

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

Présenté à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle
de la maîtrise ès Sciences (eau)

par

Robert Bertrand
B.Sc. (géologie)

"Géochimie des sédiments et chimie des eaux lacustres de la région
du moyen-estuaire du Saguenay, Québec"

Février 1982

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout spécialement mon directeur de mémoire, monsieur Marcel Ouellet, qui n'a pas ménagé ses efforts en vue de la réalisation de ce travail.

Je dois remercier également tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à ce mémoire. En l'occurrence, messieurs Denis Leblanc et Jean-Pierre Villeneuve, pour l'exercice de Kriegeage; messieurs Marc Bisson et André Tessier, pour leurs conseils judicieux; monsieur Claude Létourneau, pour les figures et mademoiselle Sylvie Cloutier pour l'excellent travail de dactylographie.

Un merci particulier à mon épouse Marie qui a su garder le sourire facile et les encouragements nombreux tout au cours de la rédaction de ce mémoire.

RESUME

Au cours de l'été 1976, le ministère des Richesses naturelles du Québec entreprenait un projet d'exploration géochimique d'un territoire situé de part et d'autre du moyen-estuaire de la rivière Saguenay. Ce projet a permis d'acquérir une quantité impressionnante de données concernant chacun des 186 lacs étudiés: 18 paramètres physico-chimiques incluant le pH dans l'eau, 19 paramètres géochimiques dans les sédiments et quatre paramètres physiques.

A l'aide des cartes géologique, écologique et de distribution spatiale des divers paramètres, il nous a été impossible de mettre en évidence le rôle que peut jouer l'environnement physique externe sur la qualité des eaux et des sédiments de fond des lacs. En effet, une géologie peu diversifiée, de même qu'une couverture de dépôts meubles hétérogènes et souvent épaisse, font qu'il nous a été impossible d'établir des relations entre les diverses unités géologiques de la roche en place et la distribution spatiale des divers paramètres étudiés.

L'étude statistique en composantes principales nous a permis de mettre en évidence des associations intéressantes entre l'altitude, la dimension des lacs et de leur bassin versant; les concentrations de Ca, de Mg, de K et de Na dans les eaux lacustres; ainsi que l'altitude et le pH des lacs étudiés. En dernier lieu, la présente étude semble démontrer que les

processus les plus importants qui régissent les interactions entre les eaux et les sédiments sont d'une part la coprécipitation avec les oxydes de fer et de manganèse et d'autre part l'hydro-dynamique des eaux lacustres puisque la majorité des paramètres géochimiques sont corrélés avec la profondeur d'échantillonnage.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
REMERCIEMENTS	i
RESUME	ii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 - QUELQUES CONSIDERATIONS THEORIQUES	4
1.1 La lithosphère	5
1.2 La pédosphère	9
1.3 La biosphère	11
1.4 L'atmosphère	12
1.5 L'hydrosphère	16
CHAPITRE 2 - DESCRIPTION DE LA REGION	29
2.1 Physiographie	30
2.2 Géologie	32
2.3 Quaternaire	38
2.4 Drainage	43
2.5 Climat	44
2.6 Végétation	44
2.7 Activités humaines	47

	<u>PAGE</u>
CHAPITRE 3 - METHODES ET RESULTATS	49
3.1 Prélèvements	50
3.2 Analyses	51
3.3 Résultats	55
3.4 Traitement	59
CHAPITRE 4 - DISCUSSION	66
4.1 Paramètres physiques	67
4.2 Eaux	71
4.3 Sédiments	83
4.4 Interactions eaux-sédiments-physique	90
CHAPITRE 5 - CONCLUSION	98
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	102
ANNEXES	116

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1. Analyses chimiques des divers horizons géologiques de la région étudiée	35
2. Méthodes de préparation et de dosage des échantillons d'eau	52
3. Méthodes de préparation et de dosage des échantillons de sédiments	53
4. Statistiques des variables physiques (des bassins versants) et physico-chimiques (des eaux) des 186 lacs étudiés	56
5. Quelques moyennes chimiques des eaux lacustres du Bouclier canadien	58
6. Statistiques des variables géochimiques (des sédiments) des 186 lacs étudiés	60
7. Quelques moyennes géochimiques de sédiments lacustres du Bouclier canadien	61
8. Matrice de corrélation des paramètres étudiés	69
9. Poids sur les trois facteurs A, B et C des variables chimiques retenues calculés au moyen d'une analyse factorielle de type-R, pour les eaux superficielles des 186 lacs étudiés	76
10. Poids des variables géochimiques retenues sur les trois premières composantes principales A, B et C après une rotation varimax des axes pour les 186 échantillons de sédiments lacustres de la région étudiée	86
11. Poids des variables géochimiques retenues sur les trois premières composantes principales A, B et C après une rotation varimax des axes	94

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1. Le cycle biogéochimique général	6
2. Facteurs influençant la concentration des composantes lacustres ..	24
3. Divisions physiographiques de la rivière Saguenay et localisation générale de la région étudiée	31
4. Carte géologique de la région étudiée	33
5. Carte écologique de la région étudiée	39
6. Projection sur les axes des principaux facteurs (A, B, C) des poids des variables chimiques calculés au moyen d'une analyse factorielle de type-R pour les eaux superficielles des 186 lacs étudiés	77
7. Distribution spatiale schématique du Fe, du Zn, du Cs, du Cu, du Cr, du Ni, du Mo et du V dans les sédiments lacustres des 186 lacs étudiés	84
8. Dispersion tridimensionnelle des poids des variables calculés par analyse des composantes principales de mode-R avec rotation VARIMAX des axes pour les 186 échantillons des sédiments de fond .	87
9. Dispersion tridimensionnelle des poids des variables calculés au moyen d'une analyse des composantes principales de mode-R après une rotation VARIMAX des axes pour les 29 paramètres retenus	95

LISTE DES ANNEXES

	<u>PAGE</u>
A. Carte de localisation des stations d'échantillonnage	116
B. Résultats des paramètres physiques ainsi que des teneurs chimiques des échantillons des eaux de surface des lacs	118
C. Résultats géochimiques des échantillons de sédiments de fond des lacs	128
D. Cartes de distribution spatiale des divers paramètres	138

INTRODUCTION

Au cours de l'été 1976, le ministère des Richesses naturelles du Québec (M.R.N.Q.) entreprenait un projet d'exploration géochimique d'un territoire situé de part et d'autre du moyen-estuaire de la rivière Saguenay. À l'époque, ce relevé avait pour premier objectif une reconnaissance par prospection géochimique d'un territoire qui avait été proposé comme site d'un futur parc fédéral (Parc Saguenay) dans le but d'en faire une évaluation du potentiel minéral (Cockburn, 1977). Le M.R.N.Q. voulait ainsi isoler des cibles ou des zones enrichies sur lesquelles il aurait pu effectuer des travaux de prospection plus détaillés avant que la région ne soit soustraite au jallonnement. Le levé géochimique n'a pu mettre en évidence aucun regroupement d'éléments métalliques d'importance. Cependant, cette campagne avait permis au M.R.N.Q. de recueillir une banque de données assez impressionnante sur cette région. En effet, les membres de l'expédition ont échantillonné les eaux de surface et les sédiments de fond de 186 lacs. Les analyses chimiques portaient sur les éléments métalliques majeurs et mineurs (18 paramètres pour l'eau et 19 pour les sédiments). Ils ont aussi dressé une liste des paramètres physiques de chaque lac comprenant l'altitude, la superficie, la superficie du bassin versant, de même que la profondeur au lieu d'échantillonnage.

Le M.R.N.Q. ayant bien voulu mettre ces données à notre disposition, nous entrevoyons la possibilité d'atteindre les objectifs suivants:

- a) nous tenterons d'évaluer les interrelations existantes entre, d'une part, la chimie de l'eau et des sédiments et, d'autre

part, celles existantes en fonction des conditions physiques des cuvettes lacustres et des unités biophysiques de la région. Cet exercice nous permettra d'identifier les paramètres qui ont un comportement similaire et les facteurs fondamentaux sous-jacents qui sont responsables de cette similarité;

- b) nous mettrons en relation la distribution spatiale des caractéristiques de ces lacs, avec les unités géologiques et écologiques de la région. Ceci permettra de mettre en évidence le rôle que peut jouer l'environnement physique externe sur la qualité des eaux et des sédiments de fond des lacs. Nous espérons que le présent travail permettra d'élucider les interactions qui existent entre la qualité de l'eau et celle des sédiments sous-jacents.

CHAPITRE 1

QUELQUES CONSIDERATIONS THEORIQUES

Levinson (1974) définit la géochimie, dans son sens le plus large, comme étant la science qui se préoccupe de la chimie de la terre. Dans la présente étude, nous lui accorderons un sens plus restreint en la limitant aux notions de limno-géochimie et de limno-bio-géochimie, c'est-à-dire aux interactions qui existent entre l'eau de surface, le milieu vivant et les sédiments lacustres. Une illustration schématique du système biogéochimique général d'après Allan et Timperley (1974) est présentée à la figure 1. On constate que le sous-système de l'hydrosphère est au centre du système général et qu'il est influencé de toute part et ceci par plusieurs mécanismes. Chaque composante du système général est élaborée quelque peu ci-dessous.

1.1 La lithosphère

La lithosphère est constituée de minéraux et de roches. Ce sous-système a fait l'objet d'innombrables études, sous divers aspects, par une foule d'auteurs. Les études qui nous intéressent de façon particulière sont celles de Raistrick (1943), Bellair et Pomerol (1965), Imreh (1971), Meybeck (1972), Levinson (1974) et Nichol, Coker, Jackson et Klassen (1975).

On peut regrouper les roches de la terre dans quatre divisions principales. Il s'agit des roches volcaniques, intrusives, métamorphiques et sédimentaires. La composition chimique de même que la résistance à l'érosion varient selon le type de roche. La lithosphère exerce une influence plus ou moins marquée sur l'atmosphère, l'hydrosphère et la pédosphère.

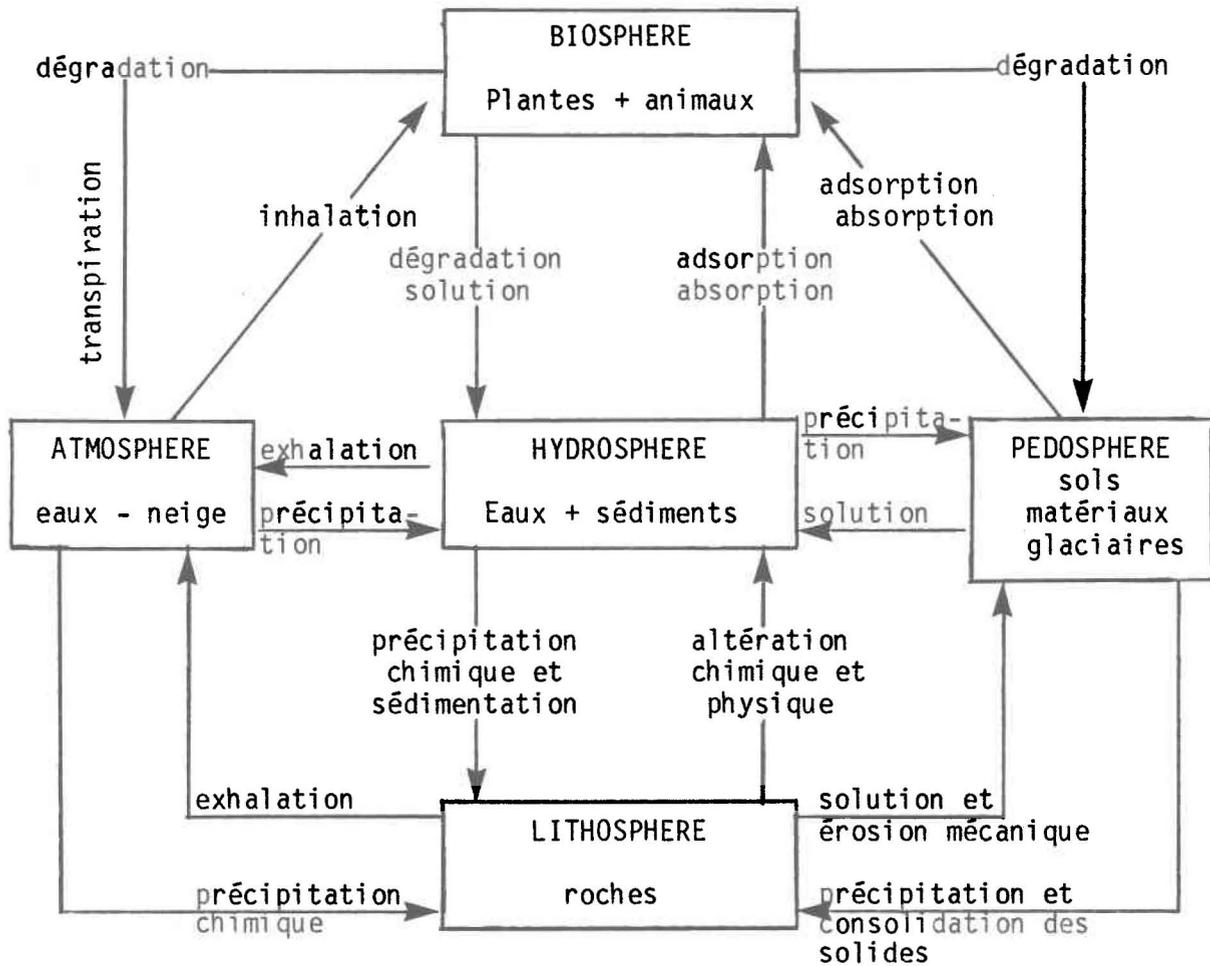


FIGURE 1 Le cycle biogéochimique général d'après Allan et al. (1974)

L'influence sur l'atmosphère se fait surtout sentir à travers le phénomène de l'exhalation. En effet, certains éléments, tels que le mercure dans les sulfures massifs, peuvent diffuser directement dans l'atmosphère à partir de la roche en place. Ce phénomène se fait surtout sentir dans les régions minières où la roche fraîche est constamment mise en contact avec l'atmosphère (Azzaria, 1977).

La lithosphère tend à jouer un rôle important quant à la qualité de l'eau et des sédiments de l'hydrosphère en fonction des mécanismes d'altérations des roches (Nichol et al., 1975). Les facteurs d'altération sont de trois types. Il s'agit de la désagrégation physique, chimique et biologique. La désagrégation physique aboutit à une fragmentation de la roche à un degré plus ou moins intense. Les particules fines peuvent être transportées dans l'hydrosphère et deviendront par conséquent une partie plus ou moins importante des matériaux qui donneront naissance aux sédiments. Les divers types de minéraux et de roches ont une résistance variable envers ce type d'altération. Il est normal qu'un granite se désagrège moins vite qu'un calcaire, surtout à cause de sa dureté qui provient en majeure partie de sa haute teneur en silice. La pluie, le gel, l'action des glaciers, du vent et des racines sont quelques uns des mécanismes responsables de l'altération ou érosion physique des roches. La désagrégation chimique et biologique sont des phénomènes difficilement séparables à cause de l'action souvent insoupçonnée des bactéries qui agissent de concert avec les phénomènes chimiques.

L'altération chimique des roches dépend à la fois des facteurs internes, tels l'assemblage des ions et les liaisons entre molécules ainsi que des facteurs externes tels les agents et les milieux d'altération. Les agents de décomposition comprennent l'action de l'eau, de l'oxygène, du gaz carbonique et des acides secrétés par les bactéries, par les racines des végétaux ou provenant des matières organiques putréfiées. L'altération chimique et biologique peuvent donc fournir du matériel soluble et particulière à l'hydrosphère qui selon les conditions environnementales pourra être de qualité très différente.

La lithosphère influence aussi l'hydrosphère sur un autre aspect important. Il s'agit de son pouvoir tampon. Plusieurs auteurs se sont penchés sur cette question dont: Wright et Gjessing (1976), Dillon et al. (1978), Kramer (1978) et Schindler et al. (1980). Ces auteurs mentionnent que le pH des eaux lacustres reflète l'acidité des précipitations de même que le pouvoir tampon des bassins versants et des eaux de ruissellement (y compris celles du lac). C'est la géochimie des sédiments meubles et de la roche en place qui détermine la capacité tampon du lac et des eaux de ruissellement qui s'y concentrent. Dans les bassins versants, l'altération chimique de même que l'échange ionique sont deux processus qui neutralisent l'acidité des précipitations. Les deux résultent en une rétention de l'ion hydrogène dans le bassin versant et en un relâchement correspondant d'autres cations tels le calcium et le magnésium provenant des matériaux géologiques. La vitesse de ces processus dépend de la nature physique et chimique de la roche en place, des dépôts meubles et des sols proprement dits. Par conséquent, dans un environnement géologique non carbonaté comme celui du

Bouclier canadien, les processus d'altération chimique sont trop lents et n'arriveront pas à neutraliser tout l'acide venant des précipitations. Ainsi, seulement 40 à 90% de l'acide sera neutralisé et l'eau de ruissellement aura un pH de 0.2 à 0.9 unité plus haut que le pH des précipitations (Wright et Gjessing, 1976). Le pH des eaux lacustres dépend donc grandement de la capacité de son bassin versant à neutraliser les précipitations acides. Dans un environnement acide on aura un pH bas, une faible concentration de bicarbonate et une concentration de sulfate élevée. Le pouvoir tampon des bassins versants carbonatés est très grand.

Enfin, la lithosphère peut influencer la composition de la pédosphère. En effet, les mécanismes d'altération peuvent fournir le matériel nécessaire à la formation de sols. Les sols seront influencés par le type et la quantité de matériel meuble fourni par la lithosphère ainsi que par les agents atmosphériques. La pédosphère peut donc devenir un sous-système intermédiaire par lequel la lithosphère pourra exercer de façon indirecte son influence sur l'hydrosphère.

1.2 La pédosphère

Plusieurs auteurs donc Black (1970), Shilts (1973), Levinson (1974), Adams et Duthie (1976) et Jenne (1977) ont étudié les processus de formation de sols et leurs influences sur la biosphère, l'hydrosphère et la lithosphère. Les processus d'érosion des roches en place sont à l'origine de la

formation des sols, en fait, la formation des sols fait partie intégrante du processus d'altération. Il y a donc plusieurs facteurs qui régissent la formation des sols. Il s'agit entre autre du climat, de l'activité biologique, du matériel d'origine (type de roche en place), de la topographie ainsi que du temps (Levinson, 1974). De façon générale, on divise les sols en deux catégories, soit les résiduels ou les transportés. Les sols transportés ne reflètent pas nécessairement la composition chimique de la roche en place sus-jacente. C'est souvent le cas dans les régions recouvertes de matériel glaciaire (Imreh, 1971).

De façon générale, il est juste de dire que la pédosphère exerce une influence similaire à celle de la lithosphère sur la qualité de l'eau et des sédiments de l'hydrosphère. Les sols, étant déjà réduits à l'état particulaire, sont plus facilement transportés par l'eau de ruissellement. L'attaque chimique est aussi plus efficace à cause de l'augmentation de la surface de contact résultant de la fragmentation. Dans ce sens, Adams et Duthie (1976) mentionnent que le calcium (Ca) est plus facilement mis en solution à partir de sols que de roches en place. Ces caractéristiques font que les sols possèdent un pouvoir tampon beaucoup plus élevé que la roche en place. De plus, Shilts (1973) et Jenne (1977) démontrent que plusieurs éléments ont tendance à s'adsorber à la fraction argilleuse des sols, et seront par conséquent transportés plus facilement dans l'hydrosphère.

La pédosphère exerce une certaine influence sur la biosphère particulièrement en fonction des plantes. Elle lui fournit, en plus d'un lieu

d'ancrage, tous les éléments nutritifs et autres nécessaires à son développement. Il est bien connu que les plantes peuvent concentrer certains éléments (Macan, 1970; Cannon, 1971; Brooks, 1972; Levinson, 1974). Selon le cas, ces éléments seront transmis aux animaux supérieurs ou retournés au sol sous forme de complexes organiques. La végétation contribuera donc à l'augmentation du taux de matière organique dans les sols, et par conséquent, favorisera l'érosion chimique via l'action des acides humiques et fulviques.

Enfin, la pédosphère pourra devenir une roche sédimentaire, sous l'action d'une diagénèse qui résulte en une consolidation des particules suite à une transformation plus ou moins longue du dépôt sous des conditions extrêmes de pression et de température.

1.3 La biosphère

La biosphère joue un rôle important dans le système biogéochimique général car les plantes peuvent concentrer un grand nombre d'éléments tels le C, le Ca, le Cu, le F, le Fe, le Hg, le K, le Mg, le S, le Zn, etc... (Cannon, 1971; Brooks, 1972) provenant du sol par absorption principalement à partir des racines et les rendre au système souvent dans une forme beaucoup plus mobile. Williams et al. (1974) ont démontré que les feuilles des arbres d'une forêt du New-Hampshire peuvent contribuer de façon significative à introduire du Cu, du Fe, du Mn et du Zn dans les sols et dans l'eau de ruissellement. Une foule d'auteurs ont étudié les interactions qui

existent entre les plantes et les sols dont Bowen (1966), Sauchelli (1969) et Mortvedt et al. (1972). Ces interactions ne seront pas discutées en détail dans le présent travail. Plutôt, nous voulons faire ressortir très brièvement les interactions qui peuvent exister entre la biosphère et l'hydrosphère. Il importe de mentionner que les plantes constituent une importante réserve de matières nutritives et à un degré moindre d'éléments traces. La biosphère agit donc en certains cas comme un intermédiaire entre la pédosphère et l'hydrosphère. En effet, les plantes vont chercher les éléments chimiques dans les sols, les combinent à la matière organique et les rendent soit au sol, soit à l'atmosphère, soit directement à l'hydrosphère tout au long ou à la fin de leurs stages vitaux. En fournissant de la matière organique et à un degré moindre des éléments traces à l'hydrosphère, la biosphère contribue du fait même à la qualité des eaux et des sédiments.

1.4 L'atmosphère

Meybeck (1972) tente de démontrer l'importance de l'atmosphère en considérant la qualité des précipitations. Il est connu que le matériel en suspension contenu dans l'atmosphère a tendance à influencer la qualité des précipitations. Par conséquent, l'analyse des précipitations humides et sèches nous donnera une bonne approximation du matériel de cet origine qui pourra éventuellement se retrouver dans l'hydrosphère. Pour la majorité du territoire québécois, où la minéralisation des eaux est très faible, la part relative des éléments amenés directement dans l'hydrosphère par les précipi-

tations peut être importante. Plusieurs auteurs dont Campbell et al. (1966), Fisher et al. (1968), Pearson et Fisher (1971) et Sasseville et Lachance (1976) ont étudié la qualité des précipitations dans le nord-est des États-Unis et du Canada. Ils ont démontré que l'atmosphère véhiculait des quantités appréciables de Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄ et dans certains cas de NO₃ et HCO₃⁻. L'origine de ces éléments est diverse. Le Cl et le Na semblent provenir des aérosols marins sous forme de retombées sèches. Le Ca, le Mg et le K proviennent surtout de poussières atmosphériques, tandis que le SO₄ a une origine multiple à la fois naturelle tels que les feux de forêts et le volcanisme, et artificielle venant de la combustion du charbon et du pétrole de même que du raffinage de certains métaux. La concentration de ce dernier augmentant sensiblement près des grandes villes (Pearson et Fisher, 1971). Des études récentes, concernant les suies émises par les usines thermo-électriques utilisant le charbon comme source de combustion (Fisher et al., 1979; Smith, 1979; Wangen, 1981), ont démontré que certains métaux traces (As, Cd, Mo, Pb, Sb, Se, W, Zn) ont tendance à être plus fortement associés aux particules les plus fines (< 3μ). Ces particules fines deviendront un important véhicule de transport longue portée de nombreuses substances polluantes. Barrie et al. (1981) et Heidam (1981) ont récemment mis en évidence que les polluants atmosphériques émis dans les régions de latitudes intermédiaires en Amérique du Nord, en Europe et en Sibérie atteignent même la Haute Arctique américaine principalement en hiver et au début du printemps. Ceci a pour effet d'y réduire sensiblement la visibilité.

À mesure que les concentrations de SO_x et NO_x augmentent dans l'atmosphère, les précipitations acides qui en résultent jouent un rôle important au niveau des autres composantes du cycle biogéochimique. L'influence des pluies acides sera grande dans des environnements géologiques cristallins non-carbonatés, semblable à celui du Bouclier canadien à cause de leur faible pouvoir tampon. Conroy et al. (1975), Wright et Gjessing (1976), Henriksen et Wright (1977), Dillon et al. (1978), Altshuller et McBean (1979) et Norton et al. (1980) sont quelques auteurs qui se sont penchés sur le problème des pluies acides en Amérique du Nord et dans les pays scandinaves. Dans l'est de l'Amérique du Nord, les pluies "normales" ont un pH de 5.6, car elles sont en équilibre chimique avec les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone. Cependant, il n'est pas rare de rencontrer des pluies ayant un pH de 4.6 (Altshuller et McBean, 1979). Au Québec, les précipitations ont un pH moyen d'environ 4.2. L'effet principal de ces précipitations en est un d'acidification des lacs, des cours d'eau et des eaux souterraines. En effet, si le bassin versant ne possède pas une capacité tampon élevée, ses eaux risquent de s'acidifier à un rythme plus ou moins élevé. Wright et Gjessing (1976) ont noté que les précipitations acides contribuent à augmenter la vitesse de dissolution du Zn, du Cd, du Pb, du Cu et du Ni dans des bassins versants non carbonatés. Par conséquent, les lacs acides possèdent souvent des concentrations élevées des métaux énumérés dans leurs eaux. Schindler et al. (1980) ont remarqué le même phénomène pour des lacs de l'Ontario. Norton et al. (1980) ont étudié les écosystèmes forestiers et ont mis en évidence une augmentation de la lixiviation de l'Al, du Ca, du K, du Mg, du Mn, du Fe et du Zn à partir de podzols, semblables à

ceux qu'on rencontre sur le Bouclier canadien, soumis à l'action de l'eau de ruissellement acide. Ils ont aussi observé un taux de désorption élevé chez plusieurs métaux. Les études de Dillon et al. (1978) ont démontré qu'un pH < 5.5 était critique pour la reproduction des poissons. Il est maintenant bien connu, depuis les travaux de Pionke et Corey (1967), Cronan et Schofield (1979), Johnson (1979) et Driscoll et al. (1980), qu'une conséquence importante de l'acidification des eaux superficielles se traduit par l'augmentation de la mobilité de l'Al de la pédosphère des bassins versants. Ceci favorise donc le transport de cet élément vers l'environnement aquatique. Dans ses études sur le lac Tantaré, situé à environ 30 km au nord de la ville de Québec, Jones (communication personnelle) a mis en évidence des teneurs en Al 2.3 fois plus élevées dans un ruisseau ayant un pH de 4.4 comparativement aux eaux épilimnitiques du lac dont le pH est de 5.1 (0.47 vs 0.20 $\mu\text{g l}^{-1}$). Les effets sur la faune ichthyologique de la plus grande mobilité de l'Al des bassins versants acidifiés ont été récemment étudiés par Muniz et Leivestad (1980a, b). De plus, Dickson (1978) a mis en évidence la forte capacité de l'Al à précipiter les substances humiques en suspension dans l'environnement lacustre et ceci particulièrement à un pH variant de 4 à 5.

La quantité et la forme des précipitations atmosphériques peuvent aussi influencer l'hydrosphère. Les retombées atmosphériques peuvent être divisées en deux entités physiques distinctes: soient les précipitations humides (pluie et neige) et les précipitations sèches (aérosols et poussières). Il nous semble évident que la quantité de pluie qui tombe joue un rôle important dans le phénomène d'érosion d'un bassin versant. Ainsi, de

fortes pluies auront tendance à transporter plus de sédiments (matériel en suspension) vers le milieu lacustre. Cependant, le temps de résidence de ces pluies étant passablement raccourci quand elles sont diluviennes, le bassin versant ne pourra pas jouer son rôle de tampon de façon adéquate, surtout dans le cas des bassins versants non carbonatés. Il s'en suivra donc une acidification du milieu lacustre ce qui se ferait beaucoup plus lentement dans le cas de pluies légères. L'accumulation de neige pendant l'hiver provoquera le même phénomène lors de la fonte. Les précipitations accumulées de cette façon se retrouveront directement dans les lacs sans pouvoir bénéficier du pouvoir tampon du bassin versant. On rencontre souvent une baisse du pH mesuré dans les lacs du Bouclier canadien au printemps (Jones et Bisson, 1980).

Bref, nous avons vu que la qualité physico-chimique des précipitations atmosphériques joue un rôle important directement ou indirectement sur la qualité de l'hydrosphère et de la pédosphère, et même au niveau de la biosphère.

1.5 L'hydrosphère

Le sous-système de l'hydrosphère est caractérisé par deux entités physiques distinctes: l'eau et les sédiments. Pour les besoins de notre étude, nous considérerons l'hydrosphère en tant que complexe lacustre. La matière en suspension sera omise, étant difficilement analysable et faisant partie à toute fin pratique des sédiments.

À ce sujet, Ballinger et McKee (1971) définissent les sédiments lacustres comme étant le résultat de la déposition du matériel en suspension existant dans l'eau sus-jacente. Ce matériel pouvant être autochtone ou allochtone. Le matériel allochtone étant produit en dehors du lac, il peut être introduit dans le milieu lacustre par les eaux de ruissellement, les eaux souterraines ou par les précipitations atmosphériques. Le matériel autochtone est le matériel produit à même le milieu lacustre. La production de ce matériel peut se faire de deux façons importantes, soit via des processus biologiques, soit par des processus physico-chimiques telle la précipitation chimique.

Ci-dessous nous ferons une brève revue de littérature des principales composantes de l'hydrosphère: les eaux, les sédiments et en troisième lieu, il sera question des interactions existantes entre ces deux composantes.

1.5.1 Les eaux lacustres

Plusieurs auteurs dont Birge et Juday (1934), Brunskill et al. (1971), Lerman et Brunskill (1971), Weiler (1973), Nichol et al. (1975), Wetzel (1975) et Jones et al. (1979) se sont penchés sur le problème de la qualité des eaux lacustres. Le lac est en fait un lieu de rétention pour l'eau souterraine, pour l'eau de pluie et pour l'eau de rivière. Levinson (1974) suggère, par conséquent, que la composition de la plupart des eaux lacustres peut être décrite en fonction de la composition des eaux

superficielles, souterraines et atmosphériques qui s'y concentrent. De plus, il affirme que la composition chimique de la majorité des lacs ressemble beaucoup à celle des rivières, même s'il existe des lacs qui sont alimentés presque exclusivement par les nappes souterraines. La chimie des eaux lacustres, comme celle des rivières, reflète les conditions climatiques et biologiques, le matériel géologique, et le relief du bassin versant. De façon générale, les eaux lacustres du Bouclier canadien renferment des quantités appréciables de carbonate (2.0 mg/L Ca), de sulfates (3.0 mg/L) et de chlorures (2.0 mg/L) de calcium, magnésium, sodium et potassium, de silice (5.0 mg/L) et de petites quantités d'azote et de phosphore (Nichol et al., 1975; Jones et al., 1979). Le fer et le manganèse peuvent atteindre des concentrations non-négligeables (de l'ordre du ppm). Les éléments traces peuvent aussi apparaître en solution dans l'eau lacustre, mais généralement en de très faibles quantités (ppb). Des substances organiques peuvent aussi être en solution et elles sont souvent plus abondantes sous cette forme que sous la forme particulaire (Birge et Juday, 1934; Wetzel, 1975).

Il semblerait que la majorité des auteurs cités ont observé une différence significative entre la composition de l'eau de surface et celle de l'eau interstitielle. Weiler (1973) a mis en évidence que l'eau interstitielle était enrichie relativement aux eaux sus-jacentes, en fonction du Ca, du Mg, du K, de l'Al, du SO_4 , de la SiO_2 , du Mn et du Fe. Brunskill et Povaledo (1971) ont démontré que l'eau interstitielle contenait des concentrations plus élevées, par un facteur 1 à 6, pour ce qui est de la concentration des cations majeurs et de la silice. Par contre, McColl (1972) a

enregistré très peu de variations entre les concentrations de Na, K, Ca, Mg et de Cl dans l'eau de surface et leur concentration dans l'eau près du fond, lors de son étude sur des lacs de la Nouvelle Zélande. Les concentrations de Fe et de Mn variaient significativement en fonction des lacs, du temps et de la profondeur.

Le pH d'un lac joue un rôle important quant à la qualité chimique de ses eaux. Selon Kramer (1978), le pH n'est pas stable. Il change selon des rythmes saisonniers et même journaliers. Généralement, le pH lacustre augmente pendant les périodes biologiquement productives (jours ensoleillés, bloom de printemps, bloom d'automne). L'augmentation est due à l'activité photosynthétique. En d'autres temps, le pH a tendance à baisser. Le pH moyen d'un lac est par conséquent difficile à obtenir. Les lacs à pH < 5 démontrent moins de fluctuations à cause du manque de productivité. Jones et Bisson (1980) ont remarqué que le pH du lac Laflamme reste stable pendant l'hiver et subit une baisse au printemps lors du dégel de la couverture de glace et de neige. Quelques auteurs, dont Henriksen et Wright (1977), ont observé que le pH de l'épilimnion restait plus acide que l'hypolimnion et qu'il ne se produisait pas de mélange à travers la thermocline sauf aux périodes de "turnover".

Concernant le rôle du pH dans les eaux lacustres, Kramer (1978) observa, lors de ses travaux, que la concentration des métaux traces solubles (Ni, Cu, Fe, Zn, Pb) a augmenté sensiblement lorsque l'environnement devient plus acide. Selon ce dernier, cela démontre l'interdépendance qui

existe entre le pH et les mécanismes d'adsorption et/ou de dissolution rencontrés dans les eaux lacustres. Williams et al. (1974) ont observé que la force des liaisons des complexes organo-métalliques varient selon le pH. En général, plus le pH est bas, plus les liaisons seraient faibles. Dillon et al. (1979) affirment qu'en milieu acide la majeure partie des métaux lourds sera dans une forme ionique ou simple.

