.78
5012	12	102.4	0.95	0.26	53.1	0.2	50.4	6.28	0.5	0.3	1.21	8.59	9.5	0.90
5013	13	102.9	0.93	0.28	54.7	0.2	51.1	6.48	0.51	0.34	1.25	8.63	9.5	0.91
5014	14	105.9	0.99	0.4	59	0.18	45.7	6.79	0.26	0.28	1.43	8.55	10.64	0.80
5015	15	103.5	0.97		53	0.19	52.1	6.1	0.5	0.31	1.14	8.43	8.24	1.02
5016	16	102.1	0.91	0.16	53.2	0.21	51.5	6.04	0.51	0.35	1.19	8.35	8.95	0.93
5017	17	106	0.99	0.27	59.7	0.18	44.7	6.58	0.27	0.27	1.33	8.55	11.2	0.76
5018	18	103	0.92	0.33	52.6	0.21	54.5	5.9	0.5	0.48	1.15	8.3	9.1	0.91
5019	19	103.2	0.93	0.39	52.9	0.18	51.4	6	0.52	0.31	1.14	8.33	9.53	0.87
5020	20	95.3	0.93	0.33	54.3	0.19	42.7	6.63	0.27	0.27	1.34	7.51	11.65	0.64
5021	21	91.9	0.87		49.2	0.2	48.9	5.19	0.47	0.41	1.12	7.53	12.32	0.61
5022	22	90.2	0.86	0.29	47.3	0.21	52.1	5.38	0.47	0.42	1.09	7.44	11.71	0.64
5023	23	98.1	0.97		55.7	0.15	45.5	6.26	0.26	0.36	1.25	7.84	14.17	0.55
5024	24	93.3	0.9	0.31	48.8	0.2	49.6	5.69	0.48	0.33	1.13	7.64	11.6	0.66
5025	25	91.6	0.85		48.4	0.21	48.3	5.67	0.47	0.35	1.05	7.44	11.5	0.65
5026	26	95.5	0.94	0.28	53.5	0.17	43.9	6.08	0.28	0.31	1.2	7.65	14.3	0.53
5027	27	92.4	0.35	0.32	48.3	0.25	49.8	5.76	0.48	0.4	1.14	7.59	11.44	0.66
5028	28	87.1	0.79		46.9	0.24	48	5.67	0.44	0.4	1.15	7.4	11.42	0.65
5029	29	94.7	0.93		53.5	0.17	44.3	5.97	0.25	0.31	1.25	7.63	13.34	0.57
5030	30	86.7	0.83	0.15	46.5	0.23	46	5.43	0.45	0.32	1.17	7.19	11.42	0.63
5031	31	84.2	0.8		46	0.2	44.9	5.33	0.45	0.32	1.1	6.99	11.11	0.63

ANNEXE 1A : Concentrations en terres rares dans les sédiments de la carotte PBA-5

Numéro échantillon	Profondeur (cm)	Ce (ppm)	Eu (ppm)	Ho (ppm)	La (ppm)	Lu (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Tb (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)	Th/U
5032	32	83.6	0.83		47.1	0.13	39.5	5.25	0.26	0.26	1.1	6.66	11.02	0.60
5033	33	91.3	0.85		48.1	0.2	48.2	5.66	0.48	0.37	1.12	7.52	10.82	0.70
5034	34	86.1	0.83	0.29	46.5	0.22	47	5.69	0.46	0.36	1.16	7.15	11.72	0.61
5035	35	91	0.89	0.37	50.1	0.14	43.5	5.63	0.26	0.31	1.39	7.29	13.15	0.55
5038	38	92	0.89	0.31	50.5	0.16	44.2	5.53	0.26	0.3	1.15	7.31	13.25	0.55
5041	41	88.9	0.88	0.26	50.1	0.16	42.9	5.49	0.29	0.34	1.03	7.23	13.26	0.55
5044	44	88.8	0.88		50.3	0.13	42	5.62	0.27	0.27	1.29	7.12	13.33	0.53
5047	47	91.9	0.91		50.2	0.15	43.1	5.68	0.27	0.36	1.32	7.21	13.39	0.54
5050	50	86.5	0.86		49.4	0.16	40.6	5.59	0.23	0.34	1.47	6.96	14.41	0.48
5053	53	86.3	0.86		49.6	0.13	39.3	5.58	0.24	0.34	1.47	6.92	14.17	0.49
5056	56	85	0.85		48.7	0.14	40.9	5.47	0.26	0.32	1.62	6.63	13.58	0.49
5059	59	89.2	0.9	0.37	51.7	0.17	43	5.72	0.3	0.33	1.53	6.98	14.12	0.49
5062	62	85.1	0.85	0.41	49.3	0.15	39	5.46	0.26	0.34	1.45	6.57	12.54	0.52
5065	65	85	0.82		47.5	0.17	38.7	5.21	0.24	0.31	1.02	6.61	9.6	0.69
5066	66	88.9	0.81		46.5	0.26	45.4	5.49	0.46	0.38	0.99	7.06	10.05	0.70
5067	67	88.5	0.82	0.19	45.9	0.22	45.6	5.61	0.42	0.32	1.11	7.19	10.26	0.70
5068	68	85	0.85	0.36	48.3	0.15	38.9	5.23	0.24	0.33	1.13	6.48	10.44	0.62
5069	69	88.2	0.84	0.33	46.6	0.17	45.6	5.59	0.45	0.33	1.2	7.24	11.15	0.65
5070	70	89.1	0.87	0.29	47.9	0.19	47.2	5.74	0.47	0.36	1.23	7.39	12.17	0.61
5071	71	91	0.91		51.8	0.18	44.2	5.63	0.26	0.34	1.37	7.27	12.58	0.58
5072	72	90.5	0.86	0.46	48.7	0.21	47.9	5.79	0.46	0.33	1.23	7.85	12.98	0.60
5073	73	76.6	1.03	0.48	61.3	0.22	56.2	6.74	0.54	0.31	1.23	9.32	13.38	0.70
5075	75	86.9	1.18	0.71	44.6	0.21	48	5.65	0.53	0.39	1.21	9.23	6.31	1.46
5076	76	88.1	1.15	0.74	45.5	0.2	48.6	5.68	0.54	0.36	1.13	9.8	6.15	1.59
5077	77	91.4	1.2				33.8		0.24	0.59		9.06		
5078	78	94.1	1.2	0.61	48.2	0.2	51.1	5.83	0.54	0.44	1.13	10.13	7.42	1.37
5079	79	91.4	1.23	0.62	46.8	0.2	49.9	5.66	0.53	0.41	1.14	9.75	6.15	1.59
5080	80	81.5	1.09				27.9		0.2	0.48		7.86		
5081	81	95.3	1.15	0.71	50.9	0.21	51.6	6.05	0.54	0.41	1.14	9.69	7.89	1.23
5082	82	107.9	1.2	0.55	57.8	0.22	57.7	6.09	0.55	0.43	1.21	10.08	9.37	1.08
5083	83	77.5	1.13	0.43	40	0.19	40.6	5.31	0.51	0.37	1.13	9.93	2.82	3.52



**Annexe 1B - Résultats d'analyses géochimiques (Hg et Pb)**



ANNEXE 1B : Concentrations en mercure (ext), en plomb (ext) et rapports isotopiques  
du plomb dans les carottes de sédiment des lacs PBA-3 et PBA-5.

Numero échantillon	Profondeur (cm)	Mercure (ppb)	Numero échantillon	Profondeur (cm)	Mercure (ppb)	Plomb (ppm)	207Pb	208Pb
							206Pb	206Pb
3000.5	0.5	76.4	5000.5	0.5	45.2	7.23	0.781	1.951
3001	1	70.8	5001	1	42.5	8.10	0.824	2.086
3001.5	1.5	56.2	5001.5	1.5	38.7	7.42	0.825	2.186
3002	2	41.0	5002	2	49.0	7.42	0.787	1.994
3002.5	2.5	44.0	5002	2		7.15	0.819	2.098
3003	3	38.8	5002.5	2.5	42.0	3.48	0.770	2.036
3003.5	3.5	44.0	5003	3	50.0			
3004	4	44.4	5003.5	3.5	35.0			
3004.5	4.5	47.0	5004	4	22.5			
3005	5	49.0	5004.5	4.5	34.8	2.43	0.731	2.089
3006	6	40.5	5005	5	30.5			
3007	7	40.5	5006	6	32.2	2.35	0.729	2.007
3008	8	43.0	5007	7	38.8			
3009	9	48.5	5008	8	26.9	2.57	0.750	2.055
3010	10	46.7	5009	9	31.5			
3012	12	47.0	5010	10	37.6	2.64	0.747	2.090
3016	16	50.5	5011	11	40.0			
3023	23	64.5	5012	12	33.2			
3032	32	55.0	5013	13	35.2			
3045	45	51.5	5014	14	36.9	3.17	0.727	2.006
3055	55	53.2	5015	15	38.5			
3065	65	39.7	5016	16	37.6			
3075	75	42.0	5017	17	37.2			
3085	85	49.2	5018	18	34.8			
3095	95	43.0	5019	19	38.0	2.50	0.743	2.094
			5020	20	42.5	1.71	0.750	2.154
			5022	22	39.5	1.67	0.738	2.038
			5025	25	40.8			
			5028	28	36.7			
			5031	31	40.4	1.64	0.719	1.999
			5035	35	38.8			
			5040	40	37.0	1.67	0.738	2.050
			5050	50	36.7	1.67	0.729	2.026
			5050	50		1.36	0.729	1.993
			5059	59	38.0			
			5070	70	34.7			
			5080	80	7.0	4.42	0.731	2.240



**Annexe 1C - Résultats d'analyses géochimiques (C, N, S)**



ANNEXE 1C : Concentrations en humidité, carbone, azote et soufre  
dans les sédiments de la carotte PBA-3.

Numero échantillon	Profondeur (cm)	Humidité (%)	Carbone (%)	Azote (%)	Soufre (%)	C/N
3000.5	0.5	87.68	12.85	0.91	0.21	14.15
3001	1.0	87.72				
3001.5	1.5	87.80	13.13	0.91	0.20	14.44
3002	2	87.97				
3002.5	2.5	87.79	13.29	0.92	0.20	14.49
3003	3	87.77				
3003.5	3.5	88.05	13.38	0.92	0.33	14.55
3004	4	88.30				
3004.5	4.5	88.38	13.54	0.92	0.21	14.65
3005	5	89.11				
3006	6	88.83	13.33	0.92	0.20	14.55
3007	7	88.93	13.34	0.92	0.22	14.46
3008	8	89.11	13.57	0.93	0.22	14.53
3009	9	89.09	13.47	0.93	0.22	14.56
3010	10	89.17	13.47	0.96	0.22	14.03
3011	11	89.13				
3012	12	88.99				
3013	13	88.86				
3014	14	89.01	13.53	0.94	0.12	14.44
3015	15	88.98				
3016	16	88.97	13.60	0.94	0.22	14.51
3017	17	88.91				
3018	18	88.97	13.40	0.92	0.28	14.63
3019	19	89.14				
3020	20	89.14	13.78	0.95	0.21	14.47
3021	21	88.98				
3022	22	88.86				
3023	23	88.81	13.54	0.95	0.21	14.29
3024	24	88.84				
3025	25	88.95				
3026	26	88.80	13.45	0.93	0.25	14.45
3027	27	88.75				
3028	28	88.91				
3029	29	89.00				
3030	30	88.92				
3031	31	88.81				
3032	32	88.87	13.78	0.94	0.22	14.68
3033	33	89.30				
3034	34	89.06				
3035	35	88.77	13.51	0.93	0.21	14.46
3036	36	88.80				
3037	37	88.58				
3038	38	88.47				
3039	39	88.35				
3040	40	88.61	13.60	0.94	0.21	14.45
3041	41	88.38				
3042	42	88.49				
3043	43	88.34				
3044	44	88.38				
3045	45	88.50	13.78	0.96	0.34	14.43
3046	46	88.38				
3047	47	88.52				
3048	48	88.43				

ANNEXE 1C : Concentrations en humidité, carbone, azote et soufre  
dans les sédiments de la carotte PBA-3.

