

UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

ETUDE DES CONTROLES
DE LA DISTRIBUTION LATERALE ET VERTICALE
DE LA CONCENTRATION DE L'URANIUM
DANS LES SEDIMENTS DE LACS

PAR

MARLENE OTIS

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION
DE LA MAITRISE ES SCIENCES APPLIQUEES

FEVRIER 1988



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

SOMMAIRE

Au cours de l'été 1978, 533 carottes de sédiment longues d'environ 1,5 mètres, ont été prélevées dans quatre lacs particulièrement anomaux en uranium. Ceux-ci sont localisés sur le Territoire de la Baie James, dans le centre nord de la province de Québec.

Parallèlement à cet échantillonnage, un levé bathymétrique de ces lacs et une prospection géologique, radiométrique et géochimique de leurs bassins de drainage ont été effectués. Les teneurs en Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe ont été déterminées sur 12 des carottes prélevées. De ce nombre, 8 carottes ont été utilisées pour connaître les variations des concentrations en Na, Ca, K, Mg, Al du sédiment et 5 pour en étudier les variations granulométriques. L'analyse des éléments Na, Ca, K, Mn contenus dans l'eau interstitielle a été pratiquée sur 5 carottes prélevées à cet effet.

Cette étude a d'abord été réalisée dans le but d'établir le profil de distribution de l'uranium dans les sédiments lacustres et d'identifier les contrôles possibles de cette distribution. En second objectif, nous voulions trouver les causes physiques et/ou physico-chimiques de l'enrichissement exceptionnel en uranium de ces lacs.

Le profil vertical de distribution établi, dans le cas de tous les éléments traces étudiés, indique un net enrichissement de l'interface eau-sédiment jusqu'à la base de la couche de sédiment organique. Ce profil de distribution est principalement contrôlé par l'évolution sédimentologique des lacs étudiés. Le sédiment accumulé dans ces lacs couvre la période qui s'étend de la fin de l'ère glaciaire à nos jours soit de conditions optimales de mobilisation des éléments traces à des conditions réduites.

Les teneurs anomalies du lac Haïda sont dues au lessivage de pegmatites potassiques enrichies en uranium qui affleurent sur la rive nord du lac. Au lac Mitchkine, la concentration de l'uranium est possiblement associée à la capacité d'absorption des argiles minéralogiques qui forment une fraction importante du sédiment de ce lac. Une analyse de la teneur en uranium de chacune des composantes du sédiment par extraction partielle sera nécessaire pour vérifier cette hypothèse. Au lac A La Cogne et au lac Lacroix, les teneurs élevées sont dues à l'influence d'une source d'eau fortement enrichie en uranium qui alimente ces deux lacs.

D'après le profil vertical que nous avons observé, nous croyons maintenant qu'il est nécessaire de considérer la position stratigraphique de l'échantillon collecté pour interpréter les anomalies. C'est dans le centre du lac que les niveaux stratigraphiques ont la plus grande épaisseur. Lors des campagnes de reconnaissance, c'est ce site d'échantillonnage qui est recommandé afin de s'assurer qu'on collecte un sédiment déposé sous des conditions sédimentologiques relativement similaires.

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier M. Y. Pelletier et le département des mines de la Société de Développement de la Baie James qui ont proposé ce projet de recherche et qui ont financé son exécution.

Plus particulièrement, je remercie Dr. J. Guha pour la confiance qu'il m'a témoignée en acceptant de diriger ce projet et pour l'assistance constante qu'il m'a fournie au cours de sa réalisation.

Je remercie encore une fois Y. Pelletier ainsi que J. Carignan et A. Nagy pour leurs lectures attentives et leurs remarques constructives.

Enfin, je remercie Guy et Catherine qui m'ont appuyée au cours de cette période de travail parfois intensif.

TABLE DES MATIERES

	<i>page</i>
SOMMAIRE	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
I. INTRODUCTION	1
I.1 Localisation et accès	1
I.2 Travaux antérieurs	2
I.3 Historique de la géochimie des sédiments	3
I.4 lacustres	
I.4 Objectifs et limites du projet	4
II. RESULTATS	6
II.1 Introduction	6
II.1.1 Plan de présentation des résultats	6
II.1.2 Méthode d'échantillonnage du sédiment	7
II.1.2 lacustre et procédures d'analyse	
II.2 Description de l'environnement physique	9
II.2.1 des lacs sous étude	
II.2.1 Contexte géologique régional	9
II.2.2 Localisation des sources potentielles	11
II.2.2 d'uranium	
1. Par prospection radiométrique	11
2. Par prospection géochimique	12
II.3 Distribution latérale de l'uranium dans	15
II.3.1 les sédiments lacustres	
II.3.1 Composition du sédiment lacustre	15
II.3.2 Bathymétrie	19
II.3.3 Distribution latérale de l'uranium comparée	20
II.3.3 à la composition du sédiment et à la bathymétrie	
II.4 Distribution verticale de l'uranium dans les	23
II.4.1 sédiments lacustres	
II.4.1 Conditions d'oxydo-réduction et de pH	23
II.4.2 Analyse granulométrique	25
II.4.3 Distribution verticale dans les sédiments	25
II.4.3 lacustres des éléments traces, des éléments	
II.4.3 majeurs, de la matière organique et étude de	
II.4.3 leurs corrélations	

	page
II.4.4 Distribution verticale des éléments majeurs dans l'eau interstitielle	29
III. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS	31
III.1 Contrôles physico-chimiques de la mobilité de l'uranium	31
III.2 Modèle théorique de l'accumulation et de la concentration des éléments traces dans les sédiments de lacs	34
III.3 Intégration des résultats au modèle théorique proposé	38
CONCLUSIONS	43
REFERENCES	44
ANNEXE I	48
ANNEXE II	50
APPENDICE	

LISTE DES FIGURES

		page
Figure 1	Localisation et accès	1 a
Figure 2	Localisation des sites échantillonnés au lac A La Cogne	7 a
Figure 3	Localisation des sites échantillonnés au lac Lacroix	7 b
Figure 4	Localisation des sites échantillonnés au lac Haïda	7 c
Figure 5	Localisation des sites échantillonnés au lac Mitchkine	7 d
Figure 6	Courbe cumulative des teneurs en uranium des échantillons de sédiments de ruisseaux	13 a
Figure 7	Source Zita: teneur en uranium de la fraction solide des sols plus fine que 30 mailles	14 a
Figure 8	Composition du sédiment du lac A La Cogne	16 a
Figure 9	Composition du sédiment du lac Lacroix	16 b
Figure 10	Composition du sédiment du lac Haïda	16 c
Figure 11	Composition du sédiment du lac Mitchkine	16 d
Figure 12	Bathymétrie du lac A La Cogne	19 a
Figure 13	Bathymétrie du lac Lacroix	19 b
Figure 14	Bathymétrie du lac Haïda	19 c
Figure 15	Bathymétrie du lac Mitchkine	19 d
Figure 16	Courbe cumulative des teneurs en uranium du sédiment de surface du lac A La Cogne	20 a
Figure 17	Courbe cumulative des teneurs en uranium du sédiment de surface du lac Lacroix	20 b
Figure 18	Courbe cumulative des teneurs en uranium du sédiment de surface du lac Haïda	20 c

	page	
Figure 19	Courbe cumulative des teneurs en uranium du sédiment de surface du lac Mitchkine	20d
Figure 20	Distribution latérale de l'uranium dans le sédiment du lac A La Cogne	21a
Figure 21	Distribution latérale de l'uranium dans le sédiment du lac Lacroix	21b
Figure 22	Distribution latérale de l'uranium dans le sédiment du lac Haïda	21c
Figure 23	Distribution latérale de l'uranium dans le sédiment du lac Mitchkine	21d
Figure 24	Limites des conditions d'oxydo-réduction du sédiment des lacs échantillonnés	23a
Figure 25	Distribution verticale des éléments traces	25b
Figure 26	Distribution verticale des éléments majeurs et de la matière organique	27a
Figure 27	Conditions Eh-Ph théoriques qui limitent la mobilité de l'uranium d'après Langmuir (1978)	31a
Figure 28	Schéma du modèle théorique du transport et de l'accumulation des éléments traces dans le sédiment lacustre	34a

LISTE DES TABLEAUX

		page
Tableau I	Sédiments de ruisseaux: classes d'anomalies choisies et pourcentages de la population totale correspondante	13
Tableau II	Sédiments lacustres: classes d'anomalies choisies et pourcentages de la population totale correspondante	20
Tableau III	Analyse granulométrique	25 a
Tableau IVa	Tableau de corrélation des éléments traces, de la matière organique et de la profondeur	26 a
Tableau IVb	Tableau de corrélation des éléments majeurs et de la profondeur	26 a
Tableau Va	Concentration des éléments majeurs dans le sédiment inorganique	28 a
Tableau Vb	Concentration des éléments majeurs dans le sédiment organique	28 a
Tableau VI	Analyse de certains éléments majeurs contenus dans l'eau interstitielle	29 a

I.

INTRODUCTION

I.1 Localisation et accès

La région sous étude est située dans le territoire de la Baie James, au nord de la rivière Rupert (figure 1). Elle est géographiquement localisée à:

280 kilomètres, N35°E de Matagami

230 kilomètres, N20°O de Chibougamau

270 kilomètres, S32°E de LG-2

Cette région qui couvre 214 kilomètres carrés a pour coordonnées:

	51° 42' 50"		75° 31' 17"
Latitudes	51° 34' 37"	Longitudes	75° 31' 17"
	51° 30'		75° 45'
	51° 38' 16"		75° 45'

En 1979, lors de nos travaux sur le terrain, cette région était uniquement accessible par hydravion. Par la suite, l'Hydro Québec a construit une route permanente entre le relai de transmission Albanel et la route menant de Matagami à Radisson. Maintenant, trois des quatre lacs qui ont fait l'objet de notre étude se trouvent à moins de 500 mètres d'une autre route permanente ouverte par la S.D.B.J. (Société de Développement de la Baie James). Cette route prolonge vers l'Est celle du poste Albanel pour se rendre éventuellement à Chibougamau.

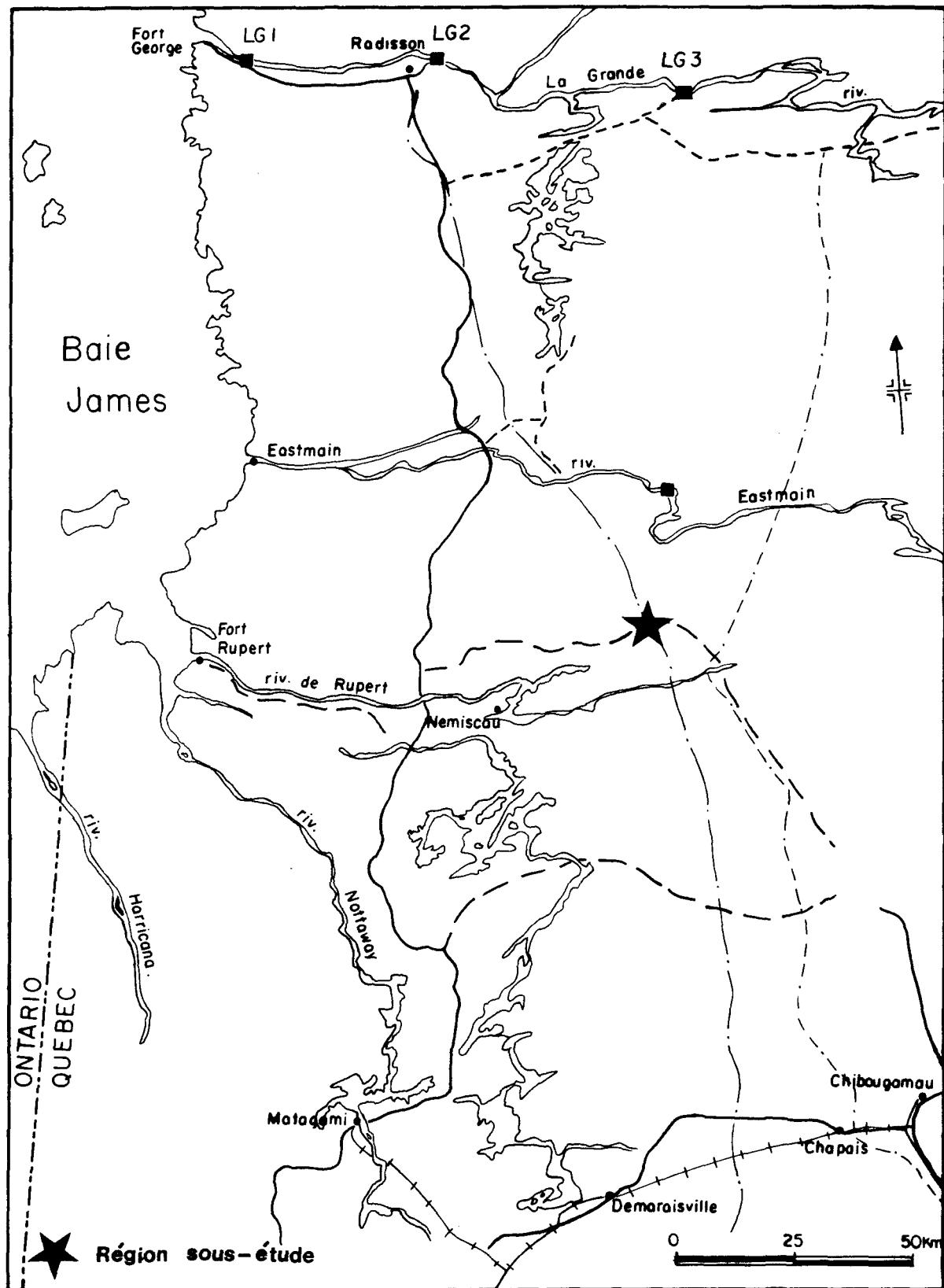


Figure 1 : Localisation et accès

I.2 Travaux antérieurs

L'ouvrage géologique le plus complet sur la région est le rapport des travaux menés en 1963, par G. Valiquette pour le compte du Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec. Le rapport géologique final (RG-158) a été publié en 1975. Cet auteur, dont l'intérêt s'est concentré sur la bande volcanosédimentaire qui forme la limite nord de notre secteur, a aussi décrit et localisé les divers types d'intrusions de notre région. Nous avons utilisé les travaux de cet auteur pour établir le contexte géologique régional de notre terrain d'étude.

Les premiers travaux de prospection dans ce secteur datent des levés de grande reconnaissance effectués par la S.D.B.J. sur le territoire de la Baie James.

En 1974, cette compagnie échantillonnait de façon systématique (un échantillon par 2 milles carrés) les sédiments lacustres d'une vaste région qui incluait notre secteur (Pride, 1974). C. Gleeson, géologue consultant, était chargé de l'interprétation des résultats (Gleeson, 1975). En 1975, suite aux fortes anomalies géochimiques d'uranium qu'on y avait décelées, la S.D.B.J. utilisait notre secteur comme région contrôle d'un programme d'hydrogéochimie appliquée à la prospection de l'uranium (Cannuli, 1975). Ces travaux ont montré une très bonne corrélation entre les anomalies d'uranium dans les sédiments et les eaux de lacs. En 1977, dans le cadre d'un programme de vérification d'anomalies géochimiques à grande échelle, P.Y. Larose (1978), a prospecté ce secteur de façon sommaire. Celui-ci a alors attribué les anomalies géochimiques en uranium et la radioactivité moyenne élevée à la forte teneur de fond des importantes intrusions de

granite et de pegmatite potassique qui y affleurent (Larose, 1978).

Notre projet de thèse, qui est une étude géochimique détaillée de quatre lacs particulièrement anomaux de ce secteur, correspond à la phase subséquente de ce programme de prospection géochimique.

I.3 Historique de la géochimie des sédiments lacustres

L'échantillonnage des sédiments lacustres comme outil d'exploration date des travaux de Schmidt (1956). Celui-ci a clairement défini des zones de concentration anomalies en Cu, Zn, Pb, dans les sédiments lacustres situés à proximité de minéralisations connues. Malgré ces résultats préliminaires concluants, cette technique ne sera toutefois vraiment développée que dans la décennie de 1970-1980. Elle sera alors un outil majeur d'exploration dans les secteurs nordiques tels les Territoires du Nord-Ouest où les lacs sont abondants mais où le réseau hydrographique est peu développé. Coker (1974) a produit un important résumé des connaissances acquises dans les programmes de recherche initiés au cours de cette période.

A l'exception de l'étude limnologique détaillée de Arnold (1970), les premiers travaux rapportés décrivent principalement les techniques d'échantillonnage et d'analyse et font l'inventaire des anomalies décelées (Allan, 1971), (Allan et al., 1973a), (Allan et al, 1973b), (Cameron et Allan, 1973), (Hornbrook et Gleeson, 1972), (Hornbrook et Gleeson, 1973). Le souci de trouver des paramètres pour interpréter les anomalies localisées a par la suite entraîné la multiplication des études détaillées. Ce sont principalement les études de Timperley et Allan (1974), Coker (1974), Garrett et Hornbrook (1976), qui ont déterminé les contrôles de la distribution latérale des éléments traces dans les sédiments lacustres. Les principaux contrôles physiques reconnus sont: la quantité d'éléments

traces libérée à la source et le type de drainage qui concentre ou dilue les éléments lessivés. Les contrôles physico-chimiques sont: les conditions Eh-pH des milieux de transport et d'accumulation, la concentration d'ions capables de former des complexes ou des composés stables avec les éléments libérés, la présence de minéraux argileux et surtout la présence d'agents sorbants tels la matières organique et les oxyhydroxydes de Fe, Mn.

Plus récemment, l'information disponible est surtout dérivée d'études environnementales. Ces dernières nous renseignent sur les modifications possibles de la composition du sédiment pendant ou après la sédimentation. Les résultats présentés montrent de faibles amplitudes de variation dans la distribution verticale des éléments ou des patrons perturbés par la présence d'éléments polluants. Les variations observées sont comparées aux variations granulométriques, aux variations de composition du sédiment et à la composition de l'eau interstitielle (Forstner, 1981), (Degens et al, 1980).

I.4 Objectifs et limites du projet

Notre projet avait pour objectif d'étudier les variations verticales de la concentration en uranium du sédiment de quatre lacs où une concentration particulièrement anomale était déjà connue. Cette étude devait nous permettre de justifier ou d'éliminer l'hypothèse qui veut que la teneur en éléments traces du sédiment lacustre est pratiquement homogène si l'on excepte les 10 à 20 centimètres de sédiment situés immédiatement sous l'interface eau-sédiment (Levinson, 1974). De plus, cette recherche pouvait reconnaître de nouveaux facteurs favorables à la

concentration des éléments traces tel un enrichissement diagénétique. Ces travaux devaient également être utilisés par la S.D.B.J. pour évaluer la rentabilité des sédiments lacustres comme ressource minérale intrinsèque.

Un second objectif était d'établir la distribution latérale de l'uranium dans le sédiment de ces lacs et de trouver les causes physiques ou physico-chimiques de l'enrichissement exceptionnel en uranium observé.

Notre étude loin d'être exhaustive manque de données physico-chimiques précises pour expliquer autrement que par déduction les profils et patrons de concentration observés. Nous croyons toutefois qu'un tel travail préliminaire est utile voire nécessaire à la compréhension des mécanismes de concentration de l'uranium dans les sédiments lacustres et ainsi à la discrimination des anomalies formées.

II.

RESULTATS

II.1 Introduction

II.1.1 Plan de présentation des résultats

Dans la présentation des résultats qui suit, nous décrirons d'abord l'environnement physique des lacs concernés par notre étude. Ce sont les lacs Lacroix, A La Cogne, Haïda et Mitchkine. Cette section incluera le contexte géologique et la localisation des sources potentielles d'uranium des lacs sous étude. Ces informations sont dérivées de la cartographie géologique et de la prospection radiométrique et géochimique (sédiments de ruisseaux et sédiments lacustres) que nous avons effectuées dans ce secteur.

En second lieu, on présentera la distribution latérale de la teneur en uranium du sédiment de ces lacs. Celle-ci sera comparée à la composition du sédiment et à la bathymétrie des lacs.

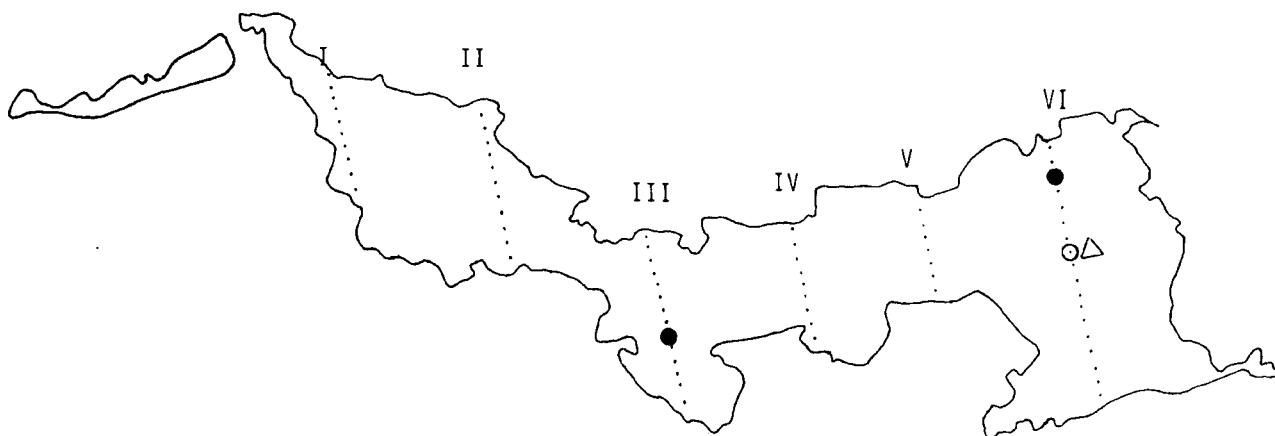
La distribution verticale de la teneur d'uranium dans les sédiments lacustres suivra. Celle-ci sera corrélée aux variations correspondantes des teneurs en Mn, Fe, Ni, Pb, Zn, Mg, Al, Na, Ca, K, à la proportion de matériel organique et aux variations granulométriques. En dernier lieu, on étudiera les variations de composition en éléments majeurs (Na, Ca, K, Mn) de l'eau interstitielle extraite des carottes de sédiment.

II. 1.2 Méthode d'échantillonnage du sédiment lacustre et procédures d'analyse

Les distributions latérales et verticales des teneurs en uranium présentées sont le produit du carottage systématique du sédiment de quatre lacs exceptionnellement enrichis en uranium. Des carottes, d'une longueur maximale de 1.5 mètres, étaient prélevées à tous les 20 mètres sur des lignes espacées de 200 mètres. Ces lignes étaient orientées perpendiculairement à l'allongement des lacs. La première ligne était localisée à la limite sud-ouest du lac et les premiers sites aux extrémités sud des lignes. A chaque site, avant l'échantillonnage, la profondeur de l'eau était mesurée. La localisation des sites échantillonnés est présentée en figure 2, 3, 4 et 5. L'illustration du carottier à piston que nous avons utilisé se trouve en annexe I.

Les carottes prélevées dans ces lacs étaient immédiatement sectionnées en échantillons de 10 centimètres sur lesquels des mesures de Eh-pH étaient effectuées. Une brève description de l'échantillon (granulométrie, couleur, texture, structure) suivait ces opérations. Les échantillons, une fois acheminés à Montréal, étaient séchés et tamisés à une granulométrie de 30 mailles par un laboratoire privé. Cette granulométrie avait été choisie par la S.D.B.J. avec l'idée qu'il serait rapide de tamiser à cette dimension en considérant l'éventualité d'une exploitation de ces sédiments. Un échantillon sur deux, soit à un intervalle de 20 centimètres sur les carottes, était sélectionné pour l'analyse de l'uranium. Celle-ci se faisait par activation neutronique à Ottawa par le laboratoire de l'Agence Canadienne de l'Energie Atomique.