La structure thermique des lacs résultante de la circulation de l'eau, peut jouer un rôle déterminant quant à la précipitation ou la mise en solution d'éléments traces. La littérature démontre que l'O₂ dissous, le CO₂, et le H₂S, ainsi que le pH sont des facteurs importants quant au mouvement ou à la fixation des éléments. L'influence du milieu biologique se fait surtout sentir par les phénomènes d'adsorption et d'absorption et seront souvent déterminant pour ce qui est de la qualité des eaux lacustres. Nous verrons ces facteurs plus en détail dans la section 1.5.3.

1.5.2 Les sédiments de fond de lac

Kleerekoper et Grenier (1952), Allan et Timperlay (1974), Davenport et al. (1974), Jackson et Nichol (1974), Ouellet et Poulin (1976), Forstner (1977) et Ouellet (1980a, b) sont quelques uns des nombreux auteurs qui se sont penchés sur la composition et le rôle des sédiments de fond de lac. La composition chimique des sédiments lacustres est influencée tant par la nature du lac que par les processus qui contrôlent la distribution des métaux traces dans les sédiments. Ils sont essentiellement composés d'une

fraction organique et d'une fraction inorganique. Les sédiments peuvent être autochtones et, par conséquent, formés à l'intérieur du lac par des processus biologiques ou physico-chimiques, ou allochtones, étant introduits de l'extérieur par des ruisseaux ou des rivières, ou par les apports atmosphériques.

Le matériel organique peut provenir de plusieurs sources: de la partie organique des sols (matière humique), de la végétation riparienne, du plancton, du pollen, des spores, etc. La fraction inorganique des sédiments est constituée habituellement de quartz, de minéraux ferromagnésiens, de feldspaths et de divers minéraux argileux incluant l'illite, la chlorite, la kaolinite et la montmorillonite de même que divers métaux lourds réfractaires. L'accumulation d'éléments traces est fonction, jusqu'à un certain point, de la nature physico-chimique de l'eau et de l'activité biologique qui y règne. Ouellet (1980a, b) a observé, dans les sédiments du lac Saint-Jean, une étroite association entre le Cu, le Ni, le Zn, le Co, la matière organique et la profondeur de même que pour le Fe et le Mn. Davenport et al. (1974) ont fait ressortir une corrélation significative entre le Zn et une estimation de la matière organique par la perte au feu, dans un même lac de Terre-Neuve. Ils suggèrent que le Zn s'adsorbe à la matière organique ou qu'il forme avec celle-ci des complexes organo-métalliques. Forstner (1977) a aussi observé des corrélations significatives entre des métaux traces et la matière organique dans des sédiments lacustres. Cependant, il ne les explique pas toujours par des liaisons avec la matière organique, surtout pour les lacs pollués ou eutrophes. Il note aussi que la distribution de

Mn, du Fe et du Co est souvent contrôlée par le potentiel redox des eaux. Allan et Timperlay (1974) suggèrent que le Cu s'accumule dans les sédiments lacustres sous forme de précipités de sulfure de Zn et de complexes organo-métalliques.

Dans un autre ordre d'idée, Kleerekoper et Grenier (1952) ont étudié les relations qui existent entre certaines teneurs d'éléments dans les sédiments et la profondeur d'échantillonnage d'un lac du Québec. Ils ont observé une corrélation significative entre la silice et la profondeur.

Finalement, il est intéressant de noter que la plupart des auteurs de géochimie d'exploration s'entendent sur le fait que les échantillons de sédiments prélevés au milieu d'un lac et, par conséquent, habituellement dans la partie la plus profonde, sont les plus homogènes et souvent les plus représentatifs du système lacustre en autant que les cuvettes sont régulières (Ouellet, 1974, 1980b). En eau peu profonde, l'action des vagues est telle que les sédiments sont habituellement assez grossiers et il est par conséquent plus difficile d'obtenir un échantillon qui, une fois analysé, sera représentatif, les particules grossières contribuant souvent à biaiser les résultats.

1.5.3 Les interactions eaux-sédiments

La littérature concernant les interactions eaux-sédiments est abondante. Retenons les travaux de Warren et al. (1966), Riemer et Toth (1970), Kennedy et al. (1971), Mortimer (1971), Lineback et Gross (1972), Vernet et

Thomas (1972), Akiyama (1973), Iskandar et Keeney (1974), Kamp-Nielsen (1974), Leckie et James (1974), Jonasson et Timperlay (1975), Lee (1975), Schindler et al. (1976), Jenne (1977), Dillon et al. (1978), Likens et al. (1979), Legendre et al. (1980), de même que Schindler et al. (1980).

Leckie et James (1974) décrivent l'eau naturelle comme étant un système d'électrolyte complexe et hétérogène, comprenant de la matière organique et inorganique. Il s'agit en fait de solutions d'électrolytes en contact avec des solides de dimension macroscopique à colloïdale. En plus des interactions simples ion-ion, on retrouve aussi des interactions ion-solvent, ion-solide et solvant-solide qui pourront aussi jouer un rôle important dans la distribution et le transport d'ions métalliques entre les phases solide et aqueuse du système de l'hydrosphère.

De façon générale, on peut affirmer que d'après les auteurs cités, les interactions eaux-sédiments sont contrôlés principalement par des processus d'adsorption, de coprécipitation, de complexation organo-métallique, de diffusion et par des fluctuations dans l'environnement limnologique (figure 2).

L'adsorption semble s'effectuer principalement sur les minéraux argileux. La force d'adsorption suivra la série suivante: $Pb > Zn > Cu$ et les capacités d'adsorption des minéraux communs se fera dans l'ordre décroissant selon la suite: minéraux argileux \ggg muscovite $>$ oligoclase $>$ hornblende $>$ augite $>$ quartz. À ce sujet, Riemer et Toth (1970), Lineback

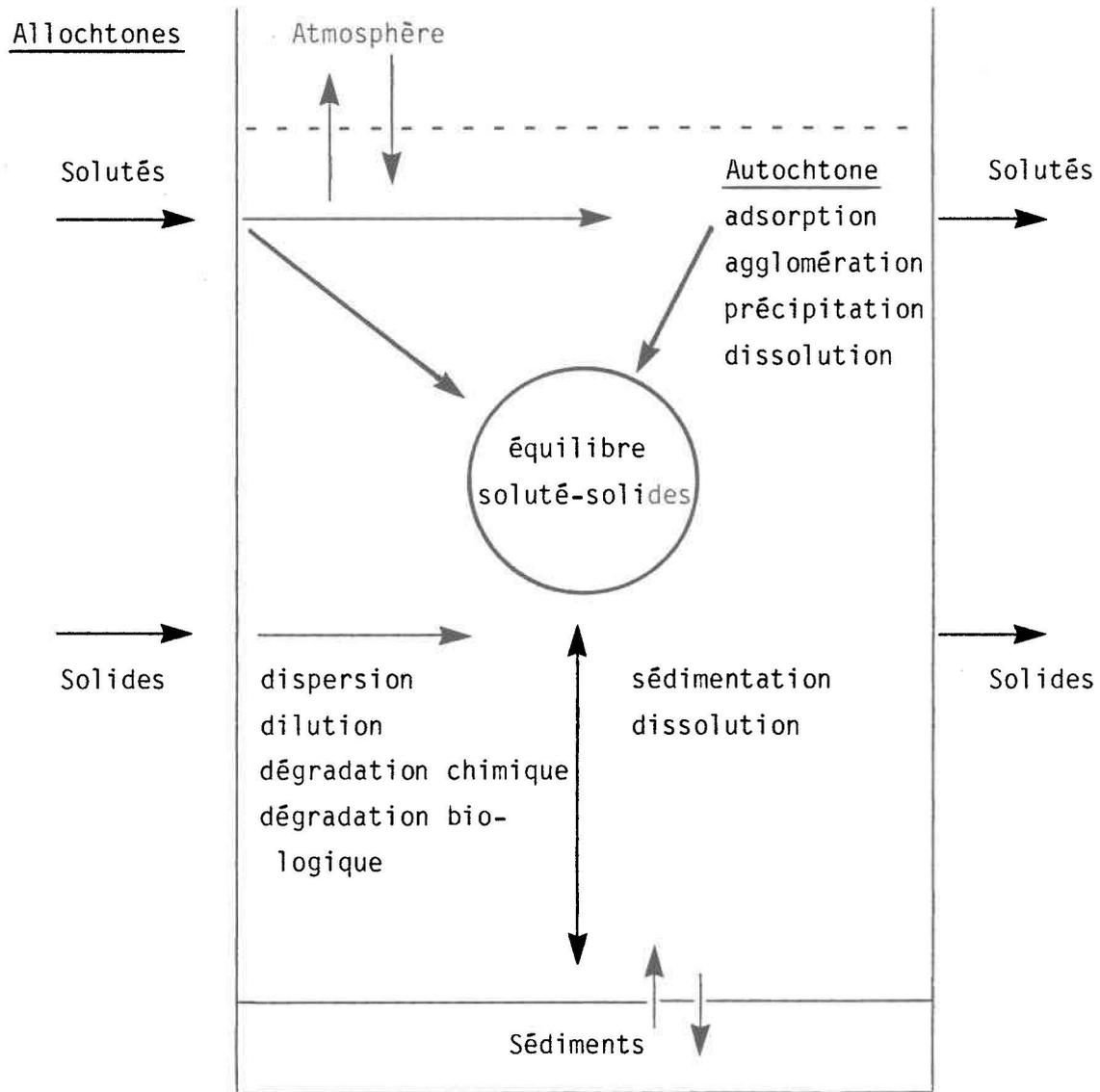


FIGURE 2 Facteurs influençant la concentration des composantes lacustres.

et Gross (1972) et Jenne (1977) ont étudié les interactions chimiques à la surface des dépôts de fond et ont constaté que certains métaux dont le Cu étaient adsorbés principalement sur les minéraux argileux et sur les acides humiques. Warren et al. (1966) ont noté des concentrations élevées de mercure dans les sédiments contenant beaucoup d'argile. Par contre, Loring (1975), dans ses travaux concernant les sédiments de la rivière Saguenay, observe une forte corrélation entre la matière organique (allochtone) et le Hg.

Leckie et James (1974) mentionnent que l'adsorption des métaux traces est fortement dépendant du pH de la solution. Le taux d'adsorption augmente dans la plage de pH où les produits d'hydrolyse deviennent une fraction significative de la concentration totale de l'ion métallique aqueux.

La coprécipitation des métaux traces se fait principalement avec les oxydes de Fe et de Mn, bien que Forstner (1977) mentionne que les carbonates peuvent aussi être appelés à jouer un rôle important. Nichol et al. (1975) ont constaté que le taux de coprécipitation variait énormément de lacs en lacs. Ils ont mis en évidence, dans certains lacs du Bouclier canadien, une corrélation significative entre les concentrations de Cu et Zn, et les concentrations de Fe et Mn. Par contre, cette relation était inexistante dans certains autres lacs. Lee (1975) et Jenne (1977) mentionnent que les oxydes hydratés de Fe et Mn sont les principaux "scavengers" rencontrés dans les eaux lacustres. Ce sont eux qui deviennent les principaux contrôleurs de la

fixation du Co, du Ni et du Zn. Ces oxydes agissent de deux façons. Tout d'abord en tant que particules pouvant trapper les métaux lors de contacts, mais c'est surtout en recouvrant d'autres particules qu'ils peuvent exercer une activité chimique très grande malgré leur concentration normale.

L'adsorption ou la désorption des métaux sur les oxydes de Fe et de Mn sont fonction des facteurs suivants: (1) la concentration du métal en question; (2) la concentration des autres ions métalliques présents qui pourraient compétitionner pour les sites disponibles; (3) le pH et (4) la quantité et la force des chélates organiques et des complexes inorganiques présents dans la solution. À pH > 5, les formes oxydées sont peu solubles et auront tendance à sédimenter rapidement. Près du fond des lacs on peut rencontrer des valeurs plus élevées de Fe, de Mn et de métaux. Cet état de fait peut s'expliquer dans la majorité des cas par des conditions réductrices qui y prévalent, à cause d'un déficit en oxygène qui favorise la remise en solution du Fe et du Mn ainsi que de leurs coprécipités (Mortimer, 1971).

Le processus d'interaction le plus important dans l'hydrosphère semble être l'adsorption ou la complexation des métaux traces par la matière organique. C'est en effet dans les sédiments lacustres où l'on rencontre beaucoup de matière organique, qu'on enregistre habituellement les plus hautes teneurs de métaux. Ruch et al. (1970), Shimp et al. (1971), de même que Kennedy et al. (1971) abondent aussi dans ce sens quand ils ont mis en évidence des corrélations très significatives entre des éléments traces tels que le Cu, le Zn, le Pb, le Cr, etc. et la teneur en matière organique dans les sédiments du sud du lac Michigan. Williams et al. (1974) mentionnent

que les acides humiques et fulviques forment des composés stables (humates et fulvates) avec les métaux et leur solubilité dépend du pH.

La diffusion est un processus physico-chimique qui aide à la redistribution des métaux traces des sédiments vers l'eau. L'eau interstitielle étant généralement plus chargée en métaux aidera à enrichir les eaux sus-jacentes par simple diffusion (Weiler, 1973).

Le changement des conditions redox et de pH des eaux lacustres peut influencer sur la nature des échanges eaux sédiments (Leckie et James, 1974; Williams et al., 1974 et Schindler et al., 1980). En effet, ces paramètres peuvent contrôler la solubilisation ou l'agglomération et par conséquent la sédimentation subséquente du métal. Le pH influence l'adsorption de métaux sur des particules non solubles parce que les ions hydrogène peuvent influencer en compétitionnant pour les sites actifs disponibles modifiant du même coup la capacité d'adsorption des particules. Le Fe, le Mn, le Cu, le Zn, le Ni, le Co et le Pb sont immobiles sous des conditions oxydantes alcalines et auront tendance à co-précipiter. Ils seront désorbés et mobiles dans un environnement réducteur et acide. Par conséquent, le E_h agit de façon similaire et vient compléter souvent les effets du pH. Le Fe et le Mn sont les plus sensibles aux variations de E_h . À E_h bas on aura Fe^{2+} et Mn^{2+} en solution car ils sont beaucoup plus solubles que sous la forme oxydée. Selon Leckie et James (1974), les conditions redox affectent les métaux traces de deux façons: premièrement en provoquant un changement direct dans l'état d'oxydation de l'ion, et deuxièmement en provoquant un changement

redox dans les ligands disponibles et en compétition. Enfin, Schindler et al. (1980), dans leur étude concernant l'acidification artificielle du lac 223 du E.L.A. en Ontario, ont démontré que les sédiments ainsi acidifiés avaient relâché des quantités appréciables de Zn, de Mn, d'Al et de Fe dans l'eau sus-jacente. Malheureusement, les concentrations de Cu, Cd, Co, Cr et Pb sont restées sous la limite de détection de telle façon que les auteurs ont été incapables d'en constater l'influence.

En terminant, nous pouvons conclure en rappelant que l'accumulation des éléments traces dans les sédiments lacustres est fonction d'un ensemble de phénomènes dont la nature physico-chimique des eaux, ainsi que la quantité et la qualité du matériel géologique contenu dans le bassin versant.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DE LA REGION

2.1 Physiographie

Les 186 lacs échantillonnés par le M.R.N.Q. se trouvent à l'intérieur d'un rectangle délimité par les latitudes 48°12' et 48°27' nord et par les longitudes 70°06' et 70°43' ouest (figure 3). Cette région est représentée sur les cartes à l'échelle de 1:50 000 du système national de relevé cartographique canadien (SRNC) par les feuillets: 22 d/1, 22 d/2, 22 d/7 et 22 d/8. Le centre du quadrillatère est situé à environ 50 km à l'est de Chicoutimi et à environ 60 km à l'ouest de l'embouchure du Saguenay. Des 186 lacs, 87 sont situés au nord de la rivière Saguenay, tandis que les autres sont localisés au sud (annexe A).

Le quadrillatère étudié fait partie intégrante du Bouclier canadien, plus précisément de la région physiographique des hautes terres laurentiennes (Bostock, 1972). Cette région s'élève brusquement au-dessus des basses terres du Saint-Laurent, des basses terres du Lac Saint-Jean et des basses terres du Saguenay. Il s'agit d'un plateau ondulé à surface inégale qui est situé à une altitude supérieure à 180 m (600 pi) au-dessus du niveau de la mer (Potvin, 1980). Dans les cas qui nous intéressent, les lacs sont situés à une altitude moyenne d'environ 300 m (1 000 pi), variant entre un minimum de 150 m (500 pi) et un maximum de 490 m (1 600 pi). La topographie est excessivement irrégulière et consiste en une succession de collines arrondies et de vallées. Il s'agit d'un relief montagneux à montueux (Jurdant et al., 1972) où les sommets sont généralement à un même niveau.

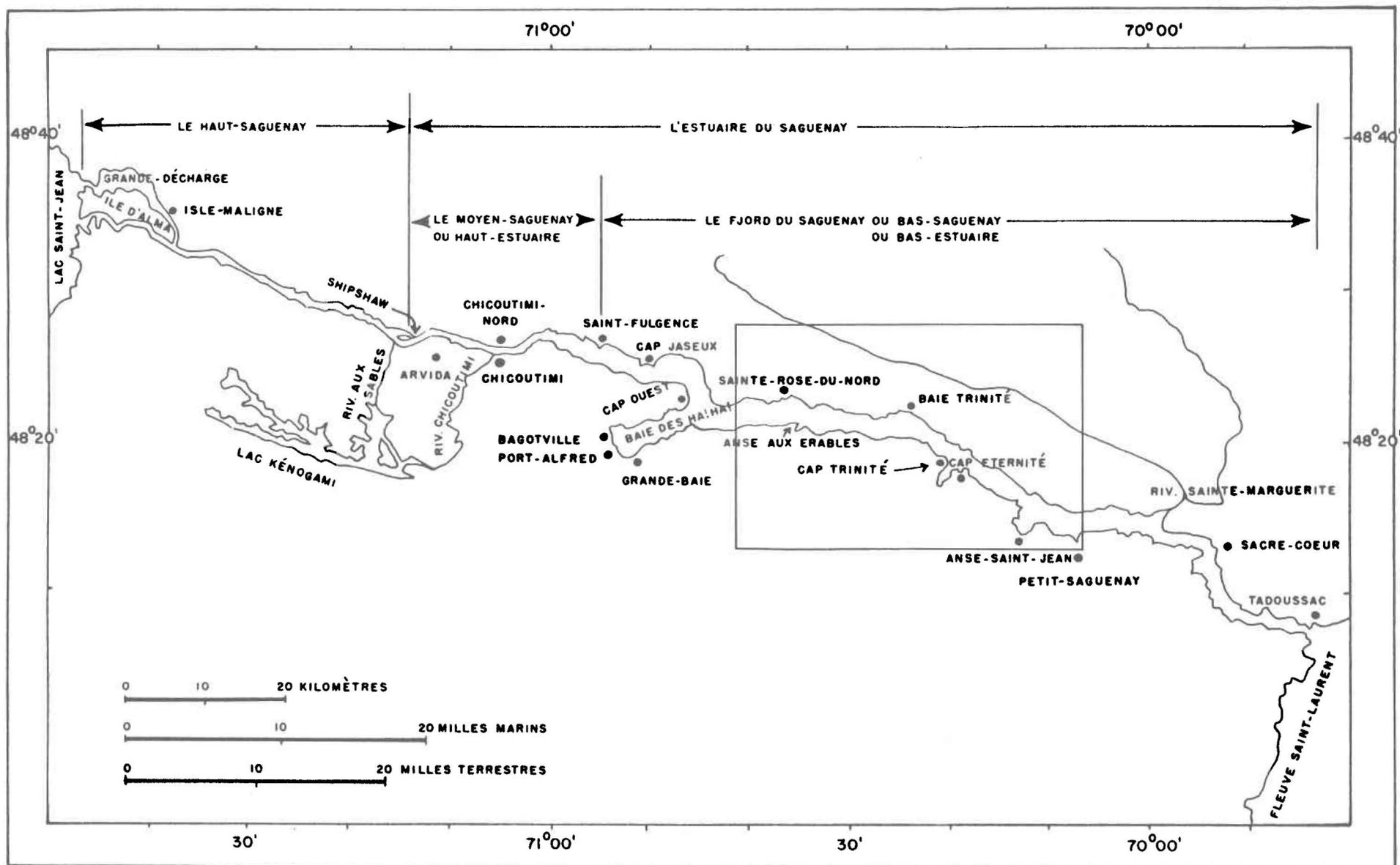


FIGURE 3 Divisions physiographiques de la rivière Saguenay (selon Drainville (1968)) et localisation générale de la région étudiée.

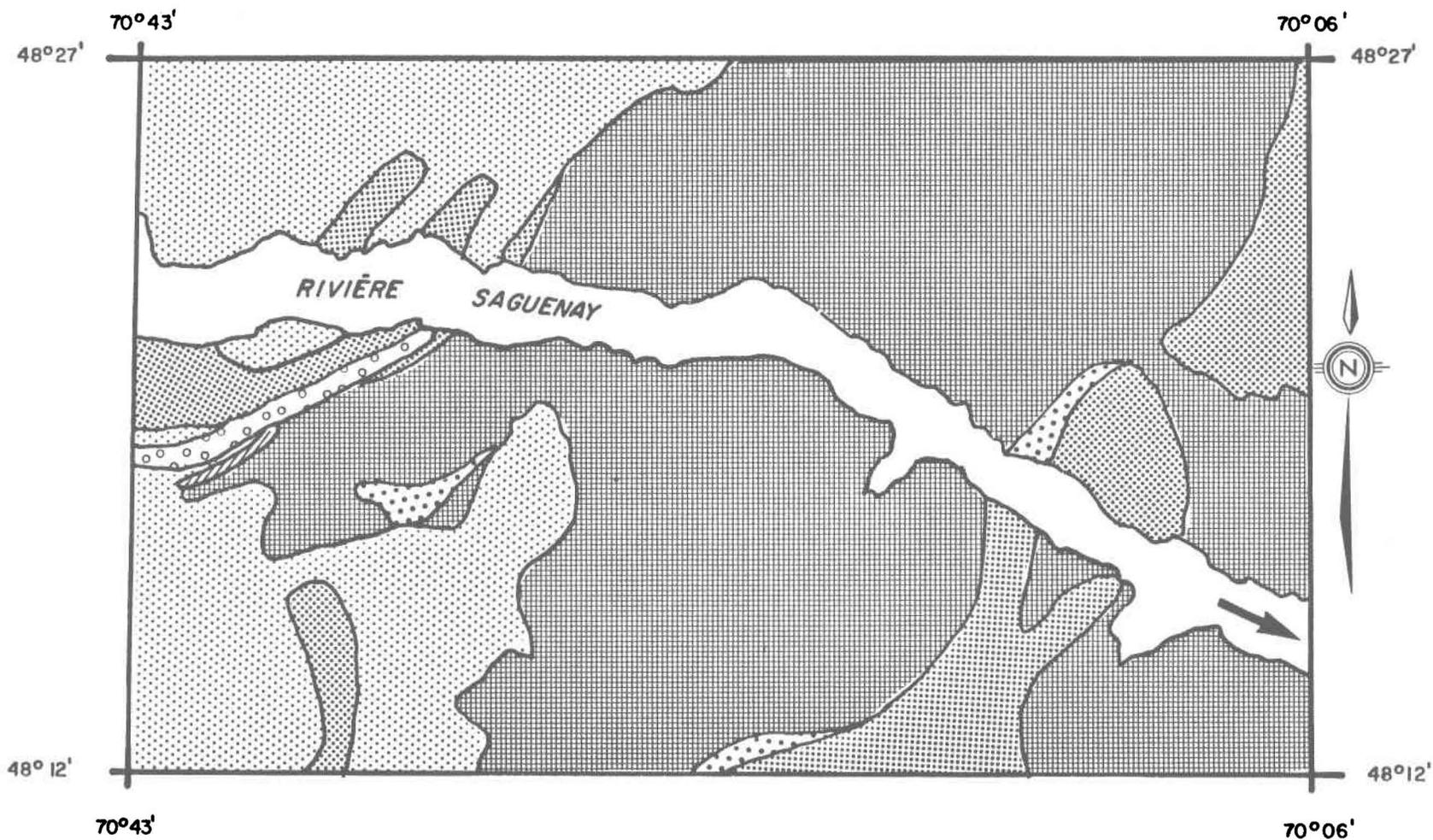
Selon Drainville (1968), la région étudiée se trouve à la hauteur du tronçon qu'il désigna par l'expression: "le moyen estuaire du Saguenay", d'où le titre de cet étude.

2.2 Géologie

Plusieurs auteurs ont étudié la géologie du Saguenay - Lac Saint-Jean. Ce sont Clibbon et Bergeron (1963), Douglas (1972), et plus particulièrement Laurin et Sharma (1975) de même que Cockburn (1977). La région étudiée appartient entièrement au précambrien supérieur et forme ainsi une partie du Bouclier canadien. La géologie est caractérisée principalement par des intrusions qui eurent lieu pendant l'orogénèse du Grenville, il y a 1 400 millions d'années et qui sont associés aux massifs d'anorthosites situés plus au nord. Il s'agit surtout de roches cristallines peu ou pas métamorphisées à base de quartz et de feldspaths.

Le territoire étudié comprend, selon Laurin et Sharma (1975), six lithologies distinctes (figure 4) qui sont en ordre d'importance en fonction de leur superficie: la mangérite ($\approx 50\%$), les migmatites ($\approx 20\%$), les gneiss charnokitiques ($\approx 15\%$), les monzonites ($\approx 7\%$), les gneiss ($\approx 7\%$) et finalement un lambeau de paragneiss mixtes qui représente à peine 1% de la région.

La mangérite occupe la majeure partie de la section est du territoire. C'est une roche ignée plutonique qui est associée de façon



70°43'

70°06'

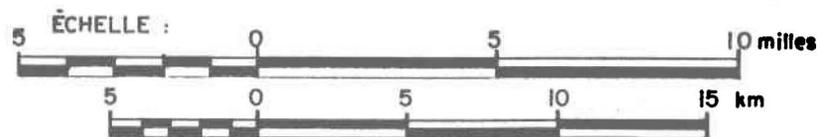


FIGURE 4 Carte géologique de la région étudiée, d'après Laurin et Sharma (1975).

synorogénique aux intrusions d'anorthosites, se retrouvant surtout en périphérie de celles-ci. Les mangérites sont peu ou pas métamorphisées et font partie de la suite charnokitique à cause de leur couleur verdâtre associée à la présence d'un pyroxène particulier qu'est l'hypersthène. Au point de vue minéralogique, elles ont une composition monzonitique avec hypersthène, c'est-à-dire de 70 à 80% de feldspaths dont 33 à 65% sont potassiques, le reste étant des plagioclases, du quartz (< 15%), et des minéraux ferromagnésiens (< 15%) dont l'hypersthène. On retrouve quelques fois des minéraux accessoires tels que le zircon, l'apatite et l'allanite. La composition chimique d'une mangérite type du lac Saint-Jean est donnée au tableau 1. La silice et l'aluminium en sont les éléments majeurs.

Les migmatites sont constitués d'un mélange de gneiss et de matériel de mobilisat. C'est, en fait, une phase intermédiaire entre les gneiss riches en biotite et les gneiss granitiques (Laurin et Sharma, 1975). Ici encore, ce sont des roches riches en quartz et feldspaths. Les minéraux mafiques sont représentés surtout par la biotite. La magnétite, le grenat, l'apatite, le graphite, la séricite, le zircon et la pyrite servent de minéraux accessoires. Malheureusement, nous n'avons pu obtenir une analyse chimique détaillée de ce facies. Cependant, elle devrait s'approcher de celles du granite et du gneiss à biotite.

Les gneiss charnokitiques sont surtout concentrés autour des massifs d'anorthosites et de mangérites. Ils étaient originellement des gneiss gris à quartz, oligoclase, biotite et hornblende, des gneiss granitiques ou des

roches sédimentaires qui ont acquis les caractères des roches à facies à granulite à cause du métamorphisme provoqué par les intrusions d'anorthosites et de mangérites de la région (Laurin et Sharma, 1975). Minéralogiquement, ces gneiss sont identiques à leurs roches d'origine, sauf qu'ils sont plus fortement métamorphisés et qu'on rencontre un pyroxène en particulier, l'hypersthène. La composition minéralogique de ce facies peut être résumée de cette façon: prédominance de feldspaths verts (plagioclases), peu de quartz et peu de minéraux mafiques (< 10%). Dans notre région, on peut dire que les gneiss charnokitiques sont des mangérites à métamorphisme intense. C'est une roche facilement altérable. Sa composition chimique s'apparente à celles des mangérites.

Il n'existe que trois petits lambeaux de monzonites dans la région étudiée. Cette roche est constituée de phénocristaux de feldspath potassique et de plagioclase dans une matrice plus fine de feldspath potassique, de plagioclases, de quartz et de minéraux mafiques. Le minéral ferromagnésien dominant est la hornblende. L'apatite, le zircon, le sphène et quelques minéraux opaques sont les seuls minéraux accessoires. La minéralogie des monzonites ressemble à celle des granites, sauf pour ce qui est de l'abondance de quartz (moins de quartz). La composition chimique d'une monzonite type du lac Saint-Jean nous montre un déficit en silice à comparer aux granites (65.0% et 71.65% de SiO_2 respectivement).

Occupant à peine 7% du territoire, les gneiss granitiques sont concentrés dans sa partie ouest. Laurin et Sharma (1975) les décrivent comme

étant des granites classiques, qui possèdent une structure gneissique causée par la concentration de minéraux mafiques en bandes, leur donnant une apparence plus ou moins rubannée. Minéralogiquement, le gneiss granitique contient jusqu'à 70% de feldspaths potassiques, de 10 à 40% de plagioclases et jusqu'à 25% de quartz. La biotite et la hornblende en sont les principaux minéraux mafiques. La composition chimique est équivalente à celle des granites.

Sur le territoire étudié, il n'existe qu'un endroit où l'on rencontre le facies des paragneiss mixtes, et c'est dans la partie ouest. De par sa définition, un paragneiss est le résultat d'un métamorphisme exercé sur des roches sédimentaires. Ils sont généralement bien lités en raison du pourcentage élevé des minéraux micacés des différentes couches. La minéralogie de ce facies est extrêmement variée (Laurin et Sharma, 1975). Le quartz et la plagioclase constituent les principaux minéraux leucocrates. Les autres minéraux sont la biotite, la hornblende, la sillimanite, le graphite et le grenat. La composition chimique de ce facies, bien qu'assez similaire aux autres, ne devrait pas jouer un rôle important au niveau de la zone étudiée, vu sa faible étendue.

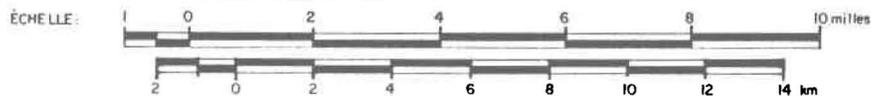
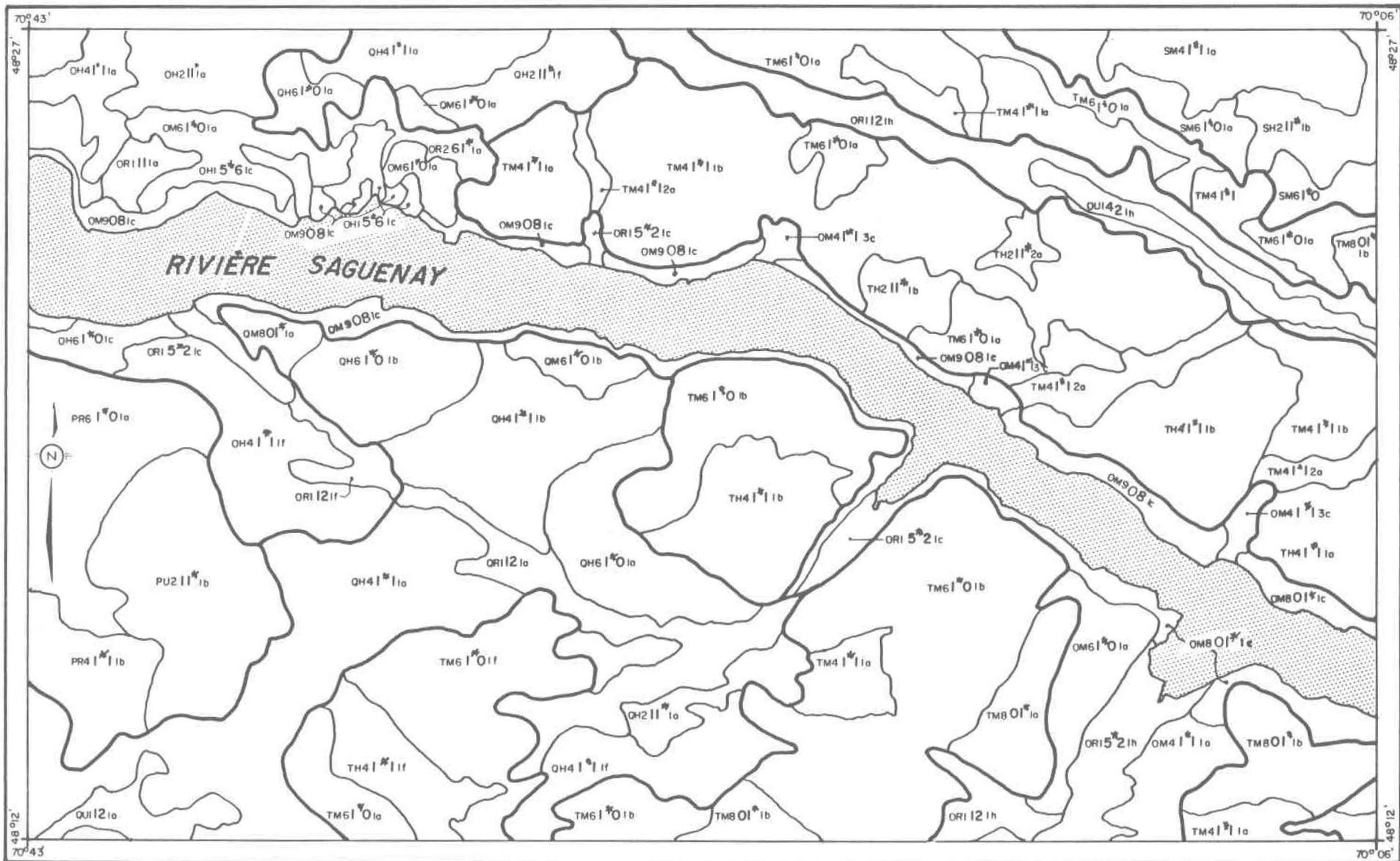
Économiquement, les roches cartographiées sont peu importantes et leur potentiel de minéralisation est presque nul. Par contre, on croit que le Saguenay s'est développé le long d'une ancienne zone de tension et de faiblesse dans la croûte terrestre; une zone d'effondrement et de cisaillement du genre grabben semblable aux rifts de l'Afrique de l'est (Cockburn,

1977). La présence de complexes alcalins avec carbonatites (dépôts de colombium à Crevier et Saint-Honoré) semble appuyer cette hypothèse. Par conséquent, il existe toujours la possibilité de trouver d'autres intrusions du même genre, qui pourraient avoir un intérêt économique.