Numero échantillon	Profondeur (cm)	Humidité (%)	Carbone (%)	Azote (%)	Soufre (%)	C/N
3049	49	88.50				
3050	50	88.40	13.66	0.94	0.21	14.50
3051	51	88.35				
3052	52	88.42				
3053	53	88.53				
3054	54	88.76				
3055	55	88.57	13.71	0.93	0.21	14.73
3056	56	88.51				
3057	57	88.25				
3058	58	88.51				
3059	59	88.24				
3060	60	88.42	13.05	0.91	0.33	14.27
3061	61	88.27				
3062	62	88.30				
3063	63	88.54				
3064	64	88.26				
3065	65	88.46	12.81	0.91	0.21	14.15
3066	66	88.55				
3067	67	88.55				
3068	68	88.59				
3069	69	88.55				
3070	70	88.53	12.58	0.89	0.18	14.18
3071	71	88.55				
3072	72	88.50				
3073	73	88.50				
3074	74	88.40				
3075	75	88.31	13.15	0.91	0.20	14.52
3076	76	88.41				
3077	77	88.50				
3078	78	88.37				
3079	79	88.39				
3080	80	88.50	13.31	0.94	0.29	14.22
3081	81	88.42				
3082	82	88.30				
3083	83	88.21				
3084	84	88.40				
3085	85	88.48	13.43	0.93	0.33	14.44
3086	86	88.38				
3087	87	88.22				
3088	88	88.09				
3089	89	88.13				
3090	90	88.18	13.00	0.91	0.19	14.30
3091	91	88.22				
3092	92	88.06				
3093	93	87.67				
3094	94	87.50				
3095	95	87.76	13.06	0.93	0.20	14.06
3096	96	87.99				
3097	97	87.88	13.16	0.93	0.21	14.09
3098	98	87.62				
3099	99	87.52	13.45	0.95	0.23	14.11

ANNEXE 1C : Concentrations en humidité, carbone, azote et soufre  
dans les sédiments de la carotte PBA-5.

Numero échantillon	Profondeur (cm)	Humidité (%)	Carbone (%)	Azote (%)	Soufre (%)	C/N
5000.5	0.5	88.70	17.23	1.38	0.37	12.49
5001	1	88.59				
5001.5	1.5	89.62	18.20	1.43	0.32	12.70
5002	2	89.15	17.76	1.42	0.37	12.55
5002.5	2.5	89.55	17.12	1.33	0.42	12.85
5003	3	88.96	17.16	1.32	0.38	13.01
5003.5	3.5	89.48	17.88	1.36	0.46	13.12
5004	4	89.93				
5004.5	4.5	90.35	19.74	1.50	0.46	13.19
5005	5	90.64				
5006	6	90.30	20.18	1.51	0.38	13.35
5007	7	89.65	19.62	1.45	0.33	13.51
5008	8	89.65	19.27	1.41	0.34	13.70
5009	9	89.79				
5010	10	90.86	19.82	1.46	0.36	13.61
5011	11	89.54	19.21	1.41	0.34	13.62
5012	12	90.63	19.67	1.44	0.36	13.62
5013	13	89.47	20.31	1.47	0.36	13.81
5014	14	89.30	20.62	1.47	0.43	13.99
5015	15	89.62				
5016	16	89.56	19.40	1.45	0.38	13.39
5017	17	88.79				
5018	18	89.50	19.65	1.45	0.40	13.56
5019	19	90.29	19.84	1.46	0.39	13.60
5020	20	93.39	25.41	1.88	0.61	13.52
5021	21	92.79	25.21	1.86	0.60	13.55
5022	22	93.14	25.19	1.87	0.58	13.48
5023	23	93.65	25.37	1.87	0.58	13.61
5024	24	93.05	24.86	1.83	0.60	13.61
5025	25	93.41				
5026	26	93.09	25.43	1.89	0.58	13.46
5027	27	93.00	25.61	1.88	0.60	13.59
5028	28	93.46	25.27	1.84	0.63	13.71
5029	29	93.31	25.82	1.89	0.60	13.63
5030	30	92.93				
5031	31	93.24	26.01	1.90	0.61	13.66
5032	32	93.16				
5033	33	92.68	25.53	1.86	0.59	13.70
5034	34	93.71	25.94	1.90	0.61	13.68
5035	35	93.23	24.83	1.82	0.57	13.66
5036	36	93.74	25.85	1.89	0.55	13.70
5037	37	93.59	25.98	1.92	0.62	13.53
5038	38	93.51	25.72	1.90	0.64	13.55
5039	39	93.20	24.70	1.82	0.56	13.58
5040	40	93.34	25.52	1.88	0.55	13.59
5041	41	93.08				
5042	42	93.26	25.22	1.86	0.57	13.53
5043	43	93.57	24.90	1.84	0.57	13.55
5044	44	93.24				
5045	45	93.45				
5046	46	92.96	25.14	1.85	0.58	13.57
5047	47	93.44	25.46	1.86	0.59	13.66
5048	48	93.35	25.29	1.86	0.57	13.59

ANNEXE 1C : Concentrations en humidité, carbone, azote et soufre  
dans les sédiments de la carotte PBA-5.

Numero échantillon	Profondeur (cm)	Humidité (%)	Carbone (%)	Azote (%)	Soufre (%)	C/N
5049	49	93.38				
5050	50	93.57	25.08	1.84	0.53	13.67
5051	51	93.24	25.60	1.89	0.52	13.58
5052	52	93.00				
5053	53	93.51	25.09	1.85	0.56	13.60
5054	54	93.31	24.97	1.80	0.56	13.85
5055	55	93.16				
5056	56	91.07	25.05	1.83	0.60	13.67
5057	57	93.58	25.78	1.89	0.63	13.63
5058	58	93.31				
5059	59	93.42	25.08	1.83	0.62	13.67
5060	60	93.36				
5061	61	93.04	25.54	1.87	0.60	13.68
5062	62	93.21	26.10	1.90	0.61	13.74
5063	63	93.48				
5064	64	93.20				
5065	65	93.61				
5066	66	92.61	25.21	1.83	0.53	13.76
5067	67	92.61	26.43	1.95	0.58	13.55
5068	68	92.93	25.73	1.90	0.59	13.57
5069	69	92.67				
5070	70	93.05	25.11	1.89	0.65	13.30
5071	71	91.93	24.11	1.80	0.56	13.38
5072	72	91.42	24.52	1.82	0.50	13.49
5073	73	89.61				
5074	74	71.02				
5075	75	63.88				
5076	76	70.36				
5077	77	71.98				
5078	78	68.67	3.55	0.30	0.51	11.84
5079	79	72.46	4.73	0.38	0.52	12.51
5080	80	51.76	1.60	0.14	0.21	11.81
5081	81	54.81	2.03	0.17	0.25	11.67
5082	82	64.83	2.85	0.23	0.25	12.21
5083	83	27.52	0.36	0.03	0.51	10.85

## Annexe 2A - Contrôle de la qualité des analyses



ANNEXE 2A : Contrôle de la qualité des analyses

	NBS 82 SRM 1645			RAPPORT STD/NBS	NBS 82 SRM 1646			RAPPORT STD/NBS
	Sédiment de rivière	STD_PBA3			Sédiment estuarien	STD_PBA3	STD_PBA5	
Ag (ppm)	1.8	1.70	0.94	0.09	0.05	0.09	0.80	
As (ppm)	67	67.44	1.01	11.6	10.95	8.74	0.85	
Au (ppm)		0.02			0.01	0.00		
Ba (ppm)	374	454.00	1.21	409	392.75	431.71	1.01	
Ca (ppm)		28797.89			7469.22			
Ce (ppm)	24	24.40	1.02	80	75.02	80.76	0.97	
Co (ppm)	10.1	9.18	0.91	10.5	9.25	10.56	0.94	
Cr (ppm)	29600	31739.00	1.07	76	72.11	79.88	1.00	
Cs (ppm)	2.8	3.00	1.07	3.7	3.43	3.92	0.99	
Eu (ppm)	0.5	0.44	0.88	1.5	1.34	1.69	1.01	
Fe (ppm)		121902.00			31294.74	35323.68		
Hf (ppm)	1.4	1.10	0.79	11	10.23	10.87	0.96	
Ho (ppm)		0.23			1.28	1.71		
Kb (ppm)		468.00			167.20	125.53		
La (ppm)	9	8.07	0.90	37	36.56	40.60	1.04	
Lu (ppm)		0.09		0.38	0.51	0.47	1.28	
Mo (ppm)	34	18.20	0.54	14	3.69			
Na (ppm)		5177.77			18798.30	20140.28		
Nd (ppm)		7.50		36	35.00	40.33	1.05	
Ni (ppm)	45.8	68.00	1.48	32	36.80	54.75	1.43	
Rb (ppm)	41	53.00	1.29	87	86.17	87.13	1.00	
Sb (ppm)	31	40.10	1.29	0.8	0.47	0.55	0.64	
Sc (ppm)	2.6	2.46	0.95	10.8	10.34	10.94	0.99	
Se (ppm)	1.3	1.30	1.00	0.6	0.96	0.44	1.16	
Sm (ppm)	1.2	1.36	1.13	6.4	7.09	6.72	1.08	
Sr (ppm)	880	1245.00	1.41	220	144.30	174.24	0.72	
Ta (ppm)	0.22	0.30	1.36	1	1.03	1.14	1.08	
Tb (ppm)		0.25		0.95	0.83	0.63	0.77	
Th (ppm)	1.62	1.65	1.02	10	9.43	10.43	0.99	
Tm (ppm)		0.77			0.54	0.62		
U (ppm)	1.11	0.57	0.52	2.99	2.57	3.27	0.98	
W (ppm)	0.54	0.84	1.55		0.52	1.00		
Yb (ppm)	0.6	0.46	0.77	2.6	2.77	3.17	1.14	
Zn (ppm)	1720	1738.10	1.01	138	114.94	111.17	0.82	
Zr (ppm)	61	31.00	0.51	335	310.22	303.82	0.92	