LAC A LA COGNE



- Site d'échantillonnage
- Analyse d'uranium exclusivement
 - Analyse des éléments-trace
 - Analyse des éléments-trace et des éléments majeurs
 - Analyse de l'eau interstitielle
 - △ Analyse granulométrique

Figure 2

100 0 300 mètres

LAC LACROIX

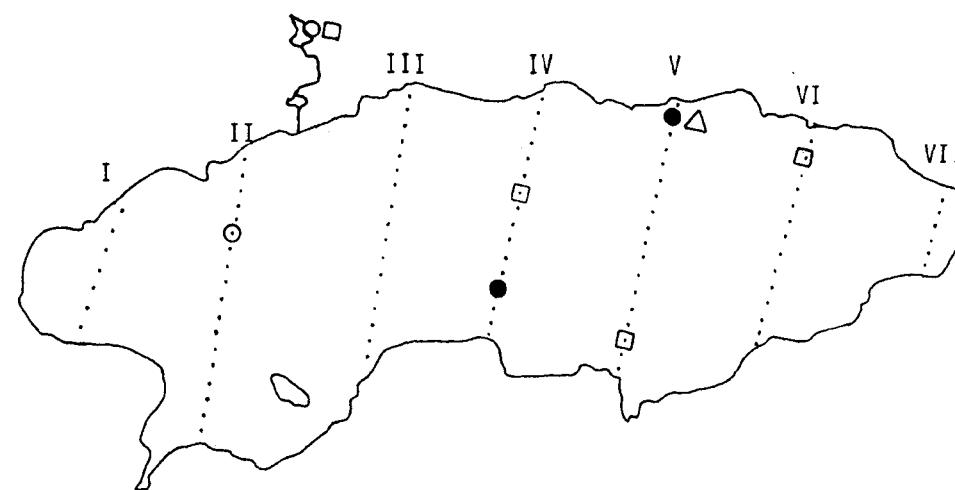
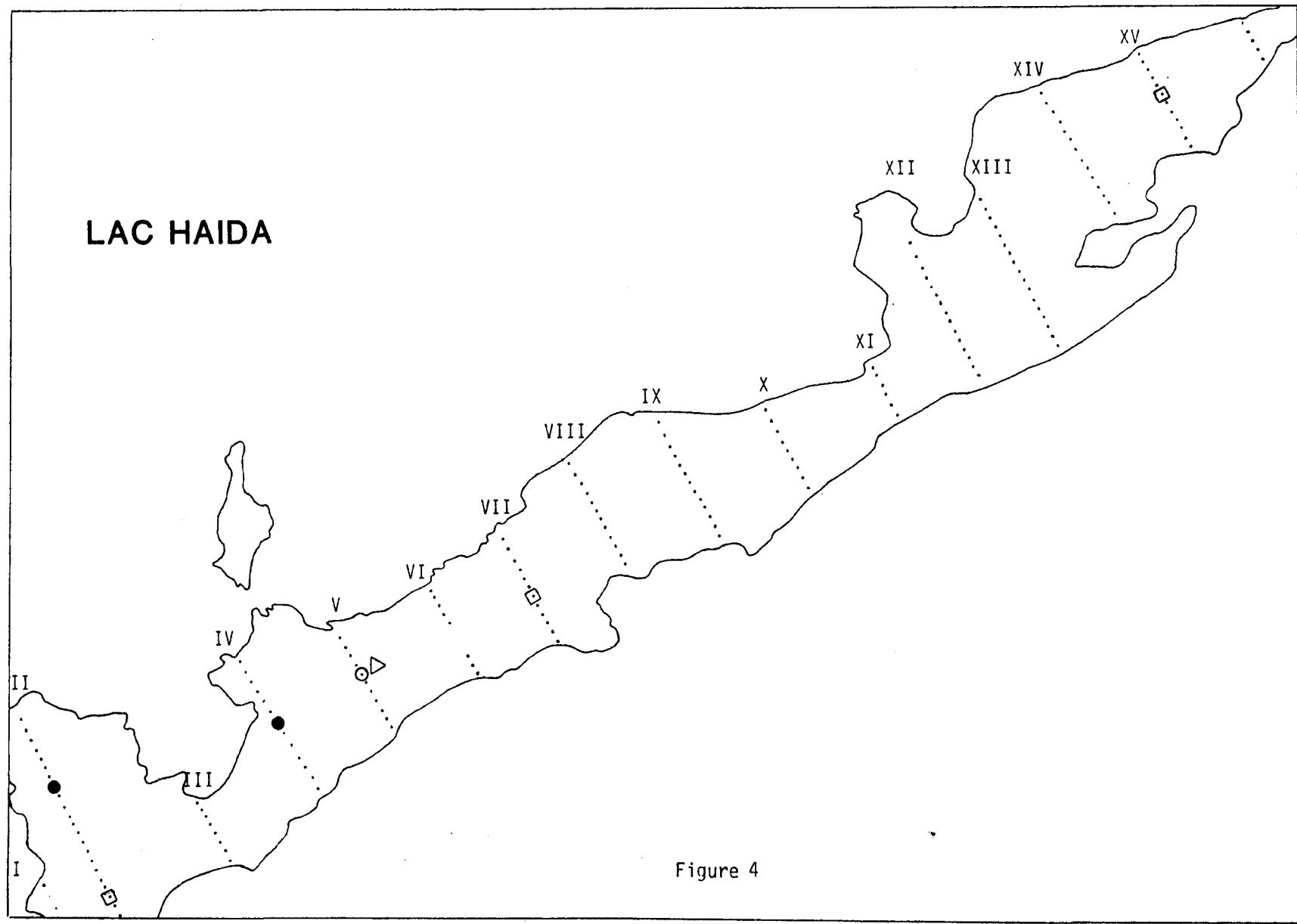


Figure 3

7c



LAC MITCHKINE

PL

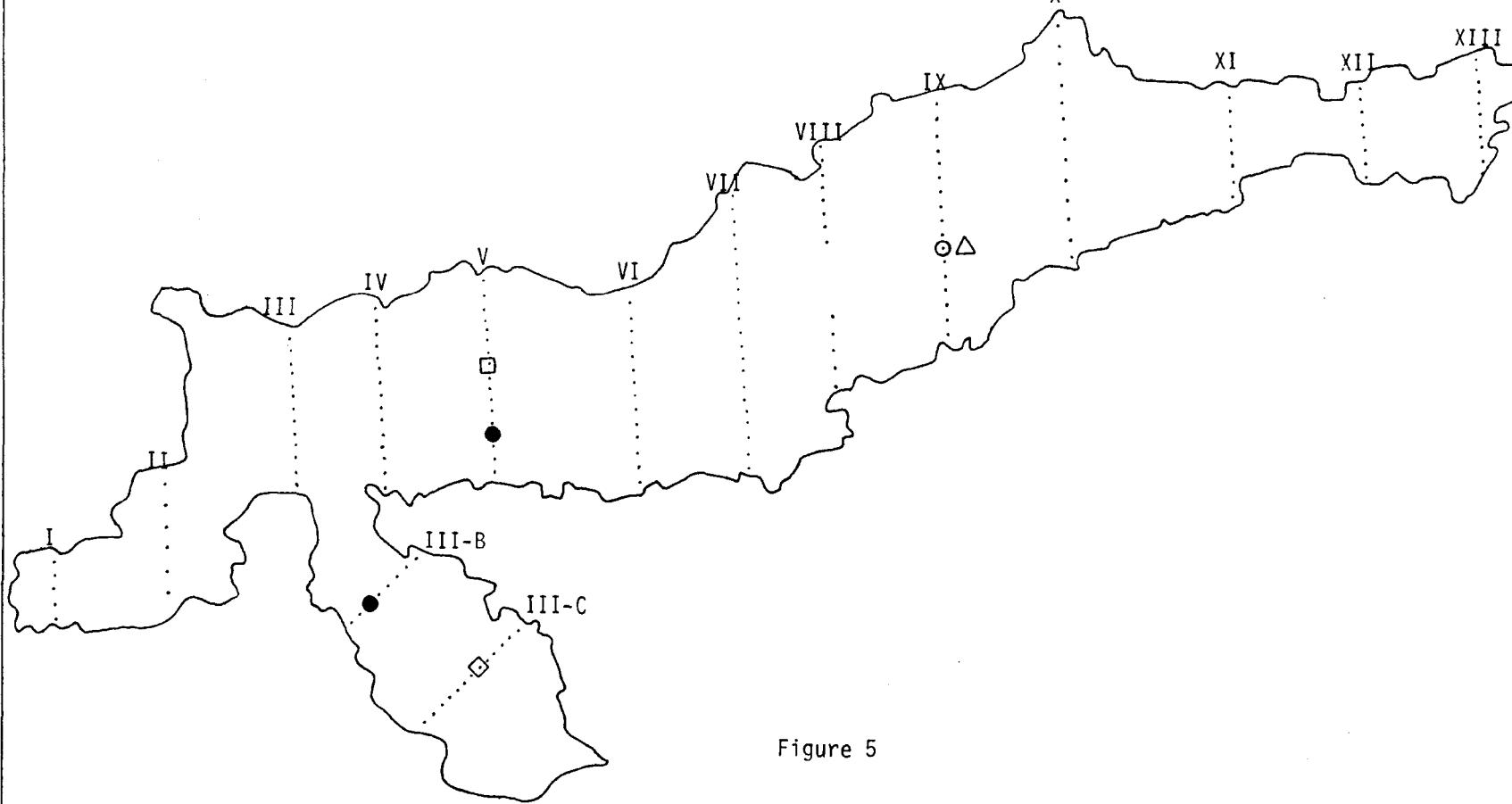


Figure 5

La distribution latérale des teneurs en uranium que nous présenterons dans les figures 20, 21, 22 et 23 correspond à l'analyse des 10 premiers centimètres de sédiment prélevés dans chacune de ces carottes.

Dans le cas de la distribution verticale, des 533 sites échantillonnés, 12 carottes soit 3 par lac, ont été choisies pour comparer les variations de la concentration en uranium à celle des éléments traces Mn, Fe, Cu, Ni, Pb, Zn. L'analyse de ces éléments traces se faisait par absorption atomique. La procédure de mise en solution était celle de Guimont et Pichette (1977). Trois déterminations par échantillon ont d'abord été effectuées. L'inhomogénéité des échantillons due à la fraction détritique comprise entre 30 et 250 mailles a nécessité une nouvelle détermination de contrôle que nous avons restreint à 60% des échantillons. Le résultat de ces analyses et la valeur moyenne pour chacun des échantillons sont inclus dans l'annexe II. Précédant cette analyse des éléments traces, le contenu en matière organique avait été déterminé par perte au feu.

Des 12 carottes utilisées pour l'analyse des éléments traces, 8 carottes, soit 2 par lac, ont été utilisées pour comparer les variations de la teneur en uranium à celle des éléments majeurs (Mg, Fe, Ca, K, Na). L'analyse de ces éléments se faisait par absorption atomique, l'échantillon ayant été fusionné à 700°C avant sa mise en solution. L'analyse granulométrique de 30 à 250 mailles a aussi été effectuée sur 4 de ces carottes, soit une par lac.

De plus, 9 carottes supplémentaires ont été prélevées, dont 3 au lac Lacroix, 2 au lac Mitchkine, 3 au lac Haïda et 1 à la source Zita. Ces carottes scellées et conservées intactes ont été utilisées quatre mois plus tard pour la détermination des éléments majeurs (Na, Ca, K, Mn) contenus dans l'eau interstitielle du sédiment. Ces éléments ont été déterminés par absorption atomique.

Les analyses des éléments traces et majeurs du sédiment, les analyses granulométriques, l'extraction de l'eau interstitielle et l'analyse de celle-ci ont été effectuées par l'auteur dans les laboratoires de l'Université du Québec à Chicoutimi.

II.2 Description de l'environnement physique des lacs sous étude

II.2.1 Contexte géologique régional

La géologie régionale est présentée sur le plan I en appendice.

Les formations géologiques de la région sont d'âge archéen et appartiennent à la province géologique du Supérieur. Elles sont métamorphisées au faciès de métamorphisme régional de l'amphibolite.

Une bande volcanosédimentaire orientée NE-SO, où les sédiments dominent, marque la frontière nord de la région. Un lambeau d'amphibolite et de métasédiment comprenant un conglomérat pyriteux à cailloux granitiques, a aussi été relevé au nord-est du lac Mitchkine. Cette série d'unités repose présumément sur un socle de composition tonalitique.

Celui-ci affleure dans la partie centrale du secteur cartographié.

Une activité magmatique, probablement post-tectonique, est représentée par des granites et des pegmatites potassiques, alaskitiques peu ou pas foliés qui recoupent ces unités ou s'injectent suivant la direction locale de la foliation.

Des pegmatites quartzo-feldspathiques enrichies en minéraux accessoires tels la muscovite, le grenat et la tourmaline, affleurent uniquement dans la bande volcanosédimentaire. Elles pourraient résulter d'une fusion partielle de l'encaissant environnant (sédiment et/ou volcaniclastite).

Des diabases de direction N330 E et N45 recoupent toutes les unités précédentes.

La foliation régionale est orientée N60 E. En bordure des intrusions, elle est localement déviée N90 E. Les principaux systèmes de diaclases sont orientés N60 E, N330 E, N90 E. Une faille majeure d'orientation N60 E, qui est géographiquement localisée à la hauteur du lac Haïda, marque la limite sud de la bande volcanosédimentaire. Cette faille tardive a déplacé la diabase.

Aucun affleurement n'a été relevé le long des rives du lac Lacroix. Les affleurements cartographiés aux limites nord-est et sud-ouest du lac révèlent toutefois une forte proportion d'intrusions de pegmatite potassique injectées dans un encaissant de tonalite foliée. Les pegmatites qui affleurent le long du ruisseau qui joint le lac Lacroix au lac A La Cogne

contiennent environ 1% de magnétite disséminée.

Au lac A La Cogne, une masse importante de granite potassique affleure au sud du lac. En bordure immédiate du lac, soit dans la décharge du lac et sur sa rive sud-est, la pegmatite potassique affleure.

C'est au lac Häida que les affleurements montrent la plus forte densité. Sur la rive sud, l'intrusion de diabase affleure dans la partie centre est du lac. Sur la rive nord, aux extrémités nord-est et sud-ouest, des pegmatites potassiques radioactives affleurent. Celles-ci forment des filons peu épais, moins d'un mètre, injectés dans la tonalité foliée.

Au lac Mitchkine, un granite potassique, un granite à hornblende et des pegmatites potassiques affleurent le long des rives du lac. En trois localités, la pegmatite est envahie de quartz hématisé. Une radioactivité anomale a été relevée dans ces pegmatites.

II.2.2 Localisation des sources potentielles d'uranium

1. Par prospection radiométrique

Au cours de ces travaux de prospection, un levé radiométrique aérien et des levés radiométriques ponctuels au sol ont été effectués.

Le **plan II** en appendice montre la distribution des pics de radioactivité (compte total et compte d'uranium) détectés lors du levé aérien et situe les champs de blocs erratiques et les affleurements radioactifs relevés par la prospection au sol.

La plus forte densité des anomalies (compte U-Th-K) est localisée le long de la rive nord du lac Haïda. Cette région correspond géologiquement à un encaissant de gneiss envahi d'un essaim de filons-couches peu épais (1 à 10 mètres) de pegmatite potassique.

Les anomalies radiométriques qui possèdent la plus forte réponse sur le canal uranium sont toutefois concentrées autour des intrusions de pegmatite cartographiées au nord-est du lac Kamilou.

La prospection au sol a confirmé la présence d'uranium dans les environs du lac Kamilou, les anomalies radiométriques ont été associées à des champs de blocs erratiques de pegmatite potassique, fortement radioactive. En moindre quantité, des blocs de composition similaire ont été trouvés au nord-ouest du lac Lacroix. Au lac A La Cogne, un seul bloc anomal a été cartographié. Tel qu'on l'a déjà mentionné, au lac Mitchkine, des pegmatites envahies de quartz hématisé possèdent des radioactivités anomalies.

2. Par prospection géochimique

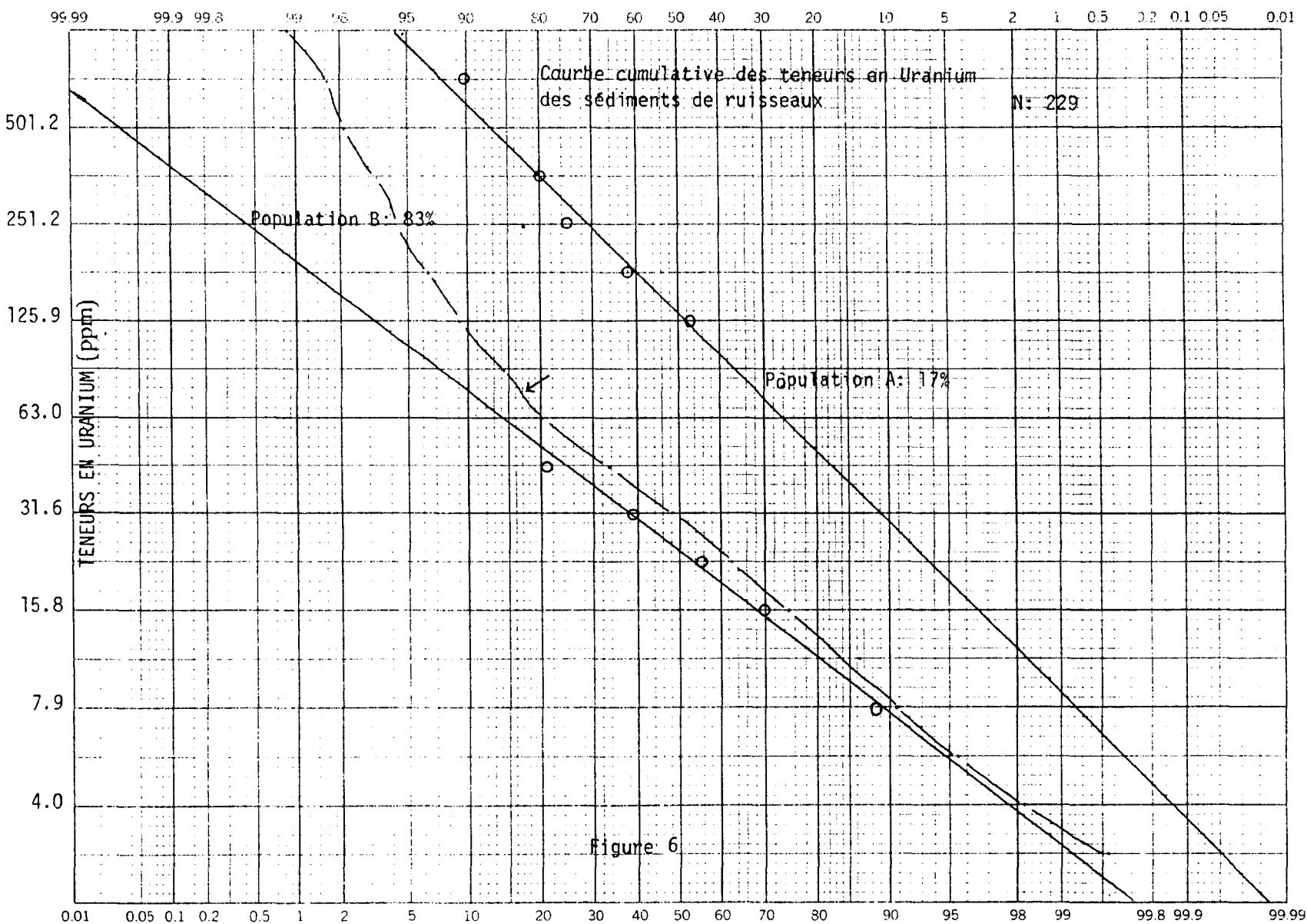
Le caractère géochimiquement anomal de ce secteur a d'abord été reconnu par un échantillonnage à faible densité (un échantillon par 2 milles carrés) des sédiments lacustres. Il a ensuite été vérifié et confirmé par un échantillonnage à maille plus serrée d'eau et de sédiment de lac. Ces dernières méthodes ont très bien délimité les anomalies radiométriques que nous avons mentionnées à la section précédente. L'échantillonnage des sédiments de ruisseaux a suivi ces campagnes de reconnaissance.

La préparation et l'analyse des échantillons de sédiment de ruisseaux ont été effectuées par un laboratoire privé. Après avoir été séchés, ils ont été tamisés à 80 mailles et analysés pour l'uranium par activation neutronique. Le résultat de ces analyses auxquelles nous avons joint l'analyse des sédiments lacustres est présenté sur le plan III en appendice. La division des classes anomalies des teneurs en uranium des sédiments de ruisseaux a été effectuée selon la méthode décrite par Sinclair (1976), voir figure 6 et tableau I.

TABLEAU I

Sédiments de ruisseaux:
classes d'anomalies choisies et
pourcentages de la population
totale correspondante

CLASSES D'ANOMALIES	POPULATION TOTALE	POPULATION A	POPULATION B
> 154 ppm	8% : 18	46% : 18	2% : 4
> 58,9	23% : 53	76% : 30	16% : 30
> 41,7	36% : 82	84% : 33	28% : 53
> 12	84% : 192	98% : 38	79% : 150
	100% : 229	17% : 39	83% : 190
		analyses	



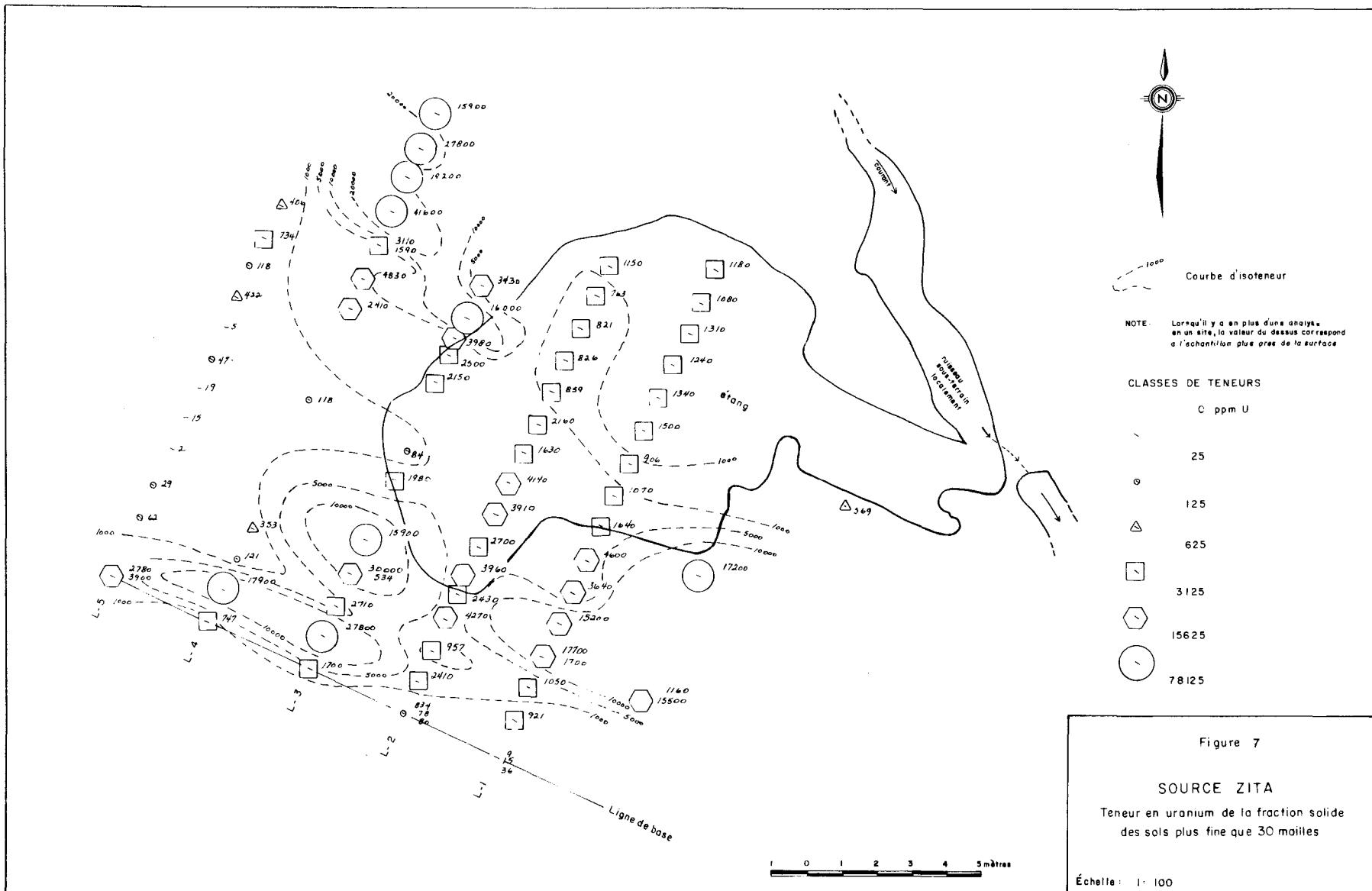
Les anomalies prioritaires, soit celles correspondant aux échantillons qui contiennent plus de 154 ppm d'uranium, sont concentrées (7 valeurs sur 11) dans le réseau de drainage dérivé des intrusions de pegmatite potassique cartographiées au nord-est du lac Kamilou. Ces données géochimiques confirment l'intérêt de ce secteur déjà mentionné dans la section radiométrie.

De plus, dans ce réseau de drainage, soit plus précisément dans le sédiment d'un ruisseau localisé sur la rive nord-ouest du lac Lacroix, on a obtenu des teneurs exceptionnelles de 2 160 et 1 260 ppm d'uranium. Ces teneurs sont dues à la présence d'une source d'eau radioactive en amont du ruisseau (la source Zita). De très fortes concentrations d'uranium, qui peuvent atteindre plus de 4%, ont été rapportées dans le sédiment de cette source. La figure 7 résume les informations géochimiques acquises sur cette source. Nous discuterons de celles-ci dans les chapitres subséquents.

Les autres valeurs de cette classe prioritaire sont localisées dans des pegmatites potassiques situées dans l'extension nord-est du lac Haïda (une valeur), en bordure du dyke de diabase (une valeur) et dans le granite à biotite (2 valeurs).

On remarquera que l'intérêt accordé aux filons-couches de pegmatite de la rive nord du lac Haïda, par les levés radiométriques, devient ici secondaire. De fait, la plupart des échantillons de cette région sont inclus entre 12 et 41,7 ppm.

Les résultats combinés de la prospection radiométrique et géochimique désignent les pegmatites potassiques comme source éventuelle



d'uranium. Les champs de blocs erratiques situés au nord et à l'est du lac Kamilou en sont particulièrement enrichis. Les ruisseaux qui drainent ce secteur confirment qu'un lessivage efficace de ceux-ci se produit. On peut aussi présumer que c'est de ce relief que sont drainées les eaux souterraines qui alimentent la source située au nord-ouest du lac Lacroix. Celle-ci enrichit ensuite tout le réseau de drainage dérivé du lac Lacroix et du lac A La Cogne.

Au lac Haïda, les concentrations anomalies relevées dans le lac sont probablement reliées à la forte proportion d'affleurements de pegmatite potassique qu'on retrouve à proximité des rives du lac. La grande superficie susceptible d'être lessivée peut compenser une plus faible teneur en uranium.

Des quatre lacs échantillonnés, seul le lac Mitchkine n'a aucune source importante d'uranium située à proximité. Parallèlement, ni le relief, ni le réseau de drainage ne justifie des concentrations anomalies d'uranium dans ce lac.

II. 3 Distribution latérale de l'uranium dans les sédiments lacustres

II.3.1 Composition du sédiment lacustre

Les sédiments de fonds de lacs peuvent être regroupés sous deux grands types de sédiment: les sédiments d'origine organique et inorganique.

Le sédiment organique, le plus abondant, est aussi connu sous le nom de Gyttja. Ce matériel de teinte brun à noir est à grain fin et de consistance

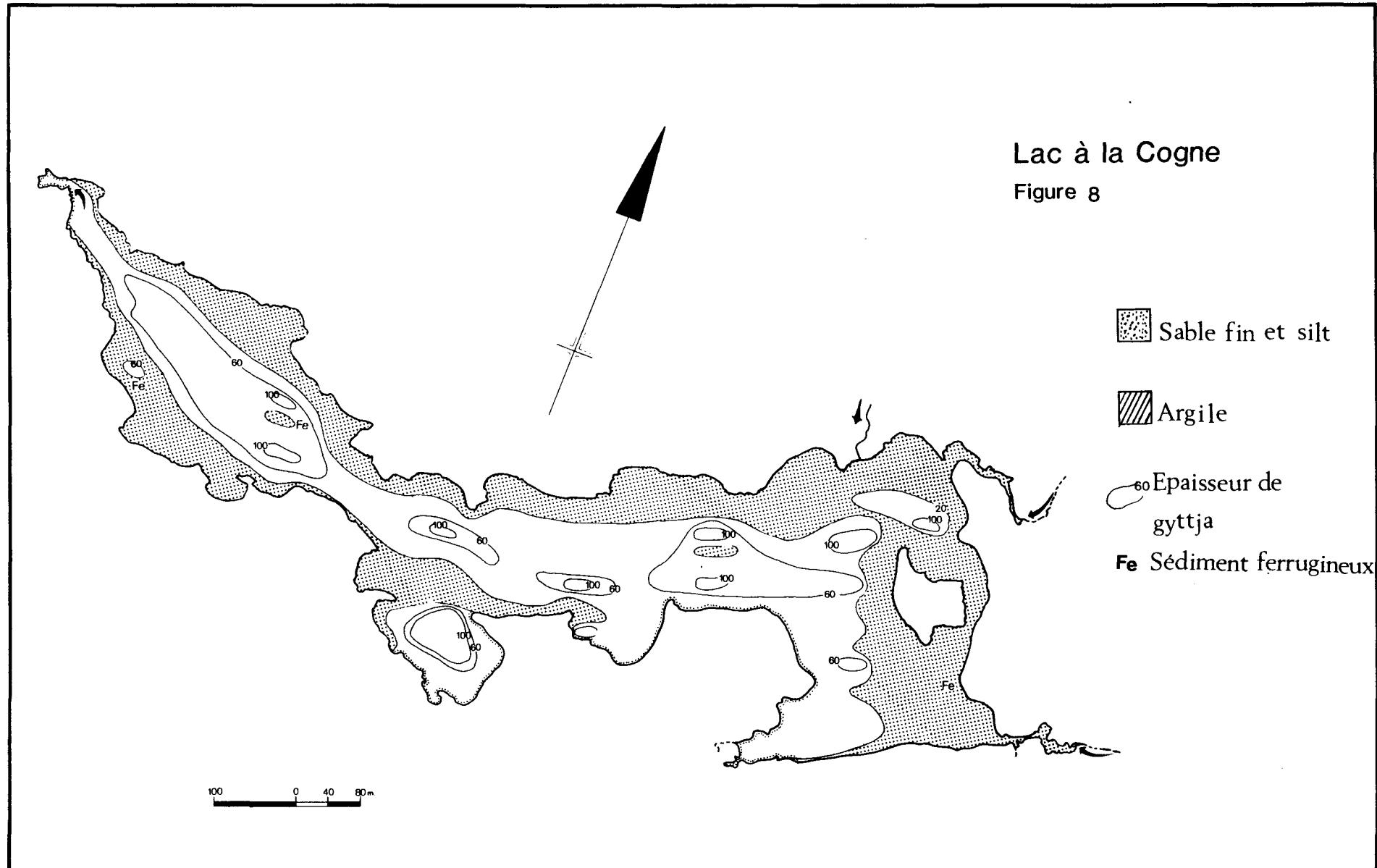
gélatineuse. Il contient peu ou pas de matériel organique grossier. D'après Jonasson (1976), ce matériel se compose surtout de fines particules de débris végétaux, tels des spores, et des colloïdes organiques, tels les acides humiques et fulviques. Il est de densité très faible soit de 0.5 à 2 fois celle de l'eau. Ce matériel est transporté en solution et en suspension. On le trouve généralement dans la partie centrale du lac.