2.3 Quaternaire

La géologie des dépôts meubles du Saguenay - Lac Saint-Jean a fait l'objet de plusieurs études dont celles de LaSalle (1968; 1977), de Tremblay (1971; 1971a), de Jurdant et al. (1972), de Prest (1972), de LaSalle et Tremblay (1978) et d'une synthèse par Potvin (1980). Ces auteurs expliquent que les sédiments meubles sont d'origine glaciaire et post-glaciaire reliés à la présence successive du glacier wisconsinien et de la mer Laflamme; un bras de la mer Champlin qui s'est développé pendant la période s'étendant de 9 500 à 8 000 années avant aujourd'hui.

Les argiles représentent les sédiments d'eau profonde et on les rencontre dans les basses terres jusqu'à la côte 190 m (620 pi). Dans la région étudiée, le matériel argilo-marin est concentré exclusivement sur les bords de la rivière Saguenay, plus spécifiquement dans les environs de Saint-Rose-du-Nord, de la baie Éternité et de l'anse Saint-Jean (figure 5). Dans les hautes terres du territoire, on rencontre presque exclusivement des dépôts glaciaires. Il s'agit en fait de till et de sédiments fluvio-glaciaires plutôt grossiers, souvent peu épais sur les sommets et devenant relativement importants dans les vallées.

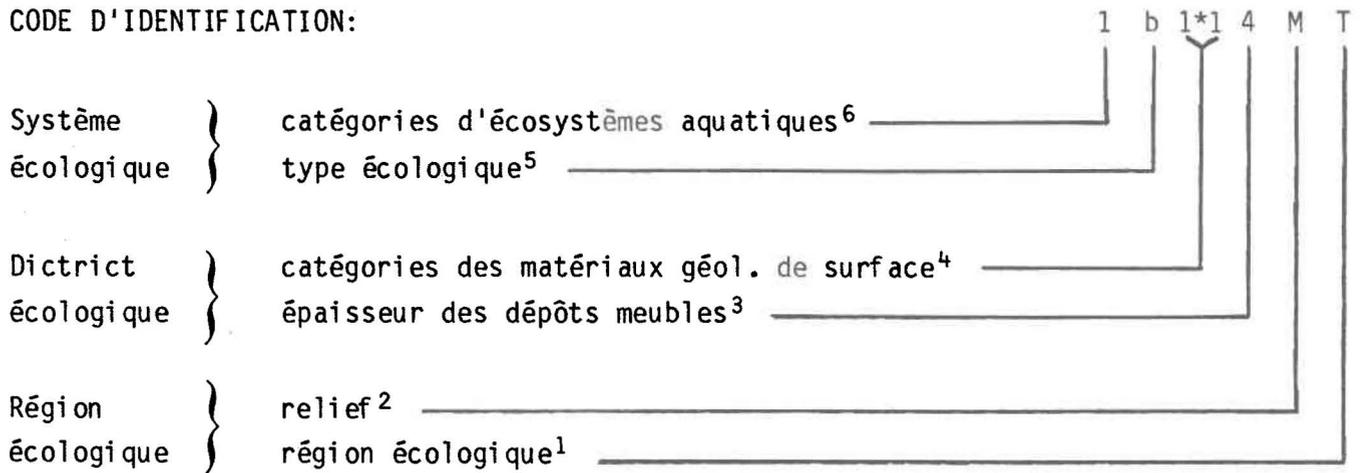


~ LIMITE DE SYSTÈME ÉCOLOGIQUE
— LIMITE DE RÉGION ÉCOLOGIQUE

FIGURE 5 Carte écologique de la région étudiée selon Jurdant et al. (1972).

Légende de la figure 5:

CODE D'IDENTIFICATION:



1- Régions écologiques

ZONE	DOMAINE	REGION	REGION	SYMBOLE
Forêt boréale	sapinière à bouleau blanc	supérieur	Hautes Laurentides	S
Forêt Laurentienne	sapinière à épinette noire	-----	Hautes terres de Ferland	P
		inférieur	Contrefort des Laurentides	O
		supérieur	Basses Laurentides	Q
		montagnard	Montagnes du Saguenay	T

2- Relief

- M: montagneux
- H: montueux ou accidenté
- R: moutonné
- U: ondulé
- F: plat

3- Epaisseur des dépôts meubles

- 1: épais
- 2: épais et mince
- 3: épais et affleurements rocheux
- 4: mince et épais
- 5: mince
- 6: mince et affleurements rocheux
- 7: affleurements rocheux et épais
- 8: affleurements rocheux et mince
- 9: affleurements rocheux

4- Catégories des matériaux géologiques de surface

- 1: till épais
- 1*: till mince
- 2: sédiments fluvioglaciale
- 3: sédiments deltaïques proglaciaires
- 4: sédiments fluviaux ou glacio-lacustres
- 5: sédiments argilo-marins
- 5*: sédiments argilo-marins recouverts de sable
- 6: sédiments littoraux
- 7: matériaux organiques
- 8: dépôts de versants
- 9: matériaux éoliens
- 0: roche en place

- 5- Pour la description des types écologiques, il faut se référer au volume 3 du rapport écologique de la région du Saguenay - lac Saint-Jean de Jurdant et al..

6- Catégories d'écosystèmes aquatiques

- a: systèmes écologique où moins de 5% de la surface est recouvert par des étendues lacustres ou fluviales
- b: systèmes écologiques où 5 à 15% de la surface est recouvert par des lacs de plus de 50 acres
- c: systèmes écologiques en bordure du Saguenay
- d: systèmes écologiques en bordure du lac Saint-Jean
- e: systèmes écologiques où plus de 15% de la surface est couvert par des lacs de plus de 50 acres
- f: systèmes écologiques en bordure du fleuve Saint-Laurent
- g: systèmes écologiques où plus de 5% de la surface est recouvert par des rivières de plus de 50 pieds de largeur

En outre, le rapport fournit la description détaillée de chaque système écologique qui comprend une classification des écosystèmes aquatiques en fonction de leur topographie, de leur système de drainage et de la nature des matériaux géologiques de surface des berges.

On attribue la formation de la rivière Saguenay à un glacier qui en aurait creusé son lit suivant une dépression tectonique ou faiblesse dans la croûte terrestre. Les stries en bordure du Saguenay sont orientées grossièrement nord-ouest-ouest, sud-est-est (LaSalle et Tremblay, 1978).

2.4 Drainage

La région des 186 lacs fait partie du bassin de drainage de la rivière Saguenay. Cette rivière sert de décharge au lac Saint-Jean dont la superficie de 1 002 km² en fait le cinquième plus grand lac au Québec. Il coule jusqu'au fleuve Saint-Laurent, au fond d'une dépression tectonique (Blanchard, 1935), sur une longueur de 165 km. C'est une voie de navigation importante et sa profondeur atteint 276 m dans sa partie aval (section du fjord) (Drainville, 1968).

Le système de drainage de la région étudiée est assez complexe. Il suit surtout l'ancien réseau glaciaire associé à des zones de failles ou de faiblesses dans la croûte terrestre (Cockburn, 1977). On note à ce sujet deux directions privilégiées pour les vallées et les cours d'eau, soient: nord 50° ouest (rivières Saguenay et Sainte-Marguerite) et nord 45° est (ruisseau Aimable).

Les deux rivières principales sont le Saguenay et la Sainte-Marguerite. Le Saguenay étant de loin le plus important des deux. La superficie des lacs étudiés est généralement modeste, dépassant rarement le

0.5 km². Il s'agit surtout de lacs de tête et on rencontre rarement des chaînes de lacs. Ils possèdent une profondeur moyenne de 11.5 m et sont reliés aux rivières principales par une multitude de ruisseaux secondaires. La superficie des bassins versants des lacs est aussi modeste, la moyenne étant de 2.2 km².

2.5 Climat

Selon la classification de Koppen (1936), le climat global de la région du Saguenay - Lac Saint-Jean est du type Dfb, c'est-à-dire continental humide, à été froid, sans saison sèche. La précipitation annuelle moyenne varie de 75 cm (29 pouces) dans les basses terres à 140 cm (58 pouces) dans les parties les plus élevées du territoire (Jurdant et al., 1972). La température moyenne annuelle varie de 0° à 3° C (32° à 37° F) avec un maximum moyen de près de 32° C (90° F). La saison de végétation est courte car le nombre moyen de jours sans gelée varie de 125 jours dans les basses altitudes à environ 90 jours dans les régions montagneuses (Villeneuve, 1967).

2.6 Végétation

La végétation de la région du Saguenay - Lac Saint-Jean a été traitée de façon plus ou moins extensive par plusieurs auteurs dont Jurdant et al. (1972), Rowe (1972), Richard (1977) et Grantner (1978). De façon générale, on peut dire que la région étudiée fait partie des régions forestières

des Grands Lacs et du Saint-Laurent (en bordure du Saguenay) et de la forêt boréale sur les hautes terres (Rowe, 1972). La forêt boréale est caractérisée surtout par l'épinette blanche et l'épinette noire; les autres conifères de la région sont le mélèze, le sapin baumier et le pin gris. Elle comprend aussi des essences feuillus, notamment le bouleau à papier et ses variétés, le tremble et le peuplier baumier. La région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent comprend des essences très variées dont les plus caractéristiques sont le pin blanc, le pin rouge et le bouleau jaune. On rencontre aussi l'érable à sucre, l'érable rouge, le tremble et quelques fois le cèdre blanc.

De façon à bien caractériser la végétation de la région à l'étude, nous utiliserons la carte écologique de Jurdant et al. (1972), apparaissant à la figure 5. La majeure partie du territoire, soit environ 85%, se trouve dans la zone de la forêt laurentienne, domaine de la sapinière à bouleau jaune.

La zone de la forêt boréale, appartenant au domaine de la sapinière à bouleau blanc, est représentée dans la partie nord-est de la région. Il s'agit de forêts conifériennes dominées par le sapin baumier et l'épinette noire associée au bouleau blanc (région écologique des Hautes Laurentides).

Toujours selon Jurdant et al. (1972), la zone de la forêt laurentienne est caractérisée par des forêts mélangées, dominées par le sapin associé à l'épinette noire, le bouleau jaune ou à l'érable rouge. L'érable

rouge, le pin rouge, le pin blanc et le frêne noir sont toujours présents. On y rencontre une forte agressivité des essences feuillues (peupliers) après la coupe ou le feu. La sapinière à épinette noire caractérise les forêts de la section ouest du territoire (région écologique des Hautes Terres de Ferland). Le domaine de la sapinière à bouleau jaune caractérise le reste du territoire. Ce domaine est divisé en trois étages:

- a) l'étage inférieur comprend les régions montueuses ou montagneuses d'altitude inférieur à 250 m (800 pi). On y observe une présence occasionnelle d'érablières sur les versants protégés, c'est la région écologique des contreforts des Laurentides;
- b) l'étage supérieur se situe entre 250 m (800 pi) et 360 m (1 200 pi), c'est la région écologique des basses Laurentides. Elle occupe la partie centrale de la région étudiée;
- c) l'étage montagnard possède une altitude supérieure à 360 m (1 200 pi). Les versants sont colonisés par la sapinière à bouleau jaune, tandis que les sommets sont recouverts par la sapinière à bouleau blanc. C'est la région écologique des montagnes du Saguenay.

2.7 Activités humaines

Le territoire sous étude fait partie de la région administrative du Saguenay - Lac Saint-Jean (02). Chicoutimi, avec ses quelques 60 000 habitants, est la ville importante la plus proche (Statistiques Canada, 1977). Sur le territoire étudié, il existe cinq agglomérations qui sont toutes de taille modeste. Il s'agit de: Otis (614 habitants); Sainte-Rose-du-Nord (522 habitants); Saint-Basile de Tableau; Anse Saint-Jean et Rivière Éternité (Statistiques Canada, 1977). Les trois dernières agglomérations n'apparaissent pas dans les recensements, mais il serait juste de dire que leur population n'excède pas 500 personnes. Le secteur est donc peu habité et il n'existe pas d'industries importantes dans la région.

L'accessibilité du territoire est assuré par deux routes principales pavées. Ce sont la route numéro 172 qui longe la rivière Sainte-Marguerite et la route numéro 170, laquelle est parallèle au Saguenay, mais à 10 km plus au sud. Il existe trois routes secondaires qui permettent d'atteindre les municipalités de Sainte-Rose-du-Nord, de Saint-Basile de Tableau et de l'Anse Saint-Jean. On note aussi la présence d'une multitude de chemins forestiers, surtout dans la section sud, qui mènent à plusieurs lacs et qui desservent surtout des chalets, des camps de pêche et d'anciennes exploitations forestières. La rivière Saguenay joue un rôle important dans le transport maritime.

De façon générale, les lacs sont assez difficiles d'accès par voie de terre et, par conséquent, seront relativement peu influencés par l'activité humaine si ce n'est que par l'intermédiaire de l'atmosphère.

CHAPITRE 3

METHODES ET RESULTATS

3.1 Prélèvements

L'échantillonnage de l'eau et des sédiments des 186 lacs a été effectué à l'aide d'hélicoptères au cours de l'été 1976 (les 20, 21 et 22 juin et 3 juillet). Il faut donc réaliser qu'il s'agit d'un échantillonnage ponctuel dans l'espace et surtout dans le temps. Par conséquent, la lecture du rapport doit se faire dans cet esprit. Toute interprétation des données d'eau lacustre doit se faire avec prudence car la qualité des eaux lacustres a tendance à varier énormément d'une saison à l'autre et même d'une journée à l'autre. Les échantillons provenaient autant que possible de la partie centrale des lacs.

Les échantillons d'eau furent prélevés en double à environ 15 cm (6 pouces) de la surface de chaque lac. En fait, il s'agissait de remplir deux bouteilles de polyéthylène de 500 ml à chaque lac. Une première bouteille servait pour l'analyse des éléments suivants: As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb et Zn. Cette bouteille avait subi un lavage au HCl à 10%. Une fois la bouteille remplie d'eau, on ajoutait 5 ml d'acide acétique dans le but d'empêcher les ions métalliques d'être adsorbés par les parois de la bouteille. La deuxième bouteille servait pour l'analyse du mercure et contenait 40 ml de dichromate de potassium à 0.005% ($K_2 Cr_2 O_7 + 5\% HNO_3$). Cette solution servait à conserver l'échantillon pendant un maximum de trois semaines. Les échantillons furent ensuite congelés et entreposés à la noirceur jusqu'à l'analyse. La mesure du pH fut effectuée sur le terrain à l'aide d'une solution pH universelle et d'un test

colorimétrique. La limite inférieure détectable était de 4. Par conséquent, les valeurs de pH égales à 4 devront être considérées comme étant égales ou plus petites que 4.

Les échantillons de sédiments de fond de lac furent prélevés au milieu du lac, et par conséquent, habituellement dans la partie la plus profonde, à l'aide d'une "bombe" en acier inoxydable. Après avoir noté la profondeur du lac, l'échantillon de sédiment fût ensuite déposé dans un sac de carton poreux pré-numéroté. Le sac fermé est lui-même déposé dans un sac en plastique afin d'éviter toute contamination possible. Les sacs en carton ont été ensuite séchés sur des supports appropriés avant d'être envoyés aux laboratoires.

3.2 Analyses

Les échantillons d'eau et de sédiments furent analysés par les laboratoires du M.R.N.Q. Les méthodes de préparation et de dosage ont été décrites en détail par Pichette et Guimont (1975; 1977). Les tableaux 2 et 3 nous dressent la liste des méthodes de préparation et de dosage, les écarts relatifs mesurés par les laboratoires du M.R.N.Q. et les limites de détection pour les éléments dosés. La limite de détection est définie par Pichette et Guimont (1975) comme étant: "la concentration de l'élément qui donne un signal égal à deux fois l'écart type d'au moins 20 lectures de l'essai à blanc. La limite de détection est toujours rapportée en tenant compte du poids de l'échantillon et du volume final de la solution. Elle devient la plus petite concentration que l'on puisse déceler avec une certaine certitude dans les cas où la mesure est limitée par la sensibilité de l'appareil."

TABLEAU 2 Méthodes de préparation et dosage des échantillons d'eau.

Paramètres	Préparation	Dosage	Limite de détection	Ecarts relatifs
Hg	nil	S.A.A. ³ sans flamme	0.05 ppb	9% à 0.5 ppb
Cr	nil	S.A.A.	0.5 ppb	25% à 5 ppb 15% à 15 ppb
Mo	C-E ¹	S.A.A.	1 ppb	
Co	C-E	S.A.A.	1 ppb	60% à 2 ppb 10% à 9 ppb
Pb	C-E	S.A.A.	1 ppb	45% à 2 ppb 15% à 8 ppb
Cd	C-E	S.A.A.	0.1 ppb	50% à 0.1 ppb
Cu	C-E	S.A.A.	1 ppb	60% à 2 ppb 35% à 10 ppb 15% à 55 ppb
Zn	nil	S.A.A.	4 ppb	45% à 15 ppb 15% à 80 ppb
Ni	C-E	S.A.A.	1 ppb	45% à 2 ppb 25% à 8 ppb
Mn	nil	S.A.A.	10 ppb	25% à 30 ppb 9% à 10 ppb
Fe	nil	S.A.A.	0.1 ppm	30% à 0.2 ppm 10% à 2 ppm
Ca	nil	S.A.A.	0.5 ppm	10% à 1 ppm
Mg	S-L ²	S.A.A.	0.1 ppm	20% à 0.1 ppm
Na	S-L	S.A.A.	0.2 ppm	5% à 0.2 ppm
K	S-L	S.E.F. ⁴	0.2 ppm	8% à 0.2 ppm
Li	nil	S.E.F.	0.2 ppb	8% à 2 ppb 4% à 20 ppb
As	nil	S.A.A.	1 ppb	7% à 20 ppb

¹ chelation-extraction

² solution-lanthane

³ spectrophotométrie d'absorption atomique

⁴ spectrophotométrie d'émission de flamme

TABLEAU 3 Méthodes de préparation et de dosage des échantillons de sédiments.

Paramètres	Préparation	Dosage	Limite de détection	Ecart relatifs
Hg	acides sulfurique, nitrique	S.A.A. ¹ sans flamme	5.0 ppb	13% à 100 ppb 20% à 35 ppb
Fe	acide nitrique bouillante	S.A.A.	0.01%	N.D. ²
Li	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	0.1 ppm	12% à 30 ppm 9% à 10 ppm 12% à 7 ppm
Ba	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	2.0 ppm	N.D.
Cr	attaque aux chlorures Al, K, NH ₄	S.A.A.	1.0 ppm	N.D.
Mo	attaque aux chlorures Al, K, NH ₄	S.A.A.	0.1 ppm	17% à 3 ppm
Cs	attaque aux chlorures Al, K, NH ₄	S.A.A.	0.5 ppm	28% à 3 ppm 19% à 5 ppm
V	attaque aux chlorures Al, K, NH ₄	S.A.A.	1.0 ppm	16% à 45 ppm 22% à 30 ppm
Cu	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	1.0 ppm	7% à 55 ppm 13% à 20 ppm 9% à 15 ppm
Zn	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	2.0 ppm	3% à 130 ppm 4% à 125 ppm 4% à 75 ppm
Pb	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	2.0 ppm	11% à 20 ppm 30% à 5 ppm 14% à 13 ppm
Ni	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	1.0 ppm	5% à 50 ppm 5% à 40 ppm 6% à 30 ppm
Co	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	1.0 ppm	7% à 15 ppm 7% à 25 ppm
Mn	attaque au nitrate mercurique	S.A.A.	2.0 ppm	6.5% à 500 ppm 7.4% à 250 ppm 12.5% à 75 ppm
Ag	attaque au nitrate mercurique	S.A.A. acide nitrique	0.1 ppm	N.D.
U	acide nitrique et Al (NO ₃) ₃ 9H ₂ O	chromatographie sur papier	1.0 ppm	27% à 7 ppm 45% à 3 ppm 54% à 1 ppm
Sn	sublimation avec NH ₄ + acide ascorbique HCl	S.A.A.	2.0 ppm	N.D.
As	acides nitrique (chaud) + chloridrique	S.A.A.	0.1 ppm	50% à 3 ppm 7% à 5 ppm

¹ spectrophotométrie d'absorption atomique² non-disponible

3.2.1 Eau

Les échantillons d'eau furent analysés pour les éléments suivants: As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb et Zn. Il est à noter que les échantillons n'ont subi aucune filtration et que par conséquent, l'analyse se faisait dans le but d'obtenir des valeurs totales. Des préparations spéciales furent utilisées pour plusieurs éléments, tels que pour le Co, le Mo, le Pb, le Cd, le Cu et le Ni. Ces échantillons ont subi une chélation-extraction avant le dosage par adsorption atomique afin de minimiser les interférences inorganiques pouvant découler du Ca, du Mg, du Na, du Cl^- , du SO_4^{-2} , etc. et organiques tel l'acide humique. Ce prétraitement a surtout l'avantage de concentrer les éléments dans un solvant organique de telle façon que la limite de détection en adsorption atomique est considérablement abaissée se situant près de 0.1 ppb pour le Cd et à 1 ppb pour les autres éléments. Dans le cas des éléments Mg, Na et K le prétraitement au lanthane a pour but de fixer le pourcentage atomisé de ces éléments de façon à obtenir une sensibilité constante de l'appareillage lors de l'analyse. Le dosage des éléments s'est fait surtout par spectrophotométrie d'adsorption atomique sans flamme, tandis que pour le K et le Li, on a utilisé la spectrophotométrie d'émission de flamme.

3.2.2 Sédiments

Au laboratoire, les échantillons de sédiments ont subi un séchage plus intense à l'aide d'un four réglé à 110° C. Ils ont été ensuite tamisés

par roto-vibration à l'aide d'un tamis en nylon 86 mesh (maille de 86 x 86 fils au pouce carré) afin de récupérer la fraction plus petite que 117 microns. Les analyses chimiques ont porté sur les éléments suivants: Ag, As, Ba, Cs, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mo, Mn, Ni, Pb, Sn, U, V et Zn. La matière organique a été estimée par une calcination à 550° C pendant une heure [perte au feu (PF)]. La préparation des échantillons varie en fonction de l'élément à doser. De façon générale, on a utilisé une attaque au nitrate mercurique. Le dosage des éléments s'est fait surtout par spectrophotométrie d'adsorption atomique.

3.3 Résultats

3.3.1 Eau

Les résultats de l'analyse chimique des eaux lacustres sont compilés à l'annexe B. Un résumé des statistiques des variables physiques (des bassins) et physico-chimiques (des eaux) est présenté au tableau 4. Il est à noter que les moyennes ont été calculées en considérant les concentrations qui sont à la limite de détection ou tout près comme étant des valeurs réels et justes. Par conséquent, les moyennes listées au tableau 4 sont vraisemblablement surestimées pour les paramètres suivants: Mo, Co, Cd, Ni, Mn, Fe, Li, As. Afin de vérifier la validité des résultats obtenus, la méthode des échantillons standards fut utilisée. Cockburn (1977) mentionne que l'analyse des échantillons standards montre des variations normales. Le tableau 2 nous montre l'écart relatif calculé par les laboratoires du M.R.N.Q. pour plusieurs éléments.

TABLEAU 4 Statistiques des variables physiques (des bassins versants) et physico-chimiques (des eaux) des 186 lacs étudiés.

Paramètre	Moyenne	Variance	Ecart-type	Minimum	Maximum
BV ¹ (km ²)	2.2	7.3	0.2	1.0	29.0
AL ² (pi)	1013.0	54006.0	17.0	500.0	1600.0
DL ³ (km ²)	0.19	0.24	0.036	0.01	5.85
P ⁴ (m)	11.0	65.0	0.6	1.0	55.0
Hg (ppb)	0.11	0.26	0.12	0.05	1.15
Cr (ppb)	1.1	1.67	0.095	0.5	11.5
Mo (ppb)	1.0	0.11	0.024	1.0	4.0
Co (ppb)	1.17	0.17	0.03	1.0	3.0
Pb (ppb)	3.5	41.24	0.47	1.0	40.0
Cd (ppb)	0.23	0.099	0.023	0.1	2.3
Cu (ppb)	11.45	98.93	0.73	4.0	60.0
Zn (ppb)	29.38	1444.9	2.79	4.0	215.0
Ni (ppb)	2.49	3.27	0.14	1.0	15.0
Mn (ppb)	15.45	99.78	0.73	5.0	65.0
Fe (ppm)	0.11	0.002	0.003	0.1	0.4
Ca (ppm)	3.33	4.55	0.156	0.7	20.0
Mg (ppm)	0.404	0.03	0.013	0.1	1.7
Na (ppm)	1.07	3.08	0.13	0.2	18.0
K (ppm)	0.35	0.026	0.012	0.2	1.2
Li (ppb)	0.024	0.014	0.009	<0.2	0.8
As (ppb)	1.16	0.38	0.046	<2.0	7.0
pH	6.16	0.33	0.042	<4.0	7.4

¹BV: dimension des bassins versants

²AL: altitude

³DL: dimension des lacs

⁴P: profondeur

Afin de pouvoir situer nos résultats par rapport à des résultats de d'autres études semblables, nous avons construit le tableau 5. On remarque tout d'abord que les lacs du présent travail possède un pH de 6.16 et qu'ils sont de façon générale plus acides que les lacs du Experimental Lakes Area de l'Ontario mais beaucoup moins acide que le lac Langtjern de la Norvège. Les lacs étudiés ont des concentrations plus élevées de Pb, Cu et Zn que les lacs du ELA. Ce qui confirme les travaux de Schindler et al. (1980) qui ont observé que, règle générale, les lacs acides avaient des concentrations plus élevées de métaux dans leurs eaux. Dans la région de Sudbury, les lacs sont aussi acides mais les fortes concentrations de métaux (Cu, Pb, Zn, Ni) ne sont pas d'origine naturelle, les lacs étant soumis à l'influence de l'industrie minière (fonderie de Sudbury) depuis plusieurs années.

En regardant la concentration moyenne du Ca dans les eaux lacustres du territoire étudié, l'on constate que les lacs possèdent une capacité tampon très faible puisque la concentration du Ca est plus petite que 6 mg/L, étant de 3.33 mg/L (Okland, 1980).

Bref, on peut dire que les lacs étudiés dans le présent travail sont des lacs vraisemblablement oligotrophes (aucune influence humaine) légèrement acides qui possèdent un pouvoir tampon faible à cause de la nature géologique (cristallin non carbonaté) de ses bassins versants.

TABLEAU 5 Quelques moyennes chimiques des eaux lacustres du Bouclier canadien.

Paramètres Lieu	Hg ppb	Cr ppb	Mo ppb	Pb ppb	Cd ppb	Cu ppb	Zn ppb	Ni ppb	Mn ppb	Fe ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm	Li ppb	As ppb	pH	nombre de lacs
Moyen estuaire Saguenay ¹	0.113	1.14	1.06	3.52	0.23	11.45	29.38	2.49	15.45	0.11	3.33	0.404	1.07	0.35	0.02	1.16	6.16	186
MRN zone 6 ²	---	---	---	---	---	---	---	---	20.0	0.09	3.98	0.36	0.92	0.32	---	---	--	6
<u>Région acide:</u>																		
Sudbury, Ontario ³	---	---	---	5 à 22	1 à 5	42 à 1120	3 à 122	192 à 1850	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---
La Cloche Mtrs, Ontario ⁴	---	---	---	0 à 6	0.2 à 0.5	1 à 16	8 à 48	5 à 15	---	---	---	---	---	---	---	---	--	---
ELA, Ontario ⁴⁻⁶	---	---	---	< 1	< 0.1	2	< 1	< 3	---	0.143	2.0	0.6	0.9	0.3	---	---	6.5	---
Lac Langtjern, Norway ⁵	---	---	---	2.0	0.21	6	15	---	---	0.184	1.38	0.76	0.70	0.17	---	---	4.95	1

¹Présente étude

²LEGENDE, P., CHODOROWSKI, A., CHODOROSWKA, W., PICHET, P., POTVIN, P. (1980).
Qualité des eaux: interprétation des données lacustres (1971-1977), service de la qualité des eaux, ministère de l'Environnement, Québec, QE-45, 443 p.

³DICKSON, W., HORSNTROM, E., EKSTROM, C., ALMER, B. (1975).
Rodingsjor soder om Dalaven, Institute of freshwater research, Drottningholm, Sweden, Information no 7.

⁴BEAMISH, R.J. (1976).
In Proceedings of the First International Symposium of Acid precipitation and the Forest Ecosystem U.S. department of Agriculture Forest Service.

⁵HENRIKSEN, A., WRIGHT, R.F. (1977).
Effects of acid precipitation on a small acid lake in southern Norway. *Nordic Hydrology*, 8: 1-10.

⁶BEAMISH, R.J., MILANESE, L., McFARLANE, G.A. (1975).
Fish. Res. Board Can. Tech. Rep.

3.3.2 Sédiments

Les résultats de l'analyse chimique des sédiments sont présentés à l'annexe C. Une représentation des principales statistiques concernant les sédiments apparaît au tableau 6. Encore une fois, la moyenne des concentrations a été calculée de la même façon que celle des échantillons d'eau. Par conséquent, les moyennes des paramètres Cs, U, Sn sont vraisemblablement surestimés. La validation des résultats s'est faite à l'aide d'un échantillon standard, dont l'analyse n'a pas montré de différences significatives.

En guise de comparaison, nous avons listé les concentrations géochimiques moyennes de notre étude avec celles de d'autres études (tableau 7). Les concentrations rencontrées sont toutes semblables sauf pour le Zn et le Mn, qui sont plus élevés dans notre région. La raison de ces hautes valeurs nous est encore inconnue.

3.4 Traitement

Le traitement des données s'est effectué en trois étapes principales: d'abord le calcul des coefficients de corrélation, l'analyse en composantes principales et finalement la distribution spatiale de la valeur de chaque paramètre.

Nie et al. (1975) de même que Bobée et al. (1976) démontrent les avantages pratiques qu'apporte le calcul du coefficient de corrélation.

TABLEAU 6 Statistiques des variables géochimiques (des sédiments) des 186 lacs étudiés.

Paramètre	Moyenne	Variance	Ecart-type	Minimum	Maximum
Hg (ppb)	133.89	5701.0	5.76	21.0	500.0
Li (ppm)	1.98	0.59	0.06	0.8	6.0
Ba (ppm)	67.01	1432.77	2.79	7.0	254.0
Cr (ppm)	12.99	20.36	0.39	3.0	34.0
Mo (ppm)	1.25	0.51	0.062	0.2	5.0
Cs (ppm)	1.38	0.27	0.045	0.1	3.0
V (ppm)	29.12	144.21	1.045	9.0	65.0
Cu (ppm)	15.87	42.56	0.48	6.0	51.0
Zn (ppm)	145.67	5926.27	5.69	28.0	530.0
Pb (ppm)	6.23	11.57	0.25	2.0	30.0
Ni (ppm)	13.58	23.1	0.36	4.0	40.0
Co (ppm)	6.88	32.58	0.42	1.0	36.0
Fe (%)	1.53	1.92	0.102	0.16	11.0
Mn (ppm)	266.79	155841.9	29.18	24.0	2650.0
U (ppm)	2.35	1.66	0.09	0.2	11.0
Sn (ppm)	2.24	0.92	0.075	2.0	10.0
As (ppm)	0.93	0.66	0.065	0.1	6.1
PF (%)	40.0	231.34	1.12	3.0	66.95

TABLEAU 7 Quelques moyennes géochimiques de sédiments lacustres du Bouclier canadien.