ANNEXE 2A : Contrôle de la qualité des analyses

		NBS 90		
		SRM 2704	STD_PBA3	RAPPORT
		Sédiment Rivière Buffalo		STD/NBS
Ag	(ppm)		0.15	
As	(ppm)	23.4	22.02	0.94
Au	(ppm)		0.01	
Ba	(ppm)	414	445.15	1.08
Ca	(ppm)		25699.15	
Ce	(ppm)	72	65.34	0.91
Co	(ppm)	14	13.42	0.96
Cr	(ppm)	135	133.62	0.99
Cs	(ppm)	6	5.94	0.99
Eu	(ppm)	1.3	1.35	1.04
Fe	(ppm)		40796.55	
Hf	(ppm)	8	7.75	0.97
Ho	(ppm)		1.28	
Kb	(ppm)		141.80	
La	(ppm)	29	30.20	1.04
Lu	(ppm)	0.6	0.50	0.84
Mo	(ppm)		2.71	
Na	(ppm)		5420.43	
Nd	(ppm)		30.70	
Ni	(ppm)	44.1	62.99	1.43
Rb	(ppm)	100	110.19	1.10
Sb	(ppm)	3.79	4.19	1.11
Sc	(ppm)	12	11.71	0.98
Se	(ppm)	1.12	1.79	1.59
Sm	(ppm)	6.7	6.10	0.91
Sr	(ppm)	130	185.00	1.42
Ta	(ppm)		1.05	
Tb	(ppm)		0.94	
Th	(ppm)	9.2	9.29	1.01
Tm	(ppm)		0.59	
U	(ppm)	3.13	3.20	1.02
W	(ppm)		1.12	
Yb	(ppm)	2.8	3.13	1.12
Zn	(ppm)	438	407.43	0.93
Zr	(ppm)	300	241.90	0.81

ANNEXE 2A : Contrôle de la qualité des analyses

	STANDARD						RAPPORT
	REFERENCE	STD37_PBA3	STD38_PBA3	STD39_PBA3	STD22_PBA5	STD23_PBA5	SRM/STD
	SRM 1633A						
Ag (ppm)		0.12	0.49	0.67	0.58	0.33	
As (ppm)	136.2	146.78	151.50	138.92	142.84	145.43	1.07
Au (ppm)		0.00		0.00	0.00	0.01	
Ba (ppm)	709	1364.15	1468.40	1380.78	1429.53	1257.69	1.95
Ca (ppm)	15100	11301.82	8582.55	7815.43	8992.75	6521.62	0.57
Ce (ppm)	190	161.50	166.11	164.04	183.31	151.51	0.87
Co (ppm)	50	42.79	43.47	43.14	46.63	41.40	0.87
Cr (ppm)	198.2	189.46	192.14	192.86	206.56	170.85	0.96
Cs (ppm)	11	10.27	10.65	10.57	11.49	9.75	0.96
Eu (ppm)	4.1	3.53	3.56	3.69	4.67	4.01	0.95
Fe (ppm)	77800	90975.09	92201.73	90671.27	101744.80	93935.37	1.21
Hf (ppm)	6.8	7.04	7.16	7.40	7.53	5.79	1.03
Ho (ppm)		4.16	6.89	3.44	3.13	2.87	
Kb (ppm)		50.04	85.54	112.61	217.79	282.66	
La (ppm)	94	78.15	77.94	73.24	81.32	84.38	0.84
Lu (ppm)	1.2	1.27	1.22	1.15	1.13	1.08	0.97
Mo (ppm)		28.63	42.22	18.83			
Na (ppm)	2010	1704.82	1757.41	1644.59	1835.53	2050.41	0.89
Nd (ppm)	85	84.74	85.56	96.02	97.99	58.39	0.99
Ni (ppm)	120.6	133.15	165.12	170.32	127.61	151.92	1.24
Rb (ppm)	140	128.47	138.58	137.00	137.49	124.16	0.95
Sb (ppm)	6	6.52	6.48	6.16	6.31	7.28	1.09
Sc (ppm)	41	38.17	38.73	38.14	39.71	35.99	0.93
Se (ppm)	10.26	9.94	10.63	10.45	7.04	5.58	0.85
Sm (ppm)	20	16.35	13.95	14.63	17.33	17.20	0.79
Sr (ppm)	1041	689.59	741.40	817.34	879.60	700.72	0.74
Ta (ppm)	1.8	1.98	2.06	2.05	2.20	1.95	1.14
Tb (ppm)	2.6	2.48	2.55	2.61	1.94	1.69	0.87
Th (ppm)	25.7	24.49	25.17	25.00	27.47	22.59	0.97
Tm (ppm)	2.1	1.54	1.49	1.71	1.62	1.37	0.74
U (ppm)	8.79	9.46	10.20	9.52	10.91	10.56	1.15
W (ppm)	5.6	4.90	17.72	3.70	8.12	5.71	1.43
Yb (ppm)	7.6	7.38	8.01	7.21	7.77	7.63	1.00
Zn (ppm)	210	189.82	186.61	216.64	223.12	93.68	0.87
Zr (ppm)		282.40	258.04	249.49	251.37	239.07	



**Annexe 2B - Contrôle de la qualité des analyses (Hg et Pb)**



**Annexe 2B : Contrôle de la qualité des analyses du plomb**

Échantillon	Pb (ext) ppm	
5002	7.415	
5002	7.150	
moyenne	7.28	Écart moyen = 0.13
5050	1.666	
5050	1.361	
moyenne	1.51	Écart moyen = 0.15

Échantillon	<u>Pb 206</u> Pb 204	<u>Pb 207</u> Pb 204	<u>Pb 208</u> Pb 204	
5002	17.40	12.88	30.66	
5002	17.34	14.16	36.36	
moyenne	17.37	13.52	33.51	Écart moyen = 1.17
5050	19.59	13.76	37.50	
5050	18.91	13.37	36.22	
moyenne	19.25	13.57	36.86	Écart moyen = 0.39
STD 399	24.60	17.90	57.01	
STD 399	21.35	14.87	44.90	
moyenne	22.98	16.39	50.96	Écart moyen = 3.07



**Annexe 2C - Contrôle de la qualité des analyses (C, N, S)**



## Annexe 2C: Contrôle de la qualité des analyses de carbone, azote et soufre

Standard	Carbone (%)	Azote (%)	Soufre (%)
MESS-1 - attendu	2.99 + 0.09	n.d.	0.72 + 0.05
Obtenu - 1	2.840	0.194	0.657
Obtenu - 2	2.943	0.196	0.679
Obtenu - 3	3.178	0.193	0.719
Obtenu - 4	2.998	0.191	0.669
Obtenu - 5	2.947	0.189	0.632
Obtenu - 6	2.885	0.189	0.707
Obtenu - 7	3.176	0.201	0.659
Obtenu - 8	2.972	0.194	0.713
moyenne	2.992	0.193	0.679
Écart-type	0.124	0.004	0.031

Duplicata	Carbone (%)	Azote (%)	Soufre (%)
3010	12.470	0.960	0.224
3010	13.376	0.924	0.221
Écart	0.906	0.036	0.003
3026	13.452	0.931	0.251
3026	13.588	0.942	0.279
Écart	0.136	0.011	0.028
5018	19.650	1.449	0.395
5018	19.779	1.452	0.373
Écart	0.129	0.003	0.022
5031	26.008	1.904	0.607
5031	26.184	1.924	0.596
Écart	0.176	0.020	0.011
5013	20.311	1.471	0.356
5013	20.143	1.459	0.373
Écart	0.168	0.012	0.017
5057	25.778	1.891	0.628
5057	25.576	1.871	0.600
Écart	0.202	0.020	0.028
5054	24.974	1.803	0.559
5054	25.331	1.881	0.567
Écart	0.357	0.078	0.008
5059	25.077	1.834	0.617
5059	25.357	1.864	0.581
Écart	0.280	0.030	0.036
5081	1.860	0.164	0.250
5081	2.031	0.174	0.246
Écart	0.171	0.010	0.004
Moyenne des écarts	0.281	0.024	0.017



Annexe 3A - Datations <sup>14</sup>C



\*\*\*\*\* PLEASE VERIFY ALL FIELD DATA \*\*\*\*\*

SAMPLE No.: 92-PIA-PBA-3 (006-015)  
SUBMITTERS: M. Parent  
COLLECTORS: M. Parent and S.J. Paradis  
COLL. DATE: 92.08.24 (YY.MM.DD) SAMPLE Wt. 8.3 g  
MATERIAL : lake sediment, gyttja  
TAXA :

ENCL MAT'L: gyttja  
LOCALITY  
89 km west-northwest of Camp Mollet, Québec

COORDINATES 55° 55.6' N 75° 54.5' W  
NTS SHEET No. 33 O elev. 250 m

MISCELLANEOUS INFORMATION: (GSC-5748; 92-PIA-PBA-3 (006-015))

Estimated Age : 0.2 ka BP  
Organic content : >95%  
Project No. : 920005 GB  
Water Depth = 10m

DETAILS OF COLLECTION SITE:

Piston core collected at a depth of 10 m in lake.

STATE OF PRESERVATION:

Cores were stored in refrigerated room until the time they were subsampled. Subsamples were dried at very moderate temperature (30°C).

STRATIGRAPHIC RELATIONS:

The (008-012) interval records a peak content of several heavy metals.

SAMPLE SIGNIFICANCE:

Age will allow a first estimation of sedimentation rate in this lake. Age of geochemical peak.

OTHER INFORMATION:

\* LABORATORY No.: GSC-5748 94.06  
\* WEIGHT USED : g (wet)  
\* 10.9 g (dry)  
\* TREATMENT : hot acid, and distilled water rinses (base treatment omitted); noncalcareous  
\* Processed 6.5 g which yielded 1.53 L CO<sub>2</sub>  
\* COUNT DATA: two count(s) for 3450 minutes in the 2-L counter with a mixing ratio of 2.80  
\* Sample count of 11.792 ± 0.138, cpm with a Background of 1.214 ± 0.025, cpm, and a Standard of 18.515 ± 0.105 cpm.  
\*  
\* AGE (uncorr.): 3620 ± 110 ( pMC)  
\* δ13C = -26.2 ‰  
\* AGE (norm.) : 3600 ± 110 ←  
\* AGE (corr.) :

\*\*\*\*\* PLEASE VERIFY ALL FIELD DATA \*\*\*\*\*

SAMPLE No.: 92-PIA-PBA-3(095-099)  
SUBMITTERS: M. Parent  
COLLECTORS: M. Parent and S.J. Paradis  
  
COLL. DATE: 92.08.24 (YY.MM.DD) SAMPLE Wt. 5.4 g\*  
MATERIAL : lake sediment, gyttja  
TAXA :

ENCL MAT'L: gyttja  
LOCALITY  
89 km west-northwest of Camp Mollet, Québec

\* LABORATORY No.: GSC-5711 94.03  
\* WEIGHT USED : g (wet)  
\* 5.1 g (dry)  
\* TREATMENT : hot acid, and distilled water  
rinses (base treatment omitted);  
\* slightly calcareous  
\* Processed 4.0 g which yielded 1.01 L CO<sub>2</sub>  
\* COUNT DATA: two count(s) for 2035 minutes  
\* in the 2-L counter with a mixing ratio of 4.30  
\* Sample count of 12.141 ± 0.226, cpm with a  
\* Background of 1.199 ± 0.028, cpm, and a  
\* Standard of 18.393 ± 0.105 cpm.  
\*  
\* AGE (uncorr.): 3340 ± 160 ( PMC)  
\* δ13C = -25.8‰.  
\* AGE (norm.) : 3320 ± 160 ←  
\* AGE (corr.) :

COORDINATES 55° 55.6' N 75° 54.5' W  
NTS SHEET No. 33 O elev. 250 m

MISCELLANEOUS INFORMATION: (GSC-5711; 92-PIA-PBA-3(095-099))

Estimated Age : 6 ka BP  
Organic content : >95%  
Project No. : 920005 GB  
Water depth = 10m

DETAILS OF COLLECTION SITE:

From piston core at a depth of 10 m in lake.