Le second type de sédiment soit le sédiment inorganique est dérivé de l'altération des roches du bassin d'alimentation. Il est principalement constitué de minéraux tels le quartz, les plagioclases, les feldspaths potassiques et les argiles. Ceux-ci sont transportés en suspension ou par traction. Ce type de sédiment occupe les rives des lacs et des îlots, c'est-à-dire les milieux peu profonds. Ces particules inorganiques sont généralement recouvertes d'une pellicule de colloïdes organiques ou d'oxyhydroxydes de Fe ou Mn.

Dans les figures 8, 9, 10 et 11, nous avons délimité les surfaces occupées par ces deux types de sédiment dans les quatre lacs sous étude et nous y avons représenté par des courbes de niveau, l'épaisseur minimum de gyttja que nous avons pu échantillonner. Le sédiment inorganique a pour sa part été partagé en matériel grossier (sable et gravier) et en matériel fin (silt et argile).

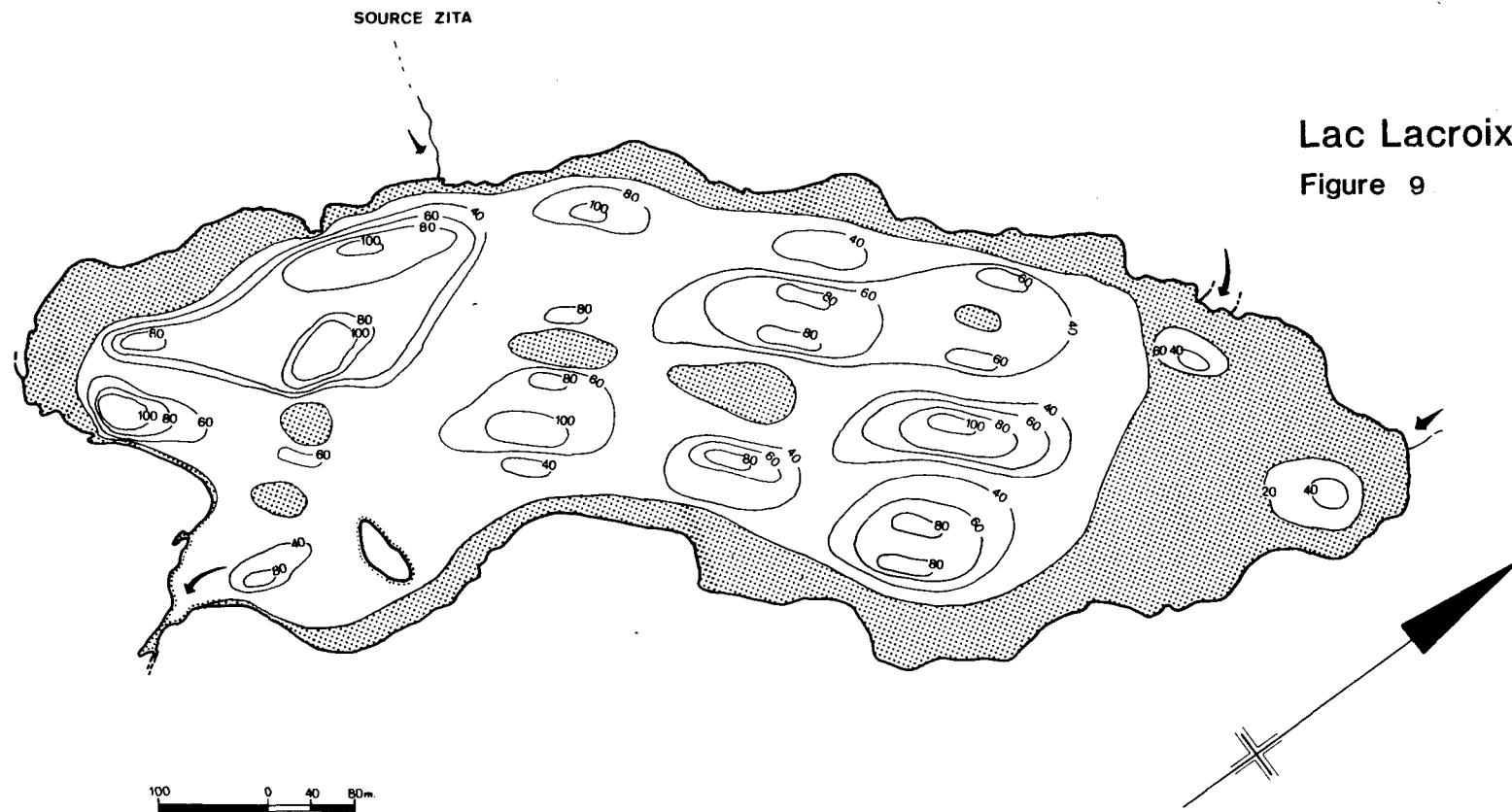
Le lac Lacroix est caractérisé par deux types de sédimentation. L'extrême nord-est du lac et pour un tiers de la surface est un milieu de sédimentation peu profond riche en matériel sablonneux oxydé (teinte brun orangé à rouille). L'autre partie du lac, très profonde, jusqu'à 16.8 mètres, s'enrichit en matériel organique. Cette couverture organique a une

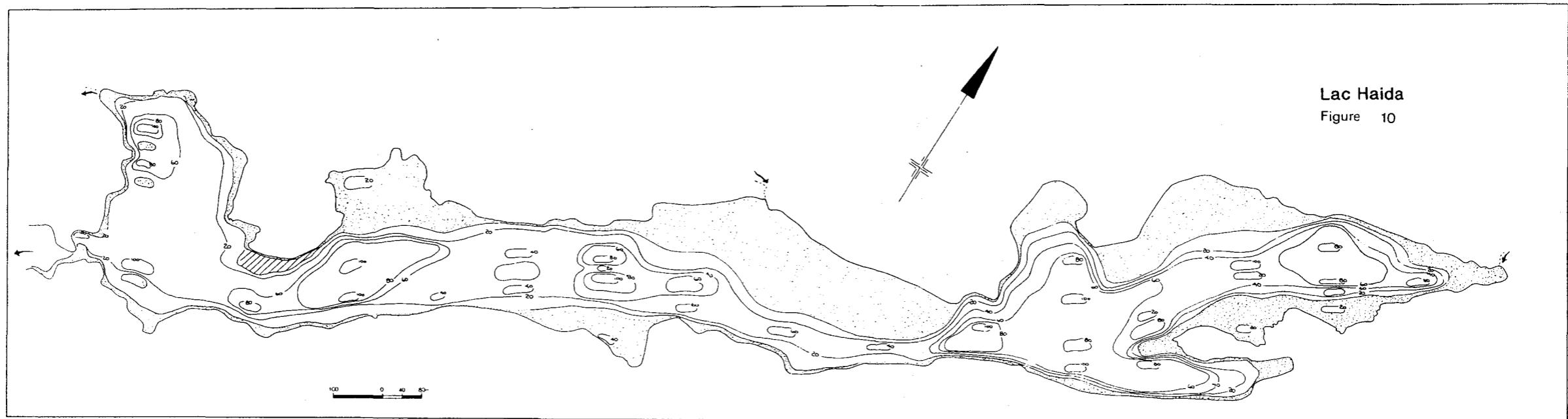
16 a

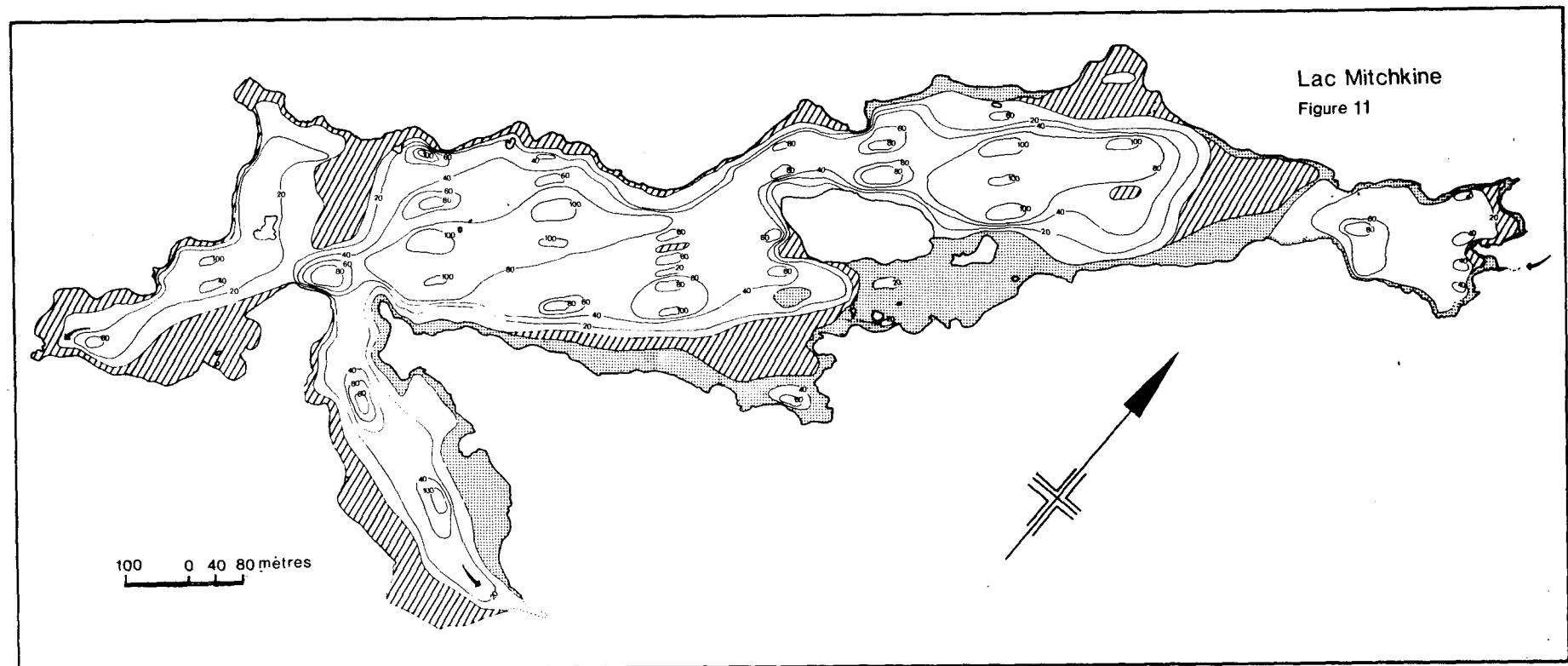


Lac à la Cogne
Figure 8

Lac Lacroix
Figure 9







épaisseur moyenne de 60 centimètres. Sous celle-ci, le sédiment inorganique est une boue composée de silt et d'argile de teinte gris jaunâtre à vert olivâtre.

Ce lac encaissé dans un relief fort est alimenté principalement par des sources. On a déjà mentionné la source Zita située à environ 200 mètres de la rive nord-ouest du lac. On a aussi relevé la présence de deux autres sources qui affleurent à moins de 20 mètres de l'extrémité nord-est du lac. Celles-ci ne possèdent toutefois pas de teneur exceptionnelle en uranium. La décharge de ce lac est un ruisseau de pente et de débit forts formant localement des rapides.

Le lac A La Cogne correspond à un élargissement de la décharge du lac Lacroix. Ce ruisseau est le principal cours d'eau du système de drainage de ce secteur. La circulation d'eau très active de ce lac y est vraisemblablement responsable de la forte proportion de sédiment inorganique. L'épaisseur moyenne de gyttja est d'environ 80 centimètres mais n'occupe que 50% de la superficie du lac. Cette couverture organique repose sur un fond de sable et de gravier généralement oxydé. Le Lac A La Cogne est lui aussi encaissé dans un relief fort. Ses affluents et effluents sont des ruisseaux importants où le courant est rapide à turbulent.

Le lac Haïda est le plus grand bassin que nous ayons eu à échantillonner. Il possède de nombreux affluents et une circulation d'eau très active. De fait, seule une baie étroite marque la décharge de ce lac qui communique par celle-ci avec un lac de dimension quasi équivalente. Les rives de ce lac sont pour près de 50% des affleurements dont l'érosion

produit le sédiment sablonneux des baies peu profondes. A l'extérieur de ces baies, soit pour 65% de la surface du lac, le matériel organique est dominant. L'épaisseur moyenne de cette unité est de 55 centimètres. Le matériel inorganique sous la gyttja est une argile silteuse de teinte gris brunâtre à gris verdâtre.

Le lac Mitchkine est bordé au sud-est par une bande d'affleurements de granite et de pegmatite potassique et de dépôt glaciaire à faible relief. Au nord-ouest, exception faite d'une falaise de 30 mètres de long par 10 mètres de haut de granite à hornblende qui borde la partie centrale du lac, le relief et l'environnement sont similaires. Situé à quelques kilomètres de la rivière Rupert, ce lac possède un système de circulation d'eau bien développé. L'apport majeur, à l'extrémité nord-est du lac, provient d'une source et d'un ruisseau effluent d'un lac important localisé à un kilomètre au nord du lac Mitchkine. La décharge principale est un ruisseau à fort débit qui prolonge la baie orientée nord-ouest/sud-est. La baie à l'extrémité sud-ouest alimente aussi un ruisseau important qui devient toutefois souterrain quelques 100 mètres plus loin. Au lac Mitchkine, le sédiment organique domine. Il représente 65% de la superficie du lac et a une épaisseur moyenne de 60 centimètres. Le matériel inorganique sous la couverture organique et à l'extérieur de celle-ci, est une argile de teinte gris clair bleuté qui possède une très faible cohésion. Près des rives et à proximité des blocs erratiques, la composition est plutôt sablonneuse. A la décharge principale du lac, l'argile grise est parfois associée à un silt argileux oxydé.

II.3.2 Bathymétrie

La profondeur de l'eau des lacs était mesurée à chaque site d'échantillonnage, à l'aide d'un "echo-sounder" de type commercial généralement utilisé pour la pêche sportive. Ce type d'appareil donne une précision relative de 0,5 mètre. La bathymétrie des quatre lacs échantillonée est illustrée dans les figures 12, 13, 14 et 15.

Le lac A La Cogne a une profondeur moyenne de 3 à 4 mètres et un maximum de 9 mètres. Cette dernière valeur est localisée dans une baie dont les berges ont un relief relativement abrupt.

Le lac Mitchkine a une partie centrale de profondeur moyenne de 4 mètres ayant un maximum de 8 mètres. Cette zone plus profonde est restreinte à la section sud-ouest du lac. On trouve un autre milieu profond dans une baie orientée est-ouest par où s'écoule le principal effluent du lac. La profondeur moyenne y est d'environ 3 à 4 mètres avec un maximum de 5 mètres.

Le lac Haïda montre un patron plutôt régulier qu'on pourrait caractériser par une suite de 4 petits bassins, respectivement de profondeur maximale de 7, 11, 9 et 8 mètres, séparés par des niveaux moins profonds de 2 à 4 mètres. La profondeur moyenne du lac est d'environ 4 mètres.

Au lac Lacroix, à l'extrême nord-est du lac, nous avons localisé deux bassins profonds de dimension réduite (100m * 200m) orientés nord-sud et est-ouest. Les limites de ces bassins sont abruptes et l'on passe en moins de 100 mètres de 4 à 11 mètres de profondeur. Extérieurement à ces

Bathymétrie
Lac à la Cogne

19 a

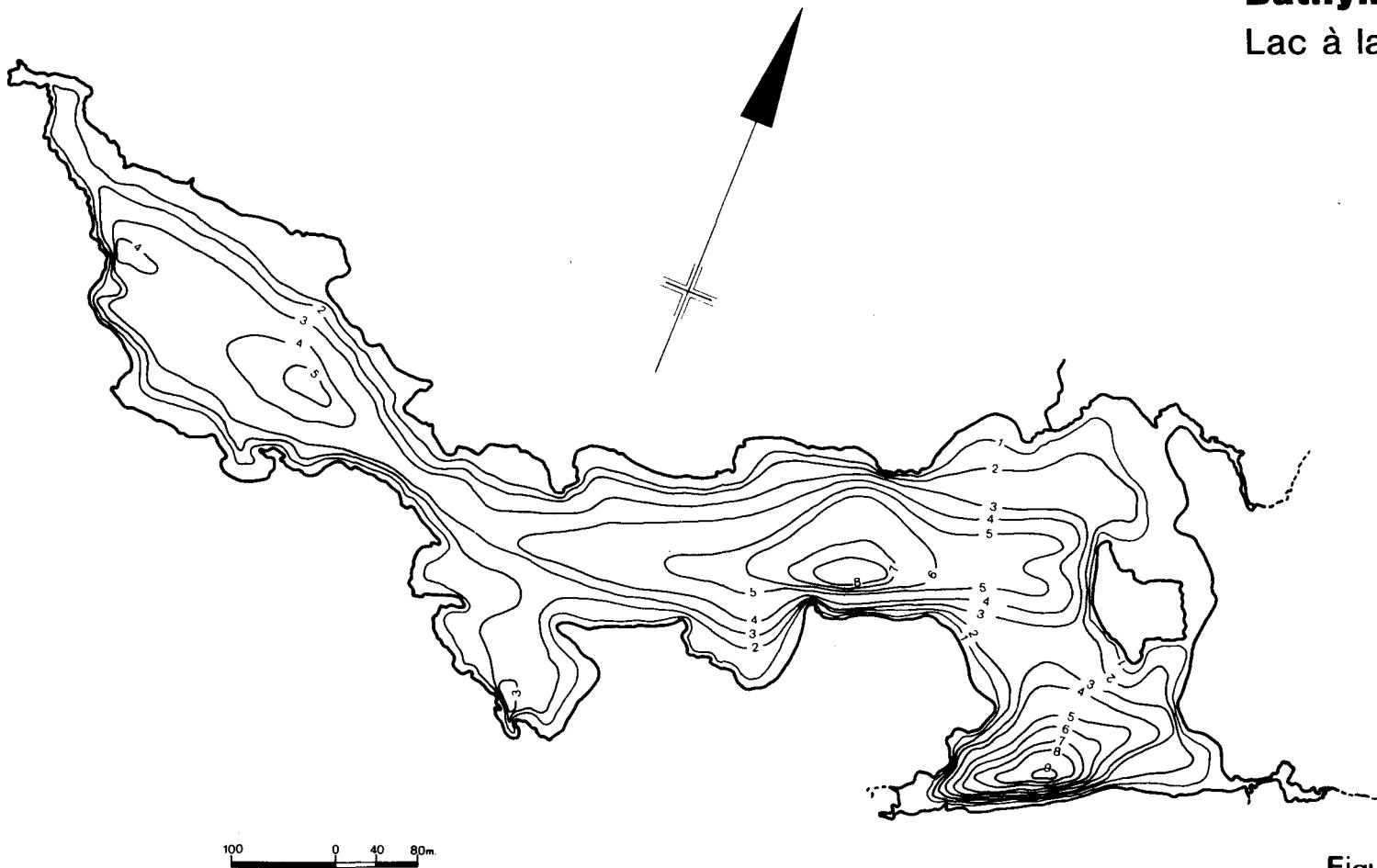
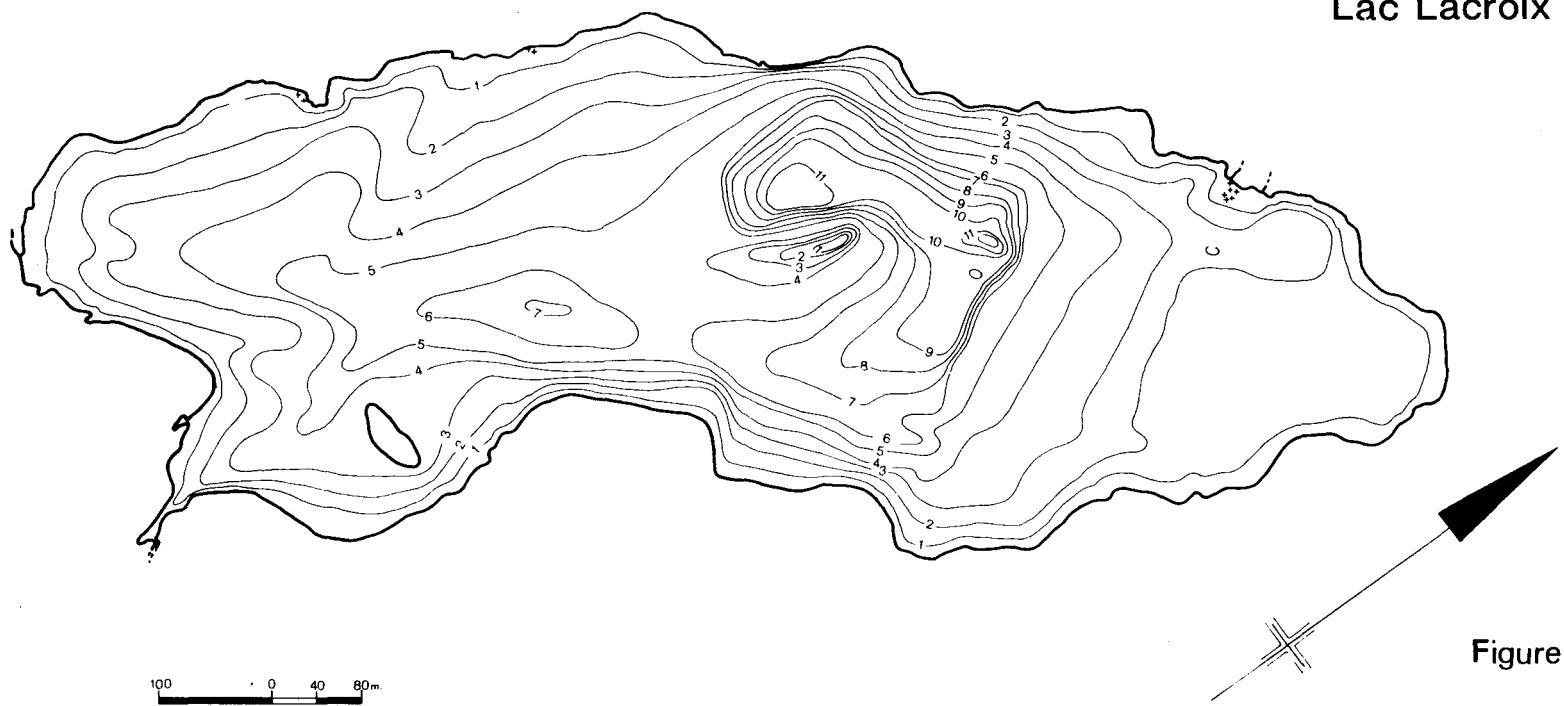
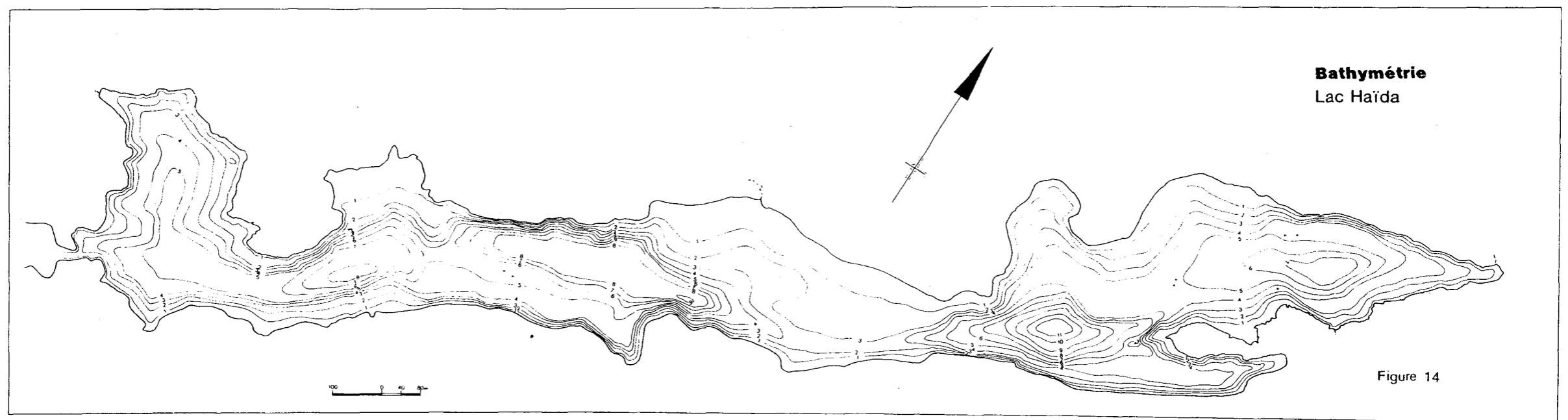


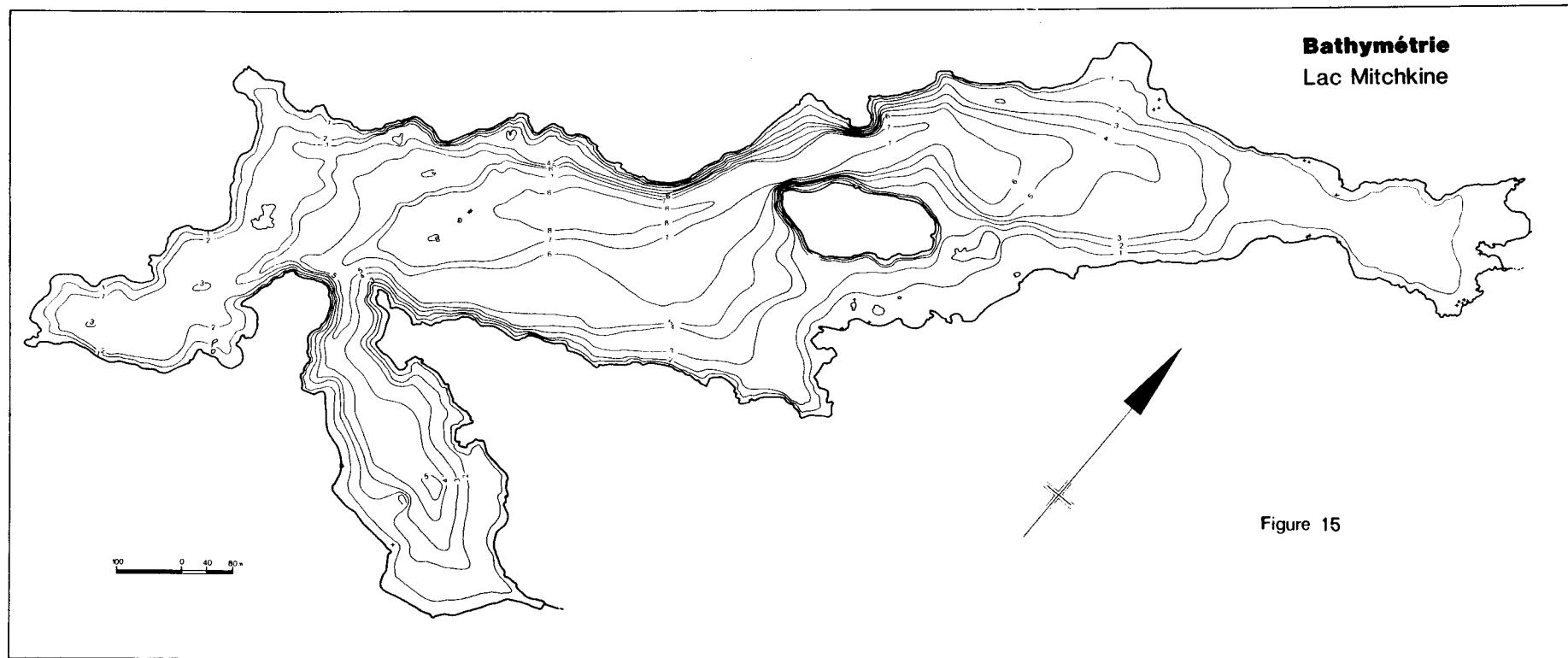
Figure 12

Bathymétrie
Lac Lacroix

199







bassins, la profondeur moyenne du lac est de 3 à 4 mètres avec un maximum de 7 mètres.