Etude \ Paramètre	Hg ppb	Fe %	Li ppm	Ba ppm	Cr ppm	Mo ppm	Cs ppm	V ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Ag ppm	U ppm	Sn ppm	As ppm	# lacs
Moyen estuaire Saguenay ¹	133.89	1.53	1.98	67.01	12.99	1.25	1.38	29.12	15.87	145.67	6.23	13.58	6.88	266.79	0.1	2.35	2.24	0.93	186
Grande Rivière ²	N.D.*	0.65	N.D.	N.D.	N.D.	2.4	N.D.	N.D.	2.0	36.0	9.0	13.0	5.0	74.0	0.4	1.5	N.D.	2.4	10500
Rivière Eastmain ³	N.D.	1.2	N.D.	N.D.	N.D.	3.8	N.D.	N.D.	22.0	45.0	9.0	19.0	12.0	92.0	N.D.	1.0	N.D.	0.7	8450
Fire-Mistana ⁴	N.D.	0.7	N.D.	N.D.	N.D.	2.3	N.D.	N.D.	12.2	35.4	5.5	10.5	5.0	76.9	N.D.	1.5	N.D.	N.D.	5912
Kinglet ⁵	N.D.	1.34	N.D.	N.D.	N.D.	3.8	N.D.	N.D.	18.0	42.2	5.8	12.4	7.7	105.2	N.D.	1.1	N.D.	N.D.	3994

*non disponible

¹Présente étude.

²GLEASON, C.F. (1978).

Geochemical report on lake sediments survey of La Grande Riviere area, ministère de l'Energie et des Ressources: G.M. 34042-34043-34045-34046-34047-34085.

³GLEASON, C.F. (1978).

Report on lake sediment geochemical survey 1975, area A and B, ministère de l'Energie et des Ressources: G.M. 34038-34039.

⁴OTIS, M. (1976).

Géochimie des sédiments de lac, ministère de l'Energie et des Ressources: G.M.: 34169-34172.

⁵PICARD, M. (1976).

Projet Kinglet prospection géochimique des sédiments lacustres, ministère de l'Energie et des Ressources: G.M.: 34170-34171-34173.

Lorsque pour deux paramètres, on dispose d'une série de taille quelconque, il est possible de mesurer leur degré de relation par le coefficient de corrélation (r). Un fort coefficient de corrélation est en général indicatif d'une bonne relation linéaire entre les variables en cause. Cette dépendance n'est pas systématique en raison des possibilités de corrélation fictive. Ces corrélations peuvent être rejetées suite à un examen des diagrammes de dispersion des valeurs des paires de variables. Dans le but d'éviter les corrélations fictives et aussi de simplifier l'interprétation des données, nous avons cru bon d'éliminer les variables dont les concentrations ne varient que très peu étant situées tout près de la limite de détection. Par conséquent, nous avons rejeté les paramètres Mo, Co, Cd, Ni, Mn, Fe, Li et As pour l'eau et Cs, U et Sn dans les sédiments. La matrice de corrélation pour tous les paramètres significatifs apparaît au tableau 8 et sera discuté dans le prochain chapitre.

Afin de simplifier l'interprétation des matrices des données géochimiques et physiques (10 paramètres x 186 stations pour l'eau; 15 paramètres x 186 stations pour les sédiments; 4 paramètres x 186 stations pour les données physiques, ce qui nous donne un total de 29 paramètres x 186 stations pour l'analyse globale), nous faisons appel, dans la discussion qui suit, à une méthode statistique multivariante qu'est l'analyse en composantes principales. L'analyse statistique décrite par Kendall (1957) sera suivie, dans notre cas, d'une rotation orthogonale des axes de référence. Cette rotation aura pour but de faire ressortir davantage les variables ayant un poids important tout en diminuant l'importance des paramètres peu

significatifs. La rotation des axes est une opération dépendante de la distribution des valeurs des paramètres vis-à-vis les axes originaux de référence. Cette rotation appelée varimax est décrite par Kaiser (1958). Cattell (1952), Harman (1960), Hadley (1964) et Horst (1965) décrivent les aspects mathématiques de ce type de traitement. Dans le cas qui nous intéresse, nous avons effectué une analyse factorielle R-Mode qui compare les paramètres entre eux. Ces analyses ont été effectuées à l'aide de programmes informatisés de la banque SPSS (Nie et al., 1975). Cette méthode permet donc de regrouper les paramètres ayant un comportement semblable, et de réduire à un petit nombre le nombre de facteurs qui influencent ce comportement. Plusieurs auteurs, dont Ouellet (1974, 1976, 1980a, b) et Charbonneau et al. (1978), ont utilisé avec succès cette méthode.

Dans le but de comparer la géologie, la géomorphologie et la végétation avec les paramètres physico-chimiques, il a été jugé préférable de dessiner des cartes de distribution spatiale. Pour ce faire, nous avons utilisé un programme informatisé appelé "BLUEPACK". Il s'agit d'un programme général d'estimation linéaire optimal, permettant de reconstituer au mieux un champ bidimensionnel à partir d'un échantillon fragmentaire de points de mesure disposés de façon quelconque. Pour ces estimations, "BLUEPACK" calcule un écart-type d'estimation grâce auquel il est possible de spécifier une fourchette d'erreur. La méthode utilisée est décrite par Delhomme (1976); il s'agit du kriegeage, théorie développée à l'école des mines de Paris. Elle permet de déterminer des estimations linéaires sans biais et de manière optimale. Les avantages de cette méthode sont:

- l'obtention des cartes de distribution spatiale des divers paramètres qui sont facilement comparables à des cartes géologiques, pédologiques ou autres de même échelle;
- la possibilité de gagner beaucoup de temps, car il est beaucoup plus rapide de faire tracer les cartes par un ordinateur que de les tracer nous-même à la main;
- l'élimination des valeurs isolées, qu'elles soient très hautes ou très basses. On risque moins que les valeurs viennent débalancer les distributions.

Cependant, il existe aussi certains désavantages, qui sont:

- une fiabilité intéressante des résultats seulement à l'intérieur du nuage de stations. Par conséquent, la méthode est excellente pour l'interpolation mais faible pour ce qui est de l'extrapolation car elle continuera tout simplement la tendance exprimée par les quelques stations périphériques que ce soit en augmentant les valeurs ou en les diminuant. La carte de fiabilité des résultats apparaît au début de l'annexe D;
- une tendance à ramener les valeurs vers la moyenne. Il faut, par conséquent, interpréter les résultats comme étant des valeurs relatives et non pas absolues. La méthode permet d'identifier

des zones à hautes valeurs par rapport à des zones de basses valeurs, et non pas des zones où tous les lacs auront une concentration numérique absolue de tel élément. À cause de l'interprétation relative qu'il faut en faire, nous avons cru bon de dessiner les cartes de distribution spatiale pour tous les paramètres y compris ceux qui ne varient que très peu.

La représentation spatiale des paramètres ainsi que celle d'un écart type général sont illustrées à l'annexe D.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

4.1 Paramètres physiques

4.1.1 Généralités

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés à deux types de paramètres physiques. Il y a tout d'abord les paramètres physiques difficilement quantifiables de manière numérique. Il s'agit de la géologie et de la végétation. Ces sujets ayant déjà été discutés dans les chapitres précédents, ils seront omis de cette partie du travail. Nous les retrouverons plus loin lorsqu'il sera question de comparer les cartes de distribution spatiale des paramètres chimiques avec celles de la géologie et de la végétation. Le deuxième type de paramètres physiques sont les paramètres facilement quantifiables. Nous avons considéré dans cette section la dimension des bassins versants, la dimension des lacs, l'altitude des lacs ainsi que leur profondeur à l'endroit échantillonné. La valeur de ces paramètres pour chaque station apparaît aux tableaux de l'annexe B.

La dimension des lacs est assez restreinte. En effet, la superficie moyenne enregistrée pour les 186 lacs est de 0.19 km^2 . Le lac Otis (numéro 88) est de loin le plus grand avec une aire calculée de 5.85 km^2 . La superficie des bassins versants est aussi relativement restreinte, variant entre 1 km^2 et 29 km^2 et ayant comme dimension moyenne 2.2 km^2 . On a donc en présence une multitude de petits lacs concentrés dans une région assez restreinte. Les lacs du territoire sont situés à une altitude moyenne d'environ 300 m (1 000 pi). Ils se retrouvent tous entre une altitude

variant de 150 m (500 pi) à 490 m (1 600 pi) au-dessus du niveau moyen de la mer. Finalement, la profondeur des cuvettes lacustres varie de 1 à 55 m avec une profondeur moyenne de 11.5 m. Les cartes représentant la distribution spatiale des paramètres physiques se trouvent à l'annexe D.

4.1.2 Interrelations entre les variables

La matrice générale des coefficients de corrélation calculés pour les variables prises deux à deux est présentée au tableau 8. Au cours de cette étude, nous ne retiendrons que les corrélations qui sont jugées très significatives, c'est-à-dire celles qui sont significatives au niveau de probabilité 1.0%. Dans le cas des paramètres physiques, il y a donc quatre corrélations dignes de mention.

Tout d'abord, on remarque que la dimension des bassins versants (BV) est inversement proportionnelle à leur altitude (AL). C'est-à-dire que les bassins versants au sommet des montagnes ont une dimension plus restreinte que ceux dans les vallées. D'ailleurs, on rencontre une relation similaire entre la dimension des lacs (DL) et l'altitude (AL). Les lacs de tête sont plus petits que ceux de basse altitude pour deux raisons principales. Premièrement, les sommets de montagnes, ayant des superficies restreintes, présentent peu de cuvettes de dimensions propices à la formation de grands lacs. Deuxièmement, à la limite, l'apport en eau sur les sommets se fait presque exclusivement par les précipitations atmosphériques. Par conséquent, l'apport des nappes souterraines et des rivières est négligeable dans

TABLEAU 8 Matrice de corrélation pour tous les paramètres étudiés.

	BV	AL	DL	P	Hg(E)	Cr(E)	Pb(E)	Cu(E)	Zn(E)	Ca(E)	Mg(E)	Na(E)	K(E)	pH	Hg(S)	Fe(S)	Li(S)	Ba(S)	Cr(S)	Mo(S)	V(S)	Cu(S)	Zn(S)	Pb(S)	Ni(S)	Co(S)	Mn(S)	As(S)	PF
BV	1.0																												
AL	-0.33*	1.0																											
DL	0.73*	-0.21*	1.0																										
P	0.20	0.00	0.39*	1.0																									
Hg(E)	0.04	-0.07	-0.01	-0.1	1.0																								
Cr(E)	-0.08	-0.03	-0.07	-0.05	-0.01	1.0																							
Pb(E)	-0.03	-0.06	0.15	0.03	-0.08	-0.03	1.0																						
Cu(E)	0.06	0.17	0.02	0.02	0.04	-0.08	-0.03	1.0																					
Zn(E)	-0.04	0.19	0.00	-0.12	0.10	-0.11	0.02	0.47*	1.0																				
Ca(E)	0.13	-0.30*	0.19	-0.07	0.03	0.01	0.11	-0.11	-0.12	1.0																			
Mg(E)	0.15	-0.42*	0.22*	-0.01	-0.00	-0.13	0.13	-0.11	-0.14	0.83*	1.0																		
Na(E)	0.08	-0.23*	0.09	-0.10	-0.03	-0.04	-0.05	-0.10	-0.07	0.67*	0.69*	1.0																	
K(E)	0.15	-0.14	0.14	-0.01	0.03	-0.10	0.04	-0.05	-0.05	0.43*	0.49*	0.41*	1.0																
pH	0.19	-0.31*	0.16	-0.00	-0.01	0.13	0.12	-0.16	-0.17	0.55*	0.51*	0.24*	0.23*	1.0															
Hg(S)	-0.11	+0.21+	-0.12	0.11	-0.07	-0.10	0.24+	0.04	0.16	-0.29+	-0.19	-0.16	-0.12	-0.23+	1.0														
Fe(S)	0.31*	-0.05	0.45+	0.49*	-0.06	-0.04	-0.06	0.14	-0.06	-0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.08	1.0													
Li(S)	0.31*	-0.19	0.22+	0.08	-0.07	-0.10	0.04	0.05	-0.08	0.42+	0.38+	0.35+	0.22+	0.27*	-0.01	0.16	1.0												
Ba(S)	0.06	0.07	0.06	0.26*	-0.02	-0.05	-0.02	0.08	0.08	-0.11	-0.09	-0.05	-0.07	-0.13	0.22*	0.29*	0.17	1.0											
Cr(S)	0.20	-0.08	0.27+	0.57*	0.08	-0.04	0.09	-0.07	-0.17	0.16	0.16	0.07	0.19	0.26+	0.14	0.45*	0.48*	0.20	1.0										
Mo(S)	0.09	-0.08	0.19	0.19	-0.00	-0.03	0.26+	0.12	0.01	0.11	0.14	0.03	0.03	0.17	0.11	0.50*	0.08	0.18	0.33*	1.0									
V(S)	0.15	0.01	0.22+	0.59*	-0.11	-0.12	0.18	0.01	0.03	-0.03	0.01	-0.08	-0.02	0.08	0.26*	0.54*	0.12	0.46*	0.65*	0.43*	1.0								
Cu(S)	-0.04	0.01	0.15	0.54*	-0.07	0.02	-0.03	0.10	-0.05	-0.16	-0.06	-0.09	-0.11	-0.03	0.29*	0.53*	0.10	0.35*	0.62*	0.52*	0.62*	1.0							
Zn(S)	0.27*	-0.24+	0.32+	0.15	0.03	-0.07	0.01	-0.01	-0.19	0.12	0.20	0.03	-0.05	0.27*	0.11	0.37*	0.26*	0.11	0.44*	0.39*	0.39*	0.45*	1.0						
Pb(S)	0.11	-0.01	0.23+	0.13	-0.04	-0.06	0.02	-0.07	-0.09	-0.10	-0.06	0.07	-0.04	-0.12	0.26*	0.37*	0.06	0.05	0.27*	0.21*	0.29*	0.25*	0.23*	1.0					
Ni(S)	0.19	-0.15	0.25+	0.19	0.02	0.01	0.05	0.02	-0.07	0.06	0.13	0.03	0.03	0.22*	0.15	0.33*	0.37*	0.26*	0.60*	0.29*	0.51*	0.51*	0.50*	0.19	1.0				
Co(S)	0.33*	-0.22+	0.50+	0.47*	-0.05	-0.01	-0.07	0.09	-0.12	0.14	0.20	0.04	-0.02	0.27*	0.01	0.66*	0.24*	0.09	0.51*	0.42*	0.47*	0.49*	0.59*	0.19	0.48*	1.0			
Mn(S)	0.34*	-0.13	0.57+	0.37*	-0.01	-0.02	-0.07	0.12	-0.12	0.06	0.09	0.03	0.02	0.14	-0.04	0.74*	0.24*	0.09	0.46*	0.47*	0.37*	0.38*	0.47*	0.38*	0.34*	0.72*	1.0		
As(S)	0.10	-0.05	0.32+	0.26*	-0.12	-0.06	0.01	0.07	-0.03	0.04	-0.03	-0.02	-0.13	0.02	-0.03	0.36*	0.04	0.08	0.38*	0.48*	0.41*	0.38*	0.30*	0.40*	0.25*	0.42*	0.50*	1.0	
PF	-0.29+	0.16	-0.24+	0.09	0.08	0.04	0.07	0.03	0.08	-0.20	-0.14	-0.10	0.00	-0.24+	0.16	-0.08	-0.47+	+0.08	-0.24*	-0.01	0.10	0.05	-0.21*	-0.02	-0.25+	-0.15	-0.14	-0.18	1.0

* Corrélation très significative (P ≥ 1%)

+ Corrélation fictive

ces cas, tandis qu'il est important dans les régions de basse altitude. La même matrice de corrélation fait aussi ressortir une relation significative entre la dimension des lacs et celle des bassins versants. En haute altitude, les lacs étudiés sont petits et drainent de petits bassins versants. Tandis que dans les basses altitudes, nous rencontrons des lacs plus grands et qui drainent effectivement de plus grandes superficies.

La présence d'une topographie assez accidentée dans notre région nous a donc permis de mettre en évidence les relations existantes entre la dimension des lacs, des bassins versants et l'altitude.

En dernier lieu, nous avons observé une corrélation positive, très significative entre la superficie des lacs (DL) et la profondeur d'échantillonnage (P), laquelle représente l'estimation de la profondeur maximale de chaque lac. Cette relation a déjà été observée par Villeneuve, Guimont et Leblanc (1978) pour des lacs du Bouclier canadien. Ces auteurs ont mis au point un modèle mathématique qui évalue la profondeur moyenne des lacs à l'aide de leur superficie et des pentes des berges. Ils prétendent que les pentes observées sur les berges varient peu jusqu'au centre du lac, c'est-à-dire qu'elles sont relativement constantes. Par conséquent, deux lacs ayant des bassins versants où la topographie est semblable n'auront pas la même profondeur moyenne s'ils n'ont pas la même superficie, le plus grand lac étant le plus profond. La région des 186 lacs possède une topographie assez accidentée mais qu'on pourrait qualifier d'assez uniforme, de telle façon que la relation dimension des lacs versus profondeur ressorte clairement. Il est intéressant de noter, à ce stade-ci de la discussion, que les échantillons prélevés au centre des lacs deviennent représentatifs du système puisque les cuvettes nous semblent régulières.

Il est intéressant de noter que l'étude des cartes de distribution spatiale des paramètres physiques nous a fourni les mêmes conclusions. En effet, l'examen des cartes représentant l'altitude et la dimension des bassins versants nous a permis de constater qu'aux régions de basse altitude (< 220 m), soit dans les sections est et ouest du territoire, sont associés des régions comprenant des bassins versants de grande dimension, soit 2.5 km^2 et 4.5 km^2 respectivement. Dans la partie centrale, où les altitudes atteignent 360 m, on observe des bassins versants de taille modeste, habituellement inférieure à 2 km^2 . Ce type de distribution est aussi caractéristique pour l'altitude et la dimension des lacs: c'est dans la section ouest qu'on rencontre les basses altitudes ainsi que des lacs de grande dimension ($\approx 5 \text{ km}^2$). Par le fait même, on remarque que les paramètres tels la dimension des bassins versants ainsi que la dimension des lacs connaissent des patrons de distribution spatiale similaires. Finalement, l'association observée auparavant entre la profondeur et la dimension des lacs se fait moins évidente au niveau des cartes de distribution spatiale.

4.2 Eaux

4.2.1 Distribution spatiale

Les cartes de distribution spatiale pour les divers paramètres associés aux eaux lacustres sont illustrées à l'annexe D. Dans cette section, nous tenterons de faire ressortir les patrons de distribution semblables, afin d'identifier des paramètres qui pourraient avoir un comportement

similaire. Pour ce faire, nous avons divisé les paramètres en trois classes. Premièrement, il sera question d'un groupe d'éléments dont la concentration dans les eaux lacustres varie très peu d'un lac à l'autre. Il s'agit du Mo, du Co, du Cd, du Fe, du Li, de l'As, du Ni et du Mn. Il est bon de noter que l'analyse chimique nous a fourni des valeurs près de la limite de détection de l'appareillage. Le deuxième groupe sera constitué des paramètres qui composent les systèmes de la salinité et du pH des eaux. C'est-à-dire du Ca, du Mg, du Na, du K et du pH. La distribution spatiale du Hg, du Cr, du Pb, du Cu et du Zn sera discutée en dernier lieu.

La première série de paramètres (Mo, Co, Cd, Fe, Li, Ni, As, Mn) nous montre des patrons de distribution différents pour chaque variable. Le fait que ces variables se situent près de la limite de détection nous laisse croire que les cartes de distribution sont peu valables et qu'il serait dangereux d'en tirer des conclusions précises. La représentation spatiale du Li n'apparaît par en annexe à cause de son invariabilité.

La deuxième série de paramètres (Na, Ca, Mg, K, pH) nous donne des résultats beaucoup plus intéressants. Les patrons de distribution spatiale de ces paramètres sont tous semblables. On note, par conséquent, des valeurs peu élevées pour chaque variable dans la section nord-ouest. Il est intéressant de noter, à ce stade-ci, que le pH moyen des lacs étudiés est de 6.16, c'est-à-dire légèrement acide. Il existe par contre plusieurs lacs qui possèdent des pH aussi bas que 4. C'est le cas entre autres des lacs numéros 22 et 180. Wetzel (1975) mentionne que dans les lacs naturels, des

pH < 4 se retrouvent habituellement dans des régions volcaniques où les lacs sont influencés par des acides minéraux très forts tel l'acide sulfurique. Étant loin des volcans actifs, il nous faut trouver une autre hypothèse.

Les lacs acides sont en fait tous des lacs de tête et par conséquent, situés en haute altitude. Étant des lacs de tête, ils seront essentiellement alimentés par les précipitations atmosphériques (pluie et neige). Ils auront donc une qualité chimique semblable à celle des pluies. Or, ces lacs sont acides. Plusieurs auteurs, dont Barret et Brodin (1955), Brosset (1973), Cogbill (1976), Lunde et al. (1977), Dillon et al. (1978), Moldan (1980), Nicholson et al. (1980), Ogden (1980), Tomlinson et al. (1980), et Slaniva et Asmon (1980), ont démontré que les pluies sont souvent acides, c'est-à-dire un pH plus petit que 5.6. Naiman et al. (1980) ont enregistré, à la station de recherche de Matamek (dans la région de Sept-Iles), des pH de pluie atteignant un minimum de 3.8 en début d'octobre 1979. Il est maintenant bien connu que cette acidité provient surtout des rejets de SO_x et NO_x émis dans l'atmosphère par diverses activités industrielles. Dans le cas des 186 lacs étudiés, l'acidification des pluies pourrait vraisemblablement provenir des rejets d'acide fluoridrique des fonderies de la région d'Arvida (Alcan). Mais Ouellet (non publié) a démontré, par l'étude de plusieurs centaines d'échantillons de neige, que les émanations de F des usines de la compagnie Alcan, situées au Saguenay - Lac Saint-Jean, avaient un effet de contamination négligeable pour les régions situées à des distances excédant 20 km des points d'émanation. Les bassins versants des lacs en

question étant petits et de nature géologique cristalline non carbonatée, ils ne pourront pas agir comme de bons tampons, neutralisant l'acidité des précipitations. Ces lacs auront donc tendance à s'acidifier.

Par contre, des pH < 4 nous semblent très bas. La méthode de dosage du pH par une solution universelle et un test colorimétrique sur le terrain pourrait s'avérer une source d'erreurs. Boyd (1980) et Jones et al. (1980) en sont arrivés à des conclusions similaires.

Pour la troisième série de paramètres (Hg, Cr, Pb, Cu, Zn), seules les cartes de distribution spatiale du Cu et du Zn nous montrent des patrons qui s'apparentent. En effet, on observe des concentrations élevées au centre de la région de même que dans la section centre-sud. En examinant les cartes de ces éléments on note que la concentration du Hg dans l'eau est généralement élevée (moyenne: 0.113 ppb). Allan, Cameron et Jonasson (1974) ont trouvé des concentrations moyennes entre 0.016 et 0.056 ppb de Hg dans l'eau des lacs près de zones minéralisées donc vraisemblablement contaminées, et entre 0.007 et 0.024 ppb de Hg dans les lacs dits naturels. La teneur moyenne en Hg des 186 lacs est de 0.113 ppb, la plupart des lacs ayant des concentrations autour de 0.05 ppb. Il existe cependant des lacs où nous avons enregistré des valeurs allant jusqu'à 1.15 ppb (lacs no 25 et 85). Il semblerait que ces fortes valeurs pourraient être attribuées au fait qu'on ne filtrait pas les échantillons avant de les analyser et que le Hg adsorbé sur les particules en suspension était important.

Voyons maintenant les interrelations existantes entre les divers paramètres telles que fournies par l'analyse en composantes principales.

4.2.2 Interrelations entre les variables

La matrice des coefficients de corrélation résumant les interrelations entre les variables étudiées pour l'eau des 186 lacs échantillonnés apparaît au tableau 8. Un coefficient plus grand ou égal à 0.21 est considéré comme significatif au niveau de probabilité 1%. L'identification des fausses corrélations s'est effectuée en étudiant les graphiques des courbes de régression telles que fournies par l'ordinateur.

La matrice de corrélation (tableau 8) fait ressortir une certaine interdépendance entre le Cu et le Zn et entre le Ca, le Mg, le Na, le K et le pH.

Afin de bien faire ressortir le comportement des variables entre elles, la matrice de données (10 variables x 186 échantillons) a été analysée au moyen de la méthode statistique multivariante décrite auparavant. Le poids de chaque variable, sur les trois composantes principales (A, B, C), apparaît au tableau 9 et les interrelations sont illustrées dans le diagramme de disposition tridimensionnelle de la figure 6. Dans cette représentation, les ordonnées des variables sur l'axe A sont représentées au moyen d'une ligne verticale projetée à partir de l'extrémité de chaque secteur sur le plan horizontal passant par les axes B et C.

TABLEAU 9 Poids sur les trois facteurs A, B et C des variables chimiques calculés au moyen d'une analyse factorielle de type R, pour les eaux superficielles des 186 lacs étudiés.

VARIABLE	COMPOSANTES PRINCIPALES		
	A	B	C
Hg	0.02	-0.15	0.09
Cr	-0.08	0.01	-0.12
Pb	0.02	0.09	0.05
Cu	-0.07	0.08	0.75
Zn	-0.08	0.01	0.60
Ca	0.89	-0.10	-0.03
Mg	0.92	-0.06	-0.04
Na	0.76	0.05	-0.08
K	0.54	0.23	-0.04
pH	0.48	-0.06	-0.08
variance expliquée	46.3%	22.9%	13.8%

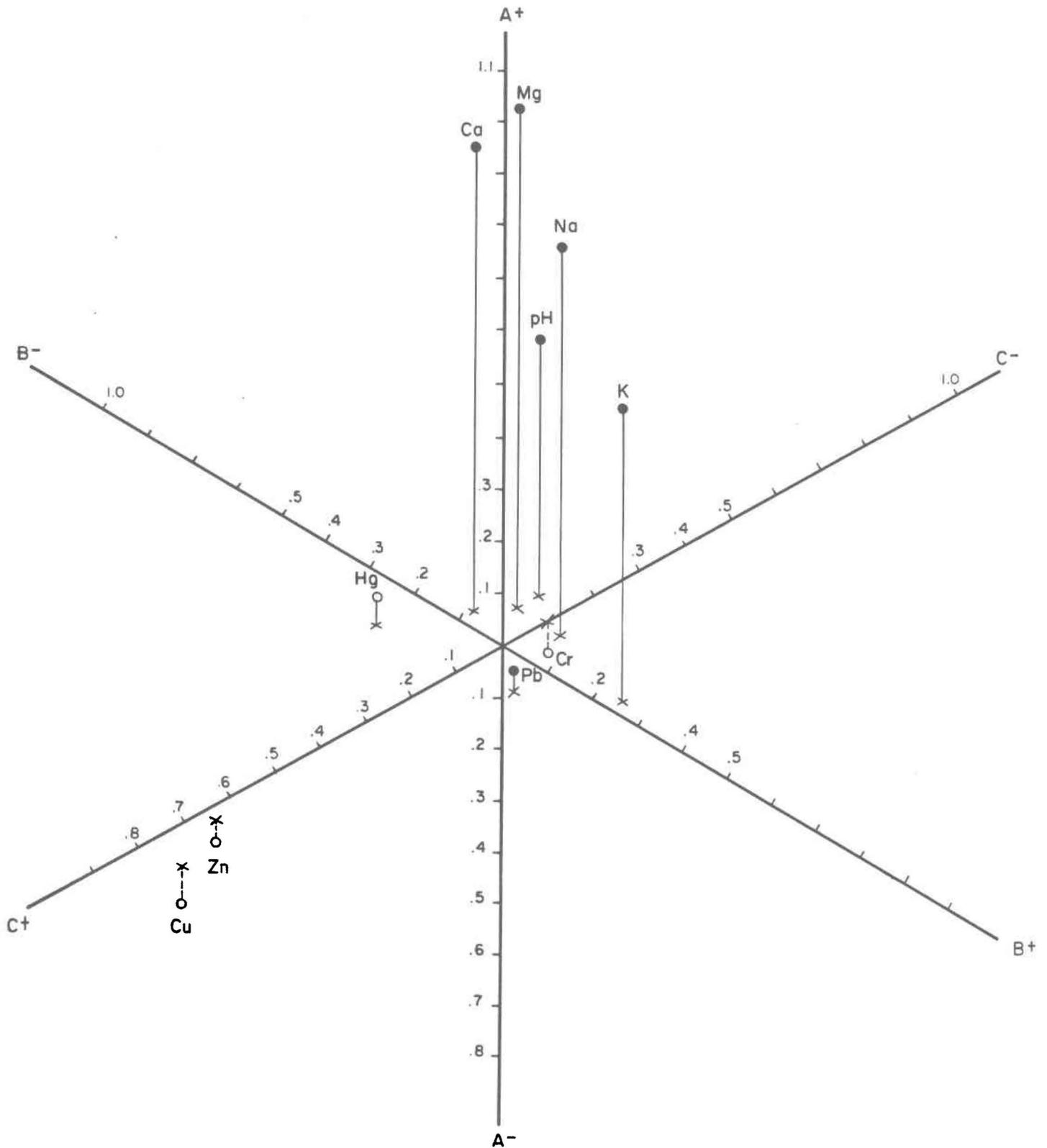


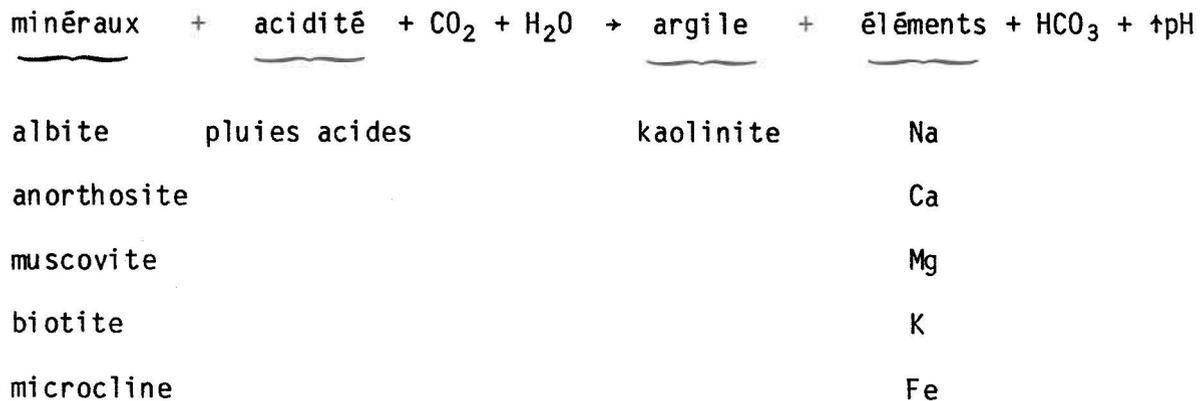
FIGURE 6 Projection sur les axes des principaux facteurs (A, B et C) des poids des variables chimiques calculés, au moyen d'une analyse factorielle de type-R, pour les eaux superficielles des 186 lacs étudiés.

L'analyse en composantes principales fait ressortir deux sous-associations distinctes. La composante principale A, qui explique 46.3% de la variance, fait ressortir une association intéressante entre les paramètres Ca, Mg, Na, K et pH, soit le système de la salinité et celui de l'acidité. Les poids de ces variables sur cette première composante principale sont respectivement 0.89, 0.92, 0.76, 0.54 et 0.48. Enfin, la composante C fait ressortir une étroite association entre le Cu et le Zn. Cette composante explique 13.8% de la variance et les poids des deux paramètres sont de 0.75 et 0.60 respectivement.

Le système Ca, Mg, Na et K dans les eaux, en est un qui a été discuté longuement par plusieurs auteurs (Stumm et Morgan, 1970; Otsuki et al., 1974; Wetzel, 1975). Wetzel (1975) mentionne que les concentrations de ces éléments dans des lacs naturels, lorsque ces éléments dérivent principalement du bassin versant, suivent la relation suivante: $Ca > Mg > Na > K$. Dans la région étudiée, les concentrations moyennes de Ca, de Mg, de Na et de K sont de 3.32, 0.404, 1.06 et 0.34 ppm respectivement. Ceci semblerait démontrer que les eaux sont largement influencées par les bassins versants. Ceci pourrait s'expliquer par la géologie des roches en place qui contiennent beaucoup de feldspaths potassiques, tandis que le Ca et le Na sont libérés par l'altération de feldspaths dits plagioclases. Il est à noter que dans des conditions naturelles, les feldspaths sont assez facilement érodables. Le surplus de Na peut être associé jusqu'à un certain point avec la proximité des eaux salées du fleuve Saint-Laurent. En effet, la région étudiée est à environ 60 km à l'ouest de la confluence du Saguenay et du

Saint-Laurent et il est fort probable que les précipitations venant de l'est soient riches en sodium. Ce phénomène est observé souvent en bordure des océans (Junge et Werby, 1958). Finalement, le Mg provient largement des micas ou des minéraux dits ferromagnésiens (pyroxènes, amphiboles) (Sasseville et al., 1978).

L'association de ces quatre paramètres est discutée abondamment dans la littérature. Il suffit de mentionner qu'ils occupent des espaces voisins dans le tableau périodique et qu'ils ont des comportements similaires deux à deux (Ca-Mg et Na-K) face à la plupart des conditions chimiques qui peuvent prévaloir dans l'eau naturelle (ex. pH). L'existence d'une association positive entre le pH et ces éléments est aussi discutée. Nous observons des coefficients de corrélation élevés et surtout positifs entre le Ca, le Mg, le Na, le K et le pH. C'est-à-dire qu'à pH élevé, on devrait avoir beaucoup de Ca, de Mg, de Na et de K en solution quand on sait que ces éléments auront plutôt tendance à précipiter (pour des pH extrêmes > 8) sous forme de CaCO_3 ou MgCO_3 , etc. Cependant, dans les eaux naturelles, l'association positive entre le pH et les autres paramètres mentionnés plus haut est normale. Norton (1978) et Norton et al. (1981) discutent des effets de l'acidification des pluies qui provoque l'accélération de la podsolisation des sols ainsi que de l'appauvrissement de ceux-ci en nutriments. L'acidification contribue à accélérer la mobilisation de l'Al, du Ca, du Mg, du Mn, du Fe, du Pb, du Zn et du P. Gélinas (1980) décrit la dissolution des roches cristallines du Bouclier canadien selon l'équation suivante:



Cette équation décrit bien le mécanisme tampon qui prévaut dans les bassins versants de notre région. Ainsi, plus il y a de dissolution, plus il y aura d'éléments libérés et plus le pH aura tendance à s'élever, d'où l'étroite association de ces paramètres. En plus, dans ce cas-ci, l'altitude semble jouer un rôle important.