STATE OF PRESERVATION:

Cores were stored in refrigerated room until they were subsampled. Subsamples were dried at very moderate temperature (30°C)

STRATIGRAPHIC RELATIONS:

The (095-099) interval is at the base of the gyttja unit (overlies clay).

SAMPLE SIGNIFICANCE:

Age of the onset of organic sedimentation in this small lake. This core has been the object of substantial geochemical analytical work.

OTHER INFORMATION:

\*\*\*\*\* PLEASE VERIFY ALL FIELD DATA \*\*\*\*\*

SAMPLE No.: 92-PIA-PBA-5 (11-9cm)  
SUBMITTERS: M. Parent  
COLLECTORS: M. Parent and S.S. Paradis

\* LABORATORY No.: GSC-5961 95.06  
\* WEIGHT USED : g (wet)  
5.8 g (dry)  
\* TREATMENT : hot acid, and distilled water rinses (base treatment omitted); noncalcareous  
\* Processed 4.7 g which yielded 1.52 L CO<sub>2</sub>  
\* COUNT DATA: one count(s) for 5000 minutes  
\* in the 2-L counter with a mixing ratio of 2.6:  
\* Sample count of 12.197 ± 0.126, cpm with a  
\* Background of 1.225 ± 0.034, cpm, and a  
\* Standard of 18.343 ± 0.180 cpm.  
\* AGE (uncorr.): 3280 ± 120 ( pMC)  
\* 13C = -23.2 ‰.  
\* AGE (norm.) : 3310 ± 120  
\* AGE (corr.) :

COLL. DATE: 92.08.24 (YY.MM.DD) SAMPLE Wt.ca6.0g\*  
MATERIAL : lake sediment, gyttja  
TAXA :

ENCL MAT'L: gyttja  
LOCALITY  
small unnamed lake, about 150 km northeast of  
Kuujuarapik, northern Québec

COORDINATES 55° 39' 18"N 75° 30' 19"W  
NTS SHEET No. 33 0/12 elev. 255 m

SIGNIFICANCE: chronology, pre-anthropogenic zone

ASSOC. DATES: GSC-5972

ADDITIONAL INFORMATION: water depth of 1.1 m

MISCELLANEOUS INFORMATION: (GSC-5961; 92-PIA-PBA-5 (11-9))  
Estimated Age : 1.0 ka BP  
Project No. : 920005 GB  
Organic Content: ca. 25%

COLLECTION SITE:  
Piston core collected at a water depth of 1.1 m in lake.

STATE of PRESERVATION:  
Core was refrigerated in its original plastic casing until time of sub-sampling. Material was then oven-dried at low temperature (35°C).

STRATIGRAPHIC RELATIONSHIPS:  
8 sub-samples were collected at 1 cm increments at core depths between 11 and 19 cm.

SIGNIFICANCE:  
Age of core intervals that predate the increase of metal concentrations near top of lake sediment core.

OTHER INFORMATION:

\*\*\*\*\* PLEASE VERIFY ALL FIELD DATA \*\*\*\*\*

SAMPLE No.: 92-PIA-PBA-5 (65-73cm)  
SUBMITTERS: M. Parent  
COLLECTORS: M. Parent and S.J. Paradis

\* LABORATORY No.: GSC-5972 95.08  
\* WEIGHT USED : g (wet)  
\* 6. g (dry)  
\* TREATMENT : hot acid, and distilled water rinses (base treatment omitted); noncalcareous  
\* Processed 5.6 g which yielded 2.2 L CO<sub>2</sub>  
\* COUNT DATA: one count(s) for 4760 minutes in the 2-L counter with a mixing ratio of 1.73  
\* Sample count of 10.944 ± 0.082, cpm with a Background of 1.195 ± 0.026, cpm, and a Standard of 18.272 ± 0.110 cpm.  
\* AGE (uncorr.): 4120 ± 80 ( PMC)  
\* 13C = -26.96‰.  
\* AGE (norm.) : 4090 ± 80  
\* AGE (corr.) :

COLL. DATE: 92.08.24 (YY.MM.DD) SAMPLE Wt. ca 6.8g\*  
MATERIAL : lake sediment, basal gyttja  
TAXA :

ENCL MAT'L: gyttja above lacustrine clay  
LOCALITY  
small unnamed lake, about 150 km northeast of Kuujjuarapik, northern Québec

COORDINATES 55° 30' 18"N 75° 30' 19"W  
NTS SHEET No. 33 O/12 elev. 255

SIGNIFICANCE: deglaciation; Holocene organic sedimentation (accumulation)

ASSOC. DATES:

ADDITIONAL water depth of 1.1 m  
INFORMATION:

MISCELLANEOUS INFORMATION: (GSC-5972; 92-PIA-PBA-5 (65-73))  
Estimated Age : 4.8 ka BP  
Organic Content : ca. 25%  
Project No. : 920005 GB

COLLECTION SITE:  
Piston core collected at a water depth of 1.1 m in lake.

STATE of PRESERVATION:  
Core was refrigerated in its original plastic casing until time of sub-sampling. Material was then oven-dried at low temperature (35°C).

STRATIGRAPHIC RELATIONSHIPS:  
8 sub-samples were collected at 1 cm increments at core depths between 65 and 73 cm. The sub-sampled increments immediately overlie lacustrine clay.

SIGNIFICANCE:  
Age of early organic sedimentation in small postglacial lake.

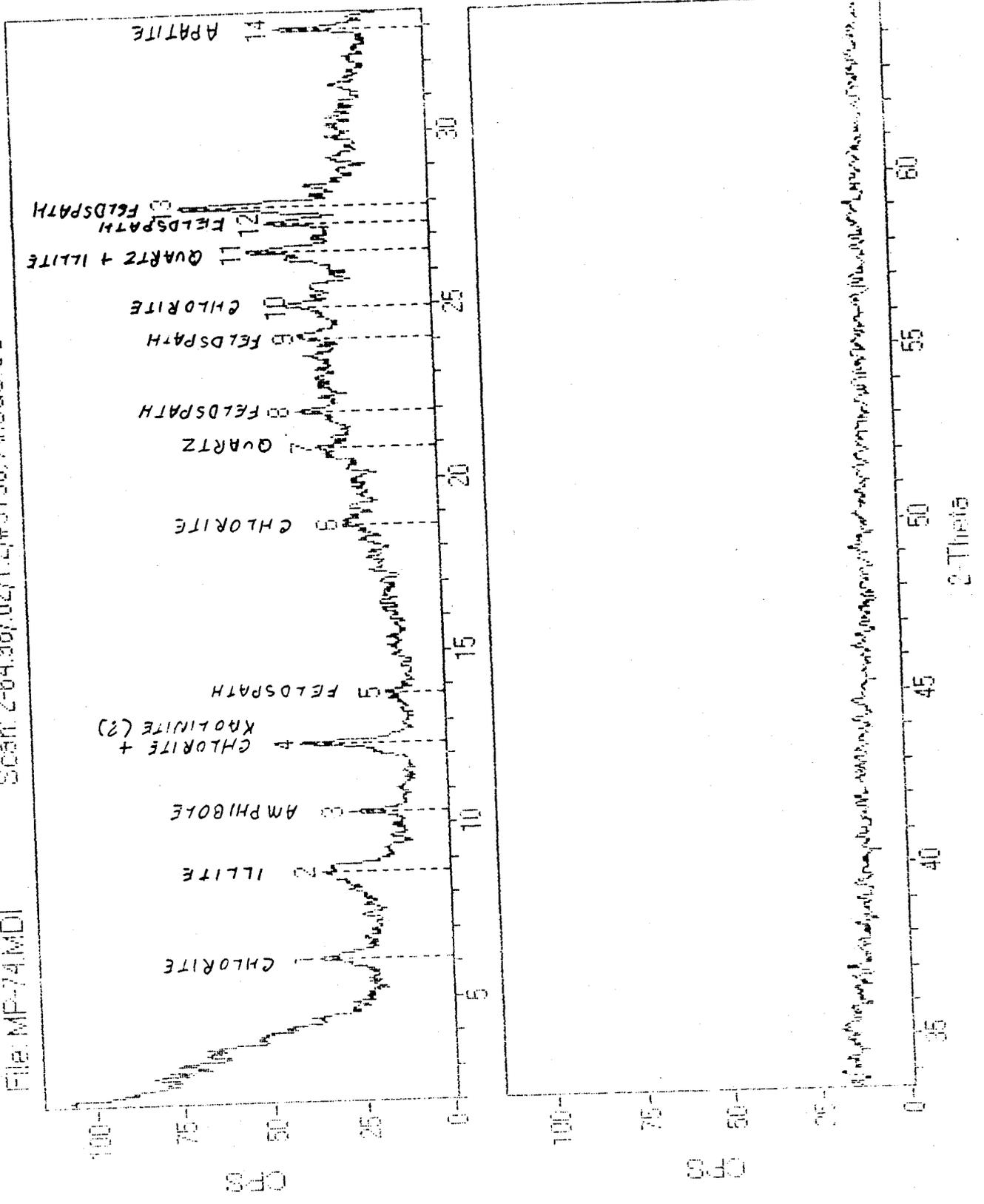
OTHER INFORMATION:

**Annexe 3B - Diffractogrammes des rayons-x (argile)**



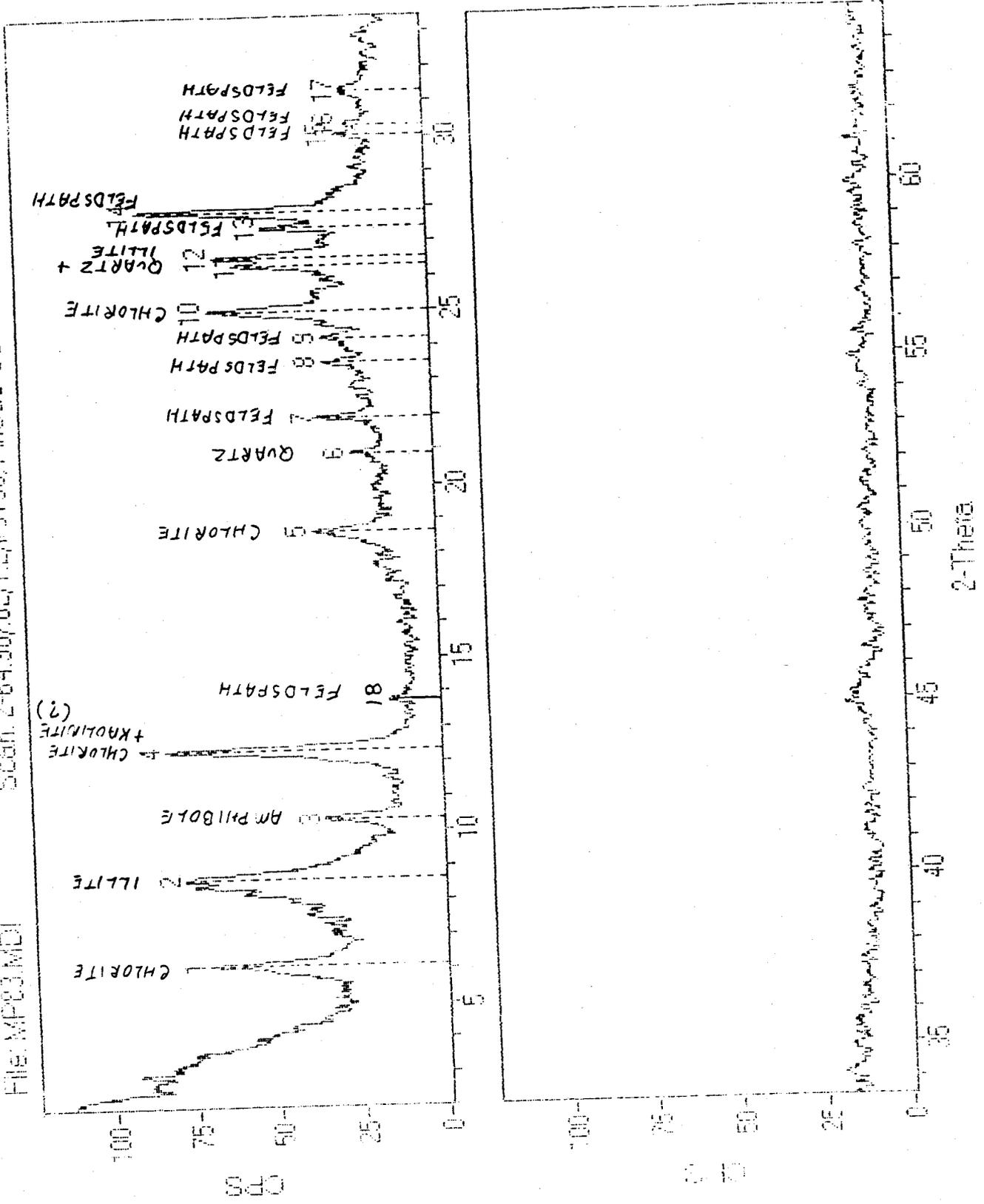
Diffractogramme de l'échantillon 5074.

ID: Mp 74 Oriente LIF 40Kv 20Ma  
File: MF-74.MDI  
Scan: 2-64.98/02/1.2/#3150, Anode: Cu  
Zero: 0.0



# Diffractogramme de l'échantillon 50 83.

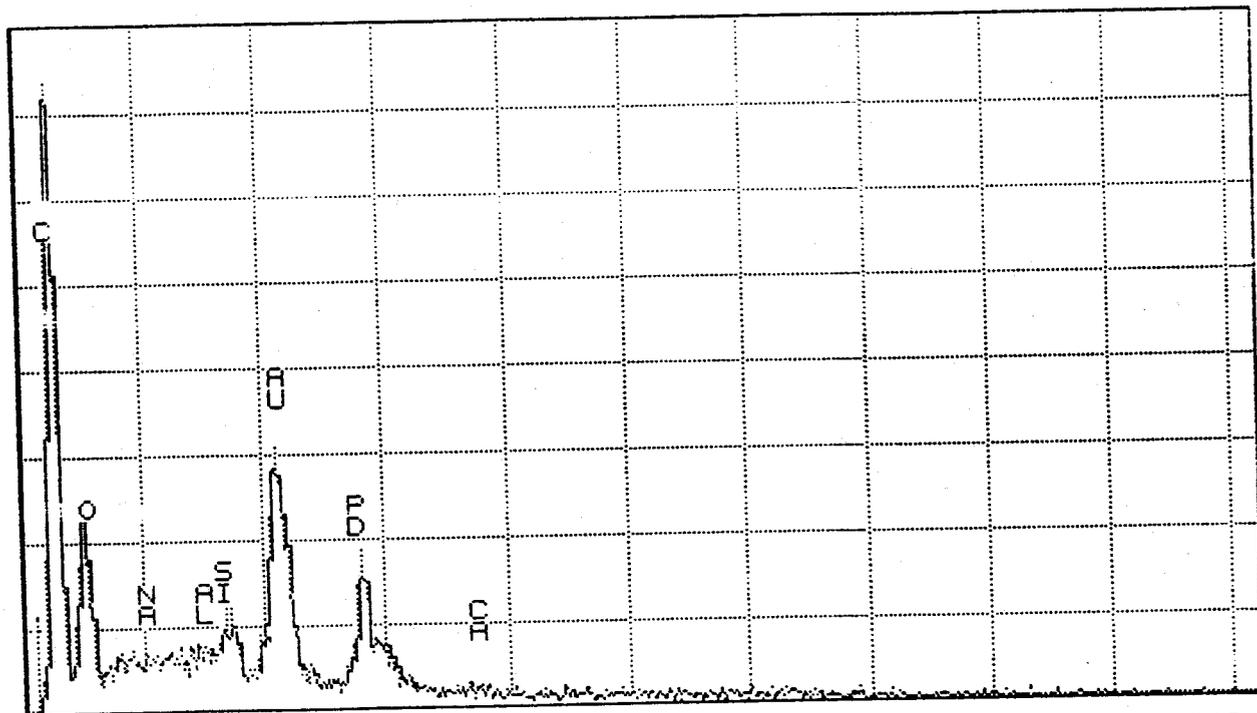
ID: MP03 Oriente LIF 40Kv 20Ma  
 Scan: 2-64.98/02/1 2/43150, Anode CU  
 File: MP03.MDI  
 Zero: 0.0