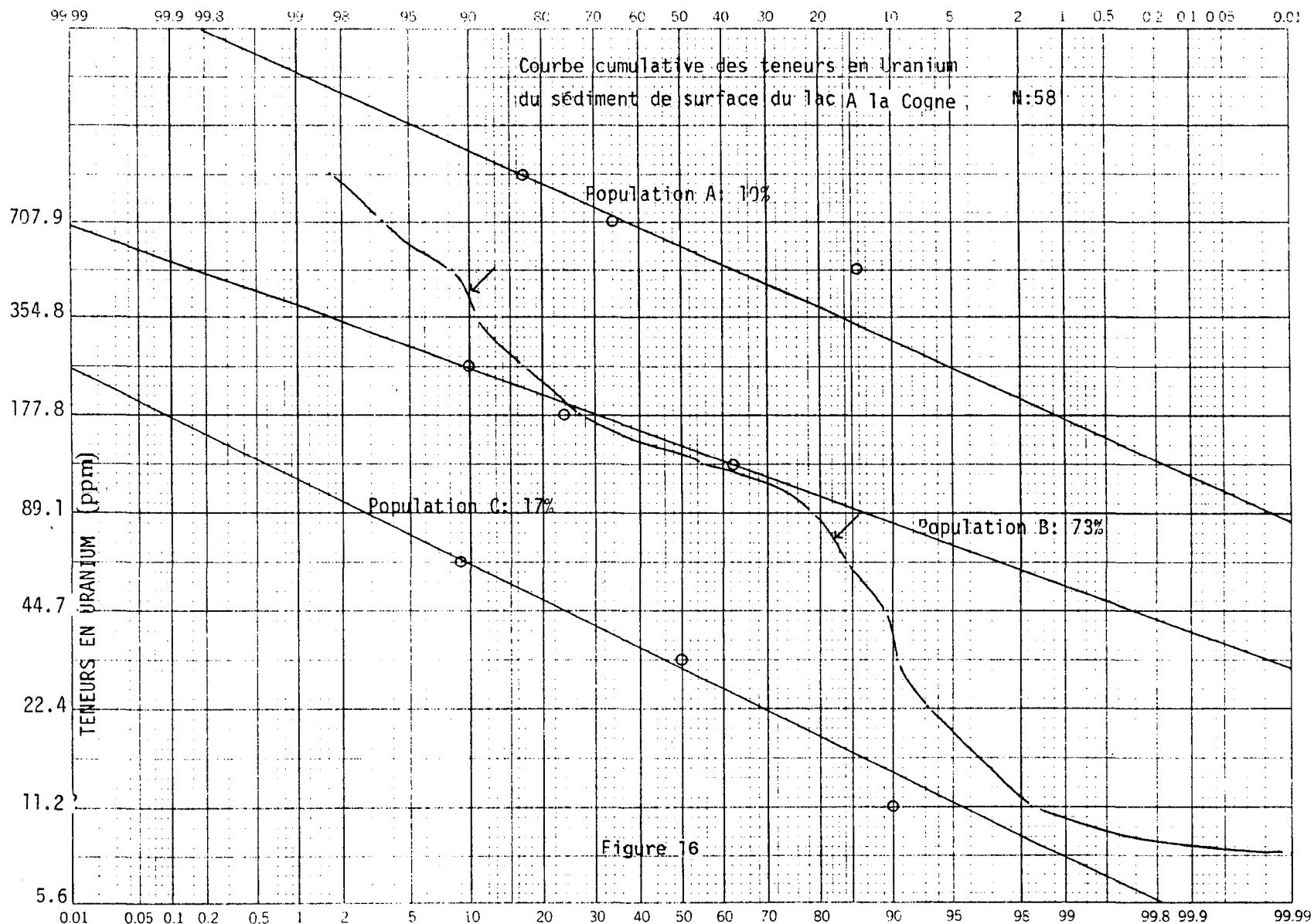
II.3.3 Distribution latérale de l'uranium comparée à la composition du sédiment et à la bathymétrie

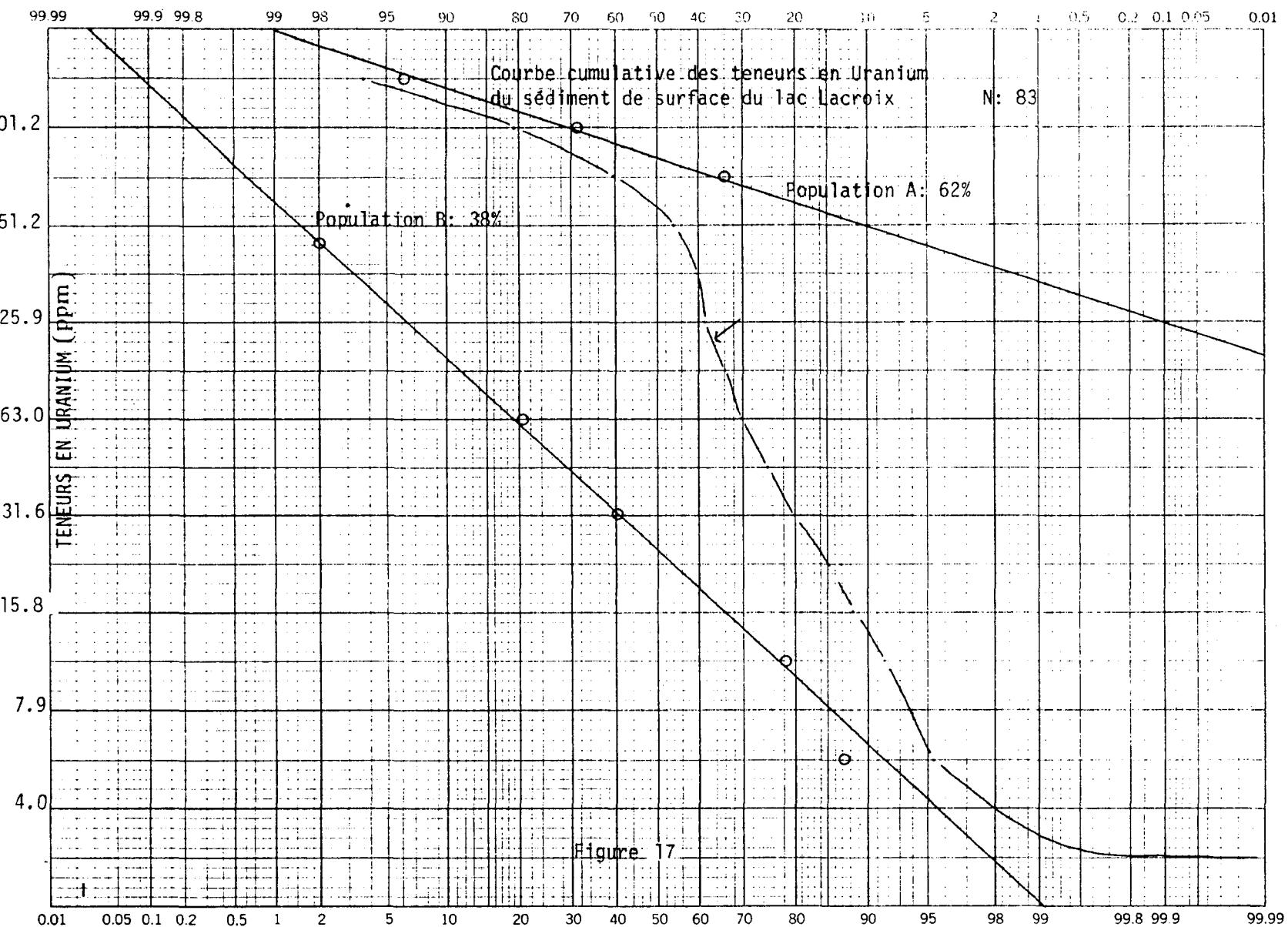
Nous présentons en figure 16, 17, 18 et 29 les courbes cumulatives des teneurs en uranium des échantillons prélevés dans la couche superficielle (moins de 20 cm de profondeur) des quatre lacs étudiés. Les classes d'anomalies déduites de ces courbes cumulatives sont présentées au tableau II.

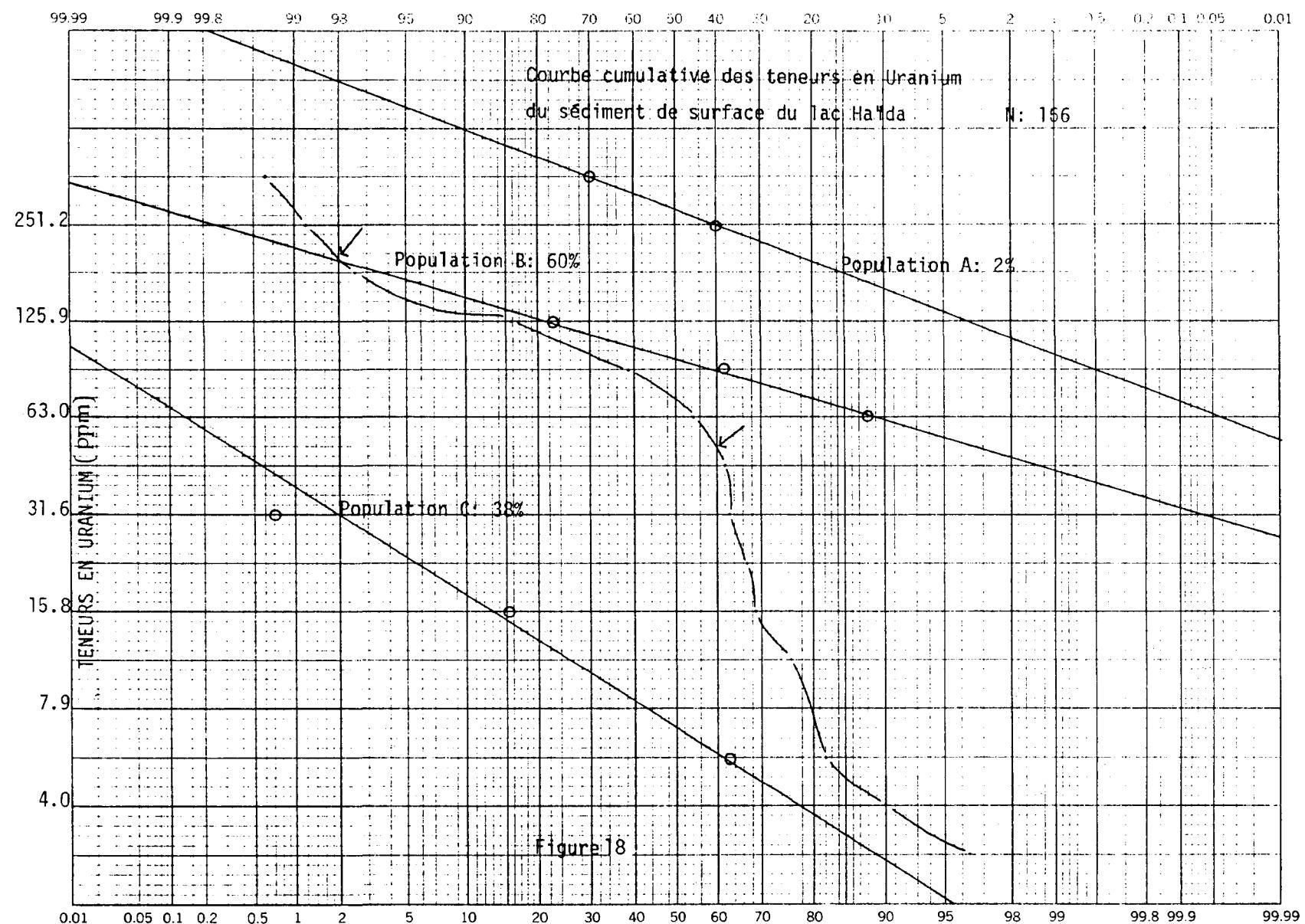
TABLEAU II

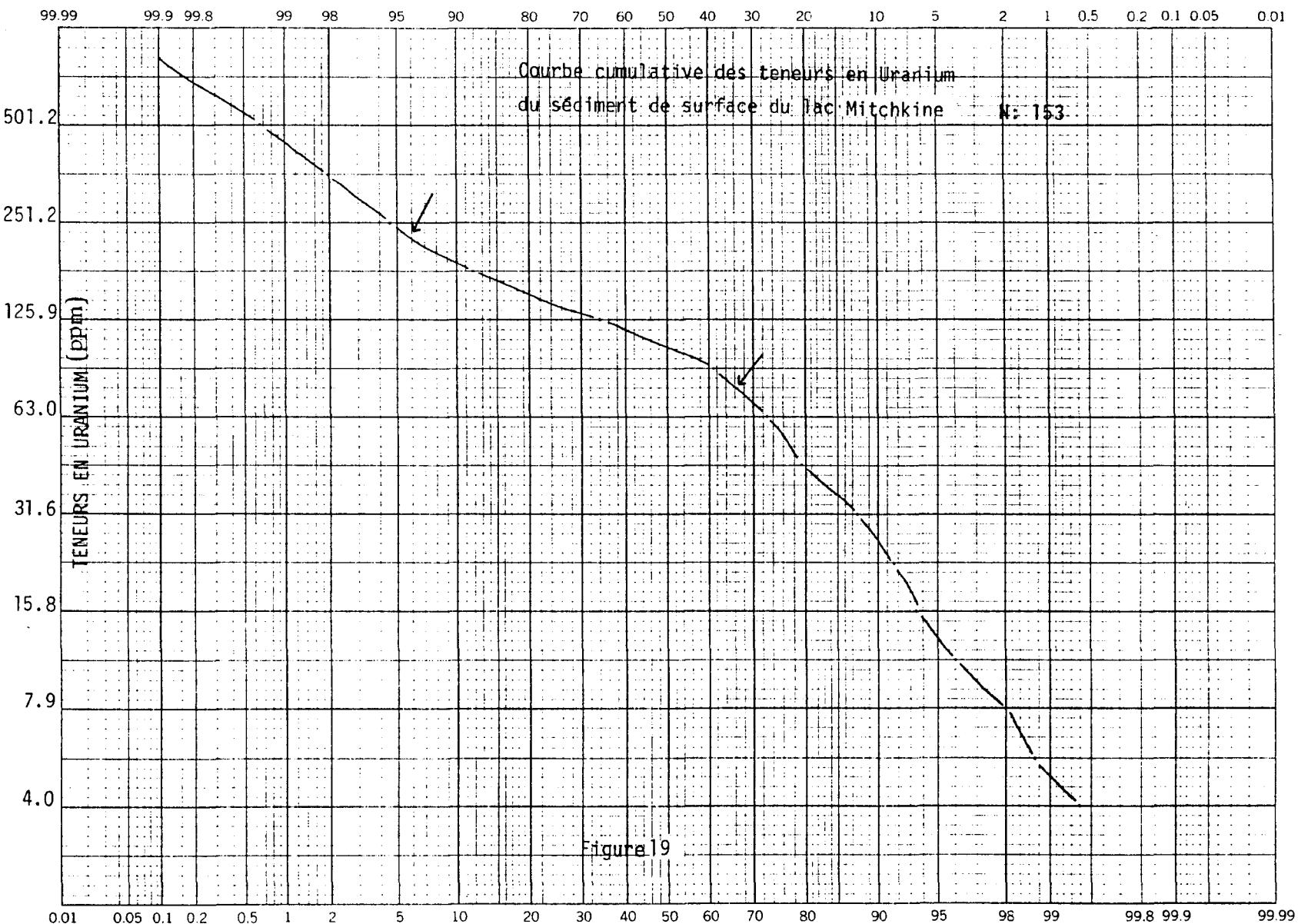
Sédiments lacustres: classes d'anomalies choisies et pourcentages de la population totale correspondante

LACROIX		A LA COGNE			HAIDA		MITCHKINE	
≥ 298 ppm	48%	≥ 389	10%	≥ 197	2%	≥ 234	6%	
$298 > \geq 166$	12%	$389 > \geq 170$	20%	$197 > \geq 112$	22%	$234 > \geq 77$	60%	
$166 > \geq 99$	4%	$170 > \geq 72$	52%	$112 > \geq 51$	36%	< 77	34%	
< 99	36%	$72 <$	18%	< 51	40%			









Les concentrations moyennes obtenues pour chacun de ces lacs sont: 288 ppm au lac Lacroix, 135 ppm au lac A La Cogne, 69 ppm au lac Haïda et 100 ppm au lac Mitchkine. La distribution latérale des teneurs dans ces lacs est présentée dans les figures 20, 21, 22 et 23.

Dans le cas des grands lacs, tels les lacs Mitchkine et Haïda, les échantillons des classes intermédiaires où l'on retrouve 60% de la population, sont des échantillons de sédiment de composition organique dominante prélevés dans un milieu calme et relativement profond. Cet environnement correspond généralement à la partie centrale du lac. Dans ces grands lacs, la distribution des teneurs est régulière, elle s'accroît des berges vers la partie centrale et profonde du lac et parallèlement s'accroît avec l'augmentation de la proportion de sédiment organique de granulométrie fine versus la proportion de sédiment inorganique de granulométrie plus grossière.

Au lac Haïda, les teneurs maximales soit celles qui excèdent 197 ppm sont représentées par deux échantillons. L'un de ceux-ci, localisé sur la ligne XV au site 2, correspond à un échantillon de matériel organique isolé dans un environnement sablonneux. L'autre échantillon localisé à L-III-4 est situé, d'après la carte bathymétrique, dans l'axe de l'effluent unique du lac Haïda. Les teneurs minimales sont toutes contrôlées par la présence dominante de matériel inorganique dans l'échantillon.

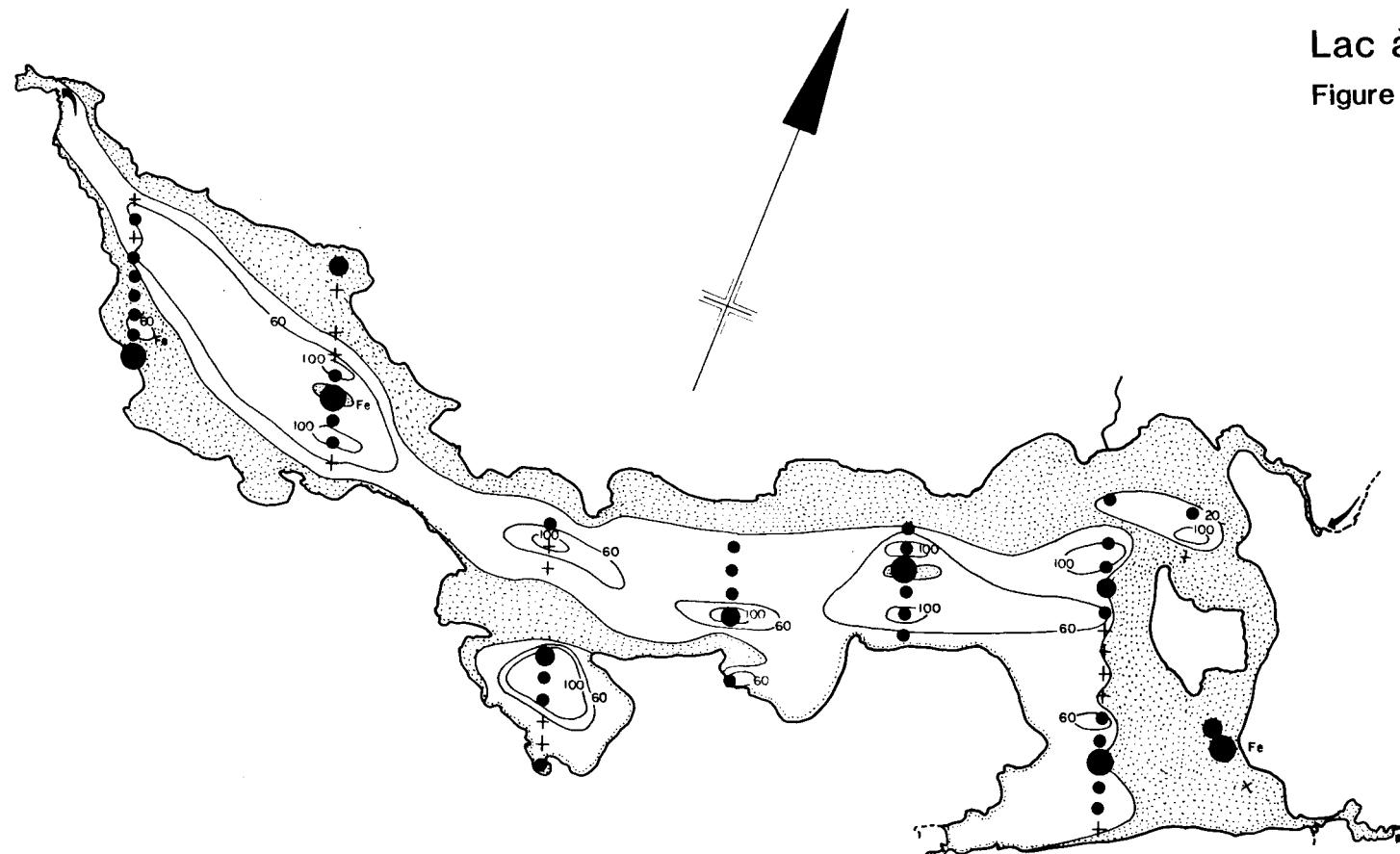
Au lac Mitchkine, 2 des valeurs maximales sont situées dans l'axe des effluents principaux. De plus, dans le cas de l'échantillon situé dans l'axe de l'effluent est-ouest, on note la présence d'oxyhydroxydes de fer révélée par

21a

Lac à la Cogne
Figure 20

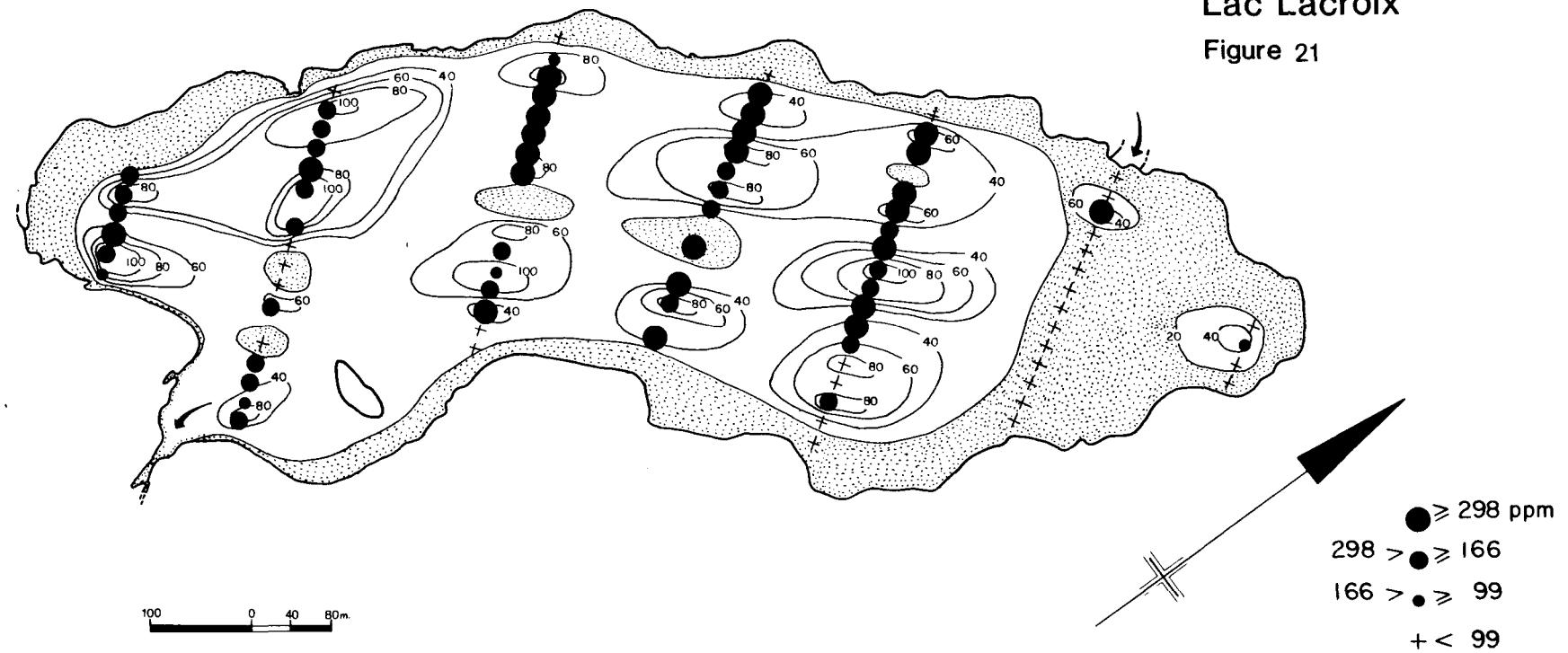
100 0 40 80 m.