Nous verrons plus loin (4.4) que l'altitude est inversement corrélée au pH. Les lacs étant plus acides en haute altitude. Par contre, les éléments Na, Ca, Mg et K sont aussi inversement proportionnels à l'altitude. C'est-à-dire qu'en haute altitude, où les lacs ont peu d'apport des bassins versants, les eaux sont moins riches en Na, Ca, Mg et K et seront tout de même acides. Ces eaux seront acides parce qu'elles n'ont pu être tamponnées efficacement par le matériel géologique du bassin versant. En haute altitude, les bassins sont petits et la couverture quaternaire est très mince ou inexistante. Le temps de séjour de la pluie acide sur le bassin versant est relativement court et par conséquent l'eau n'aura pas le temps de dissoudre

les roches cristallines et se rendra au lac sans être bien tamponnée. Ceci explique le fait qu'en haute altitude les lacs auront tendance à être acides et très peu minéralisés. Quellet et Jones (non publié) ont trouvé une relation similaire pour 130 lacs du Parc des Laurentides.

Il est intéressant de noter, à ce stade-ci de la discussion, que le pH ne semble pas jouer un rôle important quant à la détermination de la concentration de la majorité des métaux traces dans l'eau de surface. Le traitement des données n'a fait ressortir aucune corrélation entre le pH et la concentration des métaux. Il semblerait que les métaux traces soient trop près de la limite de détection pour pouvoir permettre un traitement statistique valable. Le pH pourrait éventuellement jouer un certain rôle en profondeur où les particules fines abondent, en inhibant jusqu'à un certain point l'action coprécipitatrice du FeO et MnO de façon à libérer certains métaux, ou tout simplement en les dissolvant (Leckie et James, 1974; Kramer, 1978; Schindler et al., 1980). Ce mécanisme sera beaucoup moins important à la surface des lacs où les eaux sont habituellement claires, peu turbides, et contiennent peu de matériel argileux en suspension. Dans leur étude concernant 94 lacs de la Nouvelle-Angleterre, Norton et al. (1981) ont mis en évidence que les concentrations de Fe, de Mn, de Pb, de Zn et d'Al avaient tendance à s'accroître avec une diminution du pH et que les valeurs de Na, de K, de Ca, de Mg et d'alcalinité augmentaient avec un accroissement du pH.

L'association étroite du Cu et du Zn peut être expliquée jusqu'à un certain point par la similarité de leur comportement chimique. Ce sont deux éléments qui sont voisins dans le tableau périodique. Le rapport $[Cu]/[Zn]$ dans les eaux lacustres est d'environ 0.4. On pourrait s'attendre à ce que ce rapport soit similaire à celui calculé pour les roches en place (tableau 1). Malheureusement, ce n'est pas le cas puisque cette relation est de 0.09 pour la géologie en place. La différence peut s'expliquer vraisemblablement par l'apport de la couverture quaternaire qui est fort probablement de composition assez hétérogène, car les dépôts glaciaires ont pu franchir des distances remarquables. Ces dépôts ont donc pu fournir aux eaux un surplus de Zn débalançant ainsi le rapport observé dans les roches.

L'association des éléments Fe et Mn en est une qui a été observée et commentée par Mortimer (1971), McColl (1972), Weiler (1973) et Nichols et al. (1975). Ces éléments se comportent d'une façon similaire face aux conditions redox du milieu lacustre. Ils sont facilement oxydables et ont tendance à précipiter sous cette forme. Par contre, sous des conditions réductrices le Fe et le Mn pourront rester en solution et quelques fois l'eau pourra s'enrichir de ces éléments au dépend des sédiments. Il est à noter que, sous des conditions très réductrices, ces éléments précipiteront sous forme de sulfures. Malheureusement, dans cette étude, les concentrations de Fe et de Mn sont trop près de la limite de détection pour pouvoir permettre une telle observation.

4.3 Sédiments

4.3.1 Distribution spatiale

L'analyse des cartes de distribution spatiale (annexe D) nous a permis de diviser les paramètres associés aux sédiments de fond en deux groupes distincts. Il y a tout d'abord le groupe d'éléments qui possède des distributions spatiales particulières (propre à chaque élément). Ce groupe comprend le Pb, l'As, le Ba, le Hg, le Li et le PF. Ces distributions nous semblent tout à fait aléatoires et ne suivent pas de patron commun. D'ailleurs, le comportement de l'As, du Ba et du Li n'a pas fait l'objet d'études approfondies. Il est surprenant de trouver le PF associé à ce groupe. Dans la littérature, on le trouve plutôt associé à des métaux traces tels le Cu, le Zn et le Ni (Ouellet, 1980a, b).

Le deuxième groupe d'éléments comprend le Fe, le Zn, le Cu, le Cr, le Ni, le Mo, le Co et le V. Leurs patrons de distribution spatiale s'apparentent à des degrés variables. Le Cu et le Co suivent un peu moins le patron général représenté à la figure 7.

La figure 7 nous fait voir des concentrations élevées aux extrémités est et ouest de la région. On rencontre aussi des valeurs élevées dans la partie centre-sud. Les plus basses valeurs semblent être situées dans les zones sud-ouest et dans le centre-est. Le centre de la région est occupé par des valeurs moyennes.

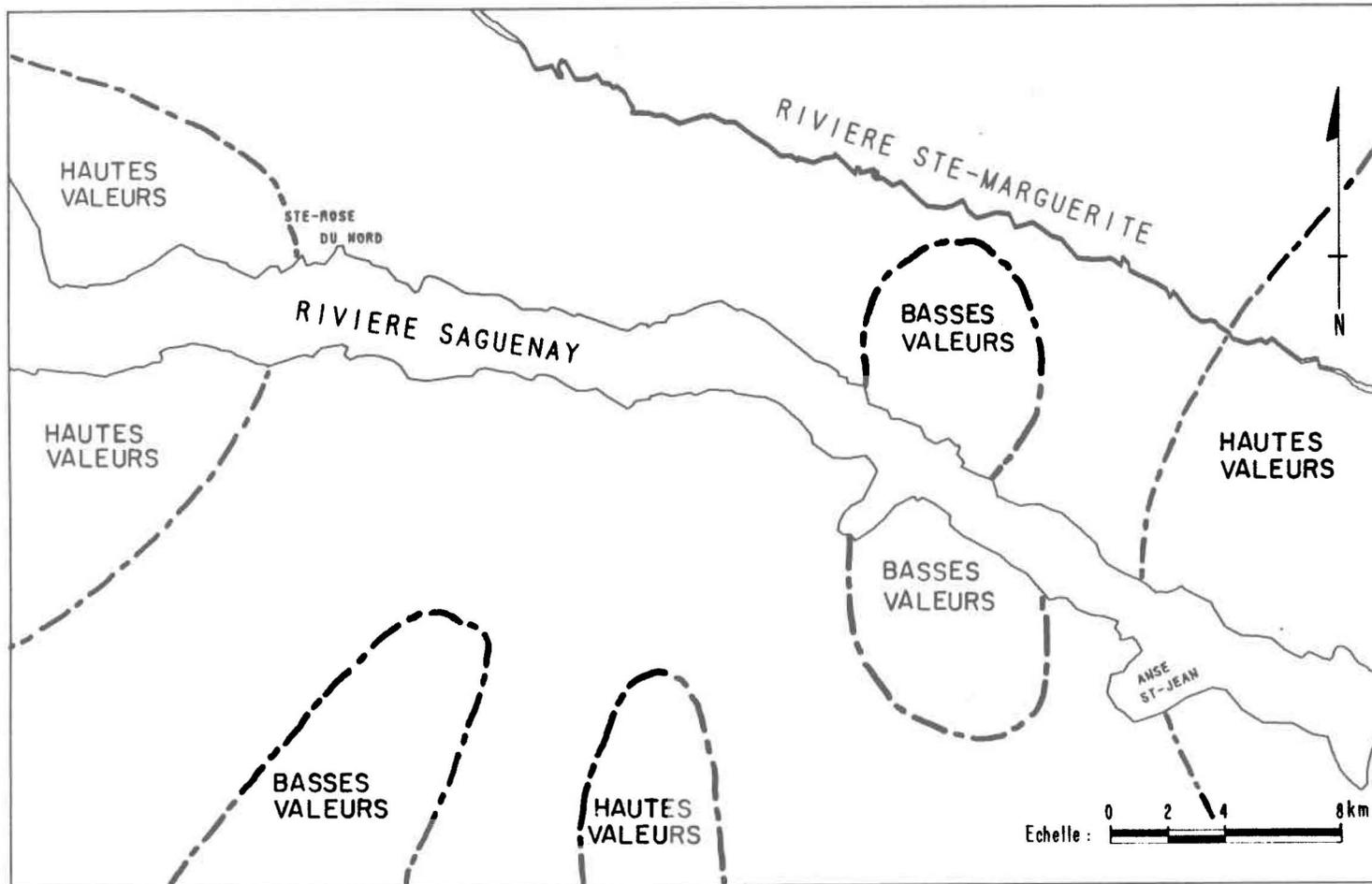


FIGURE 7 Distribution spatiale schématique du Fe, du Zn, du Ca, du Cu, du Cs, du Ni, du Mo et du V dans les sédiments lacustres.

4.3.2 Interrelations entre les variables

La matrice de corrélation (tableau 8) pour les paramètres sédimentologiques nous résume les relations qui ont été observées entre ces paramètres. Un coefficient plus grand ou égal à 0.21 est considéré comme étant très significatif du niveau de probabilité 1%.

De façon générale, on peut dire que la plupart des paramètres sont intercorrelés entre eux de façon très significative. Ouellet (1980a, b), dans son étude sur les sédiments de fond du lac Saint-Jean, a mis en évidence sensiblement les mêmes relations. Le Fe et le Mn sont correlés avec la majorité des éléments dosés sauf avec le Li, le Hg, le Ba et la matière organique (perte au feu: P.F.). La teneur en matière organique des sédiments ne semble pas jouer un rôle bien important en ce qui concerne la composition chimique de ces mêmes sédiments. Les seules corrélations observées avec le PF sont négatives et avec des éléments dont la teneur est très peu élevée (près de la limite de détection) et/ou qui possèdent un comportement peu connu dans le cycle hydrologique (ex: Li et Cr).

L'analyse en composantes principales nous a fourni des poids relatifs, répartis sur trois axes. Ces poids sont listés au tableau 10 et les interrelations sont illustrées dans le diagramme tridimensionnel de la figure 8.

TABLEAU 10 Poids des variables géochimiques sur les trois premières composantes principales A, B et C après une rotation varimax des axes pour les 186 échantillons de sédiments lacustres de la région étudiée.

VARIABLE	COMPOSANTES PRINCIPALES		
	A	B	C
Hg	-0.08	0.36	-0.12
Fe	0.78	0.28	0.04
Li	0.09	0.13	0.72
Ba	0.07	0.46	-0.02
Cr	0.37	0.65	0.49
Mo	0.52	0.31	-0.08
V	0.38	0.78	-0.01
Cu	0.40	0.67	-0.03
Zn	0.43	0.30	0.26
Pb	0.31	0.08	0.06
Ni	0.23	0.53	0.39
Co	0.75	0.25	0.19
Mn	0.89	0.04	0.18
As	0.52	0.22	0.08
PF	-0.07	0.12	-0.68
variance expliquée	60.0%	14.5%	11.0%

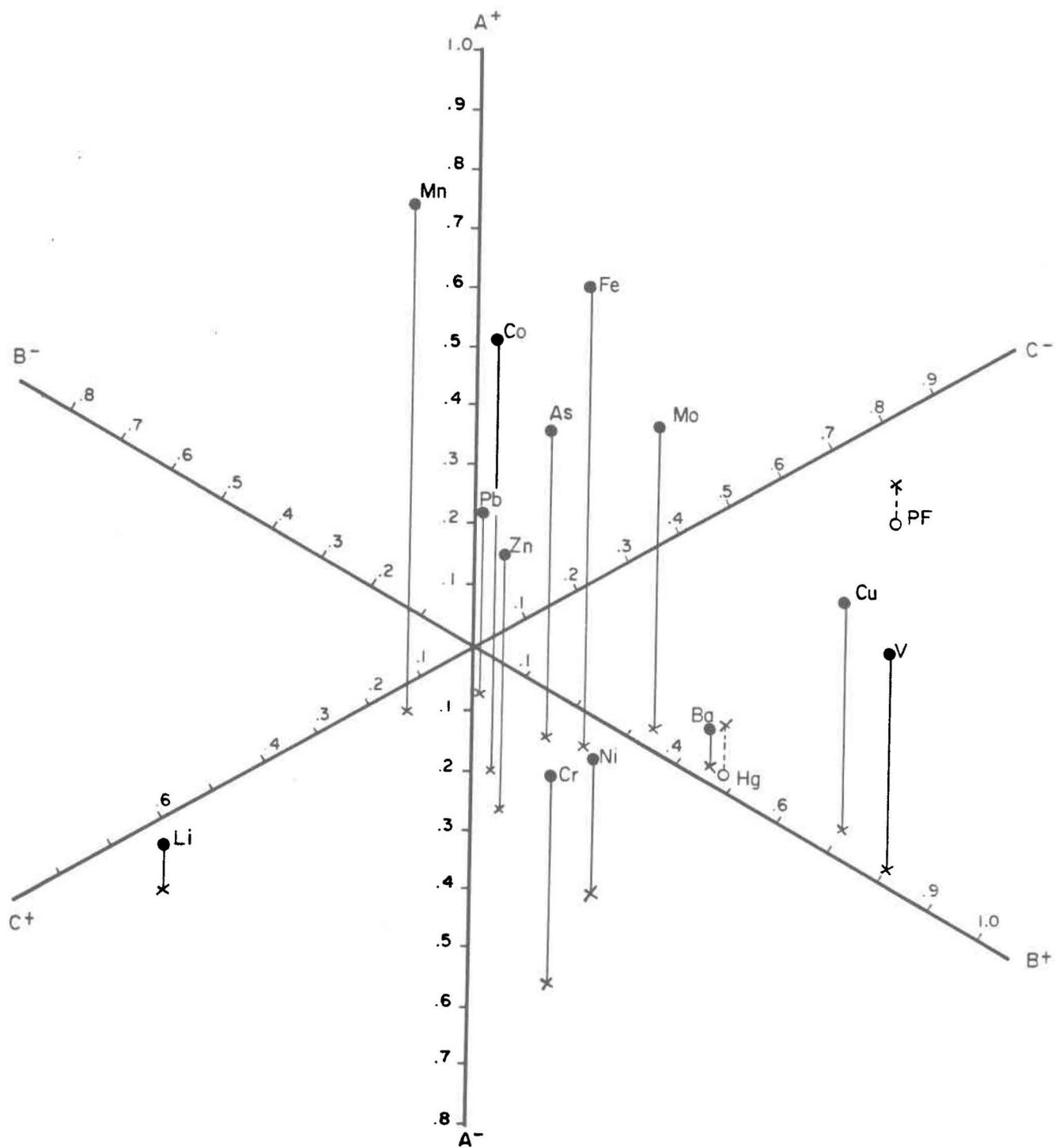


FIGURE 8

Dispersion tridimensionnelle des poids des variables, calculés par analyse des composantes principales de mode-R avec rotation VARIMAX des axes, pour les 186 échantillons des sédiments de fond.

Il est bien connu que la coprécipitation des éléments traces avec les oxydes de Fe et Mn joue un rôle dominant dans les eaux lacustres, car elle influence sensiblement la composition des sédiments de fond (Leckie et James, 1974; Williams et al., 1974; Lee, 1975; Legendre et al., 1980; Schindler et al., 1980). Tessier et al. (1978) ont démontré que ce phénomène était responsable de l'accumulation d'une part importante de certains métaux étudiés (Cd, Co, Cu, Zn, Mn, Fe) dans les sédiments des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska. L'axe A (figure 8), qui explique 60% de la variance, est dominé par le Fe et le Mn. On retrouve aussi le long de cet axe le Mo, le Cr, le Cu, le Zn, le Co et l'As qui ont des poids respectifs de 0.52, 0.37, 0.40, 0.43, 0.75 et 0.52. Les poids pour le Fe et le Mn sont de 0.78 et 0.89. Le fait que ces paramètres soient tous liés au Fe et Mn à divers degrés nous laisse supposer que l'accumulation des métaux traces dans les sédiments des 186 lacs étudiés se fait surtout par coprécipitation avec les oxydes de Fe et de Mn. Les lacs étudiés, peu contaminés et relativement peu profonds, nous laissent croire que leurs eaux doivent être oxygénées jusqu'en profondeur. L'oxydation du Fe et du Mn se fait aisément dans les conditions naturelles (Stumm et Morgan, 1970).

L'axe B, qui explique 14.5% de la variance, est dominé par le V, le Cu, le Cr et le Ni, dont les poids respectifs sont de 0.78, 0.67, 0.65 et 0.53. L'association de ces éléments nous semble assez inusitée, sauf pour ce qui est du Cu et du Ni qui sont souvent associés dans les roches. D'ailleurs, Tessier et al. (1978) ont démontré que la fraction cristalline des sédiments de rivière pouvait être responsable jusqu'à 50% des teneurs en Cu

et en Ni. Par contre, il est bien connu que le V et le Cr sont des éléments peu abondants dans les roches et on les retrouve surtout comme éléments accessoires. Ils seront donc bien intégrés dans le réseau cristallin. La géologie, étant assez homogène, on obtiendra une certaine consistance pour l'ensemble du territoire étudié en ce qui concerne la composition chimique de la fraction cristalline des sédiments (tableau 1). Par conséquent, l'axe B pourrait donc représenter vraisemblablement la fraction cristalline des sédiments. Dans les lacs où la fraction cristalline est peu importante, on aura des faibles teneurs en V, Cu, Cr et Ni et, par contre, dans les lacs où la fraction cristalline des sédiments est importante on observera le phénomène contraire.

L'axe C, qui représente à peine 11% de la variance totale, est dominé à son extrémité positive par le Li et à son extrémité négative par l'estimation de la matière organique. Cette relation inverse nous est difficilement explicable. D'autant plus qu'habituellement la matière organique joue un rôle plus important en étant corrélée avec plusieurs métaux traces comme l'ont observé Ruch et al. (1970), Shimp et al. (1971), Kennedy et al. (1971) et plus récemment dans le cas du Hg, Bachand (1979) et Grisel (1979). L'absence de relation entre le PF et les métaux traces pourrait s'expliquer par une multitude de raisons dont nous ne retiendrons ici que deux d'entre elles. Premièrement, dans le cas du Hg et des métaux volatiles, il aurait pu y avoir une certaine perte de ces éléments lors de la combustion à 550° C ou du séchage à 110° C. Cette perte aurait pu fausser les résultats de telle manière que les corrélations seraient devenues non-significatives.

Cependant, à notre avis, il serait plus juste de suggérer que les éléments qui entre dans le système lacustre sont déjà complexés ou adsorbés aux oxydes de Fe et de Mn ou qu'ils le sont rapidement de telle façon que la matière organique ne peut compétitionner avec ces "scavengers". De toute manière, il est très surprenant que le P.F. influence si peu sur la composition chimique des sédiments, et il serait profitable d'explorer plus à fond ce phénomène lors d'une autre campagne d'échantillonnage afin de déterminer plus précisément la cause du phénomène observé. Glooschenka et al. (1981) ont été aussi incapables de mettre en évidence une relation significative entre la matière organique et les métaux d'un marais fortement pollué. Ceux-ci suggèrent, sans le démontrer statistiquement, que les métaux traces sont probablement associés aux oxydes.

4.4 Interaction: eaux - sédiments - paramètres - physiques

4.4.1 Distribution spatiale

La distribution spatiale de chaque groupe d'éléments a déjà été traitée dans les sections précédentes. Il sera donc question dans cette partie de mettre en relation les différents patrons de chaque groupe afin de faire ressortir les éléments qui auraient une même distribution spatiale.

En premier lieu, voyons s'il existe des relations significatives entre les paramètres dits quantifiables et ceux qui ne le sont pas (c'est-à-dire la géologie et la végétation). Tout d'abord, pour ce qui est de la

géologie, on n'a pu mettre en évidence aucun paramètre étudié qui semblait avoir une distribution spatiale similaire à celle des unités géologiques (figure 4).

On y voit deux raisons majeures à cet état de fait. Premièrement, il y a similarité chimique des unités géologiques. En effet, nous avons vu plus tôt que les types de roches rencontrés sur le territoire ne se différencient guère au point de vue chimique. Il sera alors très difficile de mettre en évidence des zones différentes. En deuxième lieu, nous avons vu que la couverture de sédiments meubles de type glaciaire peut devenir importante par endroit. Cet état de chose peut annuler l'influence de la roche en place (Imreh, 1971). L'expérience aurait pu devenir significative dans une région où la géologie est largement contrastante.

La carte écologique (figure 5) nous servira de guide pour comparer la végétation avec les paramètres quantifiables. Les régions écologiques seront les unités considérées. L'altitude devrait montrer jusqu'à un certain point des similarités avec la carte écologique de Jurdant et al. (1972), car celle-ci est basée en majeure partie sur l'interprétation de photos aériennes. De plus, il mentionne que la limite de ces régions écologiques suit généralement les courbes de niveau. Malheureusement, la carte des altitudes, fournie par l'ordinateur et comprise à l'annexe D, n'est pas assez précise (courbes à intervalle de 250 pi) pour mettre en évidence les similarités. Les mêmes remarques peuvent s'appliquer jusqu'à un certain point aux paramètres BV, pH, Ca (eau), Mg (eau), Na (eau) et K (eau) où l'on

s'attendrait à voir des distributions spatiales similaires. Les autres paramètres étudiés ne semblent pas concorder avec la distribution des régions écologiques rencontrées sur le territoire. L'exercice aurait pu devenir concluant dans une région plutôt plane où les dénivellations mineures n'auraient pas influencer le climat et par conséquent la végétation.

En second lieu, nous identifierons les distributions semblables entre les divers groupes de paramètres. Tout d'abord, on s'aperçoit que la carte de distribution des profondeurs d'échantillonnage s'apparentent jusqu'à un certain degré à celle de la plupart des éléments dosés dans les sédiments, c'est-à-dire au groupe Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Mo, Co et V. Cette association sera discutée plus en détail dans la partie suivante. Enfin, on note que la carte du pH s'apparente à celle du Zn, du Co et du Ni. Cette relation sera aussi discutée dans la section suivante.

4.4.2 Interrelation entre les variables

Le tableau 8 reproduit la matrice de corrélation pour tous les paramètres étudiés et nous résume toutes les corrélations observées lors de nos travaux. Celles qui nous intéressent plus particulièrement à ce stade sont celles impliquant des paramètres de classes différentes. À ce sujet, on remarque que la dimension du bassin versant semble influencer le taux de divers métaux traces dans les sédiments. Ensuite, on note que l'altitude est corrélée négativement avec le système des carbonates, de la salinité de même qu'avec le pH rencontré dans les eaux lacustres.

De plus, on s'aperçoit que la profondeur semble jouer un rôle important pour ce qui est de la concentration de plusieurs éléments dans les sédiments lacustres. On note aussi qu'il n'existe aucune relation entre la teneur dans l'eau et celle dans les sédiments des mêmes éléments. En dernier lieu, on observe des corrélations très significatives entre le pH et certains éléments dans les sédiments.

L'analyse en composantes principales nous a fourni des poids relatifs (tableau 11), répartis sur trois axes. Pour ce qui est de la représentation graphique, elle est illustrée dans le diagramme tridimensionnel de la figure 9.

Les premières corrélations qui nous semblent intéressantes, en examinant la matrice de corrélation, sont celles entre la grandeur du bassin versant et la concentration dans les sédiments des éléments suivants: Fe, Li, Cr, Zn, Co et Mn. C'est-à-dire que plus le bassin versant est grand, plus on aura tendance à trouver un apport important des éléments pré-cités dans les sédiments en question. À première vue, cette relation nous semble logique. En effet, quand le bassin versant est grand, cela veut dire qu'on a une grande surface de territoire exposée à l'érosion et on aura, par conséquent, de fortes chances d'avoir un transport plus important de matériel érodé dans le lac que dans le cas d'un petit bassin versant physiquement (géologie, altitude, etc.) semblable. Mais dans ce cas, pourquoi n'observe-t-on pas une corrélation significative entre tous les éléments dosés et la grandeur du bassin versant? À ce sujet, il est bon de noter que tous les

TABLEAU 11 Poids des variables géochimiques sur les trois premières composantes principales après une rotation varimax des axes pour tous les paramètres retenus.

Paramètres	A	B	C
BV	0.08	0.09	0.12
AL	0.01	-0.29	-0.05
DL	0.17	0.13	0.39
P	0.69	-0.04	0.25
HgE	-0.05	0.02	0.05
CrE	-0.09	-0.12	0.02
PbE	0.02	0.05	0.04
CuE	0.03	-0.08	0.10
ZnE	-0.04	-0.05	-0.13
CaE	-0.03	0.86	0.02
MgE	0.03	0.91	0.03
NaE	-0.09	0.76	0.08
KE	0.04	0.55	-0.05
pH	0.09	0.41	0.01
HgS	0.25	-0.19	-0.04
FeS	0.44	-0.01	0.70
LiS	0.20	0.37	0.05
BaS	0.42	-0.07	-0.02
CrS	0.81	0.14	0.20
MoS	0.36	0.09	0.40
VS	0.81	-0.01	0.18
CuS	0.72	-0.14	0.30
ZnS	0.35	0.03	0.31
PbS	0.11	-0.04	0.42
NiS	0.53	0.00	0.07
SCo	0.45	0.05	0.58
MnS	0.27	0.02	0.82
AsS	0.22	-0.04	0.00
PF	0.05	-0.06	-0.07
Variance expliquée	40.3%	22.2%	9.6%

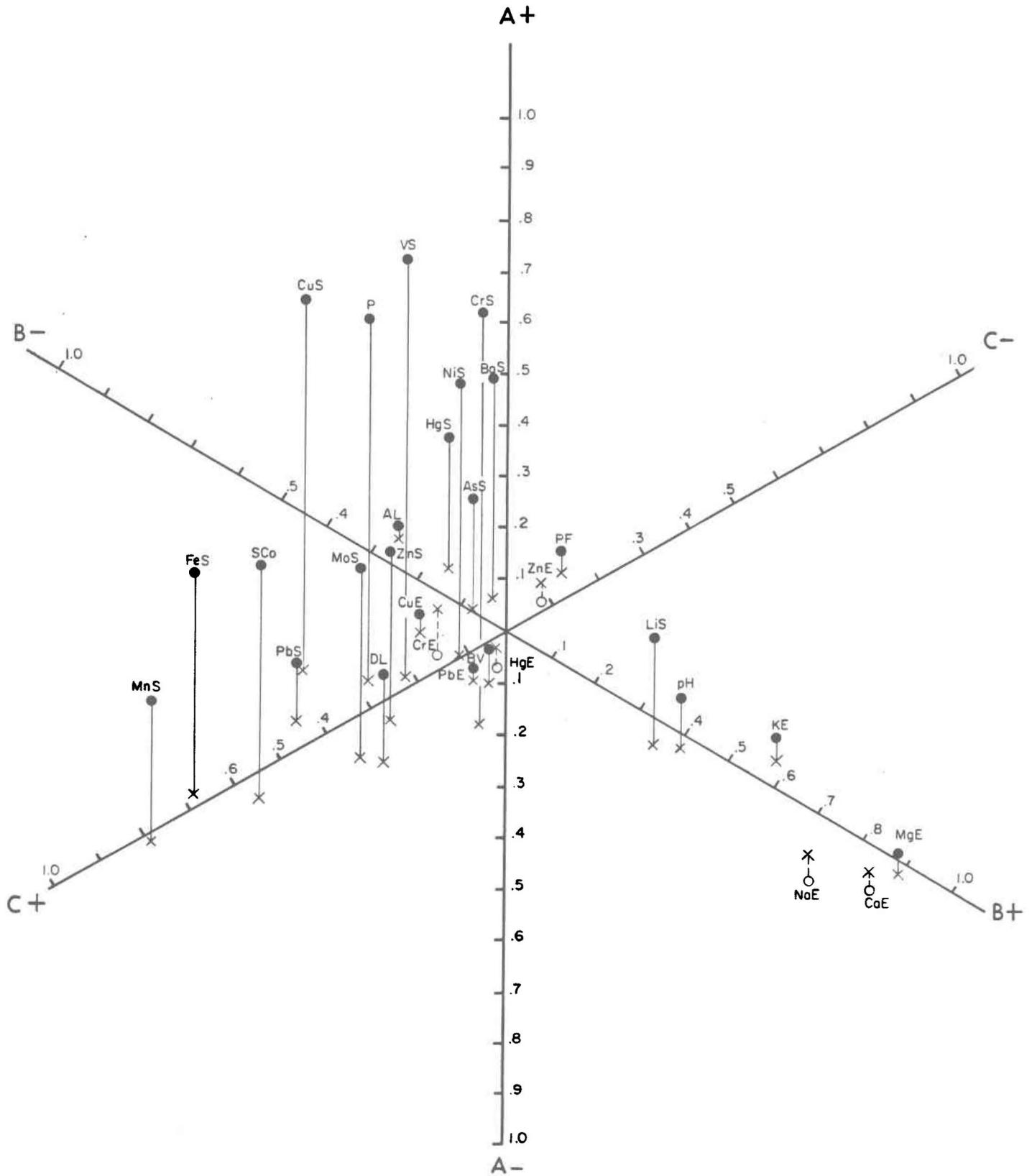


FIGURE 9 Projection sur les axes des principaux facteurs (A, B et C) des poids des variables physico-chimiques calculés, au moyen d'une analyse factorielle de type -R pour les 186 lacs étudiés.

éléments n'ont pas un comportement similaire et il y en a qui auront une migration plus lente vers la cuvette lacustre étant incorporés dans les sols ou étant complexés par la matière organique (Levinson, 1974). De plus, les interactions à l'intérieur de la cuvette lacustre peuvent différer grandement. Il y a certains éléments qui ne résideront pas longtemps dans le lac, tandis que d'autres seront trappés en totalité. Enfin, il ne faut pas oublier l'apport atmosphérique qui pourra aussi débalancer les corrélations. L'analyse en composantes principales n'a cependant pas fait ressortir cette relation. Il est aussi bon de noter que la grandeur des bassins versants du territoire en question varie relativement peu.

La deuxième série de corrélations qui nous intéresse est celle entre les éléments suivants: l'altitude, les concentrations de Ca, K, Mg, Na dans l'eau et le pH. Leur poids respectif sur l'axe B est de: -0.29, 0.86, 0.55, 0.91, 0.76 et 0.41. On se rappelle que le facteur B explique 22.2% de la variance. Nous ne nous attarderons pas sur cette association qui a déjà été décrite et expliquée dans la section 4.2.

L'axe A, qui représente 40.3% de la variance expliquée, est dominé à son extrémité positive par la profondeur d'échantillonnage, de même que le Cr, le Cu et le V dans les sédiments. Après un examen plus attentif, on s'aperçoit que les éléments dosés dans les sédiments se retrouvent tous dans la partie positive de l'axe A. Ceci voudrait dire que la profondeur d'échantillonnage semble jouer un rôle important en ce qui concerne la concentration mesurée dans les sédiments des éléments étudiés (Ouellet, 1980). Il nous semble qu'une bonne partie des éléments entrant dans le système

lacustre sont déjà complexés ou associés aux oxydes de Fe et Mn ou encore, qu'ils sont associés à la fraction cristalline des sédiments de telle façon qu'ils se comporteraient comme des particules fines sédimentant dans les parties les plus profondes des cuvettes lacustres (Tessier, communication personnelle). A ce sujet, on remarque que l'axe C, qui représente un peu moins de 10% de la variance, est dominé par les paramètres Fe et Mn. Ces variables ont des poids respectifs de 0.82 et 0.70. On note aussi que le CoS, le PbS, le ZnS, le CuS et le MoS possèdent des poids élevés sur l'axe C. Il semblerait donc que les éléments soient contrôlés par la coprécipitation avec des oxydes de Fe et Mn, tel que nous l'avons démontré à la section 4.3.2.

En dernier lieu, on observe quelques corrélations positives entre le pH et les concentrations de Li, de Zn, de Co et de Ni dans les sédiments. Cette association n'a pas été mise en évidence par l'analyse en composantes principales et sera par conséquent un processus peu important dans le système lacustre étudié. La corrélation entre ces paramètres étant positive, cela veut dire qu'en milieu acide, la concentration de ces éléments dans les sédiments a tendance à diminuer. On sait très bien qu'en milieu acide, il y a abondance d'ions H^+ . Il semblerait que ces ions H^+ entrent en compétition avec les oxydes de Fe et Mn de façon à ralentir ou même à inhiber la précipitation de certains éléments avec ces oxydes. Il faut noter cependant que c'est un processus qui se passera au niveau de l'interface eau-sédiment et qu'il influencera très peu la qualité de l'eau en surface du lac.