### Annexe 3C - Spectres d'énergie des rayons-x (gyttja)



Cursor: 0.000keV = 0



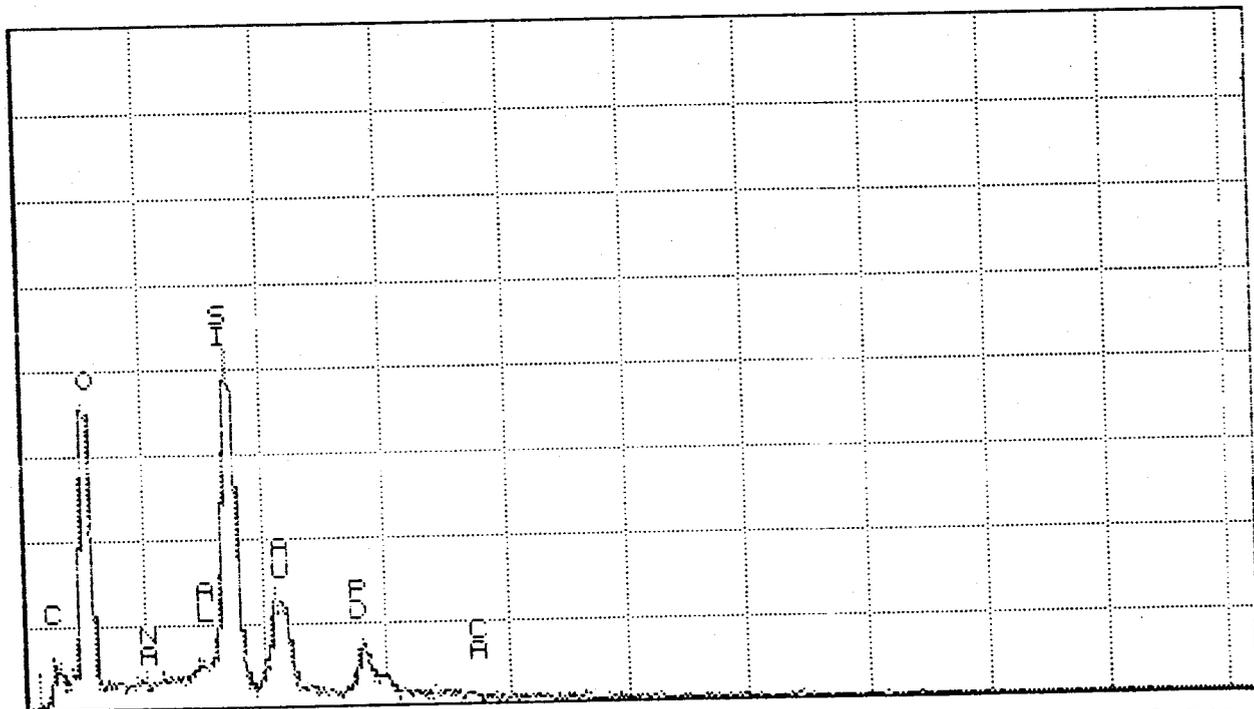
0.000

VFS = 256 10.240

20 MATIERE ORGANIQUE

Laval University

Cursor: 0.000keV = 0



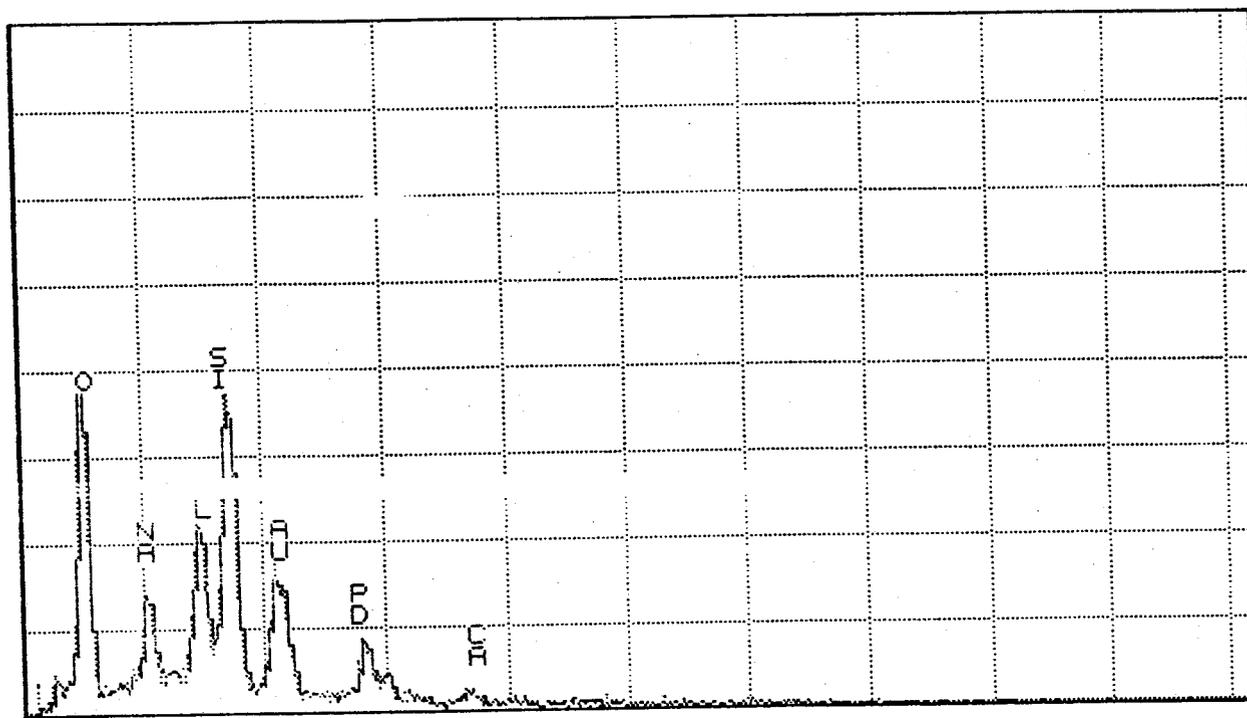
0.000

VFS = 512 10.240

20 GRAIN DE QUARTZ (CENTRE) ECHANTILLON INTACT

Series II Laval University  
Cursor: 0.000keV = 0

WED 16-NOV-94 15:54



0.000

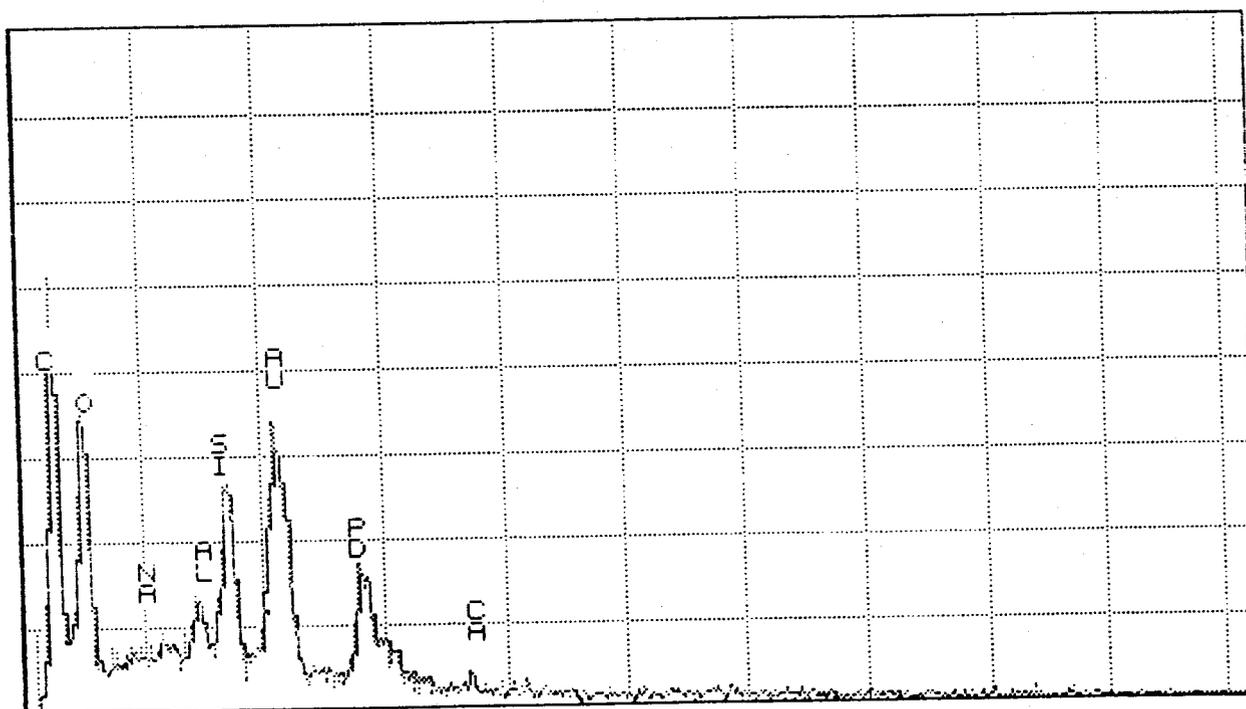
VFS = 512 10.240

20

FELDSPATH ECHANTILLON INTACT

Series II Laval University  
Cursor: 0.000keV = 0

WED 16-NOV-94 15:56



0.000

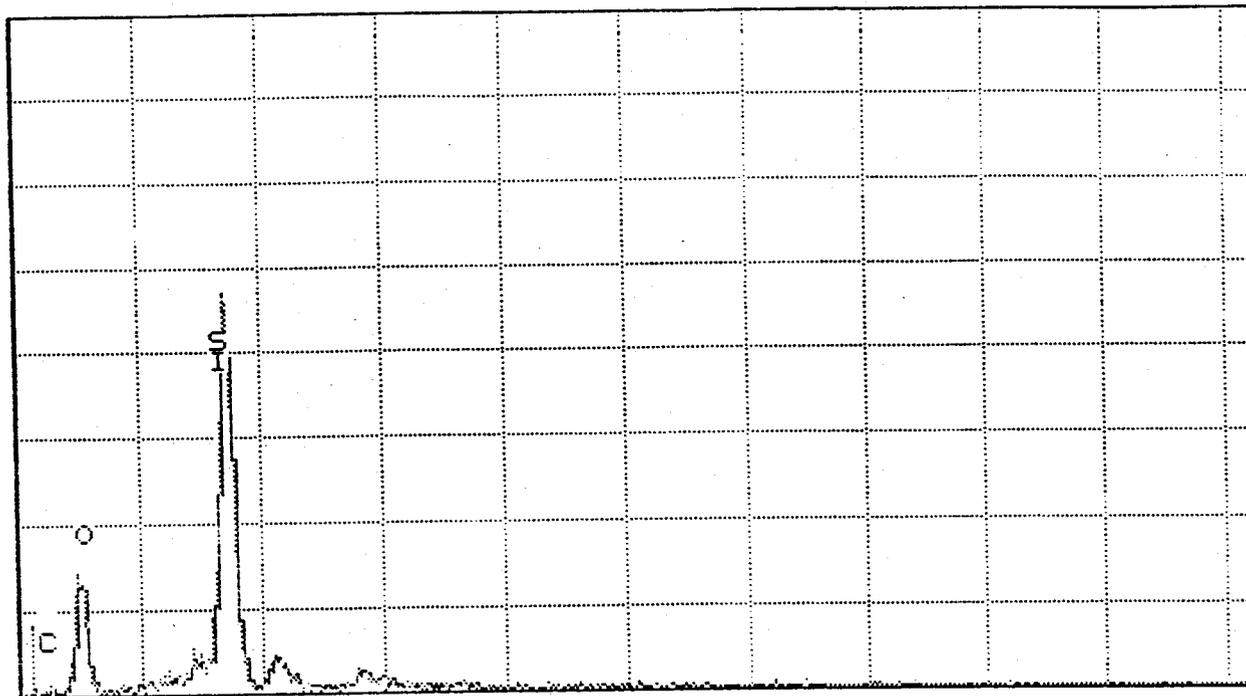
VFS = 256 10.240

20

Series II Laval University

WED 16-NOV-94 15:20

Cursor: 0.000keV = 0



0.000

VFS = 256 10.240

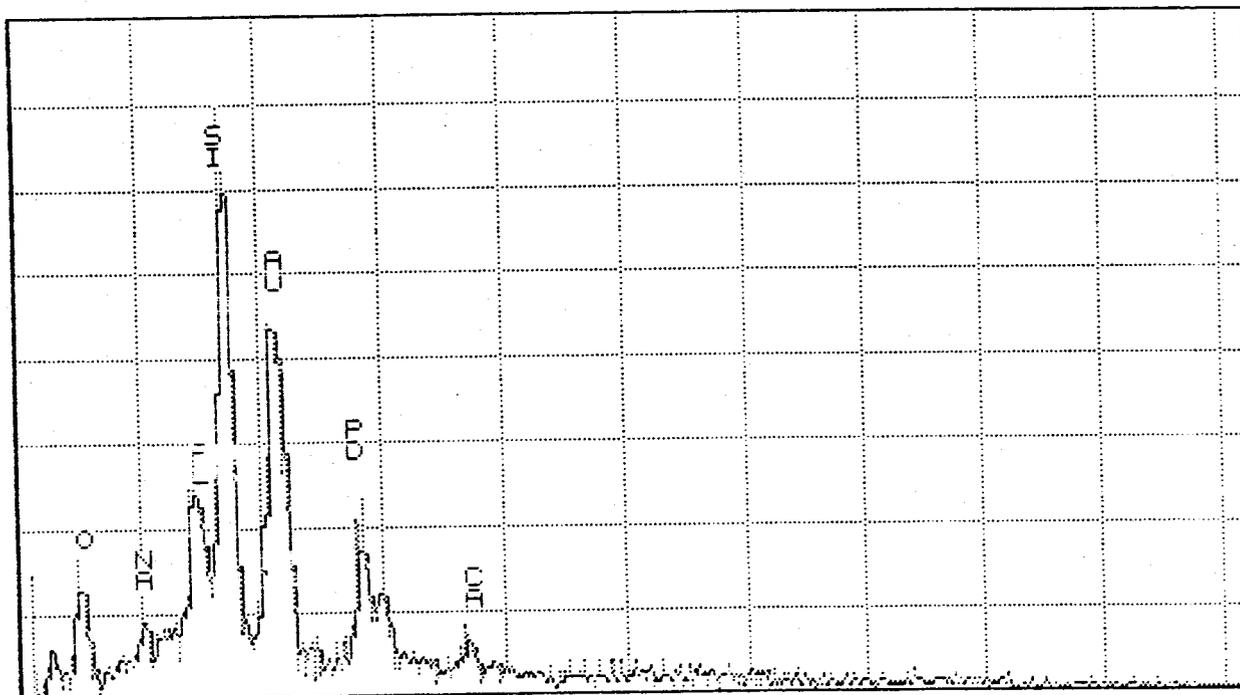
20

DIATOMITE - ECHANTILLON TRAITE AU H2O2

Series II Laval University

WED 16-NOV-94 15:53

Cursor: 0.000keV = 0



0.000

VFS = 128 10.240

20

FELDSPATH ECHANTILLON INTACT



### Annexe 3D - Calcul de la densité



### ANNEXE 3D - Mesure de la densité des sédiments

Numero Échantillon	Masse Pycnomètre +H2O (g)	Masse Pycnomètre Vide (g)	Masse Pycnomètre +sédiment (g)	Masse Pycnomètre +H2O +sédiment (g)	Poids sédiment (g)	Poids H2O (g)	Volume Sédiment (cm3)	Densité Spécifique Sédiment (g/cm3)	Pourcentage H2O dans sédiment (%)	Densité Vraie Sédiment (g/cm3)
3000.5	26.0055	15.8797	16.1507	26.1308	0.2710	10.1258	0.1457	1.86	87.7	1.11
3001.5	26.0084	15.8768	16.2640	26.1608	0.3872	10.1316	0.2348	1.65	87.8	1.08
3003.5	26.0068	15.8784	16.3321	26.1780	0.4537	10.1284	0.2825	1.61	88.1	1.07
3008	26.0045	15.8807	16.2477	26.1418	0.3670	10.1238	0.2297	1.60	89.1	1.07
3014	26.0004	15.8848	16.2943	26.1624	0.4095	10.1156	0.2475	1.65	89.0	1.07
3026	26.0026	15.8826	16.4791	26.2442	0.5965	10.1200	0.3549	1.68	88.8	1.08
3032	26.0024	15.8828	16.3541	26.2048	0.4713	10.1196	0.2689	1.75	88.9	1.08
3045	25.9849	15.9003	16.2951	26.1575	0.3948	10.0846	0.2222	1.78	88.5	1.09
3070	25.9742	15.9110	16.4138	26.2046	0.5028	10.0632	0.2724	1.85	88.5	1.10
3095	25.9868	15.8984	16.3975	26.2034	0.4991	10.0884	0.2825	1.77	87.8	1.09
3099	26.0014	15.8838	16.4444	26.2456	0.5606	10.1176	0.3164	1.77	87.5	1.10
5010	25.9850	15.8850	16.0216	26.0605	0.1366	10.1000	0.0611	2.24	90.9	1.11
5021	26.0060	15.8889	16.0320	26.0550	0.1431	10.1171	0.0941	1.52	92.8	1.04
5035	25.9936	15.8862	16.0478	26.0695	0.1616	10.1074	0.0857	1.89	93.2	1.06
5046	25.9827	15.8850	16.0179	26.0599	0.1329	10.0977	0.0557	2.39	93.0	1.10
5054	25.9975	15.8820	15.9899	26.0400	0.1079	10.1155	0.0654	1.65	93.3	1.04
5067	25.9922	15.8840	16.1199	26.0725	0.2359	10.1082	0.1556	1.52	92.6	1.04
5072	25.9937	15.8809	16.1277	26.0700	0.2468	10.1128	0.1705	1.45	91.4	1.04
5082	25.9850	15.8850	16.1900	26.1850	0.3050	10.1000	0.1050	2.90	64.8	1.67
5083	25.9960	15.9098	16.2732	26.2340	0.3634	10.0862	0.1254	2.90	27.5	2.38