● ≥ 389 ppm
389 > ● ≥ 170
170 > • ≥ 72
+ < 72

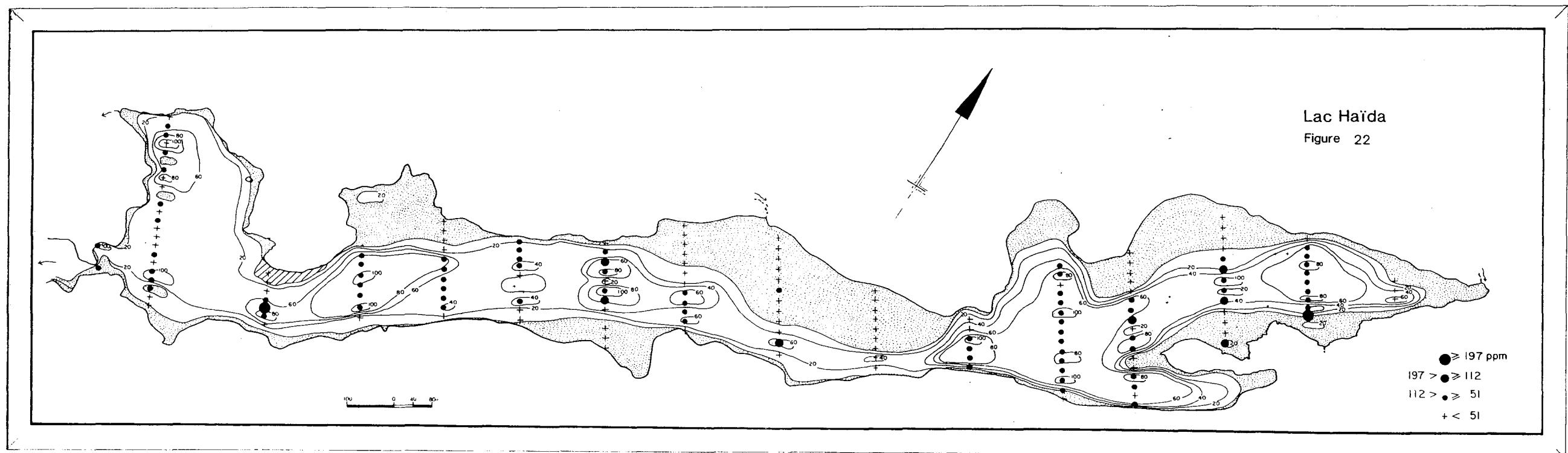


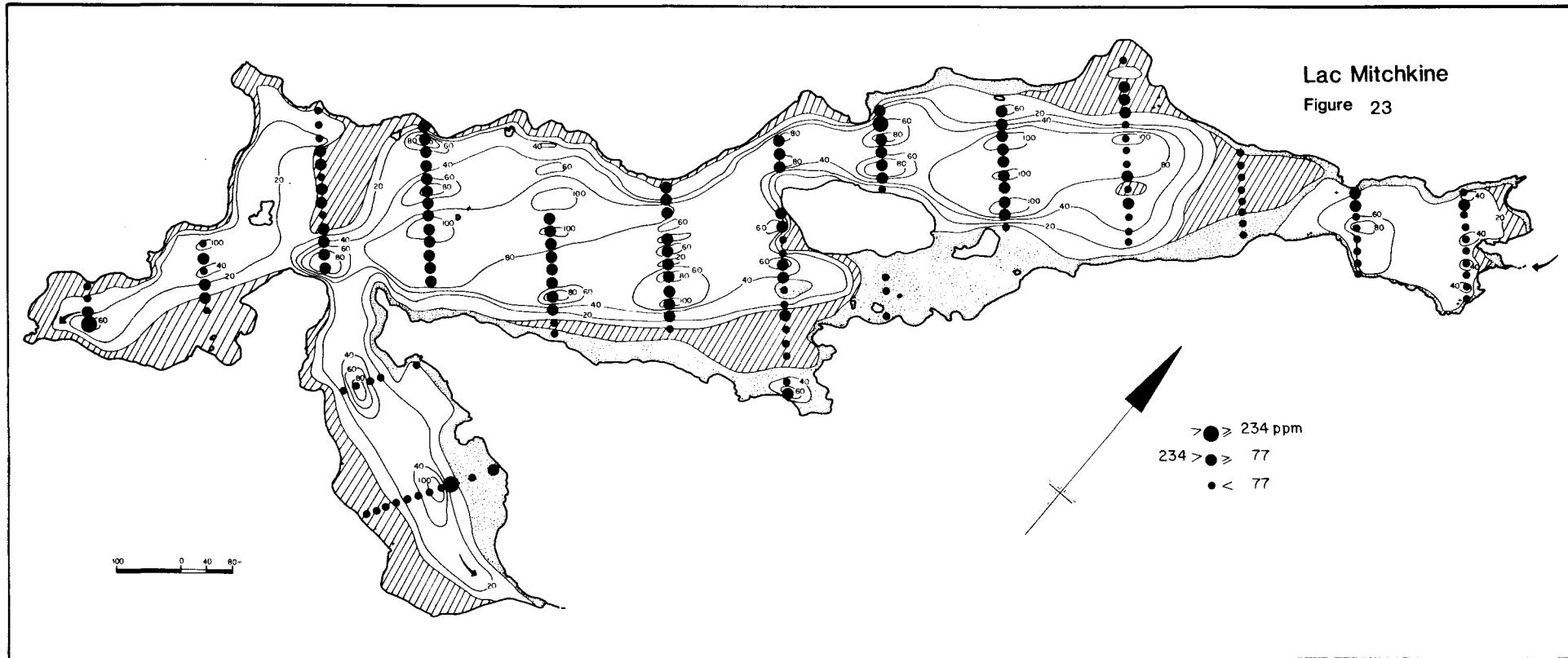
21b

Lac Lacroix
Figure 21



Lac Haïda
Figure 22





la teinte rouille orangé du sédiment. La dernière valeur est située sur la ligne VIII-10 à proximité de la rive. Au lac Mitchkine, de façon similaire au lac Haïda, les teneurs minimales sont associées au sédiment inorganique et aux milieux peu profonds.

Dans le cas des lacs de petites dimensions tels les lacs A La Cogne et Lacroix, la distribution des teneurs est moins homogène.

Dans le cas du lac A La Cogne, les teneurs intermédiaires correspondent à des environnements semblables à ceux décrits ci-haut. Les teneurs maximales qui représentent ici 20% de la population totale, appartiennent toutes à du matériel inorganique (sable et gravier) généralement associé à des oxyhydroxydes de fer. Ce matériel relativement grossier est situé dans des milieux plutôt profonds de 3 à 6 mètres.

Au lac Lacroix, on ne note aucune correspondance entre la bathymétrie et l'accroissement des teneurs. On note plutôt un enrichissement, marqué en uranium près de la rive nord-ouest du lac, soit la rive d'accès de l'eau de ruissellement et de l'eau souterraine provenant de la source Zita. Les fortes teneurs enregistrées dans les 2 petits bassins situés au centre du lac laissent présumer d'une alimentation souterraine possible à l'intérieur même du lac.

A l'exception d'un échantillon sablonneux, situé en milieu profond, toutes les valeurs fortement anomales sont de composition organique. L'épaisseur du sédiment accumulé, qui peut refléter la stabilité

du milieu de sédimentation est ici sans relation avec l'accroissement des teneurs. La présence d'oxydes ferrugineux est aussi sans influence sur les teneurs.

II.4 Distribution verticale de l'uranium dans les sédiments lacustres

II.4.1 Conditions d'oxydo-réduction et de pH

Des mesures de Eh-pH ont été effectuées à tous les 20 centimètres sur les carottes prélevées au lac A La Cogne et à tous les 40 centimètres sur les carottes des autres lacs. Nous avons dû étendre l'intervalle des mesures, cette opération nécessitant trop de temps. Nous avons utilisé un Eh-Ph mètre de type Orion 407A.

Les mesures étaient effectuées par une insertion directe de l'électrode dans le sédiment fraîchement prélevé. D'après Garrels and Christ (1965), cette procédure ne peut que produire des résultats qualitatifs. Ils reprochent à cette méthode d'effectuer des mesures sur un matériel inhomogène en train de s'équilibrer avec l'atmosphère. De fait, nous avons noté une grande instabilité des lectures dans le cas du matériel inorganique qui est particulièrement inhomogène. Des problèmes similaires ont été aussi rapportés par différents auteurs dont Bonatti et al (1970) et Timperley & Allan (1974). Face à ce problème de la précision des résultats, nous avons restreint la présentation et surtout l'interprétation de nos résultats à des observations générales.

Les champs de Eh-pH respectifs du sédiment organique des quatre lacs échantillonnés sont présentés en figure 24. Les mesures effectuées sur les carottes utilisées pour l'étude de la distribution verticale des éléments

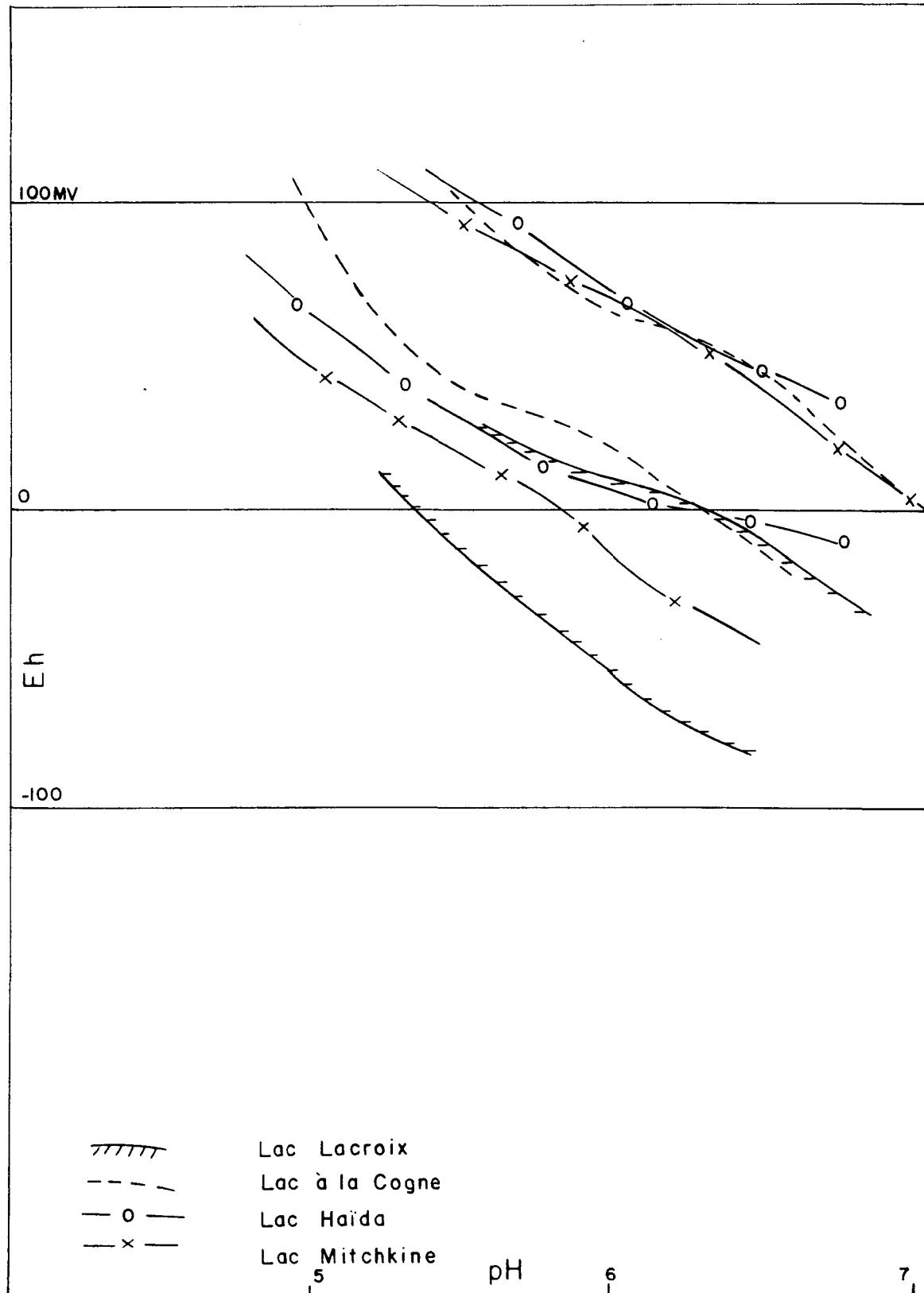


Figure 24: Limites des conditions d'oxydo-réduction du sédiment des lacs échantillonnés

traces sont présentées en annexe II avec les analyses de teneur.

On note d'abord pour tous les lacs un milieu acide. Ce milieu est oxydant à réducteur dans le cas des lacs A La Cogne, Haïda et Mitchkine et réducteur dans le cas du lac Lacroix. Le lac Mitchkine montre une grande distribution de lecture; ce fait est probablement lié à la présence du sédiment inorganique argileux mentionné précédemment.

Les valeurs Eh-Ph moyennes mesurées pour chacun des lacs sont:

	Eh	pH
Lacroix	-20 Mv	6
A La Cogne	+50	5,8
Mitchkine	+20	6
Haïda	+60	5,7

A titre de comparaison, nous présentons ci-dessous les valeurs mesurées par différents auteurs:

	Eh	pH
Baas Becking et al (1960)	+600 à -200 Mv	4 à 9
Arnold (1970)	0 à -200	4 à 7
Timperley et Allan (1974)	<100	5 à 7
Emerson (1976)	-	7,05

De plus, on a noté une augmentation du pH et une diminution du Eh de l'interface eau-sédiment vers la base de la carotte. Une évolution comparable a été décrite par Baas Becking et al (1960). Dans les mesures rapportées par ces auteurs, le Eh varie de -586 Mv sous un pied

de sédiment à -460 Mv sous 8 pieds.

II.4.2 Analyse granulométrique

Une étude granulométrique où l'objectif était de distinguer la proportion de sable de la proportion de silt et d'argile a été effectués sur 4 carottes de sédiment, soit une par lac. La fraction sablonneuse était séparée de la fraction de silt et d'argile par "wet-sieving".

Les résultats obtenus sont présentés au tableau III. On note une augmentation sensible de la proportion de la granulométrie fine avec la profondeur; l'exception étant la carotte du lac A La Cogne où le dernier échantillon appartient au niveau sablonneux de la base.

II.4.3 Distribution verticale dans les sédiments lacustres des éléments traces, des éléments majeurs, de la matière organique et étude de leurs corrélations

Les éléments traces qui ont montré les plus grandes amplitudes de variation de teneurs sont l'uranium, le fer et le manganèse.

Tel qu'illustré en figure 25, on note un enrichissement en éléments traces de l'interface eau-sédiment vers la base de la carotte. A l'exception de la carotte A La Cogne VI-16, cette croissance des teneurs s'interrompt brusquement lorsque la proportion de sédiment inorganique devient dominante.

La croissance des concentrations en éléments traces avec la profondeur du sédiment s'accompagne généralement d'une décroissance ou d'une stabilité du contenu organique (figure 26).

TABLEAU III

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

	Profondeur	Sable		Silt et Argile	
		30 mailles > W_2 ≥ 200 mailles	$W_3 < 200$ mailles		
A La Cogne VI-II	0 - 10 cm	3,44 gr	(62,6%)	2,06 gr	(37,4%)
	20 - 30 cm	2,81	(41,9%)	3,42	(51,0%)
	60 - 70 cm	6,59	(65,9%)	2,34	(23,4%)
Lacroix V-17	0 - 15 cm	2,68 gr	(51,0%)	2,57 gr	(49,0%)
	25 - 35 cm	2,47	(41,6%)	3,47	(58,4%)
	45 - 55 cm	3,60	(44,5%)	3,45	(42,6%)
	65 - 75 cm	15,77	(61,5%)	9,49	(37,0%)
	85 - 95 cm	6,13	(33,7%)	12,43	(68,3%)
Haïda V-7	0 - 14 cm	4,45 gr	(44,0%)	4,95 gr	(49,0%)
	24 - 34 cm	2,42	(37,2%)	3,82	(58,8%)
	44 - 54 cm	1,75	(37,0%)	3,2	(61,5%)
	84 - 94 cm	1,00	(20,8%)	3,67	(76,4%)
Mitchkine IX-7	0 - 10 cm	2,18 gr	(44,5%)	1,95 gr	(39,8%)
	20 - 30 cm	2,89	(47,0%)	2,78	(44,0%)
	40 - 50 cm	1,14	(31,2%)	2,02	(55,0%)
	60 - 70 cm	7,28	(52,5%)	6,59	(47,5%)
	80 - 90 cm	3,91	(62,0%)	2,39	(38,0%)
	90 - 100 cm	2,45	(40,2%)	3,22	(53,0%)

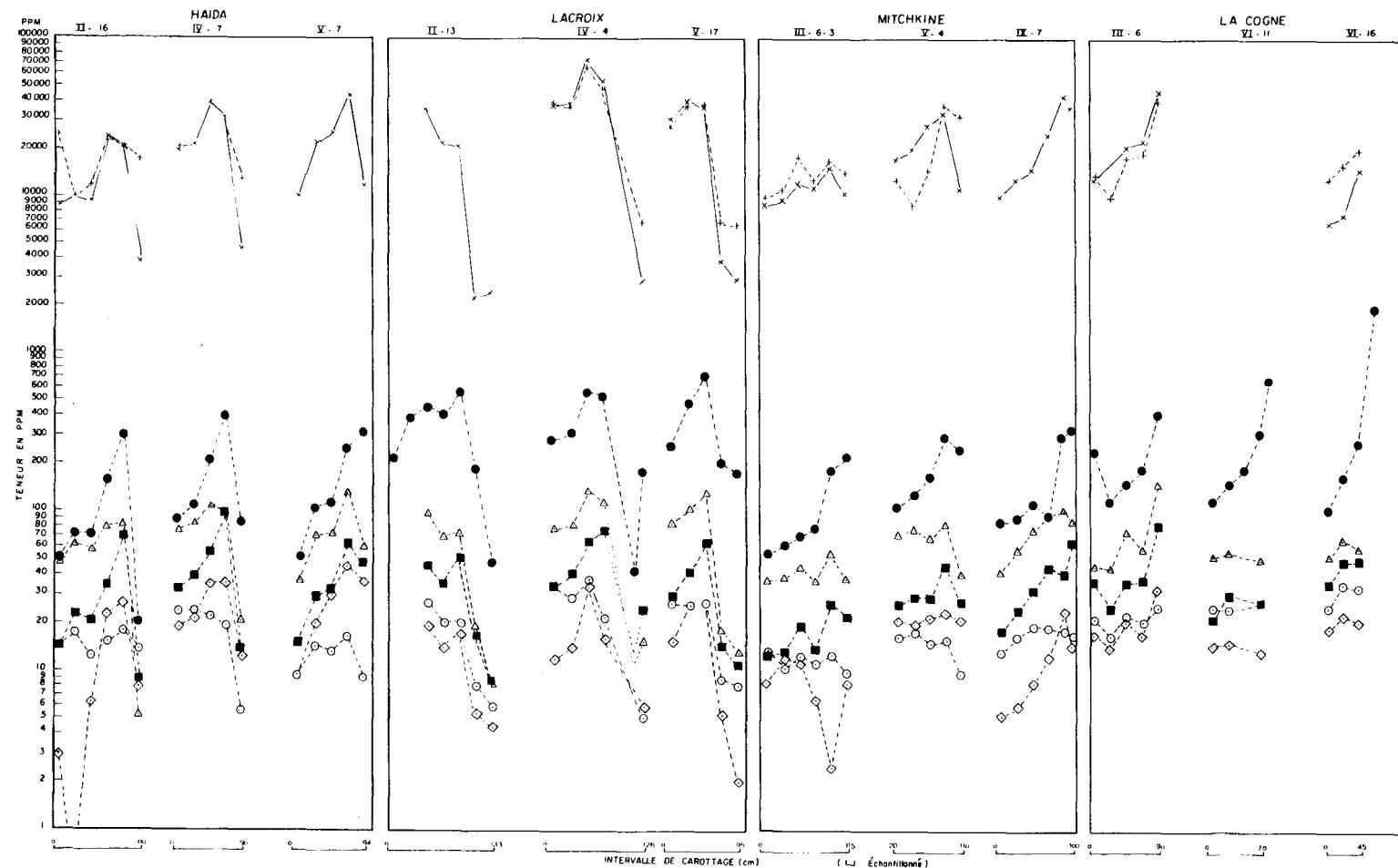


Figure 25

Au tableau IV a, dans le coin nord-est du tableau, nous présentons les coefficients de corrélation des éléments traces entre eux et versus la proportion d'organique et la profondeur de l'échantillon dans la couverture de sédiment organique. L'ordre de corrélation en fonction de la profondeur est Cu (0,4919), Fe (0,3327), Zn (0,3391), U (0,2769) et Mn (0,2049). La matière organique (-0,2980) et Pb (-0,2154) montrent une décroissance en fonction de la profondeur. Le nickel a été éliminé du tableau car ses variations de teneur qui atteignent fréquemment la limite de détection, sont pratiquement non significatives.

Nous tenons à souligner une certaine réserve face à cet ordre de corrélation voire d'enrichissement en fonction de la profondeur. Cet ordre semble fortement influencé par les variations latérales de la teneur en éléments traces. Ce sont les éléments qui ont les teneurs de fond régional les plus faibles, d'où de faibles variations latérales, qui ont les meilleurs coefficients de corrélation.

Nous avons tenté d'éliminer cette influence en considérant un pourcentage d'enrichissement des éléments traces comme facteur de corrélation. Le pourcentage d'enrichissement était ainsi calculé:

$$\%: \frac{\text{teneur à la profondeur (x)} - \text{teneur dans les 10 premiers cm}}{\text{teneur dans les 10 premiers cm}}$$

Nous avons uniquement considéré les teneurs dans le sédiment organique, c'est-à-dire les échantillons qui contiennent au moins 10% de matière organique. Les corrélations obtenues avec ces nouveaux facteurs sont présentées dans le coin sud-ouest du tableau IV a. Le nouvel ordre

	Prof	U	Mat org	Mn	Fe sol	Cu	Pb	Zn
Prof	1	0,2769	0,2980	0,2049	0,3327	0,4919	0,2154	0,3391
U	0,6591	1	0,3000	0,7175	0,6735	0,7007	0,5316	0,6452
Mat org	0,1748	0,2057	1	0,3208	0,4391	0,4847	0,7916	0,6086
Mn	0,4513	0,5403	0,5897	1	0,8855	0,5336	0,6387	0,7101
Fe sol	0,4893	0,3595	0,3881	0,7054	1	0,7229	0,4685	0,8532
Cu	0,5495	0,8488	0,3769	0,6690	0,5748	1	0,5418	0,8393
Pb	0,1082	0,1904	0,7495	0,5296	0,5454	0,3989	1	0,5372
Zn	0,3266	0,3632	0,6148	0,7031	0,8620	0,6462	0,6575	1

: Valeur négative

Tableau IV a: Tableau de corrélation des éléments traces, de la matière organique et de la profondeur

	Prof	Al	Mg	Fe total	Ca	K	Na
Prof	1	0,1471	0,3036	0,1929	0,1976	0,2344	0,1948
Al		1	0,7923	0,0945	0,6542	0,8868	0,8804
Mg			1	0,3350	0,0068	0,9096	0,8285
Fe total				1	0,1652	0,4520	0,4634
Ca					1	0,8671	0,2251
K						1	0,9797
Na							1

Tableau IV b: Tableau de corrélation des éléments majeurs et de la profondeur

de corrélation est U (0,6591), Cu (0,5495), Fe (0,4893), Mn (0,4513) et Zn (0,3266).

Les corrélations négatives de la matière organique et du plomb versus la profondeur semblent justifiées par la forte corrélation qui existe entre ceux-ci (0,7495). Les teneurs de ces deux éléments s'appauvrissement de l'interface eau-sédiment vers la base de la carotte. La plus faible corrélation avec la matière organique est celle de l'uranium (0,2057). Nous avons en effet noté sur les profils de distribution des teneurs que la proportion de matériel organique n'influence les teneurs en uranium que si elle est inférieure à 10%. Dans le cas du fer et du manganèse, ce contrôle s'amorce à moins de 15% de matériel organique.

Les associations d'éléments soulignées par les coefficients de corrélation sont: Fe-Zn (0,8620), U-Cu (0,8488), Fe-Mn (0,7054), Mn-Zn (0,7031).

Les variations de teneurs des éléments majeurs en fonction de la profondeur sont peu significatives. Les profils de distribution présentés à la figure 26 montrent généralement une constance de la composition dans le sédiment organique et un enrichissement notable pour Al, Mg, Ca, K, Na lorsqu'on atteint le sédiment inorganique. On note une exception à cet enrichissement dans le sédiment inorganique, c'est le cas de la carotte Haïda II-16. La description du sédiment ne justifie pas de comportement exceptionnel. Une étude minéralogique du sédiment serait nécessaire pour expliquer cette particularité. Une autre anomalie de comportement est l'abondance de fer dans le sédiment organique des lacs Lacroix et Haïda

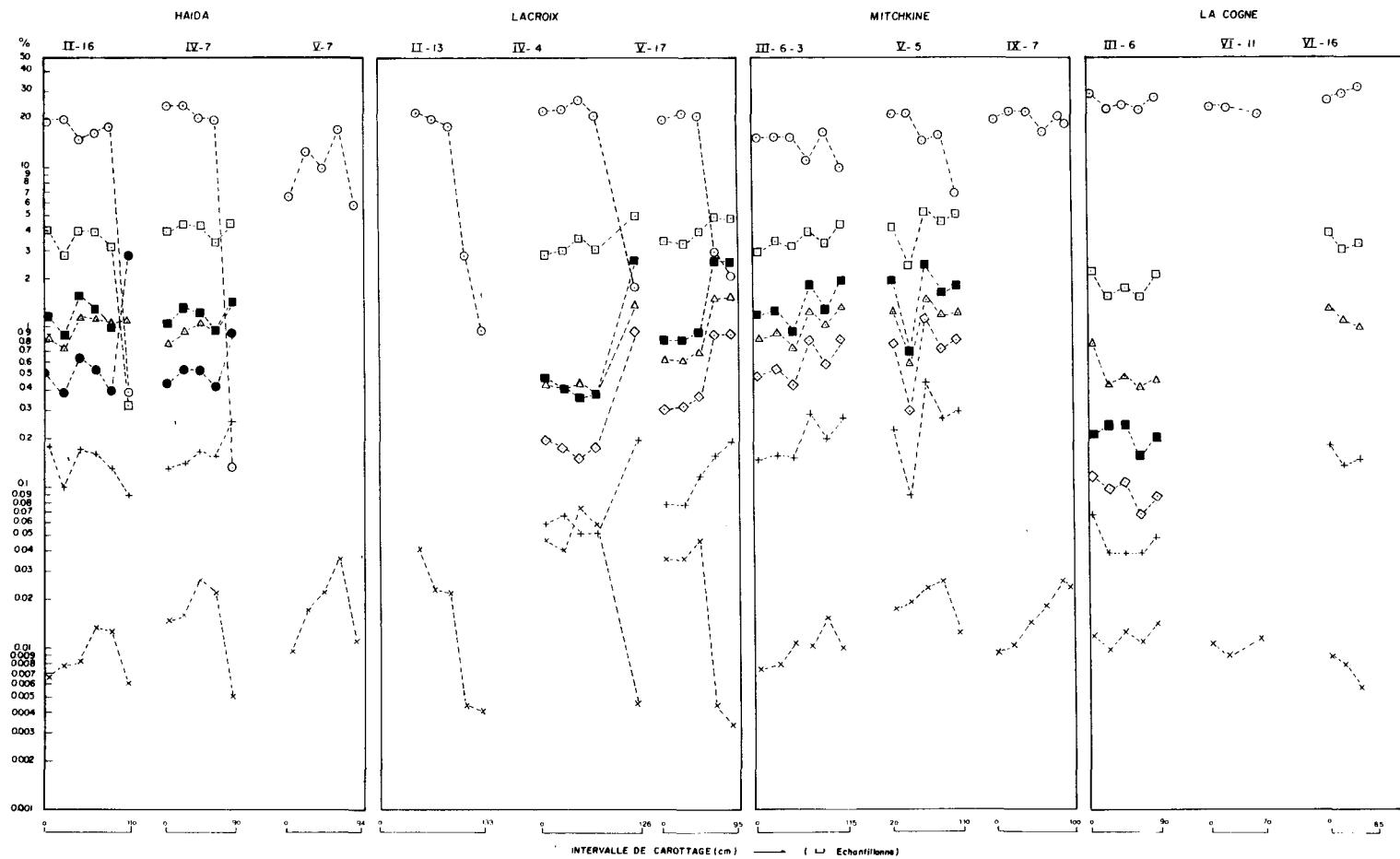


Figure 26

LÉGENDE

- Aluminium
- △ Calcium
- Sodium
- ◊ Potassium
- +
- x Manganese
- Perte de feu

Échelle horizontale: 10 cm / division
(profondeur sous l'interface sédimentaire)

Échelle verticale logarithmique
(renière en ppm, 10 g/g, dans le sédiment sec)

relativement au sédiment inorganique.