CHAPITRE 5

CONCLUSION

Les points les plus importants du présent travail se résument comme suit:

- a) les 186 lacs étudiés se situent dans un territoire relativement vierge. Seuls quelques camps de pêche témoignent de la présence humaine. Cette présence a un effet direct négligeable sur la qualité de l'eau et des sédiments des lacs de la région;
- b) une géologie peu diversifiée, de même qu'une couverture de dépôts meubles hétérogènes et souvent épaisse, font qu'il nous a été impossible d'établir des relations entre les diverses unités géologiques de la roche en place et la distribution spatiale des divers paramètres étudiés;
- c) la topographie de la région est assez accidentée provoquant des différences climatologiques marquées entre les zones de hautes et basses altitudes. Par conséquent, la végétation est largement influencée par le climat, lui-même une conséquence directe de l'altitude;
- d) l'étude des paramètres physiques nous a permis de mettre en évidence les associations suivantes: l'altitude est inversement proportionnelle à la superficie des lacs de même qu'à la superficie de leur bassin versant. De plus, la superficie des lacs

est proportionnelle à l'aire des bassins versants. On retrouve aussi la même relation en fonction de la profondeur;

- e) l'étude des eaux lacustres fait ressortir deux associations physico-chimiques. En ordre d'importance, ce sont premièrement celles entre le Ca, le Mg, le K et le Na et deuxièmement entre l'altitude et le pH;
- f) aucune relation n'a été décelée entre le pH et les concentrations de métaux mesurées dans l'eau;
- g) la matière organique des sédiments lacustres ne démontre aucune association tant avec les paramètres physiques, qu'avec la chimie de l'eau et des sédiments;
- h) le Fe et le Mn semblent être les agents principaux de contrôle, via la co-précipitation, des éléments tels le Mo, le Cu, le Zn, le Pb et le Co dans les sédiments;
- i) l'étude de l'interaction entre l'ensemble des paramètres (physiques, physico-chimiques, géochimiques) nous a permis de mettre en évidence une association entre la profondeur des lacs et la concentration de divers éléments dans les sédiments de fond tels le Fe, le Zn, le Cu, le Cr, le Ni, le Mo, le Co et le V. Par contre, il n'existe aucune relation entre la concentration

du Hg, du Cr, du Pb, du Cu, du Zn, du Ni, du Mn et du Fe dans l'eau de surface et la teneur de mêmes éléments dans les sédiments de fond;

- j) en général, la présente étude semble démontrer que, pour les 186 lacs, les processus les plus importants qui régissent les interactions entre les eaux et les sédiments sont: la co-précipitation avec les oxydes et l'adsorption à la fraction argileuse des sédiments. Par contre, il nous a été impossible de mettre en évidence le rôle de la matière organique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAMS, R.W., DUTHIE, H.C. (1976).
Relationships between sediment chemistry and postglacial production rates in a small canadian lake. Int. Revue Ges. Hydrobiol., 61(1): 21-36.
- AKIYAMA, T. (1973).
Interactions of ferric and ferrous irons and organic matter in water environment. Geochemical Journal, 7: 167-177.
- ALLAN, R.J., CAMERON, E.M., JONASSON, I.R. (1974).
Mercury and arsenic levels in lake sediments from canadian shield. Geological Survey of Canada, Proceedings of the first International Mercury Congress, Barcelona Spain, Ottawa.
- ALLAN, R.J., TIMPERLEY, M.H. (1974).
Organic geochemistry of drainage systems. Geological Survey of Canada, Paper 74-1, Part A.
- ALTSHULLER, A.P., McBEAN, G.A. (1979).
Le transport des polluants atmosphériques sur de grandes distances en Amérique du Nord: un examen préliminaire. Groupe consultatif de recherche États-Unis - Canada sur le transport des polluants atmosphériques sur de grandes distances. Service de l'environnement atmosphérique, Canada, 43 p.
- AZZARIA, L.M. (1977).
Géochimie d'exploration. Notes de cours. Université Laval, Québec.
- BAAS BECKING, L.G.M., MOORE, D. (1959).
The relation between iron and organic matter in sediments. Journal of Sedimentary Petrology, 29(3): 454-458.
- BACHAND, C.A. (1979).
Le mercure sur le complexe La Grande. S.E.B.J., Direction Environnement (pour Environnement Canada, Direction des eaux intérieures, Québec).
- BALLINGER, D.G., MCKEE, G.D. (1971).
Chemical characterization of bottom sediments. J. Water Pollut. Control Fed., 43(2): 216-227.
- BARRET, E., BRODIN, G. (1955).
The acidity of Scandinavian precipitation. Tellus, 7: 251-257.
- BARRIE, L.A., HOFF, R.M., DAGGUPATY, S.M. (1981).
The influence of mid-latitudinal pollution sources on hays in the canadian arctic. Atm. Environ., 15(8): 1407-1420.
- BEAMISH, R.J., MILANESE, L., McFORLANE, G.A. (1975).
J. Fish. Res. Bd Canada Tech. Rep., in press.

- BEAMISH, R.J. (1976).
Proceedings of the first international symposium on acid precipitation and the forest ecosystem. U.S. department of agriculture, forest service.
- BELLAIR, P., POMEROL, C. (1965).
Éléments de géologie. Librairie Armand Colin, Paris.
- BIRGE, E.A., JUDAY, C. (1934).
Particulate and dissolved organic matter in Inland Lakes. Ecol. Monogr., 4: 440-474.
- BLACK, P.E. (1970).
Interrelationships of forest, soils and terrane in watershed planning. In: Environmental Geomorphology, Proceedings of the First Annual Geomorphology Symposia, Binghamton, N.Y., p. 71-78.
- BLANCHARD, R. (1935).
L'est du Canada français, Province de Québec. Tome II, Beauchemin, Montréal.
- BOBÉE, B., CLUIS, D., TESSIER, A., ROBITAILLE, R. (1976).
Analyse des données de qualité d'eau 1974-1975 du réseau de la baie de James. INRS-Eau, rapport scientifique no 66.
- BOSTOCK, H.S. (1972).
Subdivisions physiographiques du Canada. Dans: Géologie et ressources minérales du Canada, Partie A, Commission géologique du Canada, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Canada.
- BOWEN, H.J.M. (1966).
Trace elements in biochemistry. Academic Press.
- BOYD, C.E. (1980).
Reliability of water analysis tests. Journal of the American Fishery Society, 109(2): 39-243.
- BROOKS, R.R. (1972).
Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration. Harper and Row.
- BROSSET, C. (1973).
Air born acid. Ambio, 2(1-2): 2-9.
- BRUNSKILL, G.J., POVOLEDO, D., GRAHAM, B.W., SAINTON, M.P. (1971).
Chemistry of surface sediments of sixteen lakes in the experimental lakes area, northwestern Ontario. J. Fish Res. Bd. Canada, 28: 277-294.
- CAMPBELL, A.W., FISHER, D.W. (1966).
Chemical composition of rainfall Eastern North Carolina and Southeast Virginia. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1535-K.

- CANNON, H.L. (1971).
Use of plant indicators in ground water surveys, geological mapping, and mineral prospecting. Taxon, 20: 227-256.
- CATTEL, R.B. (1952).
Factor analysis: An introduction for psychologist and social scientists. Harper, New York.
- CHARBONEAU, R., FORTIN, J.P., LARDEAU, J.P., MORIN, G., SOCHANSKA, W. (1978).
Analyse des précipitations du bassin versant de la rivière Eaton. INRS-Eau, rapport scientifique no 88, 103 p., 2 annexes.
- CLIBBON, P., BERGERON, R. (1963).
Notes on the geology and physiography of the lake Saint-Jean area, Quebec. Cahiers de géographie de Québec, 7(13): 81-100.
- COCKBURN, G.H. (1977).
Géochimie des sédiments de fond de lac, des sédiments de ruisseau et des eaux de surface, région du parc proposé du Saguenay. Ministère des Richesses naturelles, Direction générale des mines, D.P.-553, Québec, 26 pages.
- COGBILL, C.V. (1976).
The history and character of acid precipitation in eastern North America. Wat. Air and Soil Pollut., 6: 407-413.
- CONROY, N., HAWLEY, K., KELLER, W., LAFRANCE, C. (1975).
Influences of the atmosphere on lakes in the Sudbury area. Proc. first specialty symposium on atmospheric contribution to the chemistry of lake waters. Inter. assoc. Great lakes Res., sept. 28 - oct. 1.
- CRONAN, C.S., SCHOFIELD, C.L. (1979).
Aluminum leaching response to acid precipitation: effects on high-elevation watersheds in the Northeast. Science, 204: 304-305.
- DAVENPORT, P.H., HORN BROCK, E.H.W., BUTLER, A.J. (1974).
Regional lake sediment geochemical survey for zinc mineralization in western Newfoundland. Int. Geochem. Explor. Symp. Proc., 5: 554-578.
- DELHOMME, J.P. (1976).
Application de la théorie des variables régionalisée dans les sciences de l'eau. Thèse de doctorat, École des Mines de Paris, Centre d'information géologique, France.
- DICKSON, W. (1978).
Some effects of the acidification of Swedish lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol., 20, 851.

- DICKSON, W., HÖRNSTRÖM, AYLNER, B. (1975).
Rödingsjön söder om daläven. Institute of Freshwater Research, Information no 7, Drottningholm, Sweden.
- DILLON, P.J., JEFFRIES, D.S., SNYDER, W., REID, R., YAN, N.D., EVAND, D., MOSS, J., SCHEIDER, W.A. (1978).
Acidic precipitation in south-central Ontario: recent observations. J. Fish Res. Bd. Canada, 35: 809-815.
- DILLON, P.J., YAN, N.D., SCHEIDER, W.A., CONROY, N. (1979).
Acid lakes in Ontario, Canada: characterization, extent and responses to base and nutrient additions. Arch. Hydrobiol. Beth, 13: 317-336.
- DOUGLAS, R.J.W. (1972).
Géologie et ressources minérales du Canada. Commission géologique du Canada, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Canada.
- DRAINVILLE, G. (1968).
Le fjord du Saguenay: contribution à l'océanographie. Le Naturaliste canadien, 95(4): 809-855.
- DRISCOLL, C.T., BAKER, J.P., BISOGNI, J.J., SCHOFIELD, C.L. (1980).
Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. Nature, 284: 161-164.
- FISHER, D.W., GAMBELL, A.W., LIKENS, G.E., BORMAN, F.H. (1968).
Atmospheric contributions to water quality of streams in the Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire. Water Resources Research, 4: 1115-1126.
- FISHER, G.L., SILBERMAN, D., PRENTICE, B.A. (1979).
Filtration studies with neutron activated coal fly ash. Environ. Sci. Technol., 13(6): 689-693.
- FOESS, G.W., FENG, T.H. (1971).
Bottom deposits. J. Water Pollut. Control Fed., 43(6): 1257-1266.
- FORSTNER, V. (1977).
Metals concentrations in freshwater sediments: natural background and cultural effects. Interact. Sediments Freshwater Proc. Int. Symp. 1977, p. 94-103.
- GÉLINAS, P. (1980).
Hydrogéologie. Notes de cours. Université Laval, Québec.
- GLEASON, C.F. (1978a).
Geochemical report on lake sediments survey of La Grande river area. Ministre de l'Énergie et des Ressources, G.M. 34042 - 34043 - 34045 - 34046 - 34047 - 34085, Québec.

- GLEASON, C.F. (1978b).
Report on lake sediment geochemical survey 1975, area A and B.
Ministère de l'Énergie et des Ressources, G.M. 34038 - 34039,
Québec.
- GLOOSCHENKO, W.A., CAPOCIANCO, I., COBURN, J., GLOOSCHENKA, V. (1981).
Geological distribution of trace metals and organochloric
contaminants of a Lake Ontario shoreline marsh. Water and Soil
Pollut., 15(5): 197-213.
- GOLTERMAN, H.J. (1975).
Physiological limnology. An approach to the physiology of lake
ecosystems. Elsevier, Amsterdam, 489 p.
- GRANDTNER, M.M. (1978).
Ecologie des forêts du Québec. Notes de cours, Faculté de
Foresterie et Géodésie, Université Laval, Québec.
- GRISEL, H. (1979).
Le mercure et les sédiments du territoire Nottaway, Broadback,
Rupert. Présenté à la conférence "Les contaminants dans
l'environnement", S.E.B.J., Québec.
- HADLEY, G. (1964).
Linear algebra. Addison-Wesley Inc., Mass.
- HARMAN, G.H. (1960).
Modern factor analysis. Chicago, Univ. Press, Illinois.
- HEIDAM, N.Z. (1981).
On the origin of the arctic aboral: a statistical approach. Atm.
Environ., 15(6): 1421-1428.
- HENRICKSEN, A., WRIGHT, R.F. (1977).
Effects of acid precipitation on a small acid lake in southern
Norway. Nordic Hydrology, 8: 1-10.
- HORST, P. (1965).
Factor analysis of data matrices. Holt, Rinehart and Winston,
Toronto.
- HURLBURT, C.S. (1971).
Dana's manual of mineralogy, 18ième édition, John Wiley and Sons
Inc., 579 p.
- HYNDMAN, D.W. (1972).
Petrology of igneous and metamorphic rocks. McGraw Hill, 533 p.
- IMREH, J. (1971).
Comportement géochimique des sédiments glaciaires en fonction du
socle précambrien sous-jacent. Ministère des Richesses naturelles,
Service des gites minéraux, Étude spéciale-11, Québec.

- ISKANDAR, I.K., KEENEY, D.R. (1974).
Concentration of heavy metals in sediment cores from selected Wisconsin lakes. Environmental Science and Technology, 8(2): 165-170.
- JACKSON, R.G., NICHOL, I. (1974).
Factors affecting trace element dispersion in lake sediments in the Yellowknife area, N.W.T., Canada. Proc. XIX S.I.L. Congr., Winnipeg, August, p. 308-316.
- JENNE, E.A. (1977).
Trace element sorption by sediments and soil-sites, and processes. Symposium on Molybdenum in the Environment, Vol. 2, Chappel and Peterson (eds.), p. 425-553.
- JOHNSON, M.M. (1979).
Acid rain: neutralization within the Hubbard Brook ecosystem and regional implication. Science, 204(4390): 497-499.
- JONASSON, I.R., TIMPERLEY, M.H. (1975).
Field observations on the transport of heavy metals in sediments, discussion. In: Heavy metals in the aquatic environment. Pergamon Press, p. 97-101.
- JONES, H.G., OUELLET, M., LECLERC, M., CLUIS, D., COUTURE, P., POTVIN, L., SOCHANSKA, W. (1979).
Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. Rapport scientifique no 76, Institut national de la recherche scientifique, Centre de l'eau, Université du Québec, Sainte-Foy, Québec.
- JONES, H.G., BISSON, M. (1980).
Le lac Laflamme: qualité de l'eau et de la neige (hiver 1979-1980). INRS-Eau, rapport scientifique no 123, Québec.
- JUNGE, C.E., WERBY, R.T. (1958).
The concentration of chloride, sodium, potassium, calcium and sulfate in rain water over the U.S. Journal of Meteorology, 15: 417-425.
- JURDANT, M., BEAUBIEN, J., BELAIR, J.L., DIONNE, J.C., GERARDIN, V. (1972).
Carte écologique de la région du Saguenay - lac Saint-Jean. Centre de recherche forestière des Laurentides, région de Québec, rapport d'information no Q-F-X-31.
- JURDANT, M., BELAIR, J.L., GERARDIN, V., DUCRUC, J.P. (1977).
L'inventaire du Capital Nature, méthode de classification et de cartographie écologique du territoire (3ième approximation). Service des études écologiques régionales, Direction générale des terres, pêches et Environnement Canada, Québec.
- KAISER, H.F. (1958).
The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika, 23: 187-200.

- KAMP-NIELSEN, L. (1974).
Mud-water exchange of phosphate and other ions in undisturbed sediment cores and factors affecting the exchange rate. Arch. Hydrobiol, 73(2): 218-237.
- KENDALL, M.F. (1957).
A course in multivariate analysis. Hafner, New York.
- KENNEDY, E.J., KUCH, K.K., SHIMP, N.F. (1971).
Distribution of mercury in unconsolidated sediments from southern Lake Michigan. Illinois State Geological Survey, Environmental Geology Notes, no 44.
- KLEEREKOPER, H., GRENIER, F. (1952).
The bottom sediments of lake Lauzon, Montcalm County, Province of Québec. Can. Jour. Zool., 30: 219 et suiv.
- KOPPEN, W. (1936).
Das geographische system der klimete. Handbuch der klimatologie, 1, Pt.c. Berlin.
- KRAMER, J.R. (1978).
Acid precipitation in: Sulfur in the environment: part I - The atmospheric cycle. Wiley and Sons.
- LASALLE, P. (1968).
Excursion géologique du quaternaire Saguenay - lac Saint-Jean. Contribution au Congrès de l'ACFAS, 6 et 7 septembre, ministère des Richesses naturelles du Québec.
- LASALLE, P., MARTINEAU, G., CHAUVIN, L. (1977).
Morphologie, stratigraphie et déglaciation dans la région de Beauce, Mont Notre-Dame, Parc des Laurentides. Ministère des Richesses naturelles du Québec, DPV-516.
- LASALLE, P., TREMBLAY, G. (1978).
Dépôts meubles Saguenay - lac Saint-Jean. Ministère des Richesses naturelles du Québec, rapport géologique no 91.
- LAURENT, R. (1976).
Pétrologie des roches magmatiques. Notes de cours, département de géologie et minéralogie de l'Université Laval, Québec.
- LAURIN, A.F., SHARMA, K.N.M. (1975).
Région des rivières Mistassini, Péribonka et Saguenay (Grenville 1965-67). Ministère des Richesses naturelles du Québec, Québec, R.G. 161.
- LECKIE, J.O., JAMES, R.O. (1974).
Control mechanisms for trace metals in natural waters. In: Aqueous Environmental chemistry of metals. Ann Arbor, Michigan, 76 p.

- LEE, G.F. (1975).
Role of hydrous metal oxides in the transport of heavy metals in the environment. In: Heavy metals in the aquatic environment. Pergamon Press, p. 137-147.
- LEGENDRE, P., CHODOROWSKI, A., CHODOROWSKA, W., PICHET, P., POTVIN, P. (1980).
Qualité des eaux: interprétation des données lacustres (1971-1977). Ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux, QE-45, Québec.
- LERMAN, A., BRUNSKILL, G.J. (1971).
Migration of major constituents from lake sediments into lake water and its bearing on lake water composition. Limnology and Oceanography, 16(6): 880-890.
- LEVINSON, A.A. (1974).
Introduction to exploration geochemistry. Applied publishing ltd. U.S.A.
- LIKENS, G.E., WRIGHT, R.F.W., GALLOWAY, I.N., BUTLER, T.T. (1979).
Acid rain. Scientific American, 241(4): 43-51.
- LINEBACK, J.A., GROSS, D.L. (1972).
Depositional patterns, facies and trace element accumulation in the waukegan: member of the late Pleistocene lake Michigan formation in the southern lake Michigan. Environmental Geology notes, Illinois State Geological Survey, no 58.
- LORING, D.H. (1975).
Mercury in the sediments of the Gulf of St. Lawrence. Can. J. Earth Sci., 12, 1219-1237.
- LUNDE, G., GETHER, J., GJØS, N., STØBET LANDE, M.B. (1977).
Organic micropollutants in precipitation in Norway. SNSF Research Report No. 9/76, Oslo, Norway.
- MACAN, T.T. (1970).
Biological studies of the english lakes. American Elsevier Publishing Co., U.S.A.
- MAHAN, B.A. (1970).
Chimic. Addison Wesley Publishing Co. Inc., 2ième édition, London.
- McCOLL, R.H.S. (1972).
Chemistry and trophic status of seven New-Zealand lakes. N.Z. Journal of Marine and Freshwater Research, 6(4): 399-447.
- MEYBECK, M. (1972).
L'érosion et la qualité de l'eau au Québec. INRS-Eau, rapport scientifique no 44, Québec.

- MOLDAN, B. (1980).
The analysis of atmospheric precipitation in Czechoslovakia. IN:
Proc., Int. ecol. impact acid precip., Norway, SNSF-project, p. 124-
125.
- MOORHOUSE, W.W. (1959).
The study of rocks in thin sections. Harper and Row, 514 p.
- MORTIMER, C.H. (1971).
 Chemical exchanges between sediments and water in the Great Lakes:
 speculations on probable regulatory mechanisms. Limnology and
Oceanography, 16(2): 387-404.
- MORTVEDT, J.J., GIODANO, P.M., LINDSAY, W.L. (1972).
Micronutrients in agriculture. Soil Science Society of America,
 Madison, Wisconsin.
- MUNIZ, I.P., LEIVESTAND, H. (1980a).
 Acidification - effects on freshwater fish. IN: Drablø, D, and
 Tallan, A. (eds.): Proc., Int. ecol. impact of acid precip.,
Norway, SNSF-project, p. 84-92.
- MUNIZ, I.P., LEIVESTAND, H. (1980b).
 Toxicity effects of aluminium on the known trout. Salmo trutta.
 IN: Drablø, D. and Tallan, A. (eds.): Proc., Int. Conf. ecol.
impact of acid precip., Norway, SNSF-project, p. 320-321.
- NAIMAN, R.J., CRITCHLEY, J., WHOUISHEY, F.G. (1980).
 Matamek annual report for 1979. Woods Hole Oceanographic
 Institution, report no 80-31.
- NICHOL, I., COKER, W.B., JACKSON, R.G., KLASSEN, R.A. (1975).
Relations of lake-sediment composition to mineralization in
different limnological environments in Canada. Institute of Mining
 and Metallurgy: 112-125.
- NIE, N.H., JENKINGS, J.G., STEINBRENNER, K., BENT, D.H. (1975).
Statistical package for the social sciences S.P.S.S. Second
 edition, McGraw-Hill.
- NICHOLSON, J.A., CAPE, N., FOWLER, D., KINNAIRA, J.W. and PATERSON, I.S.
 (1980).
 pH and sulfate content of precipitation over Northern Britain. IN:
Proc., Int. Conf. ecol. impact acid precip., Norway, SNSF-project,
p. 142-143.
- NORTON, S.A., DUBILL, R.F., SASSEVILLE, D.R. and DAVIS, R.B. (1978).
 Paleolimnologic evidence for increased zinc loading in lakes of New
 England, U.S.A. Verh. Internat. Verein. Limnol., 20: 538.

- NORTON, S.A., HANSON, D.W., CAMPANA, R.J. (1980).
The impact of acidic precipitation and heavy metals on soils in relation to forest ecosystems. International Symposium on effects of air pollutants on Mediterranean and temperate forest ecosystems. June 22-27, Riverside, California, U.S.A.
- NORTON, S.A., HANSON, P.W. (1981).
Modern and paleolimnological evidence for accelerated leaching and metal accumulation in soils in New England caused by atmospheric deposition. AMS/CMOS Conference on Long-Range Transport of Airborne Pollutants, April, 27-30, Albany, N.Y.
- ODEN, S. (1976).
The acidity problem, an outline of concepts. Water, Air, and Soil pollution, 6: 137-166.
- OGDEN III, J.G. (1980).
Comparative composition of continental and Nova Scotian precipitation. IN: Proc., Int. Conf. ecol. impact acid precip., Norway, SNSF-proejct, p. 126-127.
- OKLAND, J. (1980).
Acidification in 50 Norwegian lakes. Nordic Hydrology, 11: 25-30.
- OTIS, M. (1976).
Géochimie des sédiments de lac. Ministère de l'Énergie et des Ressources, G.M.: 34169-34172. Québec.
- OTSUKI, A., WETZEL, G. (1974).
Calcium and total alkalinity budgets and calcium carbonate precipitation of a small hard-water lake. Arch. Hydrobiol., 73(1): 14-30.
- OUELLET, M. (1974).
Paleoecological studies of three late-quaternary lacustrine deposits from the Kingston region and some geochemical observations of bottom surface sediments of lakes from southwestern Quebec. Thèse de doctorat, Université d'Ottawa.
- OUELLET, M. (1980a).
Géochimie et paléolimnologie du lac Saint-Jean. Chapitre VIII, dans: "Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean". INRS-Eau, rapport scientifique no 76, p. 8.1-8.47. (En voie de rédaction).
- OUELLET, M. (1980b).
Géochimie et granulométrie des sédiments superficiels du lac Saint-Jean et de la rivière Saguenay. INRS-Eau, rapport scientifique no 104. (En voie de rédaction).
- OUELLET, M., POULIN, P. (1975).
Résultats préliminaires sédimentologiques et paléolimnologiques de la région de la rivière Matamek. INRS-Eau, rapport interne no 34.

- QUELLET, M., POULIN, P. (1976).
Étude paléoécologique de sédiments du lac Waterloo, Québec. INRS-Eau, rapport scientifique no 64.
- PEARSON, F.J., FISHER, D.W. (1971).
Chemical composition of atmospheric precipitation in the northeastern United States. U.S. Geological Survey, Water Supply Papers no 15-35.
- PICARD, M. (1976).
Projet Kinglet prospection géochimique des sédiments lacustres. Ministère de l'Énergie et des Ressources, GM: 34170-34171-34173. Québec.
- PICHETTE, M., GUIMONT, J. (1975).
Méthodes d'analyse des sédiments de ruisseaux et ses eaux souterraines, 1974-75. Ministère des Richesses naturelles du Québec, S-170.
- PICHETTE, M., GUIMONT, J. (1977).
Méthodes de dosage d'éléments en traces dans les sédiments, les roches et les eaux, 1976-77. Ministère des Richesses naturelles du Québec, A.C.4.
- PIONKE, H.B., COREY, R.B. (1967).
Relations between acidic aluminum and soil pH, clay and organic matter. Proc. Soil Sc. Soc. Am., 31: 749.
- POTVIN, L. (1980).
Aspects géographiques du bassin hydrographique du lac Saint-Jean en fonction de la qualité du milieu aquatique. Chapitre II, dans: "Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean". INRS-Eau, rapport scientifique no 76, p. 2.1-2.63.
- POUGH, F.H. (1960).
A field guide to rocks and minerals. 3ième édition, Houghton Mifflin, Boston.
- POWERS, C.F., STAY, F.S., SANVILLE, W.D. (1975).
Aquatic sediments. J. Water Pollut. Control Fed., 47(6): 1611-1617.
- PREST, V.K. (1972).
Géologie du quaternaire au Canada. Partie B, dans: "Géologie et ressources minérales du Canada". Commission géologique du Canada, ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, Canada.
- RAISTRICK, A. (1943).
Geology. English Universities Press Ltd., 272 p.
- RICHARD, P. (1977).
Histoire post-Wisconsienne de la végétation du Québec méridional par l'analyse pollinique. Service de la recherche, direction générale des forêts, ministère des Terres et Forêts, 2 tomes.

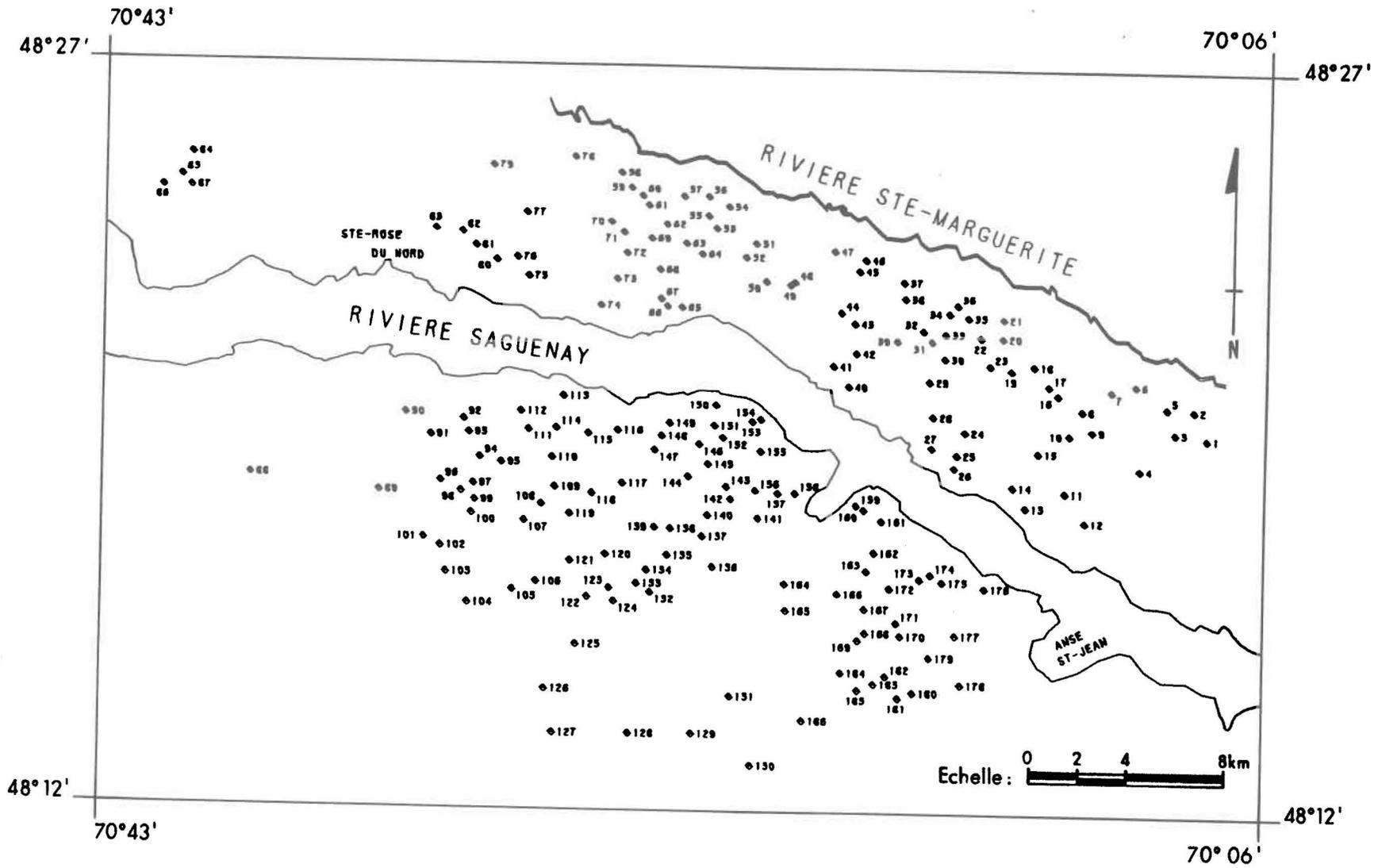
- RIEMER, D.M., TOTH, S.J. (1970).
Absorption of copper by clay minerals, humic acids and bottom muds.
J. Am. Water Works Assoc., 62: 195.
- ROSSMANN, R., CALLENDER, E., BOWSER, C.J. (1972).
Inter-element geochemistry of lake Michigan ferromanganese moduls.
International Geological Congress, 24ième session, section 10,
Montréal: 336-341.
- ROWE, J.S. (1972).
Forest regions of Canada. Department of the Environment, Canadian
Forestry Service, Publication no 1300.
- RUCH, R.R., KENNEDY, E.J., SHIMP, N.F. (1970).
Distribution of arsenic in unconsolidated sediments from the
southern lake Michigan. Illinois State Geological Survey,
Environmental Geology Notes, no 37.
- SASSEVILLE, J.L., LACHANCE, M. (1976).
Qualité des eaux des rivières Saint-François et Yamaska. Volume 4:
Secteur des eaux atmosphériques. Ministère des Richesses naturelles
du Québec, Q.E.-19.
- SASSEVILLE, J.L. et al. (1978).
Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au
Québec, Tome II. Ministère des Richesses naturelles du Québec,
direction générale des eaux, Q-E.-7.
- SAUCHELLI, V. (1969).
Trace elements in agriculture. Van Nostrand Reinhold Co.
- SCHINDLER, D.W. (1971).
A hypothesis to explain differences and similarities among lakes in
the experimental lake area, northwestern Ontario. J. Fish. Res. Bd.
Canada, 28: 295-301.
- SCHINDLER, D.W., WAGEMANN, R., COOK, R.B. RUSZCZYNSKI, T., PROKOPOWICH, J.
(1980).
Experimental acidification of lake 223. Experimental lake area:
background data and the first three years of acidification. Can. J.
Fish. Aquat. Sci., 37: 342-354.
- SHILTS, W.W. (1973).
Glacial dispersal of rocks, minerals and trace elements in
wisconsinan till, southwestern Québec, Canada. Geological Society
of America, Memoir 136.
- SHIMP, N.F., SCHLEIDER, J.A., RUCH, R.R., HECK, D.B., LELAND, H.V. (1971).
Trace elements and organic carbon accumulation in the most recent
sediments of southwestern lake Michigan. Illinois State Geological
Survey, Environmental Note no 41.

- SLANIVA, J., ASMAN, W. (1980).
Detection of acid compounds in the atmosphere by careful sampling and analysis of rainwater. IN: Proc. Int. Conf. ecol. impact acid precip., Norway, SNSF-project, p. 138-139.
- SMITH, R.D., CAMPBELL, J.H., NIELSON, K.K. (1979).
Concentration dependence upon particule size of volatilized elements in fly ash. Environ. Sci. Technol., 13(5): 553.
- STATISTIQUES CANADA. (1977).
Recensement 1976. Catalogue 92-803, Bul. 1.4.
- STUMM, W., MORGAN, J.J. (1970).
Aquatic chemistry. Wiley and Sons, New York, 583 p.
- TESSIER, A., CAMPBELL, P.G.C., BISSON, M. (1978).
Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry. 51(7): 844-851.
- TESSIER, A. (1979).
Communication personnelle. Université du Québec, INRS-Eau, C.P. 7500, Sainte-Foy, Québec.
- THOMLINSON, G.H., BROUZES, R.J.P., MCLEAN, R.A.N., KADLECK, J. (1980).
The role of clouds in atmospheric transport of mercury and other pollutants. IN: Proc., Int. Conf. ecol. impact acid precip., Norway, SNSF-project, p. 134-137.
- TREMBLAY, G. (1971).
Notes sur les étapes successives de la mise en place du réseau hydrographique dans la région du Saguenay - Lac Saint-Jean, Québec, Canada. Première partie: La glaciation. Cahiers de géographie de Québec, 15(36): 467-494.
- TREMBLAY, G. (1971a).
Glaciation et déglaciation dans la région Saguenay - Lac Saint-Jean, Québec, Canada. Première partie: La glaciation. Cahiers de géographie de Québec, 15(36): 467-494.
- VERNET, J.P., THOMAS, R.L. (1972).
The occurrence and distribution of mercury in the sediments of the Petit Lac (Western Lake Geneva). Eclogae. geol. Helv., 65(2): 307-316.
- VILLENEUVE, G.O. (1967).
Sommaire climatique du Québec. Ministère des Richesses naturelles du Québec, Service de la météorologie, vol. 1, rapport M-24.
- VILLENEUVE, J.P., GUIMONT, F., LEBLANC, D. (1978).
Modèle mathématique pour le calcul de la profondeur moyenne des lacs. INRS-Eau, rapport interne no 63.