Moyenne dans la gyttja = 1.07

## Méthode de calcul

PPH	Poids Pycnomètre + H <sub>2</sub> O	Mesurez sur balance
PPV	Poids Pycnomètre vide	Mesurez sur balance
PPS	Poids Pycnomètre + sédiment	Mesurez sur balance
PPHS	Poids Pycnomètre + H <sub>2</sub> O + sédiment	Mesurez sur balance
MS	Masse Sédiment	=PPS-PPV
MH	Masse H <sub>2</sub> O	=PPH-PPV
VS	Volume Sédiment	=MH-(PPHS-MS-PPV)
Dsp	Densité spécifique Sédiment	=MS/VS
%H	Pourcentage H <sub>2</sub> O dans sédiment	Mesurez au séchage du sédiment
Dv	Densité vraie du sédiment	= (%H * DH <sub>2</sub> O) + (%S * Dsp) ou %S = 100 - %H DH <sub>2</sub> O = densité de l'eau à 20° C => 1.00 g/cm <sup>3</sup>

## Procédure de laboratoire

- 1) Remplir le pycnomètre à 20 ml avec de l'eau
- 2) Peser le pycnomètre avec l'eau ==> PPH  
Le poids varie avec la température de l'eau et le pycnomètre prend alors la température de l'eau
- 3) Vider l'eau et peser le pycnomètre ==> PPV
- 4) Introduire le sédiment sec dans le pycnomètre
- 5) Peser le pycnomètre avec le sédiment ==> PPS
- 6) Comblé le pycnomètre avec l'eau jusqu'à 20 ml
- 7) Peser le pycnomètre avec le sédiment et l'eau ==> PPHS

## Appareillage

Pycnomètre de 20 ml À 20° C  
Balance Master AE200

**Annexe 3E - Matrices des coefficients de corrélation (PBA-5)**





## Matrice des coefficient de corrélation - Carotte PBA-5 - Épaisseur 0 - 20 cm avec 23 échantillons

As	Ce	Eu	Hb	La	Lu	Nd	Sm	Yb	Tm	Yb	Th	U	H2O	C	N	S	Hg	Pb	
0.077	-0.021	0.096	-0.088	0.162	-0.194	-0.152	0.337	-0.222	-0.247	-0.222	-0.024	0.277	0.158	0.245	0.276	0.105	0.190	0.154	Ca
0.463	0.699	0.697	0.678	0.657	0.140	0.416	0.620	-0.099	0.238	-0.099	0.591	-0.284	-0.357	-0.572	-0.491	-0.077	-0.118	0.339	Na
-0.151	0.360	0.440	0.219	0.528	0.129	-0.014	0.496	-0.158	-0.197	-0.158	0.355	0.761	0.433	0.574	0.531	0.357	-0.177	-0.193	Ba
0.313	0.734	0.623	0.253	0.537	0.494	0.741	0.512	0.310	0.451	0.310	0.759	-0.233	-0.570	-0.522	-0.514	-0.360	-0.151	0.340	Cs
0.364	0.572	0.449	0.387	0.320	0.069	0.379	0.376	0.294	0.340	0.294	0.562	-0.078	-0.329	-0.319	-0.357	-0.236	0.134	0.217	Pb
0.407	0.204	0.379	0.268	0.494	0.175	-0.109	0.446	-0.479	-0.288	-0.479	0.059	0.147	0.140	-0.046	0.093	0.244	0.178	0.316	Sr
-0.024	0.451	0.464	0.477	0.257	0.145	0.467	0.321	0.283	0.304	0.283	0.299	-0.078	0.412	0.273	0.382	0.743	-0.060	-0.292	Co
0.438	0.880	0.757	0.592	0.570	0.187	0.792	0.608	0.391	0.544	0.391	0.836	-0.376	-0.421	-0.581	-0.545	-0.155	-0.018	0.239	Cr
0.325	0.620	0.459	0.599	0.215	0.050	0.746	0.252	0.493	0.695	0.493	0.534	-0.462	-0.307	-0.492	-0.435	-0.001	-0.024	0.101	Hf
-0.228	0.074	0.060	0.313	-0.031	-0.342	0.022	0.074	0.166	-0.138	0.166	0.094	-0.084	0.221	0.121	0.070	0.247	-0.120	-0.363	Mo
-0.258	-0.294	-0.233	-0.139	-0.165	-0.188	-0.416	-0.125	-0.154	-0.183	-0.154	-0.340	0.377	0.469	0.629	0.617	0.589	0.296	-0.374	Ni
0.527	0.085	0.118	0.036	0.200	0.402	0.032	0.227	-0.177	-0.052	-0.177	0.002	-0.250	-0.287	-0.342	-0.210	-0.078	0.324	0.518	Sb
0.348	0.913	0.781	0.589	0.565	0.262	0.841	0.602	0.475	0.547	0.475	0.884	-0.279	-0.352	-0.451	-0.426	-0.101	-0.090	0.181	Sc
0.218	0.285	0.218	0.284	0.017	0.300	0.403	0.017	0.381	0.119	0.381	0.315	-0.329	-0.146	-0.322	-0.193	-0.085	-0.013	0.439	Ta
0.010	-0.195	-0.043	-0.169	0.023	-0.040	-0.361	0.038	-0.248	-0.326	-0.248	-0.252	0.415	0.488	0.402	0.508	0.411	0.409	0.001	W
0.372	0.510	0.312	0.150	-0.005	0.359	0.807	0.098	0.839	0.545	0.839	0.516	-0.473	-0.155	-0.287	-0.249	-0.137	0.117	0.144	Zn
-0.225	-0.017	-0.107	-0.035	-0.180	0.132	0.036	-0.261	0.294	0.193	0.294	-0.045	0.152	0.159	0.355	0.357	0.364	0.024	-0.189	Zr
0.821	0.519	0.503	0.335	0.407	0.049	0.381	0.472	0.025	0.268	0.025	0.418	-0.535	-0.440	-0.725	-0.575	-0.271	0.350	0.649	Fe
-0.354	0.112	0.090	0.035	-0.038	0.120	0.131	-0.044	0.211	0.044	0.211	0.066	0.154	0.240	0.365	0.380	0.515	-0.145	-0.390	Se
1.000	0.209	0.227	0.175	0.128	-0.062	0.160	0.280	-0.025	0.113	-0.025	0.053	-0.551	-0.277	-0.523	-0.319	-0.156	0.593	0.765	As
	1.000	0.938	0.643	0.797	0.281	0.779	0.777	0.270	0.465	0.270	0.957	0.018	-0.234	-0.252	-0.258	0.072	-0.128	0.042	Ce
		1.000	0.670	0.899	0.247	0.604	0.884	-0.002	0.251	-0.002	0.859	0.119	-0.107	-0.152	-0.118	0.202	-0.067	0.099	Eu
			1.000	0.599	-0.112	0.351	0.660	-0.079	0.280	-0.079	0.532	-0.062	-0.045	-0.185	-0.161	0.274	-0.021	-0.085	Hb
				1.000	0.252	0.335	0.911	-0.320	0.085	-0.320	0.724	0.293	-0.089	-0.088	-0.080	0.205	-0.110	0.044	La
					1.000	0.391	0.058	0.216	0.145	0.216	0.297	0.018	0.009	0.089	0.129	0.156	-0.259	0.110	Lu
						1.000	0.352	0.704	0.736	0.704	0.781	-0.243	-0.249	-0.270	-0.277	-0.071	-0.176	-0.000	Nd
							1.000	-0.248	0.113	-0.248	0.699	0.199	-0.021	-0.091	-0.043	0.207	0.018	0.114	Sm
								1.000	0.549	1.000	0.363	-0.275	-0.090	-0.067	-0.120	-0.173	-0.082	-0.125	Yb
									1.000	0.549	0.445	-0.319	-0.278	-0.266	-0.278	-0.026	-0.007	-0.084	Tm
										1.000	0.363	-0.275	-0.090	-0.067	-0.120	-0.173	-0.082	-0.125	Yb
											1.000	0.116	-0.266	-0.220	-0.282	-0.087	-0.246	-0.011	Th
												1.000	0.439	0.679	0.556	0.165	-0.280	-0.375	U
													1.000	0.835	0.879	0.650	-0.117	-0.430	H2O
														1.000	0.944	0.591	-0.176	-0.502	C
															1.000	0.687	-0.024	-0.288	N
																1.000	0.080	-0.323	S
																	1.000	0.481	Hg
																		1.000	Pb