Le contraste des compositions du sédiment organique versus le sédiment inorganique est présenté dans les tableaux Va et Vb.

La composition particulière de l'environnement géologique du lac Mitchkine est représentée par une plus grande abondance de fer dans le sédiment inorganique. On a déjà mentionné dans la section II.2.1, la présence de granite à hornblende et de granite à biotite dans ce secteur. Les unités dominantes au lac Lacroix et au lac Haïda sont des pegmatites potassiques injectées dans une tonalite. La plus forte proportion de Fe et Mg au lac Haïda provient probablement de l'érosion de la bande volcanosédimentaire qui affleure au nord du lac Haïda.

L'accroissement important en fer du sédiment organique du lac Lacroix est lié probablement au caractère nettement réducteur de son sédiment. Au lac Haïda, si l'on observe les profils de distribution, cet accroissement est moins constant et moins marqué. Cette capacité "temporaire" de concentrer les éléments traces peut expliquer certaines anomalies isolées spatialement de toute source évidente. On peut citer par exemple l'anomalie d'uranium située au site III-4. On réfère ici à la distribution latérale de la section II.3.3.

Les associations d'éléments soulignées dans le tableau de corrélation IVb sont: K-Na (0,9797), K-Mg (0,9096), K-Al (0,8868), Na-Al (0,8804), Na-Mg (0,8285), Mg-Al (0,7923). On note aussi la faible corrélation des concentrations des éléments majeurs avec la profondeur.

TABLEAU V a : Concentration des éléments majeurs dans le sédiment inorganique

	%	Al	Mg	Fe	Ca	K	Na
Lacroix		5,0	0,19	0,70	1,50	0,94	2,67
A La Cogne		----	AUCUNE	DONNEE	----		
Haïda		4,5	0,26	1,30	1,46	0,93	2,43
Mitchkine		5,10	0,30	3,30	1,21	0,84	1,82

A cause de son caractère particulier, la carotte Haïda II-16 a été éliminée du calcul de ces tableaux

TABLEAU V b : Concentration des éléments majeurs dans le sédiment organique

	%	Al	Mg	Fe	Ca	K	Na
Lacroix		3,40	0,07	4,28	0,52	0,49	0,62
A La Cogne		2,50	0,09	1,88	0,77	0,22	0,59
Haïda		4,02	0,28	2,80	0,94	0,48	1,16
Mitchkine		3,82	0,23	1,61	1,08	0,67	1,50

II.4.4 Distribution verticale des éléments majeurs dans l'eau interstitielle

L'extraction de l'eau interstitielle du sédiment a été pratiquée sur 9 carottes qui avaient été prélevées pour cet usage exclusif. Cette opération a été effectuée quatre mois après l'échantillonnage des lacs. Pendant cette période, les carottes, scellées sur le terrain, ont été entreposées à la température de la pièce jusqu'au moment de l'extraction.

Les auteurs diffèrent quant aux conditions d'entreposage des carottes nécessaires au maintien de la composition originale de l'eau interstitielle. Bischoff et al (1970) soutiennent que la conservation à la température de la pièce produit un enrichissement en potassium et en chlore et une perte de calcium et de magnésium de l'eau interstitielle. Ces auteurs favorisent une conservation à 0 C. Brunskill et al (1971) prétendent pour leur part que c'est plutôt la congélation qui altère la composition de l'eau interstitielle. Récemment, Matisoff et al (1981) ont observé les variations de composition de l'eau interstitielle d'un sédiment entreposé pendant 200 jours à une température variant de 5 à 10 C. Ces auteurs notent un accroissement des teneurs de Mn, Ca, Fe, Mg. Cet enrichissement est logarithmique et décroît avec la profondeur de l'échantillon dans la carotte.

Dans le cas de notre recherche, les résultats d'analyse obtenus se situent à la limite de détection de l'analyse par absorption atomique. Les variations des teneurs originales ou dues à l'entreposage sont de trop faible amplitude pour être significatives. Ces résultats sont présentés au tableau VI.

TABLEAU VI: Analyse de certains éléments majeurs contenus dans l'eau interstitielle.

		Ca	Na	K	Mn
HAIDA XV-7	0-20	3,2	0,5	0,4	0,2
	20-40	1,6	0,5	0,3	0,2
	40-60	1,1	0,4	0,4	0,2
	60-80	3,7	0,7	0,6	0,6
HAIDA II-5	0-20	3,0	0,7	0,4	0,2
	20-40	1,7	1,1	0,6	0,3
	40-60	2,4	1,3	0,9	0,1
	60-80	7,2	2,8	1,7	0,1
HAIDA VII-6	0-25	21,7	1,2	2,0	0,3
	25-40	26,5	0,9	1,6	5,5
	40-69	41	2,1	3,5	1,7
	69-74	40	3,0	6	1,7
MITCHKINE V-10	0-20	0,6	0,7	0,3	0,2
	20-40	0,3	0,7	0,3	0,1
	55-64	0,7	0,6	0,5	0,3
MITCHKINE III-c-8	20-48	0,1	0,4	0,3	0,1
	66-91	0,2	0,4	0,3	0,1
	91-107	0,2	0,4	0,4	0,1
	107-127	0,4	0,6	0,5	0,1
LACROIX V-3	0-20	21,7	1,4	1,2	9
	20-40	34,5	1,3	1,3	25
	40-60	33,5	1,4	1,6	25
	60-68	31,5	2,1	3,0	30
	68-88	19,1	4	6	35
LACROIX VI-13	0-20	7,6	0,7	0,6	2,0
	20-40	7,8	1,2	0,8	2,2
	40-60	4,5	0,8	0,4	1,2
	78-98	4,3	0,8	0,5	0,8
LACROIX IV-10	0-20	1,3	0,1	0,2	0,6
	20-40	0,5	0,4	0,3	0,4
	40-60	0,6	0,5	0,7	0,4
SOURCE ZITA	13-24				
	93-114	0,7	1,5	0,8	
	114-130	1,1	0,55	1,0	

L'observation la plus évidente est l'appauprissement certain de l'eau interstitielle du sédiment du lac Mitchkine relativement aux autres lacs.

A l'exception de ce lac, où l'on note forcément une constance des valeurs, on remarque une variation importante des teneurs entre les carottes d'un même lac.

L'eau interstitielle extraite de la carotte Lacroix V-3 possède les plus importantes variations de teneur. Dans le cas du calcium, les teneurs sont relativement stables avec un appauvrissement brusque à la base. Ce dernier échantillon a été extrait d'un sédiment organique qui contenait un horizon de sable et de gravier. Le sédiment des échantillons précédents était de composition homogène et organique. Dans le cas du Na, K et Mn, l'enrichissement est progressif de l'interface eau-sédiment vers la base de la carotte.

III. DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

III.1 Contrôles physico-chimiques de la mobilité de l'uranium

La mobilité de l'uranium, d'où son degré de dispersion à partir d'une région source, est déterminée par trois importants facteurs physico-chimiques. Ce sont: les variations des conditions Eh-pH du milieu, la présence d'agents d'origine organique et inorganique capables de former des complexes avec les ions uranifères et enfin, la présence de matériel adsorbant tels la matière organique, les argiles et les oxyhydroxydes de fer et de manganèse. Pour différents auteurs dont Langmuir (1978), Coker et al (1979), Timperley et Allan (1974), dans un environnement où les conditions physiques sont favorables, la présence d'agents adsorbants est le facteur déterminant.

Les conditions Eh-pH qui limitent la mobilité de l'uranium sont présentées en figure 27. Sous une pression de CO₂ équivalente à la pression atmosphérique, l'uraninite est très peu soluble en milieu réducteur. Sous des conditions oxydantes, à l'extérieur du champs de pH 5 à 7, où la rutherfordine précipite, l'uraninite est soluble sous forme de complexes uranyl hexavalents UO₂⁺², UO₂(CO₃)₂⁻², UO₂(CO₃)₃⁻⁴. Sous des conditions naturelles, telles que celles qui prévalent dans les eaux de ruissellement de surface, les eaux souterraines et les eaux interstitielles, cette solubilité théorique de l'uranium peut être fortement accrue par la formation de complexes inorganiques tels les fluorures, les phosphates, les sulfates et les carbonates. (Bloomfield et Kelso, 1973), (Langmuir, 1978). La formation de ces complexes est limitée par le pH (Langmuir, 1978). Sous des conditions de pH < 5, UO₂⁺² complexe fluoré et UO₂⁺² dominent. Pour

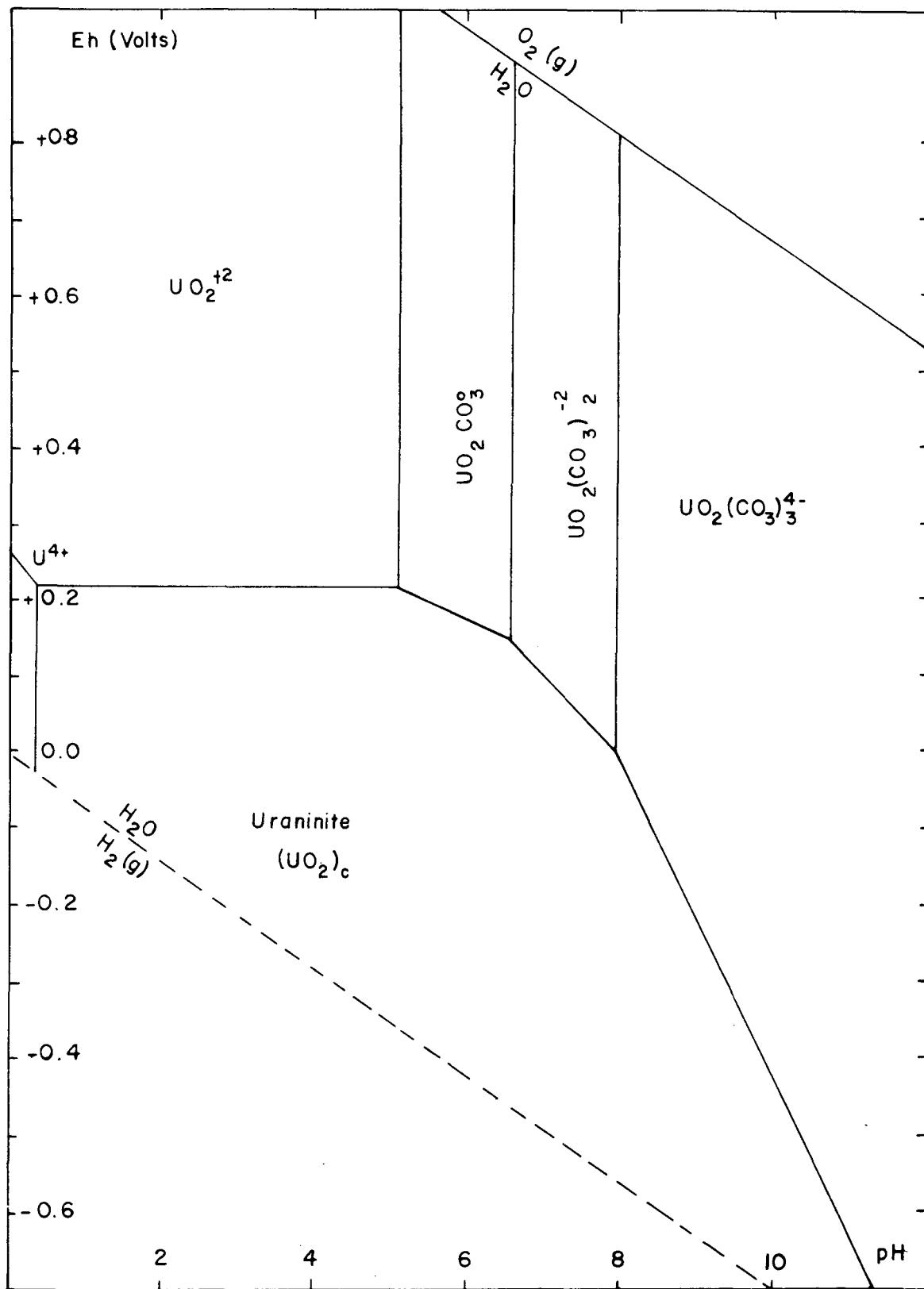


Figure 27: Conditions Eh-pH théoriques qui limitent la mobilité de l'uranium d'après Langmuir (1978)

des conditions intermédiaires $4 < \text{pH} < 7,5$, $\text{UO}_2(\text{HPO}_4)_2 - 2$ est l'espèce ionique importante. Pour des conditions de $\text{pH} > 7,5$, les complexes carbonatés dominent.

Dans un environnement naturel, la présence de matériel organique, qui peut agir comme élément complexant accroît aussi fortement la solubilité de l'uranium.

Les principaux complexes (organique-uranium) en solution, sont formés par l'association de l'uranium aux acides humiques et fulviques de la matière organique. Cette association se fait par un processus d'échange d'ions ou par chélation (Jackson et al, 1978). Ces acides organiques sont dérivés de la décomposition du matériel biogénique (végétaux et organismes aquatiques) et de l'érosion et du lessivage des sols (Coker et al, 1979). Les acides fulviques sont solubles dans les solutions acides et basiques. En solution, ces composés organiques se comportent comme des ions chargés négativement. La neutralisation de cette charge par des cations ou par adsorption conduit à la floculation de ces acides et subséquemment à la co-précipitation de ces métaux. Les acides humiques et fulviques sont sélectifs relativement aux cations auxquels ils s'associent. Face à des ions compétiteurs tels le Cu^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} , Pb^{+2} , Cd^{+2} , Mn^{+2} , Ca^{+2} , H^+ , Co^{+2} , l'uranium sous forme de UO_2^{+2} est généralement préféré (Halbach et al, 1980), (Jackson et Jonasson, 1977), (Disnar, 1981).

La stabilité des complexes organiques formés s'accroît avec le pH et la concentration du carbone organique de la solution (Jackson et al, 1978). Les complexes organique-uranium forment des composés très stables qui

ont une grande dispersion. On observe ainsi fréquemment dans le cas de l'uranium un décalage entre les concentrations anomalies de l'uranium dans l'eau et dans les sédiments des lacs (Jonasson, 1976).

L'uranium d'abord mobilisé sous forme ionique ou sous forme de complexes organiques ou inorganiques peut de plus être adsorbé à la surface de particules organiques et inorganiques en suspension. Le matériel organique en suspension est composé de débris végétaux, de détritus d'animaux dérivés de la zone littorale et de plancton vivant ou mort. Le matériel inorganique en suspension est composé de silicates de la granulométrie des silts et des argiles possédant fréquemment un revêtement de matériel organique ou d'oxyhydroxydes de Fe ou Mn. L'échange d'ions avec les argiles est considéré négligeable dans un environnement riche en matériel organique ou en oxyhydroxyde.

La capacité d'adsorption de ces matériaux est maximale dans le champ de solubilité minimum de l'uranium (Dement'yev et Syromyatnikov, 1968). Elle peut par contre être réduite par la présence des ions H^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ (Lopatkina, 1967). Lorsque les complexes uranyl sont adsorbés, ils peuvent être réduits en U^{+4} de l'uraninite et de la coffinité par des agents réducteurs tels H_2S , CH_4 ou par l'agent d'adsorption lui-même si c'est un matériel organique. Si la réduction ne suit pas l'adsorption, les complexes uranyl peuvent être libérés par un accroissement de l'alcalinité à pH constant ou par une augmentation du pH.

III.2 Modèle théorique de l'accumulation et de la concentration des éléments traces dans les sédiments de lacs

Dans cette section, nous exposons un modèle théorique du transport, de l'accumulation et enfin de la diagénèse des éléments traces dans les sédiments de lac. Celui-ci est schématisé en figure 28. Il est largement inspiré des travaux de Timperley et Allan (1974).

Les éléments traces sont d'abord mobilisés sous forme ionique simple ou complexe en solution. Les éléments ainsi libérés sont adsorbés à la surface de matériel organique en suspension ou à la surface de silicates recouverts d'oxyhydroxydes de Fe et Mn ou d'acides organiques. Le transport par adsorption à des particules en suspension est le mode de transport majeur dans les eaux de ruissellement de surface. Dans les eaux souterraines, les espèces ioniques peuvent demeurer plus longtemps en solution.

En surface, au terme de leur transport, les particules les plus grossières sont déposées dès leur entrée dans le lac. Si le milieu de déposition est oxydant, les métaux adsorbés par un recouvrement d'oxyhydroxydes de Fe et/ou Mn sont retenus prisonniers et la fraction détritique grossière demeure enrichie en éléments traces. Plus fréquemment, ce milieu est réducteur et les éléments traces sont libérés, possiblement dispersés de leur milieu de déposition originel et ultimement précipités comme organo-complexes ou sulfures.

Les fines particules de composition organique et inorganique en suspension sont généralement déposées dans les niveaux profonds et calmes du lac. Dans ce milieu, la consommation d'oxygène par les réactions

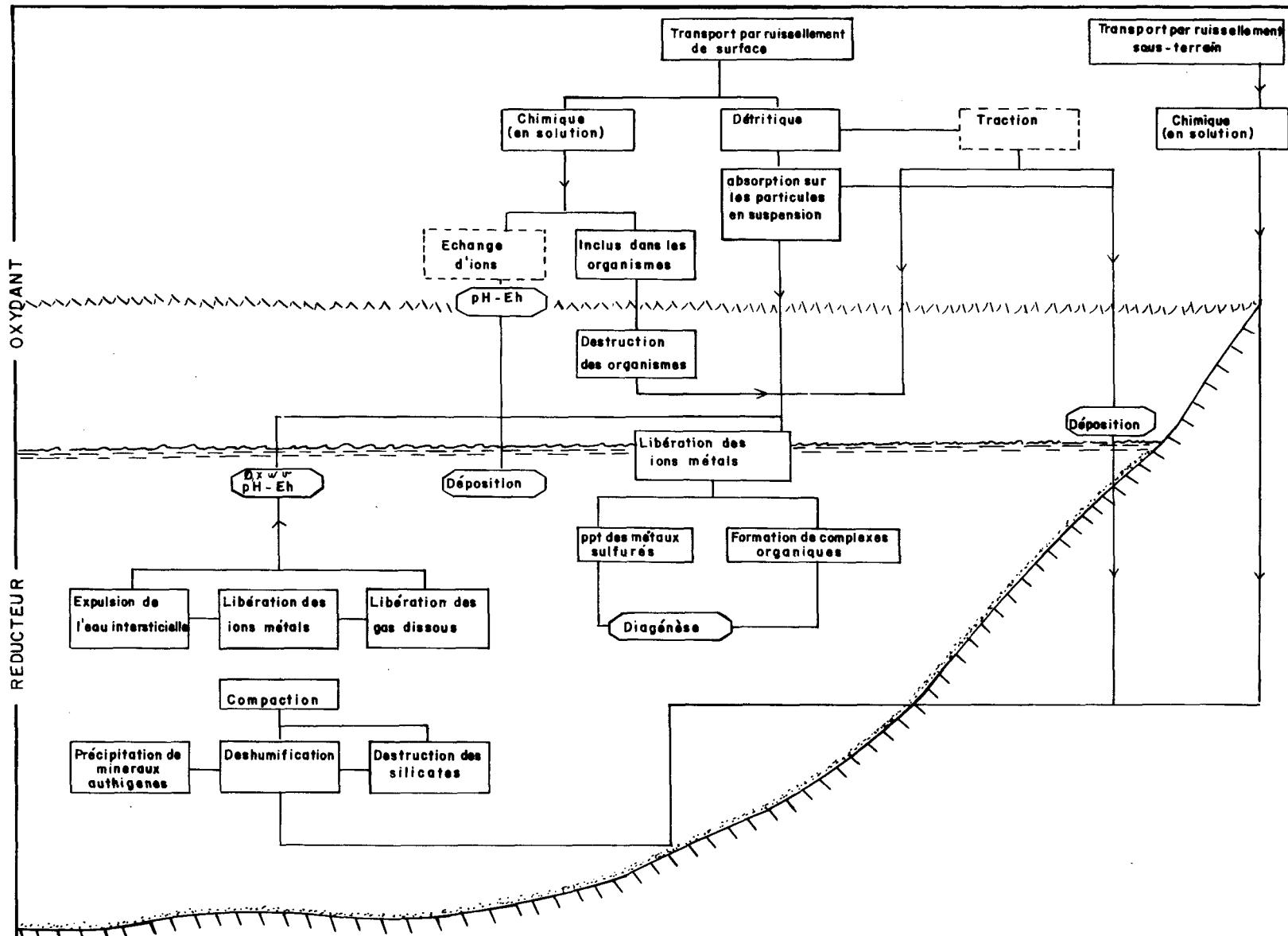


Figure 28 : Schéma du modèle théorique du transport et de l'accumulation des éléments traces dans le sédiment lacustre

chimiques (i.e. oxydation de Fe^{+2} Fe^{+3} , S^{-2} SO_4^{-2} et biochimique excède largement la diffusion de l'oxygène dissous de l'eau de surface vers les sédiments. La résultante est un environnement nettement réducteur favorable à l'accumulation des éléments traces adsorbés par du matériel organique. Par contre, les éléments traces adsorbés par les oxyhydroxydes de Fe et Mn sont rapidement libérés. Ces ions métals et ceux transportés sous forme ionique en solution sont assimilés par le plancton. Lorsque ce plancton meurt et se décompose, les ions métals sont de nouveaux libérés. Ils s'associent alors aux acides humiques et fulviques avec lesquels ils co-précipitent, ou précipitent sous forme de sulfures.

Le Fe et Mn ne forment pas des complexes organiques solides. Ils sont rapidement hydrolysés, précipités et accumulés dans les horizons de sulfures. Le Zn et Pb forment des complexes organiques stables et insolubles fixés par les sulfures. Le Cu, Ni et U forment des complexes organiques stables et solubles. Ces complexes sont déposés par des mécanismes de co-précipitation-adsorption. Le Cu et le Ni sont fixés par les sulfures. L'uranium est réduit à une espèce immobile. (Jonasson, 1976).

Ce processus d'accumulation des éléments traces est très efficace. Szalay (1964) cite un facteur d'enrichissement de 10,000x entre l'ion UO_2^{+2} contenu dans le sédiment versus UO_2^{+2} contenu dans l'eau. De façon plus générale, Coker (1975) mentionne que la concentration des éléments traces dans le sédiment est de plusieurs ordres de magnitude plus grande que dans l'eau des lacs.

Dans le cas du ruissellement souterrain, les espèces ioniques transportées en solution sont rapidement immobilisées par adsorption à leurs premiers contacts avec du matériel organique. Dans le cas spécifique de l'uranium, le ruissellement souterrain peut être un important facteur dans la dispersion de l'uranium. Langmuir (1978) note un accroissement de plus de 1 000 fois de la solubilité de l'uraninite en faisant varier la pression de CO₂ de 10^{-3.5} à 10⁻² atmosphère. Cette variation correspond au passage d'un ruissellement en surface à un ruissellement souterrain.

D'après les travaux de Tenhola (1976), Arnold (1970) et Schmidt (1956), la distribution des éléments traces dans les 20 à 30 centimètres de sédiment sous l'interface eau-sédiment est relativement constante ou du moins, sans patron défini. Les éléments traces considérés ont été suivant l'ordre de citation des auteurs (Li, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Nz), U, (Cu, Zn). Arnold (1970) explique l'uniformité de la distribution observée par un apport constant provenant d'un indice minéralisé situé à proximité du site échantillonné.

Forstner (1981) obtient des résultats similaires pour des sections de 1 à 2,6 mètres sous l'interface eau-sédiment. Dans l'échantillonnage d'une section longue de 290 mètres d'un lac fossile, cette constance n'est que localement interrompue par un accroissement majeur des valeurs dans un horizon de composition détritique situé près de la base. En deux localités, il a aussi noté un accroissement important du Mn et du Cr près du sommet.

D'après les travaux expérimentaux de Cline et Upchurch (1973), l'action unique des mécanismes de la diagénèse devrait produire un accroissement de la concentration des éléments traces vers l'interface eau-sédiment. Ces auteurs ont obtenu une augmentation de 30% de la concentration de Cu +2 au sommet d'une carotte de sédiment et un appauvrissement correspondant vers la base de la carotte. Cette migration des éléments à partir d'un sédiment homogène s'est effectuée pendant 3 mois. D'après les auteurs, la migration vers la surface est activée par la libération des gaz formés par la décomposition de la matière organique et par l'expulsion de l'eau interstitielle due à la compaction du sédiment.

Concernant l'eau interstitielle contenue dans le sédiment, Emerson (1976), rapporte une augmentation du Cl et du Na du sommet vers la base de la carotte. Le CaCO₃, le Mg et le Ca ont un patron de distribution très variable. Forstner (1981) n'a trouvé aucun patron de distribution pour le Cu, Zn, Mn, Fe dans l'eau interstitielle du sédiment du lac Malawi (300 mètres de profond). Berner (1976) mentionne un accroissement de la concentration des éléments dissous avec la profondeur de la carotte.