- WANGEN, L.E. (1981).
Elemental composition of size-fractionated aerorals associated with a coal-fired power plant plume and background. Environ. Sci. Technol., 15(9): 1080.
- WARREN, H.V., DELAVault, R.E., BARASKO, J. (1966).
Some observations on the geochemistry of mercury as applied to prospecting. Econ. Geol. no 61.
- WEILER, R.R. (1973).
The interstitial water composition in the sediments of the Great Lakes. I. Wester lake Ontario. Limnology and Oceanography, 18(6): 918-931.
- WETZEL, R.G. (1975).
Limnology. W.B. Saunders Co., Washington, 743 p.
- WILLIAMS, S.L., AULENBACH, D.B., CLESCERI, N.L. (1974).
Sources and distribution of trace metals in aquatic environments. In: Aqueous, Environmental chemistry of metals. Ann Arbour, Michigan: 77-127.
- WRIGHT, R.F., GJESSING, E.T. (1976).
Acid precipitation: changes in the chemical composition of lakes. Ambio, 5: 219-223.

ANNEXE A

LOCALISATION DES 186 LACS ECHANTILLONNES



ANNEXE B

RESULTATS DES PARAMETRES PHYSIQUES AINSI QUE DES TENEURS CHIMIQUES
DES ECHANTILLONS DES EAUX DE SURFACE DES LACS ETUDIES

No	BV Km ²	Alt pi	DL Km ²	P m	Hg ppb	Cr ppb	Mo ppb	Co ppb	Pb ppb	Cd ppb	Cu ppb	Zn ppb	Ni ppb	Mn ppb	Fe ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm	Li ppb	As ppb	pH
0001	3.	600.	.44	20.	.13	1.0	1.	1.	1.	.1	10.	17.	1.	10.	.1	3.3	.5	.7	.2	0.0	1.	6.5
0002	2.	800.	.42	8.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	8.	20.	1.	20.	.1	3.2	.4	.6	.6	.2	0.	6.4
0003	2.	700.	.16	23.	.10	3.0	1.	1.	1.	.6	12.	26.	1.	10.	.1	4.8	.6	.8	.2	0.0	1.	6.8
0004	5.	600.	.65	23.	.08	.5	1.	1.	1.	.1	8.	28.	1.	15.	.1	3.0	.4	.7	.2	0.0	1.	6.4
0005	2.	800.	.29	17.	.05	1.0	1.	2.	1.	.1	8.	15.	1.	15.	.1	2.8	.4	.7	.2	0.0	1.	6.4
0006	2.	800.	.11	9.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	8.	22.	1.	10.	.1	3.6	.4	.7	.2	0.0	1.	6.5
0007	1.	1050.	.07	16.	.05	11.5	1.	1.	1.	.1	8.	14.	1.	10.	.1	2.5	.1	.6	.2	0.0	1.	6.5
0008	1.	1050.	.11	8.	.05	1.0	2.	1.	1.	.1	12.	20.	1.	10.	.1	3.2	.4	.7	.2	0.0	1.	6.4
0009	1.	1100.	.13	12.	.05	1.0	3.	1.	1.	.1	12.	10.	1.	10.	.1	2.2	.3	.6	.3	0.0	1.	6.3
0010	1.	1100.	.03	5.	.05	3.0	1.	2.	1.	.1	8.	16.	1.	10.	.1	2.6	.3	.8	.2	0.0	1.	6.2
0011	4.	1000.	.62	15.	.05	1.0	1.	2.	6.	.1	24.	26.	3.	35.	.1	1.1	.4	.9	.4	0.0	1.	5.6
0012	2.	750.	.41	17.	.05	2.0	2.	1.	6.	.2	8.	10.	1.	40.	.1	1.1	.3	.8	.2	0.0	1.	5.5
0013	1.	1000.	.07	16.	.05	5.0	1.	1.	1.	1.0	8.	12.	1.	15.	.1	1.8	.4	1.0	.2	0.0	1.	6.3
0014	1.	1250.	.11	4.	.07	.8	1.	1.	1.	.3	24.	27.	2.	18.	.1	.8	.3	1.1	.4	0.0	1.	5.3
0015	3.	1200.	.16	10.	.05	.5	1.	2.	6.	.1	32.	22.	2.	13.	.1	.9	.3	.8	.5	0.0	1.	4.8
0016	2.	750.	.07	4.	.60	1.0	1.	1.	1.	.1	8.	4.	1.	10.	.1	3.4	.4	.8	.2	0.0	1.	6.5
0017	1.	1000.	.07	9.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	8.	52.	1.	10.	.1	3.2	.3	.6	.2	0.0	1.	6.3
0018	2.	1025.	.05	12.	.05	.5	1.	1.	7.	.3	16.	22.	1.	10.	.1	2.3	.2	.6	.2	0.0	1.	6.0
0019	2.	1125.	.07	4.	.05	.5	4.	1.	1.	.1	8.	20.	1.	15.	.1	2.1	.2	.5	.2	0.0	1.	6.0
0020	1.	1175.	.11	16.	.75	.5	1.	3.	1.	.1	8.	12.	1.	15.	.1	2.6	.2	.5	.2	0.0	1.	5.3
0021	1.	1100.	.07	4.	.08	.8	1.	2.	1.	.1	8.	10.	2.	8.	.1	3.0	.3	.6	.2	.4	1.	5.5

0022	1.	1230.	.08	6.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	8.	8.	1.	20.	.1	3.2	.2	.7	.2	0.0	1.	4.0
0023	1.	1050.	.07	4.	.05	2.5	1.	1.	4.	.1	8.	14.	1.	10.	.1	3.0	.3	.7	.2	0.0	1.	5.6
0024	13.	500.	.39	1.	.05	.5	1.	1.	8.	.1	24.	20.	3.	10.	.1	2.0	.4	.7	.3	0.0	1.	6.5
0025	1.	900.	.07	3.1	.15	1.0	1.	1.	1.	.1	40.	90.	2.	10.	.1	1.6	.5	1.0	.3	0.0	1.	5.5
0026	1.	1025.	.03	11.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	20.	20.	3.	10.	.1	.9	.5	.7	.2	0.0	1.	5.9
0027	1.	750.	.03	15.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	22.	4.	15.	.1	1.4	.4	1.1	.4	0.0	1.	5.8
0028	1.	950.	.05	6.	.05	.5	1.	2.	1.	.1	16.	24.	3.	10.	.1	3.7	.5	1.1	.4	0.0	1.	6.3
0029	1.	1000.	.02	15.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	22.	1.	20.	.1	1.2	.4	.8	.5	0.0	2.	5.6
0030	7.	700.	1.22	30.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	10.	15.	2.	13.	.1	3.6	.5	1.0	.5	0.0	2.	6.2
0031	1.	700.	.07	8.	.05	1.5	1.	1.	30.	.1	16.	20.	2.	10.	.1	4.3	.4	.5	.3	0.0	4.	6.7
0032	1.	750.	.05	12.	.05	2.0	1.	1.	40.	.2	16.	12.	2.	10.	.1	6.9	.7	.9	.3	0.0	1.	6.9
0033	1.	800.	.02	7.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	8.	150.	2.	15.	.1	5.3	.6	1.0	.6	0.0	2.	6.5
0034	2.	700.	.08	10.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	8.	10.	1.	15.	.1	5.0	.4	.8	.2	0.0	1.	6.7
0035	1.	900.	.02	1.	.23	11.0	1.	1.	1.	.1	8.	18.	1.	10.	.1	4.5	.4	.7	.3	0.0	1.	6.6
0036	1.	1000.	.08	5.	.15	.5	1.	1.	1.	.1	8.	4.	1.	10.	.1	4.8	.4	.6	.2	0.0	1.	6.7
0037	5.	950.	1.07	15.	.08	.7	1.	1.	1.	.1	13.	6.	2.	13.	.1	4.1	.3	1.3	.3	0.0	1.	6.4
0038	1.	1100.	.05	7.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	8.	4.	1.	20.	.1	3.1	.2	.6	.2	0.0	1.	6.2
0039	1.	650.	.21	21.	.05	2.0	1.	2.	26.	.2	12.	22.	2.	15.	.1	2.4	.3	.5	.3	0.0	1.	6.5
0040	1.	700.	.03	7.	.05	1.5	1.	2.	3.	.1	4.	12.	2.	10.	.1	2.0	.3	.8	.3	0.0	1.	6.3
0041	2.	600.	.08	3.	.05	2.5	1.	2.	8.	.1	4.	4.	2.	10.	.1	4.4	.4	.8	.3	0.0	1.	6.4
0042	6.	800.	.44	27.	.08	2.0	1.	2.	14.	.2	12.	4.	2.	10.	.1	4.6	.5	.8	.3	0.0	1.	6.5

0043	1.	900.	.01	11.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	16.	12.	1.	10.	.1	5.4	.6	.7	.5	0.0	1.	6.5
0044	1.	1100.	.07	15.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	8.	10.	1.	10.	.1	3.8	.5	2.9	.4	0.0	1.	6.5
0045	1.	1200.	.01	21.	.15	1.0	1.	1.	3.	.1	8.	20.	1.	30.	.1	2.4	.4	.4	.8	0.0	1.	5.9
0046	1.	1250.	.07	24.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	8.	23.	5.	10.	.1	3.4	.2	.4	.2	0.0	1.	6.2
0047	1.	1250.	.05	5.	.05	2.0	1.	1.	1.	.2	4.	8.	1.	25.	.2	2.0	.3	.5	.3	.8	1.	6.6
0048	1.	1200.	.01	8.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	8.	12.	1.	20.	.1	3.4	.4	.4	.4	0.0	1.	6.4
0049	1.	1200.	.08	12.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	8.	12.	1.	10.	.1	3.7	.4	.3	.5	0.0	1.	6.5
0050	2.	950.	.13	15.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	18.	2.	10.	.1	6.0	.5	.5	.5	0.0	1.	7.0
0051	2.	1250.	.11	10.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	20.	18.	1.	10.	.1	4.0	.4	.2	.5	0.0	1.	6.4
0052	1.	1100.	.07	8.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	16.	18.	1.	10.	.1	4.5	.4	.3	.5	0.0	1.	6.5
0053	4.	1050.	.96	20.	.05	1.2	1.	1.	2.	.3	24.	14.	1.	10.	.1	4.7	.4	.5	.4	0.0	1.	6.4
0054	2.	800.	.05	1.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	20.	12.	2.	10.	.1	5.0	.6	.6	.3	0.0	1.	6.5
0055	1.	1050.	.07	8.	.30	.5	1.	1.	1.	.1	4.	18.	2.	10.	.1	2.7	.4	.7	.2	0.0	1.	6.5
0056	1.	1050.	.05	8.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	12.	14.	1.	10.	.1	3.5	.7	3.4	.4	0.0	1.	6.5
0057	1.	1100.	.08	23.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	18.	1.	25.	.1	2.6	.4	.8	.3	0.0	1.	6.1
0058	1.	1000.	.10	20.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	24.	14.	1.	15.	.1	3.2	.5	.2	.3	0.0	1.	6.4
0059	1.	1200.	.07	9.	.20	1.5	1.	1.	1.	.1	8.	12.	2.	20.	.1	2.7	.4	.4	.3	0.0	1.	6.2
0060	2.	1150.	.18	16.	.05	3.0	1.	1.	1.	.1	16.	18.	2.	10.	.1	3.0	.4	.5	.3	0.0	1.	6.3
0061	1.	1200.	.07	8.	.23	1.0	1.	1.	1.	.1	10.	20.	2.	25.	.1	2.4	.3	.5	.3	0.0	1.	6.2
0062	1.	1250.	.15	21.	.05	1.5	1.	1.	1.	.1	8.	8.	7.	30.	.1	2.0	.3	.5	.3	0.0	1.	6.2
0063	2.	1250.	.16	12.	.35	3.0	1.	1.	1.	.1	8.	8.	7.	10.	.1	3.5	.4	.5	.6	0.0	4.	6.4

0064	1.	1200.	.05	7.	.05	2.5	1.	1.	1.	.1	8.	4.	3.	10.	.1	3.3	.3	.5	.3	0.0	1.	6.4
0065	2.	1050.	.03	2.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	4.	14.	4.	15.	.2	3.5	.4	.7	.9	0.0	2.	6.3
0066	2.	1050.	.05	3.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	4.	4.	5.	10.	.1	3.4	.4	.6	.4	0.0	1.	6.3
0067	1.	1050.	.03	10.	.05	1.5	1.	1.	1.	.1	4.	5.	5.	10.	.1	2.6	.3	.5	.6	0.0	1.	6.6
0068	1.	1250.	.03	3.	.05	2.5	1.	1.	1.	.1	8.	16.	4.	10.	.1	4.8	.4	.6	.5	0.0	2.	6.5
0069	2.	1300.	.03	2.	.05	2.0	1.	1.	3.	.1	4.	8.	8.	10.	.1	2.1	.2	.4	.3	0.0	2.	5.9
0070	1.	1300.	.08	25.	.05	2.8	1.	1.	2.	.1	4.	25.	6.	10.	.1	4.6	.3	.6	.3	0.0	1.	6.5
0071	2.	1300.	.03	6.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	8.	10.	5.	10.	.1	3.8	.3	.5	.3	0.0	1.	5.9
0072	1.	1350.	.05	7.	.08	2.0	1.	1.	1.	.1	4.	30.	6.	10.	.1	9.6	.5	.9	.3	0.0	1.	7.0
0073	1.	1200.	.07	15.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	4.	5.	35.	.1	3.2	.4	.8	.8	0.0	1.	6.5
0074	2.	700.	.07	9.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	14.	4.	10.	.1	3.1	.4	.8	.4	0.0	1.	6.4
0075	2.	750.	.07	10.	.05	.5	1.	1.	1.	.2	4.	15.	5.	10.	.1	2.7	.5	.7	.3	0.0	1.	6.3
0076	3.	750.	.18	6.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	4.	4.	10.	.1	4.4	.5	1.3	.4	0.0	1.	6.5
0077	1.	1050.	.03	2.	.05	1.5	1.	1.	1.	.1	4.	4.	5.	10.	.1	2.5	.5	7.7	.4	0.0	1.	6.3
0078	9.	750.	1.12	40.	.35	.5	1.	1.	1.	.1	4.	10.	1.	10.	.1	5.0	.5	1.4	.3	0.0	1.	6.5
0079	10.	800.	1.46	23.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	16.	12.	2.	20.	.1	5.5	.6	3.8	.4	0.0	1.	6.0
0080	2.	800.	.24	55.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	6.	5.	10.	.1	2.1	.4	.5	.3	0.0	1.	6.2
0081	2.	800.	.03	10.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	4.	4.	4.	10.	.1	3.6	.6	4.3	.4	0.0	1.	6.5
0082	3.	650.	.11	11.	.05	.5	1.	1.	1.	.2	4.	12.	7.	10.	.1	5.5	.5	3.5	.4	0.0	1.	6.5
0083	2.	600.	.07	6.	.05	.5	1.	1.	2.	.1	4.	4.	4.	20.	.2	20.0	1.7	18.0	1.2	0.0	1.	7.4
0084	-0.	700.	.39	-0.	.05	3.5	0.	0.	2.	0.0	4.	16.	3.	65.	.2	3.0	.5	5.0	.6	.7	1.	6.1

0085	2.	600.	.07	8.	.15	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	30.	3.	10.	.1	6.7	.5	2.0	.9	0.0	1.	6.6
0086	1.	700.	.07	1.	.80	.5	1.	1.	1.	.1	4.	22.	4.	10.	.1	5.0	.5	.9	.3	0.0	1.	6.7
0087	2.	550.	.03	1.	.05	1.5	1.	1.	3.	.1	4.	18.	5.	10.	.1	4.4	.5	1.8	.3	0.0	1.	6.5
0088	0.	700.	5.85	0.	.05	.5	1.	1.	21.	.1	4.	48.	3.	10.	.1	8.3	.9	2.8	.6	0.0	0.	7.0
0089	9.	650.	1.35	18.	.25	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	12.	3.	10.	.1	4.4	.5	2.1	.7	0.0	2.	6.7
0090	3.	1000.	.03	34.	.05	1.5	1.	1.	25.	.1	4.	4.	3.	10.	.1	3.8	.4	.6	.3	0.0	0.	6.4
0091	2.	1100.	.08	4.	.05	.5	1.	1.	19.	.1	4.	18.	4.	10.	.2	1.8	.3	.6	.3	0.0	0.	5.5
0092	1.	1100.	.08	10.	.05	.5	1.	1.	20.	.1	4.	32.	3.	10.	.1	1.4	.2	.5	.2	0.0	0.	5.8
0093	2.	1100.	.10	6.	.05	.5	1.	1.	21.	.1	8.	170.	3.	10.	.3	2.7	.4	.5	.3	0.0	0.	6.5
0094	3.	1150.	.08	8.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	12.	6.	2.	55.	.4	1.0	.4	1.3	.4	.5	1.	6.0
0095	1.	1200.	.05	2.	.05	.5	1.	1.	2.	.2	4.	6.	1.	20.	.1	2.0	.3	.8	.2	.6	1.	6.0
0096	3.	900.	.08	8.	.40	.5	1.	1.	1.	.1	4.	10.	3.	10.	.1	4.3	.5	.9	.5	0.0	1.	6.3
0097	1.	1200.	.08	9.	.40	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	22.	4.	10.	.1	2.6	.4	.6	.2	0.0	1.	5.1
0098	1.	1150.	.03	8.	.40	1.5	1.	1.	1.	.1	8.	22.	1.	10.	.1	3.2	.3	.6	.2	0.0	1.	6.5
0099	1.	1200.	.07	7.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	12.	4.	10.	.1	2.2	.3	.4	.2	0.0	1.	6.1
0100	1.	1150.	.05	19.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	14.	5.	10.	.1	1.9	.4	.7	.4	0.0	1.	5.5
0101	1.	1050.	.02	0.	.05	.5	1.	2.	1.	.1	4.	16.	3.	15.	.1	1.7	.3	.5	.3	0.0	1.	5.3
0102	1.	1000.	.03	5.	.05	1.0	1.	1.	2.	.1	4.	16.	2.	10.	.1	4.9	.5	.9	.2	0.0	1.	7.0
0103	2.	950.	.08	8.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	10.	3.	10.	.1	10.9	.9	11.0	.4	0.0	7.	6.9
0104	3.	1050.	.10	3.	.15	3.0	1.	2.	1.	1.4	28.	22.	2.	10.	.1	4.7	.5	.8	.2	0.0	1.	6.8
0105	2.	850.	.08	2.	.10	.5	1.	1.	5.	.1	4.	10.	2.	25.	.1	13.1	1.3	6.9	.6	0.0	1.	6.9

0106	6.	800.	.16	3.	.25	1.0	1.	1.	1.	.1	8.	4.	1.	40.	.2	1.0	.2	.9	.5	.6	1.	6.6
0107	2.	1100.	.07	3.	.40	.5	1.	1.	13.	.1	4.	52.	4.	10.	.2	3.2	.4	.5	.3	0.0	1.	6.4
0108	3.	1100.	.15	11.	.15	.5	1.	1.	23.	.1	4.	42.	3.	10.	.1	4.0	.5	.7	.4	0.0	1.	6.5
0109	2.	1150.	.07	3.	.05	.5	1.	1.	12.	.1	4.	74.	3.	10.	.2	4.4	.4	.6	.3	0.0	1.	6.4
0110	1.	1150.	.10	17.	.05	.5	1.	1.	15.	.1	4.	28.	3.	10.	.1	3.6	.5	.6	.4	0.0	1.	6.5
0111	3.	900.	.08	12.	.10	.5	1.	1.	1.	.1	4.	24.	1.	10.	.1	2.6	.4	.5	.3	0.0	2.	5.0
0112	2.	900.	.13	9.	.33	1.0	1.	1.	22.	.2	4.	22.	15.	10.	.1	3.2	.4	.6	.4	0.0	1.	5.5
0113	2.	700.	.34	17.	.25	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	12.	1.	10.	.1	3.0	.5	.6	.3	0.0	1.	6.1
0114	1.	900.	.05	4.	.28	.5	1.	1.	1.	.1	4.	19.	1.	13.	.1	4.6	.5	.7	.3	0.0	2.	6.4
0115	5.	750.	.41	23.	.25	.5	1.	1.	1.	.1	16.	8.	1.	10.	.1	3.4	.5	2.7	.3	0.0	1.	6.5
0116	6.	500.	.16	9.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	12.	1.	10.	.1	4.2	.5	.6	.4	0.0	1.	6.5
0117	3.	1100.	.31	18.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	4.	5.	5.	10.	.1	2.4	.3	.7	.4	0.0	1.	6.3
0118	2.	1100.	.08	2.	.05	.5	1.	1.	26.	.3	4.	4.	4.	10.	.1	3.2	.5	.6	.4	0.0	1.	6.4
0119	1.	1250.	.05	12.	.05	.5	1.	1.	22.	.1	4.	28.	4.	10.	.2	3.2	.4	.6	.4	0.0	1.	6.3
0120	4.	1000.	.13	10.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	10.	5.	10.	.1	4.5	.5	.7	.4	0.0	1.	6.5
0121	1.	1150.	.08	9.	.05	.5	1.	1.	4.	.1	8.	15.	2.	10.	.1	3.5	.5	.8	.4	0.0	2.	6.5
0122	3.	900.	.10	10.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	4.	18.	2.	10.	.1	4.2	.6	.8	.3	0.0	1.	6.5
0123	1.	950.	.02	1.	.05	.5	1.	1.	6.	.1	4.	12.	3.	10.	.1	4.6	.7	1.0	.3	0.0	1.	6.3
0124	1.	950.	.05	14.	.05	.5	1.	1.	4.	.1	4.	10.	3.	10.	.1	3.6	.5	.7	.3	0.0	1.	6.6
0125	3.	1000.	.07	2.	.05	.5	1.	1.	1.	1.4	36.	215.	2.	15.	.1	4.2	.6	3.9	.4	0.0	1.	6.0
0126	9.	800.	.49	15.	.05	1.0	1.	2.	1.	1.6	36.	120.	2.	10.	.1	6.0	.5	.7	.4	0.0	2.	6.8

0127	6.	1000.	1.14	16.	.20	.5	1.	1.	1.	.8	36.	26.	3.	10.	.1	4.4	.5	1.1	.4	0.0	1.	6.8
0128	2.	900.	.13	2.	.05	.5	1.	2.	1.	.6	12.	20.	3.	50.	.1	4.0	.5	.7	.4	0.0	1.	6.8
0129	8.	1000.	1.22	12.	.08	.5	1.	1.	2.	.4	16.	22.	3.	20.	.1	3.0	.4	.6	.3	0.0	2.	6.5
0130	2.	1300.	.15	15.	.10	1.5	1.	2.	2.	.9	32.	20.	2.	20.	.1	2.1	.3	.5	.3	0.0	1.	6.4
0131	1.	1300.	.05	16.	.10	1.0	1.	2.	1.	2.3	20.	56.	1.	15.	.1	.7	.2	.5	.2	0.0	1.	5.5
0132	1.	950.	.07	8.	.05	1.0	2.	1.	3.	.1	4.	26.	3.	10.	.1	2.4	.5	3.2	.3	0.0	1.	5.8
0133	1.	900.	.03	30.	.05	.5	1.	1.	2.	.1	4.	14.	4.	10.	.1	4.4	.8	.9	.3	0.0	1.	6.5
0134	4.	850.	.10	6.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	8.	22.	5.	10.	.1	5.4	.7	.9	.4	0.0	2.	6.5
0135	1.	1350.	.07	18.	.05	.5	1.	1.	16.	.4	4.	6.	3.	25.	.1	1.7	.5	.5	.5	0.0	1.	5.8
0136	1.	1200.	.10	16.	.05	.5	1.	1.	1.	.5	12.	14.	2.	15.	.1	2.8	.3	.7	.4	0.0	1.	6.5
0137	4.	1150.	.24	21.	.05	1.0	1.	1.	1.	.1	4.	10.	1.	10.	.1	5.0	.5	.8	.3	0.0	1.	6.4
0138	1.	1250.	.11	8.	.05	.5	1.	1.	11.	.1	4.	8.	5.	20.	.2	2.6	.4	.5	.5	0.0	1.	6.3
0139	2.	1300.	.20	19.	.05	1.0	1.	1.	22.	.5	60.	78.	5.	65.	.4	8.0	.6	.7	.6	0.0	1.	6.4
0140	2.	1150.	.10	26.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	8.	12.	1.	10.	.1	5.0	.6	.6	.5	0.0	1.	6.6
0141	1.	1200.	.15	11.	.05	.5	1.	2.	2.	1.0	12.	18.	3.	20.	.1	2.1	.3	.6	.7	0.0	1.	6.0
0142	1.	1150.	.03	8.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	24.	14.	1.	15.	.1	2.4	.4	.3	.5	0.0	1.	6.0
0143	2.	1150.	.13	22.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	12.	14.	2.	10.	.1	2.9	.5	.4	.4	0.0	1.	6.3
0144	2.	1150.	.08	14.	.10	.5	1.	1.	2.	.1	20.	14.	1.	20.	.1	2.8	.4	.5	.4	0.0	1.	6.0
0145	2.	1150.	.05	6.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	8.	16.	1.	25.	.1	2.6	.5	.8	.4	0.0	1.	5.8
0146	1.	1000.	.05	17.	.10	.5	1.	1.	3.	.1	8.	18.	1.	25.	.1	2.6	.4	.5	.4	0.0	1.	6.0
0147	7.	750.	.24	28.	.20	.5	1.	1.	2.	.1	12.	8.	1.	10.	.1	4.0	.5	.5	.4	0.0	1.	6.5

0148	2.	1000.	.10	29.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	12.	8.	1.	20.	.1	1.8	.3	.4	.2	0,0	1.	6,2
0149	2.	900.	.05	15.	.05	.5	1.	1.	1.	.1	55.	80.	1.	25.	.1	2.4	.4	.4	.3	0,0	1.	6,0
0150	1.	750.	.11	7.	.05	1.0	1.	1.	1.	.4	8.	8.	2.	15.	.1	3.1	.4	.7	.3	0,0	2.	5,0
0151	2.	850.	.13	11.	.05	1.0	1.	1.	2.	.1	8.	24.	1.	10.	.1	3.1	.4	.7	.2	0,0	1.	6,3
0152	2.	900.	.07	11.	.10	.5	1.	1.	1.	.1	28.	74.	1.	15.	.1	2.5	.4	.6	.2	0,0	1.	4,0
0153	2.	600.	.05	8.	.05	1.5	1.	1.	1.	.3	12.	8.	1.	15.	.1	3.0	.4	.7	.3	0,0	1.	5,9
0154	1.	550.	.02	6.	.05	.5	1.	1.	1.	.2	16.	74.	1.	20.	.1	1.4	.2	.7	.4	0,0	1.	5,1
0155	1.	1000.	.05	17.	.05	.5	1.	1.	1.	.5	24.	26.	1.	25.	.1	.8	.2	.7	.6	0,0	2.	4,5
0156	1.	1200.	.10	11.	.05	.5	1.	1.	1.	1.1	20.	174.	1.	30.	.1	1.8	.3	.6	.9	0,0	1.	6,0
0157	1.	1200.	.16	16.	.05	.8	1.	1.	1.	.5	16.	26.	2.	63.	.1	1.2	.3	1.8	.4	0,0	1.	5,8
0158	1.	900.	.05	8.	.05	.5	1.	1.	2.	.4	40.	170.	1.	40.	.1	1.4	.2	.6	.3	0,0	1.	5,5
0159	1.	650.	.05	11.	.05	2.0	1.	1.	1.	.1	8.	14.	2.	10.	.2	1.5	.2	.4	.2	0,0	1.	6,1
0160	1.	750.	.03	4.	.05	2.5	1.	1.	2.	.2	4.	6.	2.	10.	.1	1.7	.2	.4	.2	0,0	2.	6,1
0161	3.	950.	.08	7.	.05	2.0	1.	1.	3.	.1	4.	6.	2.	10.	.1	2.0	.3	.5	.2	0,0	1.	5,5
0162	1.	1000.	.07	13.	.05	2.0	1.	2.	2.	.2	4.	8.	0.	10.	.1	1.8	.2	.4	.2	0,0	1.	6,3
0163	4.	1000.	.37	14.	.05	2.0	1.	1.	3.	.3	4.	4.	0.	10.	.1	1.8	.3	.4	.2	0,0	1.	6,4
0164	1.	1000.	.02	10.	.10	.5	1.	1.	1.	.3	8.	88.	3.	25.	.1	2.3	.4	.6	.2	0,0	1.	5,8
0165	2.	1050.	.02	6.	.20	.5	3.	1.	1.	.4	12.	78.	3.	20.	.1	2.4	.3	.5	.2	0,0	1.	6,0
0166	6.	1100.	.72	20.	.10	1.3	1.	2.	2.	.1	16.	150.	3.	27.	.1	2.5	.3	.5	.2	0,0	2.	6,1
0167	1.	1350.	.08	8.	.05	1.0	1.	2.	1.	.1	32.	175.	2.	25.	.1	1.7	.2	.5	.2	0,0	1.	5,9
0168	1.	1500.	.11	6.	.10	.5	1.	1.	1.	.4	28.	82.	2.	25.	.1	1.2	.1	.4	.2	0,0	1.	5,5

0169	1.	1550.	.03	7.	.05	.5	1.	1.	1.	.3	24.	29.	2.	20.	.1	.9	.1	.4	.2	0.0	1.	4.0
0170	2.	1350.	.10	12.	.10	.5	1.	1.	1.	.1	8.	68.	2.	20.	.1	1.5	.3	.7	.2	0.0	1.	6.0
0171	1.	1400.	.08	14.	.08	.5	1.	1.	1.	.6	8.	69.	2.	25.	.1	1.1	.1	.5	.2	0.0	1.	5.1
0172	3.	1000.	.07	4.	.05	2.0	1.	1.	1.	.6	4.	7.	-0.	10.	.1	6.6	.4	.8	.3	0.0	1.	6.8
0173	1.	1300.	.05	11.	.05	1.0	1.	1.	1.	1.0	8.	44.	2.	25.	.1	1.4	.1	.4	.2	0.0	1.	4.5
0174	1.	1200.	.07	3.	.20	1.0	1.	2.	1.	.9	8.	60.	2.	20.	.1	2.4	.2	.5	.2	0.0	1.	5.1
0175	1.	1100.	.02	2.	.05	.5	2.	1.	1.	.1	8.	4.	1.	5.	.2	1.0	.1	.5	.2	.6	1.	6.0
0176	1.	800.	.02	4.	.08	.5	1.	1.	1.	.1	20.	90.	3.	10.	.1	3.0	.4	1.0	.3	0.0	1.	6.4
0177	1.	1050.	.02	10.	.08	1.0	1.	1.	1.	.9	20.	36.	2.	25.	.1	2.2	.2	.8	.2	0.0	1.	6.0
0178	1.	900.	.02	2.	.20	1.5	1.	3.	1.	1.4	36.	76.	3.	10.	.1	3.9	.4	.9	.3	0.0	1.	6.3
0179	1.	1250.	.02	16.	.05	.5	1.	1.	1.	.8	8.	100.	3.	15.	.1	.9	.2	.5	.2	0.0	1.	5.5
0180	1.	1550.	.11	29.	.20	1.4	1.	2.	1.	.1	16.	54.	2.	15.	.1	1.5	.1	.5	.2	0.0	1.	4.0
0181	1.	1550.	.08	26.	.08	1.0	1.	3.	1.	.1	20.	30.	2.	10.	.1	3.0	.3	.9	.2	0.0	1.	6.5
0182	1.	1600.	.13	7.	.18	2.0	1.	1.	1.	.5	32.	64.	2.	10.	.1	2.2	.2	.6	.2	0.0	1.	6.4
0183	1.	1550.	.07	4.	.60	1.0	1.	1.	1.	.2	20.	200.	3.	10.	.1	1.7	.2	.4	.2	0.0	1.	6.3
0184	1.	1500.	.10	11.	.05	.5	1.	2.	1.	.4	12.	70.	2.	15.	.1	2.0	.2	.5	.2	0.0	1.	5.8
0185	3.	1400.	.24	20.	.10	.5	1.	2.	2.	.3	32.	26.	2.	10.	.1	2.2	.3	.5	.2	0.0	1.	6.3
0186	5.	900.	.49	11.	.15	1.0	1.	2.	2.	.5	32.	30.	2.	10.	.1	3.7	.5	2.4	.3	0.0	1.	6.5