## Matrice des coefficient de corrélation - Carotte PBA-5 - Épaisseur 20 - 70 cm avec 31 échantillons

As	Ce	Eu	Hb	La	Lu	Nd	Sm	Yb	Tm	Yb	Th	U	H2O	C	N	S	Hg	Pb	
-0.090	0.103	0.308	-0.162	0.412	-0.411	-0.185	0.128	-0.368	-0.107	-0.368	-0.030	0.541	0.081	-0.253	-0.258	-0.039	0.123	0.243	Ca
0.132	-0.093	0.208	-0.091	0.172	-0.219	-0.496	0.122	-0.380	-0.423	-0.380	-0.294	-0.222	-0.020	0.135	0.142	0.069	-0.122	-0.201	Na
-0.080	0.291	0.365	0.040	0.766	-0.694	-0.582	0.305	-0.836	-0.454	-0.836	-0.100	0.633	0.202	-0.138	-0.101	-0.056	-0.114	-0.040	Ba
-0.221	0.550	-0.084	0.140	0.249	0.393	0.348	0.471	0.206	0.116	0.206	0.528	-0.111	-0.016	-0.171	-0.164	-0.200	-0.190	-0.107	Cs
0.268	-0.225	0.228	-0.348	0.067	-0.393	-0.506	-0.184	-0.496	-0.286	-0.496	-0.376	0.058	-0.224	-0.116	-0.095	-0.289	0.016	0.159	Fb
0.176	0.047	0.398	-0.051	0.376	-0.351	-0.411	0.352	-0.428	-0.473	-0.428	-0.054	0.386	0.241	0.009	0.029	0.118	-0.112	-0.050	Sr
0.152	0.386	-0.180	0.143	-0.172	0.702	0.822	0.147	0.778	0.660	0.778	0.672	-0.237	-0.020	0.022	0.128	0.231	0.218	0.103	Co
-0.057	0.758	-0.064	0.331	0.190	0.578	0.752	0.505	0.567	0.358	0.567	0.840	-0.228	0.045	-0.036	0.088	0.127	0.079	-0.014	Cr
0.197	0.120	-0.145	0.140	-0.206	0.448	0.454	-0.167	0.556	0.413	0.556	0.275	-0.285	-0.121	0.021	0.046	0.089	0.287	0.315	Hf
-0.125	0.230	-0.178	0.107	-0.173	0.594	0.522	0.218	0.622	0.175	0.622	0.436	-0.517	-0.070	0.266	0.337	0.268	0.008	-0.004	Mo
0.194	0.294	0.275	0.018	0.650	-0.412	-0.405	0.474	-0.564	-0.299	-0.564	0.005	0.317	0.081	0.075	0.055	-0.124	0.053	0.234	Ni
-0.294	-0.166	0.109	-0.134	0.144	-0.329	-0.382	-0.184	-0.365	0.106	-0.365	-0.323	0.338	-0.012	-0.371	-0.395	-0.396	0.106	0.113	Sb
-0.139	0.689	-0.048	0.332	0.139	0.606	0.791	0.521	0.649	0.392	0.649	0.853	-0.169	0.079	-0.075	0.089	0.221	0.160	0.029	Sc
-0.103	0.187	0.066	0.233	-0.159	0.313	0.547	0.092	0.530	0.231	0.530	0.411	-0.139	0.028	-0.110	0.049	0.328	0.231	0.089	Ta
0.136	0.069	0.142	0.316	0.242	0.066	0.015	0.234	0.037	-0.043	0.037	-0.008	0.219	0.064	-0.002	-0.091	0.408	0.231	-0.070	W
-0.030	0.290	-0.237	0.174	-0.385	0.780	0.910	0.030	0.933	0.609	0.933	0.588	-0.421	-0.183	-0.032	0.072	0.144	0.186	0.070	Zn
-0.042	0.335	-0.040	0.197	-0.044	0.531	0.510	0.145	0.516	0.235	0.516	0.440	-0.432	-0.110	0.171	0.254	0.066	0.084	0.251	Zr
-0.034	0.745	0.158	0.453	0.535	0.114	0.208	0.663	0.030	-0.057	0.030	0.580	-0.057	0.060	-0.037	0.208	0.131	0.045	-0.026	Fe
0.140	0.178	-0.043	0.115	-0.175	0.164	0.498	-0.098	0.422	0.254	0.422	0.330	-0.174	-0.241	0.096	0.287	0.139	0.251	0.340	Se
1.000	-0.119	0.014	0.082	-0.090	0.090	-0.067	-0.153	-0.026	0.026	-0.026	-0.150	-0.146	-0.039	0.155	0.178	0.055	0.138	0.001	As
	1.000	0.201	0.338	0.721	0.100	0.448	0.736	0.038	0.116	0.038	0.870	0.330	0.202	-0.239	-0.080	0.017	0.047	0.020	Ce
		1.000	0.002	0.440	-0.487	-0.257	0.208	-0.390	-0.347	-0.390	0.038	0.370	0.152	-0.200	-0.110	-0.045	0.114	0.090	Eu
			1.000	0.225	0.056	0.253	0.214	0.135	0.120	0.135	0.250	0.062	0.124	-0.019	0.201	0.313	0.214	0.043	Hb
				1.000	-0.447	-0.200	0.722	-0.584	-0.263	-0.584	0.408	0.684	0.296	-0.248	-0.154	-0.024	0.039	0.059	La
					1.000	0.724	0.032	0.824	0.563	0.824	0.379	-0.562	-0.062	0.188	0.122	0.118	0.147	0.073	Lu
						1.000	0.137	0.854	0.638	0.854	0.751	-0.220	-0.002	-0.130	-0.023	0.230	0.252	0.122	Nd
							1.000	-0.134	-0.163	-0.134	0.617	0.355	0.268	-0.125	-0.006	0.089	0.054	-0.027	Sm
								1.000	0.589	1.000	0.409	-0.529	-0.156	0.032	0.075	0.220	0.174	0.056	Yb
									1.000	0.589	0.316	-0.109	-0.071	-0.145	-0.164	-0.033	0.224	0.154	Tm
										1.000	0.409	-0.529	-0.156	0.032	0.075	0.220	0.174	0.056	Yb
											1.000	0.186	0.244	-0.226	-0.053	0.121	0.181	0.103	Th
												1.000	0.255	-0.431	-0.353	-0.082	0.111	0.073	U
													1.000	0.049	0.084	0.051	0.189	0.109	H2O
														1.000	0.877	0.252	-0.352	-0.110	C
															1.000	0.331	-0.249	-0.029	N
																1.000	0.104	-0.173	S
																	1.000	0.680	Hg
																		1.000	Pb



## Matrice des coefficient de corrélation - Carotte PBA-5 - Épaisseur 75 - 83 cm avec 10 échantillons

As	Ce	Eu	Hb	La	Lu	Nd	Sm	Yb	Tm	Yb	Th	U	H2O	C	N	S	Hg	Pb	
-0.322	0.156	0.353	-0.108	-0.316	-0.181	0.609	-0.358	0.873	-0.620	0.873	0.769	-0.340	0.174	0.244	0.234	0.421	-0.598	-0.598	Ca
-0.406	0.052	0.563	0.280	-0.936	-0.817	-0.491	-0.983	-0.168	0.330	-0.168	0.063	-0.982	0.158	0.103	0.105	0.410	0.070	0.070	Na
-0.338	0.175	0.669	0.443	-0.893	-0.751	-0.477	-0.944	-0.209	0.438	-0.209	0.034	-0.925	0.168	0.154	0.155	0.329	0.058	0.058	Ba
-0.544	-0.179	0.240	-0.301	-0.765	-0.706	-0.147	-0.799	0.243	-0.167	0.243	0.396	-0.838	0.041	-0.063	-0.067	0.523	-0.236	-0.236	Cs
-0.500	-0.000	0.511	0.075	-0.921	-0.840	-0.428	-0.974	-0.078	0.238	-0.078	0.171	-0.987	0.184	0.107	0.108	0.522	-0.011	-0.011	Fb
-0.418	0.191	0.697	0.357	-0.904	-0.764	-0.355	-0.959	-0.062	0.345	-0.062	0.204	-0.937	0.108	0.108	0.106	0.340	-0.121	-0.121	Sr
0.067	0.077	-0.370	-0.629	0.844	0.683	0.678	0.805	0.433	-0.427	0.433	0.337	0.802	-0.003	0.034	0.024	-0.083	-0.369	-0.369	Co
-0.556	-0.123	0.272	-0.377	-0.677	-0.647	-0.003	-0.709	0.359	-0.207	0.359	0.533	-0.750	0.054	-0.021	-0.028	0.550	-0.404	-0.404	Cr
-0.209	0.415	0.716	0.525	-0.638	-0.433	0.074	-0.706	0.312	0.038	0.312	0.373	-0.664	0.326	0.368	0.368	0.356	-0.183	-0.183	Hf
0.303	-0.107	-0.608	-0.464	0.914	0.752	0.488	0.947	0.198	-0.376	0.198	0.006	0.931	-0.130	-0.110	-0.113	-0.299	-0.097	-0.097	Mo
-0.329	-0.210	0.165	0.024	-0.399	-0.307	-0.631	-0.333	-0.602	0.649	-0.602	-0.410	-0.328	-0.262	-0.284	-0.281	-0.088	0.104	0.104	Ni
0.057	0.099	0.150	0.059	0.302	0.102	0.026	0.236	-0.180	0.146	-0.180	-0.149	0.305	0.187	0.425	0.411	0.008	0.132	0.132	Sb
-0.521	0.051	0.582	0.126	-0.926	-0.827	-0.340	-0.982	0.009	0.200	0.009	0.256	-0.979	0.142	0.107	0.105	0.482	-0.113	-0.113	Sc
-0.534	0.083	0.529	-0.085	-0.804	-0.757	-0.182	-0.909	0.162	0.034	0.162	0.404	-0.915	0.226	0.180	0.173	0.582	-0.186	-0.186	Ta
0.719	-0.011	-0.543	0.043	0.778	0.857	0.411	0.810	0.150	-0.384	0.150	-0.192	0.798	-0.349	-0.328	-0.337	-0.690	-0.005	-0.005	W
-0.161	0.051	-0.075	-0.577	0.317	0.257	0.852	0.301	0.900	-0.746	0.900	0.769	0.283	0.134	0.194	0.182	0.322	-0.685	-0.685	Zn
-0.220	0.506	0.762	0.456	-0.575	-0.371	0.216	-0.667	0.432	-0.004	0.432	0.545	-0.621	0.224	0.286	0.280	0.278	-0.403	-0.403	Zr
-0.382	-0.504	-0.425	-0.900	0.021	-0.145	0.063	0.047	0.181	-0.364	0.181	0.243	-0.015	-0.256	-0.332	-0.340	0.195	-0.275	-0.275	Fe
0.520	-0.577	-0.735	-0.116	0.430	0.228	0.149	0.647	0.058	-0.442	0.058	-0.186	0.585	-0.381	-0.305	-0.303	-0.349	0.015	0.015	Se
1.000	-0.025	-0.442	0.462	0.410	0.472	0.056	0.509	-0.093	-0.149	-0.093	-0.374	0.438	-0.136	-0.188	-0.186	-0.514	0.259	0.259	As
	1.000	0.713	0.301	0.243	0.306	0.407	0.022	0.215	0.347	0.215	0.439	0.092	0.514	0.543	0.537	0.136	-0.285	-0.285	Ce
		1.000	0.345	-0.383	-0.294	0.104	-0.543	0.131	0.458	0.131	0.444	-0.452	0.393	0.535	0.525	0.355	-0.384	-0.384	Eu
			1.000	-0.238	-0.025	-0.197	-0.181	-0.228	0.356	-0.228	-0.275	-0.143	-0.097	-0.021	-0.015	-0.408	0.156	0.156	Hb
				1.000	0.892	0.527	0.952	0.156	-0.200	0.156	-0.009	0.959	0.099	0.112	0.110	-0.290	-0.013	-0.013	La
					1.000	0.543	0.839	0.212	-0.236	0.212	-0.077	0.864	-0.015	-0.010	-0.014	-0.462	-0.018	-0.018	Lu
						1.000	0.466	0.903	-0.623	0.903	0.743	0.498	0.157	0.282	0.269	0.061	-0.683	-0.683	Nd
							1.000	0.126	-0.263	0.126	-0.103	0.987	-0.067	-0.042	-0.040	-0.392	-0.006	-0.006	Sm
								1.000	-0.765	1.000	0.830	0.137	0.121	0.218	0.206	0.236	-0.716	-0.716	Yb
									1.000	-0.765	-0.370	-0.227	0.130	0.105	0.113	-0.037	0.281	0.281	Tm
										1.000	0.830	0.137	0.121	0.218	0.206	0.236	-0.716	-0.716	Yb
											1.000	-0.080	0.215	0.306	0.293	0.406	-0.847	-0.847	Th
												1.000	-0.073	-0.010	-0.010	-0.418	-0.040	-0.040	U
													1.000	0.932	0.939	0.796	0.197	0.197	H2O
														1.000	0.999	0.745	0.018	0.018	C
															1.000	0.748	0.037	0.037	N
																1.000	-0.023	-0.023	S
																	1.000	1.000	Hg
																		1.000	Pb