Des maigres travaux cités, on peut retenir que les processus de la diagénèse, si l'on suppose un apport constant de la source au cours de la déposition du sédiment, devrait produire un enrichissement vers l'interface eau-sédiment. Cette migration des éléments dissous vers la surface est toutefois contrôlée par la porosité du sédiment, le taux d'enfouissement de ce sédiment et la proportion d'eau interstitielle qu'il contient. De plus, ce fragile mécanisme est sensible à toutes les influences extérieures telles l'action des organismes fouisseurs ou encore l'infiltration d'eau souterraine

dans le sédiment qui peuvent modifier totalement les conditions d'oxydo-réduction.

Nous croyons que dans un cadre naturel, les influences particulières à chaque milieu de sédimentation doivent largement excéder les facteurs d'enrichissement ou d'homogénéisation liés exclusivement à la diagénèse.

III.3 Intégration des résultats au modèle théorique proposé

La dispersion de l'uranium dans les lacs de plus grande dimension tels les lacs Haïda et Mitchkine est principalement contrôlée par la granulométrie du sédiment. On note en effet que les classes supérieures des teneurs analysées sont concentrées dans les zones centrales, profondes et calmes où se dépose le sédiment de granulométrie plus fine. Cette relation est liée au fait que les particules les plus fines ont proportionnellement, au volume qu'elles occupent, une plus grande surface d'adsorption d'où une plus grande capacité de concentrer les éléments traces (Lerman, 1978). Cette corrélation avec la granulométrie implique une dominante du transport par ruissellement en surface plutôt que souterrain. Ces deux lacs ont effectivement un réseau hydrographique relativement bien développé.

Au lac Haïda, l'enrichissement en uranium a été associé à la forte proportion de pegmatites enrichies en uranium qui affleurent à proximité des rives de ce lac. L'analyse de 150 échantillons de ces pegmatites répartis en deux sections situées aux extrémités nord-est et sud-ouest de la rive nord du lac a produit des teneurs moyennes de 56 et 31 ppm. La teneur moyenne du sédiment est de 63 ppm. Sans accorder un fort pouvoir

de concentration au sédiment, ces pegmatites sont des sources plausibles.

Au lac Mitchkine, aucune information dérivée de l'environnement physique ne peut expliquer les concentrations anomales relevées dans ce lac. Nous soupçonnons que la forte proportion d'argile minéralogique contenue dans le sédiment de ce lac augmente de façon notable la capacité d'adsorption de ce sédiment. Une extraction partielle de l'uranium contenu dans les divers composés qui forment le sédiment serait nécessaire pour vérifier cette hypothèse.

La dispersion de l'uranium dans lacs A La Cogne et Lacroix reflète des conditions de sédimentation plus particulières.

Dans le cas du lac Lacroix, nous avons déjà mentionné le caractère directionnel de l'approvisionnement en uranium et ainsi du patron de dispersion latérale.

L'approvisionnement principal provient d'une source d'eau enrichie en uranium située environ à 200 mètres de la rive nord-ouest du lac. Cette source s'écoule dans le lac par un ruisseau dont le sédiment bien que de teneur inférieure au sédiment de la source est encore de teneur fortement anomale. Les informations acquises sur cette source sont présentées en figure 7.

L'eau qui s'écoule de cette source est très froide de 2 à 3° C au point de sortie de l'eau. Ce milieu est peu favorable à la vie aquatique et à l'accumulation de sédiment organique. Les complexes uranyl UO₂ +2 et les complexes uranyl carbonates qui s'écoulent de la source atteignent vraisemblablement le lac Lacroix sous forme ionique. A leur entrée dans le

lac, ils sont rapidement adsorbés par les complexes organiques avec lesquels ils co-précipitent.

Le caractère directionnel de la dispersion latérale permet de supposer que le sédiment du lac Lacroix a une forte capacité d'adsorption.

Au lac A la Cogne, une forte proportion de l'uranium dérivé du lac Lacroix est transportée par adsorption à la surface de particules en suspension. Cet uranium a été concentré dans la partie centrale du lac. Les teneurs maximales sont toutefois associées à un sédiment relativement grossier (sable fin) qui contient des oxyhydroxydes de Fe et possiblement de Mn. Une concentration de ces valeurs est située à l'embouchure de l'affluent principal en provenance du lac Lacroix.

D'après le tableau de composition Vb, on rappellera que le sédiment organique du lac Lacroix est fortement enrichi en Fe: 4,28% versus 0,7% dans le sédiment inorganique. Parallèlement, en figure 26, on note que la concentration du Mn dans le lac Lacroix est nettement supérieure à celle des autres lacs. Cet apport supplémentaire est probablement dérivé de la source Zita. Le sédiment organique du lac A La Cogne ne possède pas de teneur comparable. Le fer et la manganèse libérés du lac Lacroix sont probablement en forte proportion oxydés et précipités dans le ruisseau turbulent qui joint ces deux lacs. Les oxyhydroxydes de Fe et Mn qui s'accollent aux particules détritiques entraînées dans ce ruisseau sont déposés près de l'embouchure de l'affluent. Le courant actif de cet environnement produit un milieu de sédimentation oxydant qui maintient les éléments traces prisonniers des oxyhydroxydes.

Concernant la remobilisation des éléments traces dans la colonne de sédiment après leur déposition, le profil de distribution que nous obtenons est contraire au modèle proposé. On notera toutefois que dans ce dernier cas, on suppose un apport constant de la source et un même type de sédimentation pour la période étudiée.

Dans le cas des sédiments lacustres des lacs Lacroix, A la Cogne, Haïda ou Mitchkine, le profil de distribution des éléments traces représente l'évolution d'un transport par traction à la base de la couche sédimentaire brusquement remplacé par un transport de type hydromorphique (matériel en solution et en suspension).

Le sédiment détritique correspond à la fin de la glaciation. A cette époque, les conditions de lessivage et d'érosion des roches peu altérées d'où enrichies en éléments traces devaient être optimales. La déposition de ce matériel se faisait sous conditions oxydantes et les particules fines et grossières devaient conserver les éléments traces qu'elles avaient adsorbés à leur surface.

On observe toutefois présentement que ce sédiment glaciaire est de teinte grisâtre et de toute évidence de caractère réducteur plutôt qu'oxydant du moins dans les quelques 10 centimètres sous la couche de sédiment organique que notre carottier nous permettait d'échantillonner.

Les horizons perméables que forment ces horizons sablonneux et silteux inorganique sont des aquifères désignés. Nous supposons que c'est l'action de lessivage des eaux souterraines qui a libéré les éléments traces accumulés dans ces horizons détritiques. Les éléments libérés ont migrés

vers la surface et ont été fixés par la première couche de sédiment réducteur rencontrée. On notera qu'à la base du sédiment organique, la teneur des éléments traces est étroitement liée à la proportion de matériel organique. L'excédent, non fixé, a migré vers les niveaux supérieurs jusqu'à épuisement de cette source *in situ* d'éléments traces. Parallèlement à cette décroissance de la source *in situ*, il y a eu épuisement des sources externes d'uranium. De plus, avec le développement de la végétation et des sols, le lessivage de la roche en place est devenu de moins en moins efficace.

Dans la tourbière qui entoure la source Zita, tel qu'illustre en figure 7, nous observons des profils où l'uranium est concentré près de la surface. Une carotte prélevée dans la source a aussi montré ce profil inverse à ceux obtenus dans les lacs. Les teneurs analysées étaient de 0-10 centimètres de l'interface eau-sédiment: 3 700 ppm, 12-20 centimètres: 1 940 ppm, 20-30 centimètres: 1 190 ppm, 30-40 centimètres: 1 200 ppm. Dans le ruissellement souterrain, le transport de l'uranium est sous forme ionique, principalement sous forme de complexes carbonatés (Halbach et al, 1980). L'eau souterraine qui percole dans le sol et dans le sédiment a ainsi une concentration d'uranium déterminée par la pression de CO₂ (Langmuir, 1978). Dans le sédiment de la source, dénué d'agents adsorbants, l'uranium se concentre au point de chute de la pression de CO₂ soit près de l'interface eau-sédiment. Dans la tourbière, la concentration de l'uranium est contrôlée par deux paramètres: le pouvoir d'adsorption de la tourbe et la pression de CO₂. Les profils observés sont dus à leurs interactions parfois combinées.

IV.

CONCLUSIONS

1. Les profils de distribution verticale des éléments traces montrent un enrichissement important de l'interface eau-sédiment vers la base de la couche de sédiment organique.
2. Cette distribution est contrôlée par l'évolution sédimentologique de ces lacs.
3. Les fortes teneurs en uranium enregistrées au lac Haïda sont dues à la forte proportion d'affleurements de pegmatite potassique relativement enrichie en uranium qui affleurent sur la rive nord du lac.
4. Au lac Mitchkine, les fortes teneurs sont présumément dues à une plus grande capacité d'adsorption du sédiment qui contient une forte proportion d'argiles minéralogiques. Une étude par extraction partielle de l'uranium entre les différentes espèces minéralogiques et le matériel organique sera nécessaire pour vérifier cette hypothèse.
5. Au lac A La Cogne et au lac Lacroix, les teneurs exceptionnelles sont dues à l'influence d'une source d'eau fortement enrichie en uranium qui alimente le lac Lacroix et ainsi le lac A La Cogne.

Si l'on considère que le plupart des campagnes de géochimie de sédiment de lacs sont effectuées dans des environnements similaires à celui de notre étude, on devra maintenant considérer comme un nouveau paramètre d'interprétation des anomalies géochimiques, la position stratigraphique de l'échantillon. Le centre du lac est probablement le meilleur site d'échantillonnage pour s'assurer qu'on collecte le même horizon stratigraphique. En choisissant systématiquement ce site, les patrons d'anomalies risquent moins d'être influencés par les conditions physico-chimiques et physiographiques particulières à chaque lac.

REFERENCES

- ALLAN, R.J. 1971 Lake sediment: a medium for regional geochemical exploration of the Canadian Shield; *Can. Min. Metall. Bull.*, v. 64 (715), pp. 45-99.
- ALLAN, R.J., CAMERON, E.M. and DURHAM, C.C. 1973a Lake geochemistry - a low sample density technique for reconnaissance geochemical exploration and mapping of the Canadian Shield; in *Geochemical Exploration, 1972* (M.D. Jones, Ed.), *Inst. Min. Metall.*, pp. 131-160.
- ALLAN, R.J., CAMERON, E.M. and DURHAM, C.C. 1973b Reconnaissance geochemistry using lake sediments of a 36 000 square mile area of northwestern Canadian Shield; *Geol. Surv. Can.*, Paper 75-50, 70 p.
- ARNOLD, R.G. 1970 The concentrations of metals in lake waters and sediments of some Precambrian lakes in the Flin Flon and La Ronge areas; *Sask. Res. Council, Geol. Div.*, Circ. 4, 30 p.
- BAAS BECKING, L.G.M., KAPLAN, I.R., and MOORE, D. 1960 Limits of the natural environment in terms of pH and oxydation-reduction potentials; *J. Geol.*, V. 68, pp. 243-284.
- BERNER, R.A. 1976 Inclusion of adsorption in the modelling of early diagenesis; *Earth and Planetary Science Letters*, 29, pp. 333-340.
- BLOOMFIELD, C., Kelso, W.I. 1973 The mobilisation and fixation of MO and U by decomposing plant matter; *J. Soil Sci.*, no. 24, pp. 368-379.
- BONATTI, E., FISHER, D.E., JOENSUU, O., and RYDELL, H.S. 1971 Post depositionnal mobility of some transition elements, phosphorus, uranium and thorium in deep sea sediments; *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 35, pp. 189-201.
- BRUNSKILL, G.J., POVOLEDO D., GRAHAM, B.W. and STAINTON, W.P. 1971 Chemistry of surface sediments of sixteen lakes in the Experimental Lake area Northwestern Ontario; *J. Fish. Res. Bd. Can.*, V. 28 (2), pp. 277-294.
- CAMERON, E.M. and ALLAN, R.J. 1973 Distribution of uranium in the crust of the Northwestern Canadian Shield as shown by lake sediment analysis; *J. Geochem. Explor.*, V. 2 (2), pp. 237-250.
- CAMERON, E.M. and BALLANTYNE, S.S. 1977 Reconnaissance level geochemical and radiometric exploration data from the vicinity of the Rabbit Lake uranium deposit; *Can. Min. Metall. Bull.*, V. 70 (781), pp. 76-85.
- CANNULI, M. 1975 Géochimie de lacs, été 1975, novembre 1975; rapport interne S.D.B.J.
- CLINE, J.T. and UPCHURCH, S.B. 1973 Mode of heavy metal migration in the upper strata of lake sediments; In *Proc. 16th Conf. Great Lakes Res., 1973*, Int. Assoc. Great Lakes Res., pp. 349-356.

COKER, W.B. 1974 Lake sediment geochemistry in the Superior Province of the Canadian Shield, Unpublished Ph.D. thesis, Queen's University Kingston, 297 p.

COKER, W.B., HORNBROOK, E.H.W., CAMERON, E.M. 1979 Lake sediment geochemistry applied to mineral exploration; in *Geophysics and Geochemistry in the search for Metallic Ores*; Peter J. Hood editor; Geol. Surv. Can., Rep. 31, pp. 435-478.

COKER, W.B., DILABIO, R.N. 1979 Initial geochemical results and exploration significance of two uraniferous peat bog, Kasmere Lake Manitoba; Geol. Surv. Can., Paper 79-1B, pp. 199-206.

DEGENS, E.T., BROUSART G.V., WONG, H.K., KHOO, F. 1980 Environmental parameters responsible for the fixation of uranium in recent sediments: east area Bow Lake, Ontario, Canada; Mitt. Geol. Palaont. Inst., Univ. Hamburg, Heft 49, pp. 27-60.

DEMENT'YEV, V.S. and SYROMYATHIKOV, N.G. 1968 Conditions of formation of a sorption barrier to the migration of uranium in an oxidizing environment; *Geochem. Int.* 5, pp. 394-400.

DISNAR, J.R. 1981 Etude expérimentale de la fixation de métaux par un matériau sédimentaire actuel d'origine algaire II. Fixation in vitro de UO_2^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Pb^{+2} , Co^{+2} , Mn^{+2} , ainsi que VO_3^{-1} , MoO_4^{-2} et GeO_3^{-2} ; *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 45, pp. 369-379.

EMERSON, S. 1976 Early diagenesis in anaerobic lake sediments; chemical equilibria in interstitial waters; *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 40, pp. 925-934.

FORSTNER, U. 1981 Recent heavy-metal accumulation in limnic sediments; In *Handbook of Strata-Bound and Statiform Ore Deposits*, K.H. Woolf (Editor), V. 9, pp. 179-269.

GARRELS, R.M. and CHRIST, C.L. 1965 *Solutions, Minerals and Equilibria*; Harper and Row, New York, 450 p.

GARRETT, R.M. and HORNBROOK, E.H.W. 1976 The relationship between zinc and organic content in centre - lake bottom sediments; *J. Geochem. Explor.*, V. 5 (1), pp. 31-38.

GLEESON, C.F., 1975 Geochemical report on a lake sediment survey at Bereziuk lake Eastmain river and Rupert river areas, Que., juillet 1975, rapport du consultant à la S.D.B.J.

GUIMONT, J. et PICHETTE, M. 1977 Méthode de dosage d'éléments en traces dans les sédiments, les roches et les eaux; Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Centre de recherche Minérale, Direction analyse et contrôle a.c. 4.

HALBACH, P., VON BORSTEL, D., GUNDERMANN, K.D. 1980 The uptake of uranium by organic substances in a peat bog environment on a granitic bedrock; *Chem. Geol.*, V. 29, pp. 117-138.

HORNBROOK, E.H. and GLEESON, C.F. 1972 Regional geochemical lake bottom sediment and till sampling in the Timmins, Val d'Or region of Ontario and Quebec; *Geol. Surv. Can., O.F.R.* 112.

HORNBROOK, E.H. and GLEESON, C.F. 1973 Regional lake bottom sediment moving average residual anomaly maps in the Abitibi region of Ontario and Quebec; *Geol. Surv. Can., O.F.R.* 127.

JACKSON, K.S. and JONASSON, I.R. 1977 An overview of the problems of metals-sediment-water interactions in fluvial systems; In *Proc. Workshop, Fluvial transport of sediment Associated Nutrients and Contaminants*, Kitchener, Ont., Oct. 20-22 1976 (H. Shear and A.E.P. Watson, Editors), *Publ. Int. Joint. Comm., Windsor, Ont.*, pp. 255-271.

JAKSON, K.S., JONASSON, I.R. and SKIPPEN, G.B. 1978 The nature of metals-sediment-water interactions in freshwater bodies, with emphasis on the role of organic matter; *Earth Science Reviews*, 14, pp. 97-146.

JONASSON, K.S. 1976 Detailed hydrogeochemistry of two small lakes in the Grenville geological province; *Geol. Surv. Can., Paper 76-13*, 37 p.

LANGMUIR, D., 1978 Uranium solution mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits; *Geochim. Cosmochim. Acta* V. 42 (6), pp. 547-569.

LAROSE, P.Y. 1978 Vérification d'anomalies géochimiques, permis S.D.B.J. 3 (campagne 1977), février 1978; rapport interne S.D.B.J.

LERMAN, A. 1978 Lakes Chemistry, Geology, Physics; Springer-Verlag, New-York, 363 p.

LEVINSON, A.A. 1974 Introduction to exploration geochemistry; Applied Publishing Ltd., Calgary, Alta., Can., 612 p.

LIVINGSTONE, D.A. 1955 A lightweight piston sampler for lake deposits; *Ecology*, V. 36, no. 1, pp. 137-139.

LOPATKINA, A.P. 1967 Conditions of accumulation of uranium in peat; *Geochem. Int.* V. 4, pp. 577-588.

MATISOFF, G., FISHER, J.B. and McCALL, P.L. 1981 Kinetics of nutrient and metal release from decomposing lake sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, V. 45, pp. 2333-2348.

PATTERSON, R.J., FRAPE, S.K., DYKES, L.S. and McLEOD, R.A. 1978 A coring and squeezing technique for the detailed study of subsurface water chemistry; *Can. J. Earth Sc.*, V. 15, pp. 162-169.

PRIDE, C. 1974 Lake sediment geochemistry, 1974, août 1974; rapport interne S.D.B.J.

SCHMIDT, R.G. 1956 Adsorption of Cu, Pb and Zn on some common rock forming minerals and its effects on lake sediments; Unpublished Ph.D. thesis, McGill University, Montreal.

SINCLAIR, A.J. 1976 Applications of probability graphs in mineral exploration; The Association of Exploration Geochemists, Special vol. no. 4, 95 p.

SZALAY, A. 1964 Cation-exchange properties of humic acids and their importance in the geochemical enrichment of UO_2^{+2} and other cations; Geochim. Cosmochim. Acta, V. 28, pp. 1605-1614.

TENHOLA, M. 1976 Ilomantsi: Distribution of uranium in lake sediment; J. Geochem. Explor., V. 5 (3), pp. 235-239.

TIMPERLEY, M.H. and ALLAN, R.J. 1974 The formation and detection of metal dispersion halos in organic lake sediments; J. Geochem. Explor., V. 3, pp. 167-190.

VALIQUETTE, G. 1975 Région de la rivière Nemiscau, Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, RG-158, 156 p.

ANNEXE I

Le carottier utilisé a été conçu par une entreprise privée pour le compte de la S.D.B.J. Le modèle réalisé est un carottier à piston d'un type similaire à celui utilisé par Patterson et al (1978). Le modèle original de ce type de carottier avait été décrit par Livingstone (1955).

La structure principale du carottier: piston, tête du tube d'échantillonnage (core tube) et tiges sont en aluminium. Nous disposons de tubes d'échantillonnage en aluminium et en plexiglass. Ces différents éléments sont illustrés sur les photos 1 à 4 de la page suivante.

Avec ce type de carottier, nous pouvions échantillonner 1,5 mètres de sédiment sous une profondeur d'eau maximale de 15 mètres. Le sédiment prélevé était extrait du tube d'échantillonnage en repoussant manuellement le piston avec une des tiges.

Ce carottier à piston fonctionne de façon optimale dans le sédiment organique qui a une cohésion. Dans le sédiment inorganique, de la granulométrie du sable, du silt ou des argiles, la récupération maximale était de 20 centimètres.



Photo 1: Piston



Photo 2: Piston en position à l'extrémité du carottier



Photo 3: Tête du carottier



Photo 4: Carottier attaché au train de tige

ANNEXE II

LEGENDE expliquant la description dans la colonne "observations de terrain"
à l'annexe II

A	argile
G	gravier
MO	matière organique
S	sable
T	silt
b	brun, brunâtre
f	foncé
o	orange
p	pâle
v	vert, verdâtre, olive

Ex.: MOTA bf = silt argileux organique brun foncé; MO = composant dominant suivi de T puis de A.

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observation de terrain				
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	A1 %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description	
98883	0-13 cm		224,0													5,7	-20	MOT bv	
98882	23-33 cm		400,0															MOT bvp	
98714	43-53 cm	26,50 25,50 15,80	464,0	496,0 349,0 330,0 486,0	4,18 3,42 3,25	57,0 41,0 47,0 42,0	21,0 15,0 14,0 27,3	26,0 22,0 21,0 42,5	112,0 80,0 75,0 128,0							5,7	-20	MOT bvp	
moyenne		22,60	464,0	415,0	3,62	46,5	19,3	27,9	98,7										
98712	63-73 cm	21,80 20,30 20,20	414,0	229,0 227,0 200,0 273,0	2,34 2,15 2,32	34,0 34,0 41,0 35,0	11,0 12,0 17,0 19,3	19,0 15,0 17,0 30,5	61,0 68,0 61,0 93,0							6,1	-40	MOT bvp	
moyenne		20,80	414,0	232,0	2,27	36,0	14,3	20,4	70,7										
98710	83-93 cm	18,90 18,70 18,80	582,0	240,0 197,0 199,0 244,0	2,12 2,08 2,24	56,0 52,0 54,0 49,0	17,0 14,0 14,0 24,7	19,0 17,0 19,0 27,6	69,0 65,0 69,0 93,0							5,9	-40	MOT bvp	
moyenne		18,80	582,0	220,0	2,15	52,7	17,4	20,6	74,0										
98715	103-113 cm	2,70 2,90 3,00	188,0	57,0 28,0 38,0 55,0	0,27 0,17 0,25	22,0 15,0 17,0 14,0	ND 3,0 7,0 11,6	8,0 5,0 8,0 11,6	21,0 16,0 18,0 23,0									AMO gv	
moyenne		2,87	188,0	45,5	0,23	17,0	5,4	8,1	19,5										
98708	123-133 cm	0,90 1,10 0,90	48,0	38,3 45,0 43,0 38,0	0,24 0,25 0,25	3,0 4,0 4,0 24,0	3,0 3,0 4,0 8,2	5,0 7,0 6,0 5,9	8,0 8,0 8,0 9,0									A gv	
moyenne		0,97	48,0	41,1	0,25	8,7	4,5	6,0	8,2									6,8 -90	

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts							Attaque par fusion					Observations de terrain			
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description	
98560	0-16 cm	23,40	293,0	443,0	3,95	28,0	9,0	28,0	66,0	2,90	0,06	4,00	0,44	0,19	0,44	5,8	-30	MOA	
		23,50		533,0	4,22	31,0	11,0	33,0	81,0	2,90	0,06	3,90	0,44	0,20	0,50				
		23,60		417,0	3,44	28,0	10,0	27,0	68,0	3,00	0,06	4,10	0,44	0,21	0,54				
				507,0		49,0	18,3	43,4	102,0										
moyenne		23,50	293,0	475,0	3,87	34,0	12,1	32,8	79,2	2,90	0,06	4,00	0,44	0,20	0,49				
98566	26-36 cm	23,70	320,0	420,0	3,94	45,0	17,0	28,0	80,0	2,80	0,06	3,70	0,40	0,18	0,44		MOA		
		25,10		458,0	4,07	41,0	13,0	29,0	87,0	3,10	0,08	4,00	0,46	0,19	0,46				
		23,90		422,0	3,85	37,0	9,0	26,0	77,0	3,30	0,06	3,60	0,40	0,17	0,40				
				357,0		42,0	18,0	33,8	90,0										
moyenne		24,20	320,0	414,0	3,95	41,2	14,2	29,2	83,5	3,10	0,07	3,80	0,42	0,18	0,43				
98528	46-56 cm	27,80	584,0	736,0		89,0	29,0	33,0	116,0	3,70	0,06	7,00	0,48	0,16	0,38	5,7	-10	MOA	
		27,50		843,0	7,93	74,0	40,0	40,0	135,0	3,80	0,05	7,10	0,44	0,16	0,38				
		28,20		784,0	7,12	62,0	30,0	33,0	119,0	3,60	0,05	6,40	0,42	0,14	0,36				
				674,0		35,0	37,0	44,0	156,0										
moyenne		27,80	584,0	759,0	7,53	65,0	34,0	37,5	130,7	3,70	0,05	6,80	0,45	0,15	0,37				
98558	66-76 cm	22,00	545,0	543,0	4,96	62,0	16,0	25,0	97,0	3,10	0,06	5,10	0,42	0,18	0,38	5,8	-10	MOA	
		22,20		624,0	6,30	69,0	7,0	23,0	130,0	3,10	0,05	4,90	0,38	0,20	0,44				
		22,50		644,0	5,07	82,0	20,0	24,0	106,0	3,10	0,05	4,70	0,38	0,16	0,38				
				562,0		96,0	21,0	15,0	136,0										
moyenne		22,20	545,0	593,0	5,44	77,2	16,0	21,7	117,2	3,10	0,05	4,90	0,39	0,18	0,40				
98557		106-116 cm		43,0	ECHANTILLON ABSENT											ST			
98581	116-126 cm	1,80	181,0	59,0	0,33	13,0	6,0	6,0	19,0	5,10	0,20	0,70	1,62	0,94	2,72		ST		
		1,80		35,0	0,24	8,0	5,0	4,0	13,0	5,20	0,20	0,80	1,58	0,95	2,66				
		1,90		54,0	0,31	12,0	7,0	4,0	18,0	5,00	0,19	0,70	1,06	1,00	2,70				
				35,0		65,0	6,0	6,0	12,0										
moyenne		1,83	181,0	46,0	0,29	24,5	6,0	5,0	15,5	5,10	0,20	0,70	1,42	0,96	2,69				

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain			
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description
98368	0-15 cm	20,70 20,80 21,00	266,0	355,0 366,0 387,0 341,0	3,33 2,88 3,10	31,0 32,0 27,0	15,0 17,0 10,0	25,0 27,0 25,0	89,0 68,0 84,0 100,0	3,00 3,50 3,90	0,07 0,09 0,08	2,50 3,00 3,00	0,52 0,68 0,68	0,24 0,34 0,36	0,68 0,92 0,96	6,2	-20	MOA
moyenne		20,80	266,0	362,0	3,10	30,0	15,5	27,0	85,2	3,50	0,08	2,80	0,63	0,31	0,85			
98390	25-35 cm	22,80 22,90 23,20	486,0	340,0 393,0 337,0 390,0	4,41 4,08 3,71	45,0 46,0 41,0	18,0 24,0 21,0	27,0 26,0 24,0	99,0 99,0 88,0 138,0	3,60 3,20 3,40	0,09 0,07 0,08	4,00 3,50 4,00	0,64 0,54 0,70	0,34 0,35 0,31	0,86 0,76 0,94	6,3	-15	MOA
moyenne		22,97	486,0	365,0	4,07	41,7	26,7	26,2	106,0	3,40	0,08	3,80	0,63	0,33	0,85			
98354	45-55 cm	22,20 21,70 21,80	733,0	468,0 458,0 457,0 500,0	4,04 3,76 3,40	74,0 69,0 64,0	39,0 29,0 31,0	26,0 25,0 25,0	126,0 111,0 106,0 185,0	4,10 4,30 4,00	0,11 0,14 0,11	3,90 3,90 4,00	0,74 0,72 0,70	0,36 0,40 0,36	0,94 1,00 0,94			MOA
moyenne		21,90	733,0	471,0	3,73	65,0	27,2	27,7	132,0	4,10	0,12	3,90	0,72	0,37	0,96			
98367	65-75 cm	3,00 2,90 3,30	202,0	45,0 37,0 51,0	0,35 0,39 0,42	11,0 15,0 17,0	ND 8,0 8,0	7,0 8,0 7,0	18,0 16,0 20,0	5,00 4,90 5,00	0,16 0,16 0,16	0,70 0,70 0,70	1,54 1,50 1,56	0,88 0,92 0,95	2,68 2,60 2,72	6,3	-20	TMO
moyenne		3,07	202,0	44,3	0,39	14,3	5,3	9,0	18,0	5,00	0,16	0,70	1,53	0,92	2,67			
98324	85-95 cm	2,20 2,00 2,20	179,0	37,0 38,0 26,0	0,34 0,27 0,28	13,0 10,0 10,0	6,0 ND ND	7,0 9,0 7,0	17,0 11,0 12,0	5,00 4,70 5,00	0,19 0,20 0,20	0,70 0,70 0,60	1,60 1,54 1,58	0,96 0,92 0,91	2,74 2,62 2,64	6,3	-40	TS
moyenne		2,13	179,0	33,7	0,30	11,0	2,0	8,2	13,3	4,90	0,20	0,70	1,57	0,93	2,67			

LAC LACROIX V-17

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain			
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description
98062	0-10 cm	30,40	243,0	112,0	1,20	24,0	17,0	21,0	43,0	2,30	0,08	1,40	0,74	0,12	0,18	5,7	-60	MOTA bf
		30,60		109,0	1,20	62,0	17,0	17,0	44,0	2,30	0,07	1,40	0,84	0,13	0,26			
		31,00		142,0	1,54	31,0	17,0	20,0	53,0	2,30	0,06	1,30	0,78	0,12	0,22			
				117,0		32,0	17,6	27,6	46,4									
moyenne		30,70	243,0	120,0	1,30	37,2	17,1	21,4	46,6	2,30	0,07	1,40	0,79	0,12	0,22			
98028	20-30 cm	25,10	120,0	79,0	0,90	20,0	9,0	12,0	34,0	1,70	0,04	1,00	0,46	0,10	0,26	6,1	-25	MOTA bf
		24,90		98,0	0,91	25,0	16,0	12,0	37,0	1,70	0,05	1,00	0,48	0,11	0,26			
		23,80		123,0	1,23	29,0	18,0	22,0	65,0	1,50	0,04	0,90	0,42	0,10	0,22			
				98,0		27,0	14,2	21,8	46,0									
moyenne		24,60	120,0	99,5	1,00	25,2	14,3	16,9	45,5	1,60	0,04	1,00	0,45	0,10	0,25			
98074	40-50 cm	26,80	156,0	120,0	2,00	41,0	31,0	20,0	73,0	1,90	0,04	1,90	0,52	0,10	0,22	6,2	-20	MOTA bf
		25,40		133,0	2,34	35,0	14,0	23,0	75,0	1,90	0,04	1,70	0,46	0,10	0,24			
		26,00		127,0	2,10	30,0	21,0	21,0	68,0	1,80	0,05	1,90	0,52	0,12	0,30			
				128,0		39,0	16,8	27,6	89,0									
moyenne		26,10	156,0	127,0	2,10	36,2	20,7	22,9	76,3	1,90	0,04	1,80	0,50	0,11	0,25			
98090	60-70 cm	24,50	187,0	95,0	2,24	31,0	16,0	16,0	67,0	1,50	0,03	1,80	0,40	0,07	0,14	6,2	-25	MOTA bf
		24,40		123,0	2,69	37,0	18,0	22,0	46,0	1,80	0,07	2,10	0,52	0,09	0,20			
		24,70		123,0	2,50	42,0	14,0	20,0	47,0	1,50	0,03	1,70	0,38	0,06	0,14			
				100,0		39,0	20,0	24,3	77,0									
moyenne		24,50	187,0	110,2	2,30	37,2	17,0	20,6	59,3	1,60	0,04	1,90	0,43	0,07	0,16			
98070	80-90 cm	28,70	425,0	148,0	5,00	105,0	33,0	26,0	150,0			3,70		0,09		6,2	-25	MOTA bf
		28,90		129,0	4,49	78,0	30,0	21,0	129,0	2,00	0,04	4,30	0,46	0,09	0,20			
		29,30		131,0	4,50	80,0	32,0	20,0	126,0	2,30	0,05	4,30	0,50	0,09	0,22			
				161,0		118,0	38,6	35,0	199,0							5,5	-60	
moyenne		29,00	425,0	142,2	4,70	95,2	33,4	25,5	151,0	2,20	0,05	4,10	0,48	0,09	0,21			

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain		
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh
98277	0-10 cm	24,87 25,68 25,98	119,0	107,0 114,0 102,0	1,06 1,17 1,01	23,0 21,0 20,0	19,0 15,0 10,0	26,0 28,0 22,0	54,0 57,0 50,0								MOA
moyenne		25,50	119,0	108,0	1,08	21,3	14,7	25,3	53,7								
98242	20-30 cm	23,00 25,50 26,54	155,0	88,0 95,0 91,0	1,20 1,29 1,18	28,0 33,0 30,0	17,0 17,0 12,0	27,0 23,0 25,0	56,0 59,0 54,0								MOA
moyenne		25,00	155,0	91,0	1,22	30,3	15,3	25,0	56,3								
98298	40-50 cm		191,0	ECHANTILLON ABSENT													MOA
98269	60-70 cm	22,80 22,00 22,80	328,0	90,0 91,0 114,0	0,51 0,53 0,59	17,5 19,0 20,0	11,0 10,0 13,0	21,0 24,0 25,0	37,0 40,0 42,0								MOA- (SG)
moyenne		22,50	328,0	114,0	0,54	27,4	13,5	28,0	51,7								
98293	70-80 cm		694,0	ECHANTILLON ABSENT													SGMO ST

LAC A LA COGNE VI-11

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain			
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description
98314	0-5 cm	31,00	108,0	79,0	0,76	46,0	25,0	29,0	66,0	3,90	0,18	0,90	1,32	0,62	1,74	5,8	-60	MOA bf
		31,00		82,0	0,83	51,0	24,0	32,0	68,0	4,00	0,19	1,00	1,38	0,63	1,78			
		21,75		93,0	0,49	20,0	13,0	16,0	37,0	3,90	0,19	1,90	1,34	0,65	1,84			
				99,0		26,0	13,3	29,5	55,0									
moyenne		27,90	108,0	88,2	0,69	35,7	18,8	25,7	54,0	3,90	0,19	1,30	1,35	0,63	1,79			
98353	15-25 cm	31,00	170,0	86,0	0,83	50,0	20,0	32,0	66,0	3,50	0,15	1,70	1,22	0,36	1,02		MOA bf	
		30,40		83,0	0,86	62,0	36,0	31,0	72,0	2,60	0,12	1,30	0,92	0,28	0,76			
		30,30		64,0	0,65	27,0	15,0	28,0	47,0	3,30	0,14	1,70	1,24	0,41	1,02			
				82,0		61,0	22,0	52,2	89,0									
moyenne		30,60	170,0	78,7	0,78	50,0	23,2	35,8	68,5	3,13	0,14	1,60	1,13	0,35	0,93			
98359	35-45 cm	33,30	279,0	54,15	1,34	46,0	16,0	28,0	54,0	3,50	0,15	2,10	1,10	0,36	0,96		MOA bf	
		33,80		47,0	1,29	40,0	18,0	29,0	47,0	3,50	0,15	2,10	1,10	0,36	0,98			
		33,50		73,0	1,86	63,0	27,0	38,0	73,0	3,10	0,14	1,90	0,90	0,28	0,74			
						53,0	22,2	42,1	68,0									
moyenne		33,50	279,0	58,0	1,50	50,5	20,8	34,3	60,5	3,40	0,15	2,00	1,03	0,33	0,89			
98317	55-65 cm		1990,0	ECHANTILLON ABSENT												6,0	-15	MA bf contact Go

LAC A LA COGNE VI-16

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain			
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description
100294	0-10 cm	19,65	50,7	70,0	0,89	12,0	3,0	13,0	52,0	3,90	0,18	2,50	0,84	0,52	1,16	5,8	-40	MOTA
		20,01		64,0	0,96	17,0	6,0	16,0	49,0	4,20	0,18	2,40	0,84	0,52	1,14			
		19,93		65,0	0,79	14,0	ND	15,0	43,0	3,80	0,18	2,50	0,84	0,52	1,16			
		19,83	50,7	66,3	0,88	14,3	3,0	14,7	48,0	4,00	0,18	2,50	0,84	0,52	1,15			
100293	20-30 cm	20,54	72,9	69,0	0,99	23,0	ND	18,0	64,0	3,30	0,11	1,10	0,78	0,42	0,96	5,8	-40	MOTA
		20,00		81,4	0,95	21,0	ND	16,0	59,0	2,50	0,11	1,00	0,78	0,41	1,00			
		20,03		80,0	1,10	25,0	ND	19,0	64,0	2,70	0,08	0,90	0,64	0,30	0,72			
		20,19	72,9	76,8	1,01	23,0	-	17,7	62,3	2,80	0,10	1,00	0,73	0,38	0,89			
100252	40-50 cm	15,15	72,6	101,0	1,12	23,0	ND	14,0	59,0	3,90	0,16	1,10	1,10	0,61	1,50	5,8	-40	MOTA
		15,26		67,0	0,81	18,0	ND	12,0	50,0	4,40	0,17	1,20	1,16	0,66	1,62			
		15,01		77,0	0,86	19,0	10,0	12,0	46,0	4,00	0,17	1,20	1,16	0,66	1,62			
		15,14	72,6	87,0		24,0	15,6	13,2	77,0									
100297	60-70 cm	16,90	159,0	136,0	2,56	38,0	31,0	16,0	83,0	3,50	0,14	2,10	1,00	0,46	1,10	6,4	-20	MOTA
		16,91		118,0	2,34	33,0	20,0	16,0	74,0	3,90	0,16	2,40	1,14	0,57	1,34			
		16,71		138,0	2,44	34,0	18,0	14,0	74,0	4,30	0,17	2,50	1,20	0,58	1,40			
		16,84	159,0	137,0		35,0	23,0	15,0	87,0									
100270	80-90 cm	18,85	303,0	116,0	2,12	67,0	20,0	18,0	73,0	3,30	0,13	2,10	1,08	0,40	1,00	6,8	-10	TA
		18,32		121,0	2,12	69,0	39,0	18,0	78,0	3,20	0,13	2,00	1,02	0,39	0,94			
		18,44		148,0	2,26	74,0	23,0	18,0	83,0	3,20	0,13	2,10	1,06	0,41	0,98			
		18,54	303,0	74,0		26,0	19,0	98,0										
100236	100-110 cm	0,48	20,8	60,0	0,34	8,0	7,0	13,0	5,2	0,37	0,90	1,74	1,10	2,84		AT		
		0,47		62,0	0,39	9,0	9,0	14,0	5,5	0,30	0,90	1,76	1,09	2,82				
		0,22		71,0	0,44	11,0	12,0	17,0	5,2	0,29	0,90	1,74	1,10	2,80				
		0,39	20,8	52,0		7,0	4,0	12,0										
moyenne		0,39	20,8	61,3	0,39	8,8	8,0	14,0	5,3	0,32	0,90	1,75	1,10	2,82				

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain			
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description
100144	0-10 cm	24,87 24,68	90,3	140,0 132,0 175,0	2,08 1,93	39,0 28,0 32,0	20,0 18,0 20,0	23,0 22,0 27,0	72,0 67,0 91,0	4,10 4,20 3,80	0,13 0,13 0,12	2,10 2,10 2,10	0,80 0,78 0,80	0,45 0,43 0,45	1,06 1,06 1,06	7,1	-10	MO b
moyenne		24,78	90,3	149,0	2,01	33,0	19,3	24,0	76,7	4,00	0,13	2,10	0,79	0,44	1,06			
100190	20-30 cm	23,80 24,01 24,26	113,0	150,0 179,0 144,0 178,0	2,15 2,20 2,15 42,0	37,0 40,0 40,0 21,0	32,0 15,0 19,0 23,0	23,0 25,0 24,0 23,0	71,0 83,0 86,0 98,0	4,20 4,50 4,50 4,50	0,15 0,14 0,14 0,20	2,10 2,10 2,20	0,94 0,94 0,98	0,55 0,53 0,53	1,32 1,38 1,34	7,3	0	MO b
moyenne		24,02	113,0	163,0	2,17	39,7	21,7	23,7	84,5	4,40	0,14	2,10	0,95	0,54	1,35			
100139	40-50 cm	20,72 21,01 20,95	212,0	312,0 269,0 219,0 270,0	4,09 4,32 3,54 53,0	58,0 62,0 49,0 32,0	51,0 36,0 23,0 32,0	23,0 25,0 19,0 21,0	105,0 114,0 96,0 122,0	4,10 4,50 4,30	0,16 0,16 0,18	3,90 4,00 3,90	1,06 1,08 1,06	0,53 0,54 0,56	1,26 1,28 1,24			MO b
moyenne		20,89	212,0	268,0	3,98	55,5	35,5	22,0	109,2	4,30	0,17	3,90	1,07	0,54	1,26			
100197	60-70 cm	20,68 20,43 20,18	401,0	187,0 257,0 224,0 223,0	2,74 3,40 3,58 93,0	85,0 106,0 107,0 93,0	27,0 30,0 56,0 31,0	19,0 17,0 19,0 23,0	81,0 102,0 107,0 112,0	3,20 3,40 3,70	0,15 0,16 0,16	3,00 3,10 3,20	0,94 0,92 1,02	0,40 0,42 0,45	0,94 0,98 1,02	7,4	-40	MO b
moyenne		20,43	401,0	223,0	3,24	97,7	36,0	19,5	100,5	3,40	0,16	3,10	0,96	0,42	0,98			
100104	80-90 cm	0,13 0,14 0,14	87,2	41,0 55,0 52,0 56,0	0,41 0,51 0,48 14,0	13,0 15,0 12,0 11,0	11,0 17,0 12,0 11,0	6,0 5,0 6,0 6,0	18,0 20,0 24,0 22,0	3,80 4,70 4,90	0,23 0,27 0,27	1,70 1,10 1,00	1,06 1,64 1,68	0,71 1,05 1,03	1,78 2,74 2,76	7,8	-40	Contact A g
moyenne		0,137	87,2	51,0	0,47	14,2	12,7	5,7	21,0	4,50	0,26	1,30	1,46	0,93	2,43			

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts							Attaque par fusion					Observations de terrain					
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description			
100786	0-14 cm	6,70	53,3	98,0	1,02	16,0	13,0	9,0	42,0						5,5 6,8	-140 -200	MOT bf				
		6,70		90,0	0,99	14,0	NO	9,0	40,0												
		6,80		86,0	1,02	16,0	9,0	8,0	44,0												
				106,0		15,0	14,0	12,0	23,0												
moyenne		6,73	53,3	95,0	1,01	15,2	9,0	9,5	37,2												
100788	24-34 cm	12,80	107,0	172,0	2,25	28,0	19,0	13,0	68,0						6,8	-200	MOT bf				
		12,80		156,0	2,05	26,0	18,0	11,0	61,0												
		12,97		186,0	2,45	34,0	24,0	16,0	77,0												
				182,0		30,0	20,0	18,0	76,0												
moyenne		12,86	107,0	174,0	2,25	29,5	20,2	14,5	70,5												
100784	44-54 cm	10,38	114,0	288,0	2,95	39,0	40,0	15,0	84,0						6,5	-170	MOT bf				
		10,09		215,0	2,54	28,0	28,0	11,0	68,0												
		9,83		202,0	2,31	26,0	27,0	11,0	64,0												
				203,0		39,0	26,0	18,0	75,0												
moyenne		10,10	114,0	227,0	2,60	33,0	30,2	13,7	72,7												
100757	64-74 cm	16,81	256,0	370,0	4,71	69,0	53,0	18,0	130,0									MOT bf			
		16,84		344,0	3,86	54,0	37,0	12,0	113,0												
		19,84		400,0	4,73	71,0	54,0	17,0	139,0												
				361,0		61,0	40,0	20,0	147,0												
moyenne		17,83	256,0	369,0	4,43	64,0	46,0	16,8	132,0												
100761	84-94 cm	7,04	319,0	102,0	1,19	47,0	33,0	8,0	57,0						6,8	-190	MOT bf				
		4,23		117,0	1,26	52,0	38,0	8,0	64,0												
		6,73		107,0	1,15	45,0	34,0	8,0	57,0												
				121,0		48,0	27,0	13,0	67,0												
moyenne		6,00	319,0	112,0	1,20	48,0	33,0	9,3	61,0												

Echantillon	Profondeur échan.	Attaque aux acides forts							Attaque par fusion					Observations de terrain				
		Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	Description		
99045	0-15 cm	16,00 15,90 16,00	55,8	91,0 66,0 57,0 82,0	1,00 0,88 0,83	19,0 10,0 9,0 13,0	7,0 7,0 7,0 13,0	15,0 12,0 13,0 14,3	42,0 34,0 30,0 44,0	3,30 2,90 2,90	0,15 0,14 0,15	1,00 1,00 1,00	0,86 0,84 0,86	0,50 0,49 0,50	1,22 1,18 1,24	5,0	-10	MOA
moyenne		15,97	55,8	74,0	0,90	12,7	8,5	13,6	37,5	3,00	0,15	1,00	0,85	0,50	1,21			
99043	25-35 cm	16,10 16,30 16,00	63,9	82,0 81,0 75,0 81,0	0,97 0,99 0,95	16,0 13,0 11,0 14,0	11,0 8,0 11,0 19,2	11,0 11,0 11,0 9,6	39,0 37,0 35,0 41,0	3,40 3,60 3,60	0,16 0,16 0,17	1,10 1,10 1,20	0,90 0,94 0,94	0,55 0,54 0,56	1,26 1,28 1,34	5,2	-25	MOA
moyenne		16,10	63,9	79,8	0,97	13,5	12,3	10,6	38,0	3,50	0,16	1,10	0,93	0,55	1,29			
99063	45-55 cm	15,60 16,10 16,00	73,3	82,0 108,0 115,0 132,0	1,18 1,17 1,37	16,0 23,0 23,0 15,0	8,0 12,0 ND 25,0	12,0 12,0 13,0 14,0	36,0 39,0 46,0 60,0	3,30 3,10 3,50	0,15 0,16	1,80 1,90	0,72 0,76 0,46	0,42 0,98	0,92	MOA		
moyenne		15,90	73,3	109,3	1,24	19,2	11,5	12,7	45,2	3,30	0,16	1,80	0,74	0,44	0,95			
99054	65-75 cm	11,10 11,20 11,40	80,9	98,0 100,0 107,0	1,09 1,13 1,17	14,0 15,0 13,0	10,0 10,0 ND	11,0 13,0 10,0	37,0 37,0 37,0	4,10 4,00 3,80	0,30 0,30 0,28	1,30 1,40 1,30	1,28 1,28 1,22	0,85 0,84 0,79	1,88 1,90 1,80	5,9	-50	MOA
moyenne		11,23	80,9	101,7	1,13	14,0	6,7	11,3	37,0	4,00	0,29	1,30	1,26	0,83	1,86			
99024	85-95 cm	17,00 17,00 17,20	188,0	213,0 108,0 125,0 161,0	1,51 1,51 1,61	27,0 28,0 30,0 22,0	ND ND ND 10,0	12,0 12,0 12,0 15,0	49,0 47,0 53,0 72,0	3,20 3,40 3,60	0,19 0,21 0,21	1,60 1,80 1,80	1,02 1,06 1,08	0,54 0,60 0,62	1,22 1,34 1,36	5,9	-70	MOA compacté
moyenne		17,07	188,0	151,8	1,54	26,7	2,5	12,7	55,2	3,40	0,20	1,70	1,05	0,59	1,31			
99023	105-115 cm	10,00 10,20 10,00	223,0	99,0 100,0 102,0	1,07 1,05 1,10	24,0 22,0 20,0	10,0 ND 15,0	10,0 9,0 9,0	39,0 37,0 40,0	4,70 4,50 4,30	0,28 0,28 0,27	1,50 1,50 1,40	1,36 1,36 1,34	0,85 0,85 0,82	2,02 2,00 1,96	MOA compacté		
moyenne		10,07	223,0	100,3	1,07	22,0	8,3	9,7	38,7	4,50	0,28	1,50	1,35	0,84	1,99			

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain			
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh	description
99706	20-30 cm	22,10	111,0	155,0	1,79		15,0	17,0	66,0	3,90	0,21	1,40	1,08	0,67	1,62	5,7	-40	MOA bf
		22,00		172,0	1,62	20,0	13,0	15,0	61,0	3,90	0,21	1,50	1,08	0,68	1,60			
		22,00		187,0	1,97	30,0	20,0	17,0	82,0	4,80	0,26	1,00	1,64	1,03				
				191,0		30,0	37,0	18,0	84,0									
moyenne		22,00	111,0	176,0	1,79	26,7	21,2	16,7	73,2	4,20	0,23	1,30	1,27	0,79	1,61			
99781		22,50	133,0	207,0	2,11	25,0	21,0	16,0	68,0	2,10	0,09	0,90	0,58	0,30	0,68	MOA bf		
		22,50		181,0	2,11	28,0	19,0	18,0	76,0	2,70	0,09	0,90	0,60	0,29	0,70			
		22,50		179,0	1,99	29,0	20,0	17,0	65,0	2,40	0,09	0,90	0,62	0,30	0,72			
				206,0		37,0	21,0	21,0	104,0									
moyenne		22,50	133,0	193,0	2,07	27	20,2	18,0	78,2	2,40	0,09	0,90	0,60	0,30	0,70			
99784	60-70 cm	14,90	169,0	226,0	2,80	25,0	23,0	15,0	60,0	5,30	0,44	1,50	1,52	1,13	2,42	MOA	-20	
		14,80		230,0	3,30	28,0	24,0	19,0	72,0	5,40	0,46	1,50	1,56	1,14	2,50			
		15,10		260,0	2,58	28,0	17,0	12,0	54,0	5,30	0,45	1,50	1,52	1,13	2,46			
						38,0	25,0	15,0	91,0									
moyenne		14,90	169,0	239,0	2,89	29,7	22,2	15,2	69,2	5,30	0,45	1,50	1,53	1,13	2,46			
99785	80-90 cm	16,20	303,0	250,0	3,58	40,0	21,0	14,0	68,0	4,20	0,25	3,60	1,12	0,65	1,50	MOA	-20	
		16,20		240,0	3,53	37,0	21,0	14,0	74,0	4,90	0,29	4,20	1,30	0,81	1,80			
		16,30		222,0	3,26	39,0	21,0	14,0	72,0	4,70	0,27	3,90	1,18	0,74	1,68			
				352,0		70,0	32,0	22,0	126,0									
moyenne		16,20	303,0	266,0	3,46	46,5	23,7	16,0	85,0	4,60	0,27	3,90	1,20	0,73	1,66			
99756	100-110 cm	4,20	252,0	126,0	1,11	21,0	19,0	9,0	39,0	4,70	0,28	3,10	1,16	0,78	1,68	6,0	-20	
				118,0	1,15	30,0	21,0	10,0	41,0	5,20	0,31	3,40	1,26	0,85	1,88			
		4,00		122,0	1,12	28,0	22,0	9,0	40,0	5,50	0,32	3,50	1,22	0,88	1,90			
				144,0		31,0	23,0	11,0	47,0									
moyenne		4,1	252,0	127,5	1,13	27,5	21,2	9,7	41,7	5,10	0,30	3,30	1,21	0,84	1,82			

LAC MITCHKINE V-4

Echantillon	Profondeur échan.	Perte au feu %	U ppm	Attaque aux acides forts						Attaque par fusion					Observations de terrain		
				Mn	Fe %	Cu	Ni	Pb	Zn	Al %	Mg	Fe %	Ca	K	Na	Ph	Eh
99470	0-10 cm	20,05 20,52 20,40	86,8	104,0 92,0 62,0 122,0	1,16 1,07 0,67 23,0	18,0 26,0 10,0 14,0	8,0 8,0 ND 17,4	16,0 15,0 9,0 56,0	51,0 47,0 29,0 56,0						6,4	-15	MOT
moyenne		20,30	86,8	95,0	0,97	19,2	7,5	14,3	45,7								
99474	20-30 cm	22,44 22,91 23,23	93,6	117,0 84,0 100,0 112,0	1,35 1,17 1,33 33,0	23,0 20,0 23,0 16,0	ND ND ND 19,0	16,0 14,0 17,0 19,0	58,0 55,0 58,0 68,0						6,4	-15	MOT
moyenne		22,90	93,6	103,0	1,30	24,7	4,0	16,5	59,7								
99475	40-50 cm	22,99 22,58 22,90	114,0	114,0 141,0 148,0 164,0	1,42 1,45 1,57 36,0	30,0 31,0 33,0 21,0	4,0 9,0 ND 21,0	16,0 18,0 20,0 23,0	70,0 72,0 74,0 99,0								MOT
moyenne		22,80	114,0	142,0	1,50	32,5	8,5	19,2	78,7								
99436	60-70 cm	16,76 17,17 16,91	95,7	166,0 200,0 148,0 206,0	2,30 2,85 2,45 46,0	40,0 51,0 41,0 28,0	ND 2,0 19,0 19,0	17,0 21,0 19,0 19,0	81,0 101,0 81,0 106,0								MOT
moyenne		16,90	95,7	180,0	2,50	44,5	12,2	19,0	92,2								
99403	80-90 cm	21,42 21,24	308,0	237,0 283,0 263,0	3,91 4,73 5,0	55,0 62,0 31,0	30,0 11,0 19,0	15,0 20,0 19,0	85,0 109,0 117,0								MOT
moyenne		21,30	308,0	261,0	4,30	40,7	24,0	18,0	103,7								
99428	90-100 cm	18,97 19,06 19,24	338,0	218,0 254,0 221,0 276,0	3,61 3,98 3,43 67,0	61,0 70,0 61,0 28,0	ND 11,0 20,0 20,0	21,0 15,0 13,0 20,0	84,0 93,0 81,0 97,0						6,8	-40	MOT
moyenne		19,10	338,0	242,0	3,70	64,7	14,7	17,2	88,7								