ANNEXE C

RESULTATS GEOCHIMIQUES DES ECHANTILLONS
DE SEDIMENT DE FOND DES LACS ETUDIES

No	Hg ppb	Fe %	Li ppm	Ba ppm	Cr ppm	Mo ppm	Cs ppm	V ppm	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Ag ppm	U ppm	Sn ppm	As ppm	PF %
0001	162.	2,74	2,0	66.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	28.	258.	6.	17.	21.	957.	.1	2,5	2.	1,6	45,96
0002	81.	.93	1,6	24.	15.	1,5	2,0	23.	14.	122.	4.	11.	7.	396.	.1	2,0	2.	.5	28,97
0003	-0.	3,16	1,3	48.	17.	2,0	2,0	32.	23.	174.	3.	13.	30.	788.	.1	2,0	2.	0,0	52,95
0004	109.	4,10	2,5	92.	14.	2,0	2,0	45.	22.	280.	8.	23.	36.	972.	.1	2,0	2.	1,1	6,99
0005	172.	.88	1,9	55.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	30.	141.	8.	13.	7.	236.	.1	2,0	2.	1,2	53,45
0006	129.	1,80	2,2	74.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	21.	160.	4.	13.	11.	376.	.1	2,0	2.	.7	49,95
0007	143.	1,50	1,5	154.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	23.	100.	5.	17.	5.	150.	.1	2,0	-0.	.5	59,94
0008	175.	1,25	2,0	42.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	16.	166.	5.	14.	7.	194.	.1	2,0	2.	.9	33,97
0009	94.	1,14	1,5	40.	19.	1,5	2,0	38.	15.	116.	6.	16.	4.	114.	.1	2,0	2.	0,0	54,95
0010	113.	.27	.9	32.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	13.	152.	5.	8.	2.	50.	.1	3,0	2.	.8	47,95
0011	220.	2,95	1,7	158.	18.	1,5	2,5	45.	24.	180.	9.	20.	4.	262.	.1	1,0	2.	1,8	31,97
0012	105.	3,63	2,2	54.	20.	2,5	2,5	40.	26.	214.	5.	17.	17.	700.	.1	3,0	2.	2,0	34,97
0013	69.	.58	1,8	36.	16.	.2	.1	37.	26.	154.	6.	9.	4.	105.	.1	.2	2.	.1	48,95
0014	150.	.62	1,2	38.	11.	1,0	1,5	32.	14.	86.	5.	11.	3.	72.	.1	3,0	7.	0,0	54,95
0015	172.	.32	1,2	28.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	17.	74.	7.	15.	3.	30.	.1	3,0	2.	.5	62,94
0016	86.	.52	1,7	38.	9.	1,5	1,0	18.	12.	118.	5.	9.	5.	86.	.1	4,0	2.	.4	38,95
0017	150.	3,10	1,8	184.	17.	3,0	2,0	53.	24.	160.	6.	17.	9.	292.	.1	1,0	2.	2,6	27,97
0018	160.	1,62	1,4	100.	11.	1,0	1,0	28.	14.	70.	5.	8.	2.	72.	.1	1,0	4.	1,7	55,94
0019	86.	.55	1,3	46.	8.	1,0	1,0	15.	9.	66.	5.	7.	2.	60.	.1	1,0	2.	.6	47,95
0020	102.	.84	2,5	52.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	19.	118.	9.	10.	3.	142.	.1	1,0	2.	0,0	43,98
0021	138.	.55	2,1	34.	7.	1,0	.5	15.	10.	114.	8.	8.	4.	58.	.1	5,0	2.	.7	39,96

0022	146.	.63	1.4	32.	11.	1.0	1.0	21.	15.	94.	7.	8.	5.	144.	.1	1.0	2.	.9	42.96
0023	71.	.31	1.3	26.	7.	.5	.5	9.	7.	54.	5.	5.	1.	46.	.1	1.0	2.	.5	27.97
0024	141.	.71	2.2	32.	10.	1.0	1.5	15.	8.	156.	7.	15.	3.	72.	.1	3.0	2.	1.0	22.98
0025	132.	.33	1.0	32.	6.	1.0	1.0	14.	10.	80.	2.	13.	2.	28.	.1	2.0	2.	.4	50.95
0026	150.	1.36	1.3	50.	12.	1.0	1.5	38.	20.	192.	5.	14.	5.	168.	.1	2.0	2.	1.3	59.94
0027	149.	1.69	.9	80.	3.	1.0	1.0	38.	15.	96.	8.	13.	3.	80.	.1	2.0	2.	-0.0	67.93
0028	103.	.59	2.1	40.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	14.	390.	7.	12.	8.	82.	.1	2.0	2.	-0.0	14.99
0029	268.	2.88	1.6	218.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	36.	170.	10.	23.	5.	164.	.1	3.0	2.	-0.0	26.97
0030	28.	1.24	2.3	52.	7.	.5	1.0	10.	8.	68.	2.	12.	5.	259.	.1	2.0	2.	.6	37.96
0031	89.	.97	1.9	58.	11.	1.5	1.5	29.	14.	138.	3.	14.	4.	78.	.1	-0.0	-0.	-0.0	47.95
0032	125.	1.02	1.5	58.	11.	5.0	1.5	32.	24.	216.	4.	16.	5.	92.	.1	7.0	2.	1.6	36.96
0033	139.	1.05	1.7	60.	10.	2.0	1.5	28.	17.	180.	2.	13.	6.	98.	.1	3.0	2.	.7	40.96
0034	130.	1.93	2.5	72.	16.	1.5	2.0	30.	14.	172.	9.	10.	8.	274.	.1	3.0	2.	1.2	45.95
0035	89.	.45	1.5	22.	8.	1.0	1.0	12.	9.	88.	5.	8.	2.	82.	.1	8.0	2.	.8	28.97
0036	104.	.57	.9	16.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	14.	138.	5.	8.	7.	68.	.1	2.0	2.	.8	47.98
0037	130.	.60	1.9	64.	13.	1.7	1.7	24.	15.	216.	11.	11.	12.	125.	.1	2.5	3.	6.1	50.29
0038	100.	.97	1.3	76.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	17.	104.	3.	9.	3.	128.	.1	1.0	2.	.8	55.94
0039	190.	1.23	1.8	64.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	15.	130.	4.	14.	6.	238.	.1	2.0	-0.	.9	54.95
0040	63.	1.74	2.9	104.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	17.	244.	6.	19.	5.	280.	.1	2.0	2.	-0.0	21.98
0041	67.	.51	1.7	34.	11.	.5	1.0	17.	9.	192.	4.	16.	6.	110.	.1	2.0	2.	-0.0	33.97
0042	180.	2.45	2.6	76.	16.	1.0	1.5	42.	17.	278.	6.	17.	14.	820.	.1	2.0	2.	1.7	26.97

0043	67.	.58	1.8	56.	12.	2.0	1.5	25.	14.	134.	5.	9.	6.	88.	.1	4.0	2.	.4	37.96
0044	107.	1.60	1.3	80.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	22.	200.	7.	12.	8.	534.	.1	2.0	2.	.5	56.94
0045	130.	4.05	.8	72.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	20.	118.	7.	10.	5.	176.	.1	1.0	4.	0.0	65.93
0046	200.	1.65	.9	102.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	17.	120.	5.	8.	2.	122.	.1	-0.0	-0.	.5	63.94
0047	416.	1.04	2.3	60.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	20.	290.	15.	19.	7.	136.	.1	2.0	2.	1.0	15.98
0048	282.	.82	1.4	38.	11.	1.0	1.5	27.	12.	122.	6.	8.	5.	150.	.1	2.0	2.	.8	48.95
0049	54.	1.02	1.7	36.	15.	1.5	2.0	29.	14.	128.	6.	10.	6.	508.	.1	2.0	2.	1.0	36.96
0050	60.	1.86	1.8	66.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	19.	210.	7.	10.	7.	434.	.1	2.0	-0.	.9	51.95
0051	33.	.94	1.5	30.	14.	1.0	1.5	25.	12.	170.	5.	8.	7.	454.	.1	2.0	4.	.7	35.96
0052	37.	1.74	2.4	40.	19.	1.0	2.0	35.	13.	158.	5.	11.	7.	258.	.1	2.0	4.	.9	10.99
0053	43.	1.14	1.5	52.	17.	1.0	2.0	28.	11.	106.	6.	10.	6.	788.	.1	2.0	2.	1.3	6.99
0054	190.	.28	2.0	42.	9.	1.5	1.0	15.	11.	152.	5.	8.	5.	84.	.1	2.0	2.	.3	33.97
0055	166.	.56	1.0	20.	9.	1.0	1.0	18.	10.	112.	6.	7.	3.	74.	.1	2.0	2.	.4	33.97
0056	125.	.59	.9	20.	8.	2.0	1.0	22.	15.	212.	7.	6.	9.	153.	.1	2.0	2.	.6	53.95
0057	125.	3.13	.9	82.	11.	1.5	1.5	44.	19.	128.	6.	8.	5.	186.	.1	2.0	2.	.4	63.94
0058	74.	1.67	2.0	78.	14.	1.0	1.5	32.	18.	128.	3.	8.	6.	134.	.1	2.0	3.	.7	48.95
0059	238.	1.18	1.8	54.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	19.	254.	4.	12.	6.	270.	.1	2.0	2.	.8	35.96
0060	214.	3.52	1.1	68.	13.	1.0	1.5	37.	20.	118.	6.	10.	19.	452.	.1	2.0	4.	.5	60.94
0061	175.	.89	1.8	33.	12.	1.0	1.5	24.	11.	104.	7.	8.	4.	165.	.1	2.0	2.	.8	50.97
0062	161.	3.59	1.9	34.	17.	1.0	1.5	29.	22.	260.	2.	18.	19.	310.	.1	2.0	2.	1.3	43.95
0063	85.	1.81	1.3	64.	12.	1.0	1.0	33.	18.	142.	8.	14.	9.	312.	.1	2.0	2.	.1	54.95

0064	95.	.78	2.6	46.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	28.	196.	4.	22.	6.	150.	.1	3.0	2.	1.6	40.96
0065	38.	.16	.8	22.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	6.	28.	3.	12.	1.	24.	.1	2.0	2.	.2	23.96
0066	21.	1.12	2.2	82.	12.	.5	1.0	13.	9.	80.	5.	19.	5.	124.	.1	2.0	2.	.4	3.00
0067	91.	1.27	1.4	46.	14.	1.0	1.0	29.	15.	122.	5.	16.	6.	230.	.1	2.0	2.	0.0	52.95
0068	54.	.33	1.9	30.	11.	.5	1.0	13.	8.	88.	2.	15.	4.	40.	.1	2.0	2.	.5	35.96
0069	124.	.27	1.1	32.	7.	.5	.5	11.	10.	60.	6.	14.	2.	48.	.1	2.0	2.	.1	43.96
0070	119.	3.68	1.9	79.	12.	1.0	1.0	32.	13.	119.	3.	15.	17.	393.	.1	2.0	2.	.6	49.45
0071	106.	.97	2.0	52.	11.	1.0	1.0	20.	11.	106.	5.	16.	3.	114.	.1	2.0	2.	.8	39.96
0072	48.	.81	2.3	42.	14.	1.0	1.5	44.	9.	104.	5.	14.	4.	132.	.1	6.0	2.	2.2	24.98
0073	120.	1.08	1.8	84.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	16.	100.	2.	14.	5.	108.	.1	2.0	2.	1.2	54.95
0074	36.	.93	2.4	40.	10.	.5	1.0	18.	8.	94.	3.	12.	4.	82.	.1	2.0	2.	.9	28.97
0075	77.	1.08	1.6	116.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	18.	166.	8.	13.	5.	108.	.1	2.0	2.	1.0	53.95
0076	128.	.92	2.0	20.	16.	.5	1.5	28.	18.	256.	6.	13.	7.	220.	.1	2.0	2.	.5	20.98
0077	56.	.45	2.4	48.	11.	.5	1.0	11.	13.	106.	12.	10.	2.	60.	.1	2.0	2.	.6	20.98
0078	69.	3.24	3.1	72.	23.	1.0	2.5	43.	22.	218.	6.	17.	12.	704.	.1	3.0	2.	.9	28.97
0079	78.	11.00	1.4	60.	18.	3.5	2.0	55.	20.	230.	30.	13.	24.	2650.	.1	3.0	2.	4.4	42.96
0080	179.	2.90	2.2	80.	33.	1.0	3.0	54.	51.	192.	12.	22.	24.	408.	.1	2.0	2.	2.5	34.97
0081	57.	1.75	2.4	52.	14.	1.0	1.0	27.	16.	96.	5.	12.	3.	132.	.1	2.0	3.	.6	34.97
0082	22.	.77	3.5	36.	13.	.5	1.0	14.	8.	94.	3.	8.	2.	116.	.1	2.0	2.	.6	13.99
0083	73.	1.16	6.0	74.	17.	1.5	1.5	21.	13.	144.	5.	15.	8.	166.	.1	3.0	2.	.7	28.97
0084	77.	.93	2.1	48.	18.	2.0	1.5	26.	12.	104.	14.	16.	5.	194.	.1	4.0	2.	.7	41.96

0085	79.	1,04	1,8	50.	16.	1,5	2,0	27.	15.	120.	2.	16.	3.	120.	.1	4,0	2.	.3	51,95
0086	80.	.87	1,5	42.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	15.	144.	9.	20.	2.	42.	.1	4,0	2.	0,0	47,95
0087	187.	.36	1,9	38.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	15.	64.	9.	33.	6.	80.	.1	7,0	2.	.1	53,95
0088	-0.	-0,00	-0,0	-0.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0,0	-0,0	-0.	0,0	-0,00
0089	60.	3,52	2,8	100.	17.	1,7	2,0	45.	13.	343.	9.	19.	17.	714.	.1	1,5	2.	.4	15,48
0090	300.	2,24	2,7	66.	21.	2,5	2,0	65.	17.	162.	10.	15.	12.	518.	.1	3,0	2.	3,0	49,95
0091	500.	.80	3,7	64.	26.	1,5	2,0	43.	21.	302.	13.	21.	3.	74.	.1	2,0	2.	1,3	13,99
0092	344.	.90	2,0	90.	14.	1,0	1,0	41.	18.	92.	10.	17.	2.	118.	.1	2,0	2.	.7	52,95
0093	500.	.61	2,1	84.	14.	1,0	1,0	36.	12.	136.	8.	13.	5.	130.	.1	2,0	2.	.1	49,95
0094	77.	.63	2,2	38.	9.	.5	.5	17.	6.	72.	2.	9.	2.	83.	.1	1,0	2.	1,7	18,99
0095	118.	.42	2,1	76.	10.	1,0	1,0	20.	12.	392.	5.	15.	3.	84.	.1	2,0	2.	.7	25,97
0096	135.	1,13	2,1	254.	11.	1,0	1,5	21.	8.	92.	2.	12.	4.	150.	.1	2,0	2.	.3	45,95
0097	180.	.75	1,2	156.	11.	1,0	1,5	30.	13.	152.	6.	13.	3.	84.	.1	1,0	2.	0,0	58,94
0098	135.	.48	1,6	116.	12.	1,5	1,5	31.	14.	366.	4.	13.	5.	110.	.1	1,0	2.	.7	49,95
0099	89.	.50	1,3	124.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	11.	102.	2.	10.	4.	116.	.1	1,0	-0.	.5	53,95
0100	167.	1,56	1,0	100.	10.	1,0	1,5	31.	18.	140.	5.	15.	3.	60.	.1	1,0	2.	0,0	61,94
0101	-0.	-0,00	-0,0	-0.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0,0	-0,0	-0.	0,0	-0,00
0102	130.	.40	1,5	100.	-0.	-0,0	-0,0	-0.	12.	286.	3.	14.	12.	70.	.1	2,0	2.	.6	44,96
0103	100.	1,18	2,1	78.	14.	1,0	2,0	35.	11.	104.	3.	15.	6.	120.	.1	2,0	2.	.5	36,96
0104	26.	.49	2,8	44.	14.	1,0	1,0	20.	14.	120.	5.	16.	7.	84.	.1	4,0	2.	0,0	56,94
0105	83.	.78	3,2	60.	12.	1,0	1,5	20.	11.	154.	7.	14.	7.	100.	.1	3,0	2.	.8	35,96

0106	175.	.70	2.3	35.	8.	.8	.8	14.	8.	86.	5.	8.	5.	126.	.1	2.5	2.	.3	37.96
0107	88.	.61	1.8	40.	9.	1.5	.5	29.	10.	196.	7.	9.	5.	140.	.1	2.0	2.	.4	32.97
0108	155.	1.27	2.3	72.	16.	1.5	1.5	32.	12.	110.	8.	11.	6.	130.	.1	6.0	2.	.6	45.95
0109	77.	.94	2.1	68.	10.	.5	.5	17.	9.	44.	7.	12.	6.	105.	.1	1.0	2.	.3	3.00
0110	87.	2.70	1.5	64.	13.	1.0	1.0	48.	12.	88.	10.	12.	8.	220.	.1	1.0	2.	.6	52.95
0111	115.	1.58	1.9	98.	13.	1.0	1.5	36.	13.	170.	3.	13.	7.	230.	.1	2.0	2.	.1	53.95
0112	162.	2.14	1.6	60.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	16.	198.	9.	16.	8.	166.	.1	2.0	-0.	0.0	47.95
0113	-0.	4.37	2.2	56.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	19.	272.	16.	16.	15.	2384.	.1	1.0	-0.	2.3	45.95
0114	80.	.59	2.6	32.	13.	1.0	1.5	20.	14.	294.	17.	16.	8.	60.	.1	2.5	2.	.6	39.96
0115	113.	2.85	3.0	82.	18.	1.0	2.0	32.	14.	162.	4.	19.	14.	658.	.1	2.0	2.	.4	26.97
0116	69.	2.53	4.6	94.	19.	1.0	2.0	32.	16.	192.	5.	18.	6.	248.	.1	3.0	2.	.6	8.99
0117	111.	4.27	3.4	84.	21.	2.0	2.0	33.	20.	212.	13.	18.	17.	2500.	.1	2.0	2.	4.0	37.96
0118	100.	.47	1.8	32.	11.	1.0	1.0	18.	9.	106.	3.	11.	1.	54.	.1	2.0	2.	.4	32.97
0119	154.	1.16	2.1	92.	14.	1.0	1.0	25.	13.	78.	4.	13.	3.	130.	.1	2.0	2.	.2	48.95
0120	117.	1.70	4.4	72.	24.	2.0	2.0	36.	17.	196.	7.	14.	9.	588.	.1	4.0	2.	1.0	24.98
0121	111.	1.97	4.1	96.	17.	3.0	2.0	56.	20.	128.	3.	20.	10.	174.	.1	3.0	2.	2.4	38.47
0122	154.	2.58	1.3	116.	11.	1.5	1.5	40.	13.	100.	5.	13.	8.	188.	.1	4.0	2.	1.0	53.95
0123	75.	.45	1.7	34.	8.	1.0	1.0	11.	9.	84.	2.	12.	3.	44.	.1	3.0	2.	.3	32.97
0124	71.	.96	1.5	44.	10.	1.0	1.5	24.	12.	106.	5.	12.	8.	152.	.1	4.0	2.	.5	42.96
0125	140.	.67	1.5	30.	9.	1.0	1.0	19.	7.	94.	3.	11.	3.	62.	.1	1.0	2.	.8	34.97
0126	-0.	1.87	3.8	52.	13.	1.0	1.0	22.	12.	124.	3.	17.	7.	310.	.1	3.0	2.	1.5	10.99

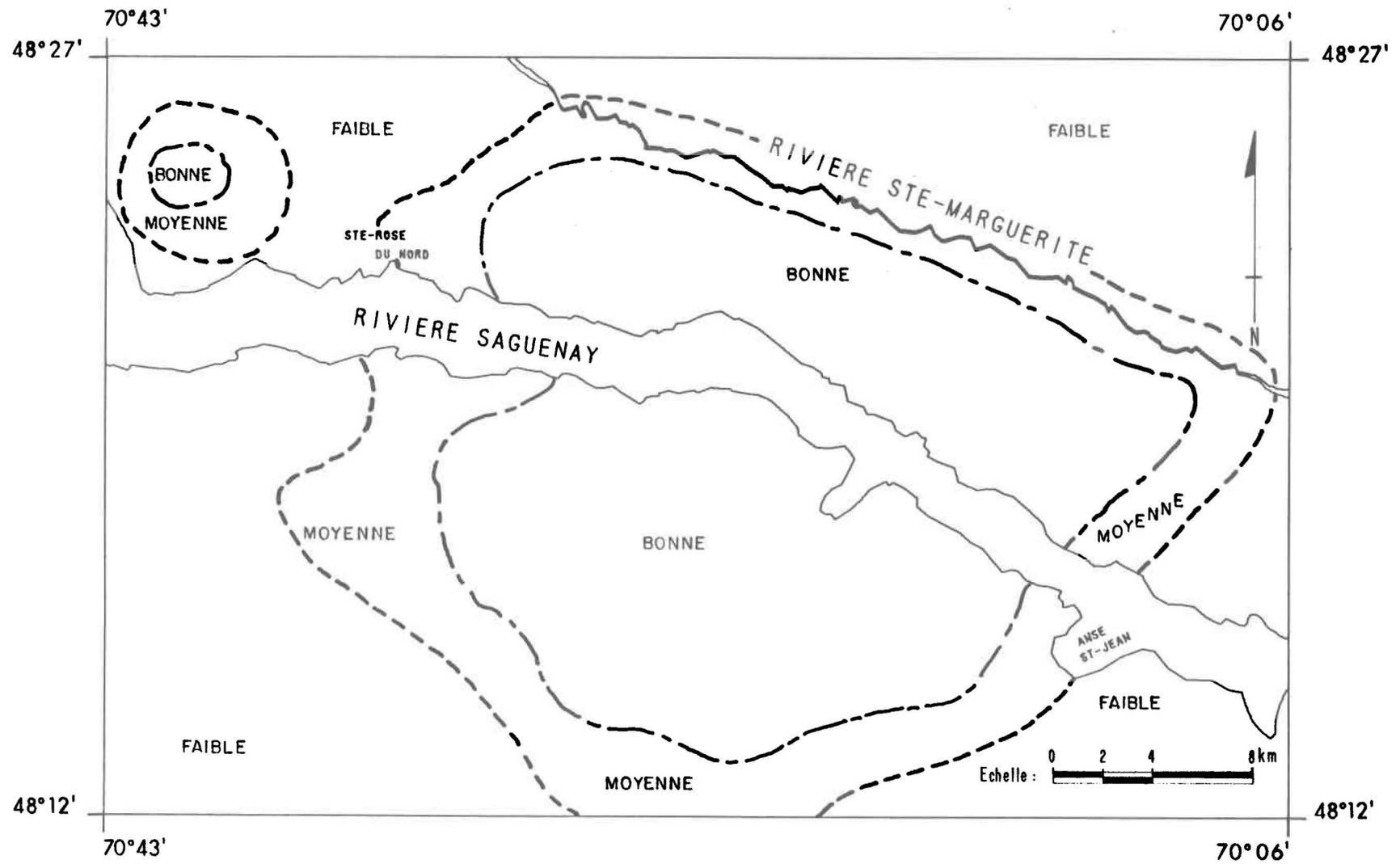
0127	-0.	4.10	3.3	112.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	37.	530.	3.	40.	36.	2220.	.1	11.0	-0.	0.0	20.98
0128	-0.	.80	2.1	60.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	22.	314.	13.	32.	11.	252.	.1	-0.0	-0.	0.0	55.94
0129	108.	1.73	3.2	78.	13.	1.5	1.5	27.	12.	118.	3.	14.	9.	624.	.1	2.0	2.	.7	7.99
0130	230.	7.06	2.4	68.	18.	5.0	2.0	30.	41.	218.	5.	17.	16.	1406.	.1	2.0	2.	1.8	24.98
0131	-0.	1.33	3.4	234.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	24.	110.	10.	16.	3.	270.	.1	3.0	2.	1.6	32.97
0132	130.	1.68	1.6	42.	15.	1.5	2.0	44.	20.	296.	7.	20.	8.	142.	.1	2.0	2.	1.6	33.97
0133	100.	.46	1.3	7.	12.	1.5	1.5	19.	21.	166.	3.	20.	12.	64.	.1	4.0	2.	1.3	27.97
0134	140.	.93	3.6	29.	15.	1.0	2.0	18.	10.	116.	3.	14.	5.	146.	.1	4.0	2.	.7	40.96
0135	150.	2.30	1.1	76.	11.	1.0	1.0	37.	22.	96.	4.	11.	4.	86.	.1	1.0	2.	.2	69.95
0136	268.	2.81	2.3	48.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	30.	246.	10.	19.	14.	532.	.1	-0.0	-0.	.1	53.95
0137	-0.	1.65	2.9	58.	18.	1.0	2.0	33.	11.	102.	4.	13.	10.	439.	.1	2.0	2.	1.1	15.98
0138	106.	.90	2.9	56.	16.	1.5	1.3	38.	14.	100.	8.	11.	7.	109.	.1	2.0	2.	1.1	44.96
0139	118.	1.07	2.6	70.	16.	1.5	1.5	41.	17.	148.	8.	14.	8.	410.	.1	2.0	2.	1.5	53.95
0140	136.	2.44	2.9	78.	24.	2.0	2.5	62.	21.	192.	6.	22.	12.	650.	.1	3.0	2.	1.7	14.99
0141	183.	1.33	1.5	44.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	13.	72.	5.	12.	6.	218.	.1	2.0	2.	0.0	47.95
0142	214.	3.37	2.5	108.	18.	1.0	2.0	43.	19.	122.	10.	20.	14.	264.	.1	1.0	2.	1.3	28.97
0143	350.	.52	2.2	38.	9.	.5	1.0	15.	7.	98.	9.	10.	3.	66.	.1	2.0	2.	.2	30.97
0144	93.	.90	2.0	54.	15.	1.0	2.0	27.	14.	136.	3.	13.	6.	170.	.1	2.0	2.	.4	52.95
0145	225.	.38	1.7	44.	8.	.5	1.0	15.	8.	54.	10.	11.	2.	64.	.1	2.0	2.	.1	48.95
0146	-0.	.91	2.7	84.	14.	1.0	1.0	41.	12.	149.	9.	16.	5.	125.	.1	2.0	2.	.3	31.97
0147	140.	2.10	2.8	84.	18.	1.0	2.0	40.	15.	192.	3.	15.	9.	570.	.1	3.0	2.	.2	42.96

0148	183.	3.26	1.8	102.	18.	1.5	2.0	50.	28.	190.	6.	17.	5.	240.	.1	2.0	2.	.1	41.96
0149	138.	4.29	3.2	190.	13.	1.0	1.5	49.	23.	166.	7.	20.	9.	250.	.1	2.0	2.	1.5	27.97
0150	250.	1.06	2.6	57.	8.	.8	.8	27.	20.	100.	6.	10.	4.	158.	.1	1.5	2.	.3	14.99
0151	135.	1.41	1.4	94.	9.	1.0	1.0	33.	12.	198.	4.	12.	8.	212.	.1	3.0	6.	0.0	48.95
0152	148.	1.34	1.7	128.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	17.	142.	8.	8.	4.	120.	.1	3.0	6.	.8	62.94
0153	103.	.84	1.8	90.	9.	2.0	1.0	26.	13.	162.	5.	8.	6.	168.	.1	3.0	5.	.6	54.95
0154	156.	.54	1.9	72.	5.	.5	.5	13.	11.	64.	7.	4.	3.	76.	.1	2.0	2.	.8	62.94
0155	339.	.67	1.0	96.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	16.	52.	6.	4.	3.	54.	.1	2.0	10.	1.0	67.93
0156	143.	.69	1.9	48.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	17.	80.	5.	11.	3.	72.	.1	1.0	2.	.5	53.95
0157	167.	3.08	1.8	46.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	19.	127.	12.	14.	9.	550.	.1	1.0	-0.	1.3	52.95
0158	80.	1.32	1.2	74.	9.	1.0	1.0	30.	16.	98.	5.	10.	5.	98.	.1	2.0	5.	.6	62.94
0159	100.	1.61	1.5	60.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	21.	136.	7.	18.	3.	64.	.1	1.0	2.	.7	30.98
0160	-0.	.76	1.7	38.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	14.	134.	11.	18.	5.	86.	.1	2.0	-0.	.6	21.98
0161	74.	1.13	1.8	46.	11.	.5	1.0	21.	9.	74.	3.	14.	6.	128.	.1	2.0	2.	.8	22.98
0162	109.	1.29	1.2	62.	11.	.5	1.0	34.	11.	88.	8.	12.	4.	144.	.1	2.0	2.	.4	53.95
0163	115.	1.68	1.5	52.	11.	1.0	1.0	40.	11.	80.	4.	12.	9.	304.	.1	2.0	2.	.6	53.95
0164	134.	.95	1.5	82.	11.	1.5	1.0	32.	23.	140.	4.	14.	4.	110.	.1	2.0	2.	2.3	48.95
0165	148.	1.38	2.0	104.	11.	1.5	1.0	34.	20.	146.	5.	13.	5.	98.	.1	3.0	2.	1.2	25.97
0166	160.	2.00	2.1	114.	15.	2.0	2.0	57.	23.	154.	7.	16.	11.	297.	.1	2.0	2.	2.4	33.97
0167	103.	.74	2.0	42.	12.	1.0	1.5	27.	12.	64.	5.	11.	3.	102.	.1	2.0	2.	.6	47.95
0168	100.	.50	2.3	68.	9.	1.0	1.0	19.	11.	42.	5.	12.	2.	220.	.1	2.0	2.	.7	38.96

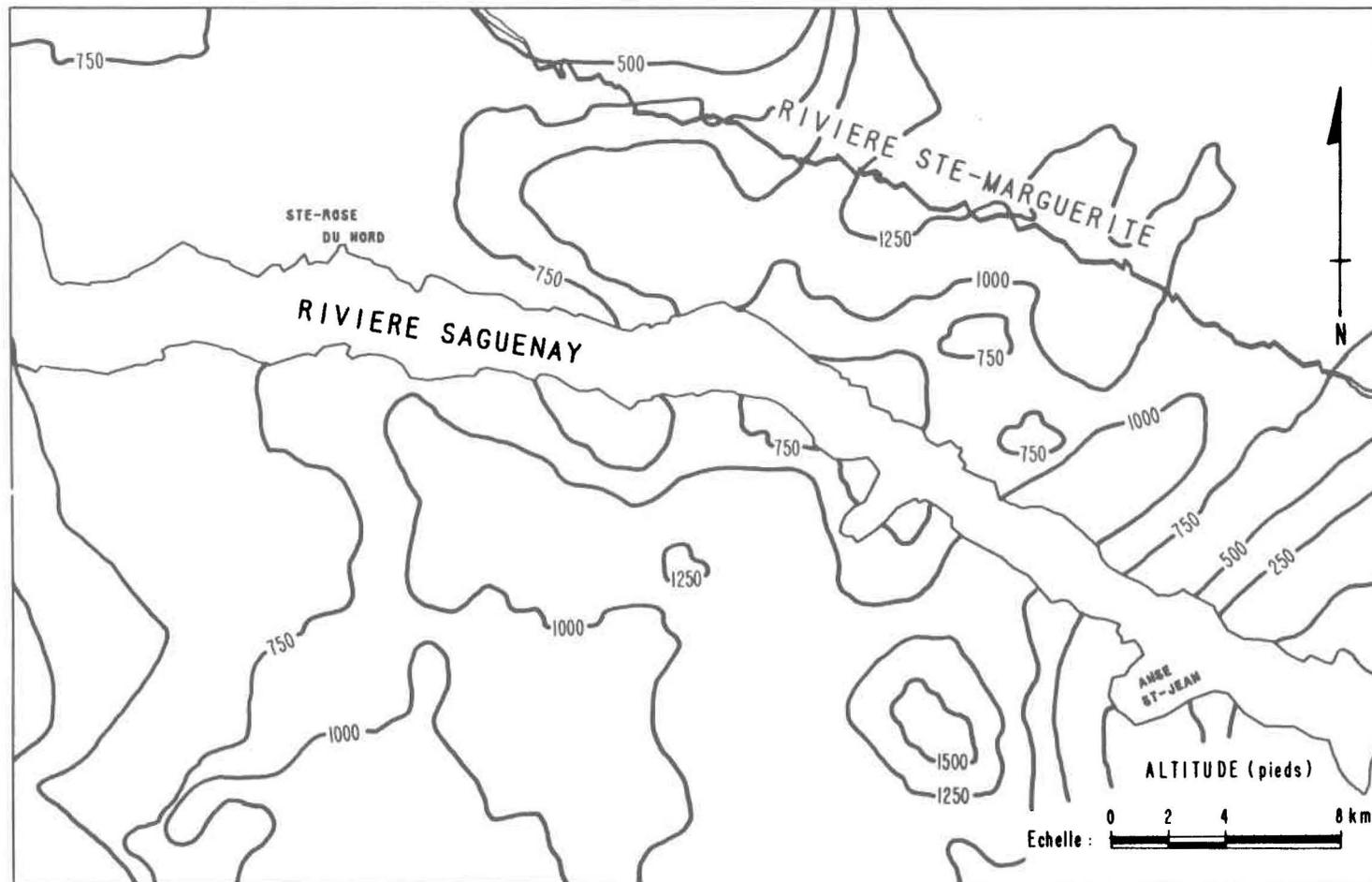
0169	117.	.35	1.5	50.	6.	1.0	1.0	15.	9.	34.	2.	9.	2.	108.	.1	2.0	2.	.6	59.94
0170	250.	3.50	1.6	104.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	25.	94.	9.	16.	2.	100.	.1	2.0	-0.	1.5	30.97
0171	-0.	3.24	1.6	78.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	20.	92.	7.	13.	4.	230.	.1	2.0	2.	2.1	38.96
0172	98.	.55	2.8	40.	8.	.5	1.0	14.	8.	90.	4.	8.	4.	52.	.1	2.0	2.	.3	19.98
0173	94.	1.71	1.3	48.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	13.	60.	7.	10.	5.	186.	.1	2.0	2.	.1	56.94
0174	129.	.51	1.0	30.	9.	1.0	1.0	22.	12.	166.	10.	9.	2.	48.	.1	2.0	2.	1.4	53.95
0175	75.	.42	1.4	42.	6.	1.0	.5	11.	8.	62.	11.	12.	2.	52.	.1	2.0	2.	.7	15.98
0176	81.	.98	2.0	56.	10.	1.0	1.0	23.	13.	96.	6.	9.	4.	96.	.1	3.0	2.	.3	17.96
0177	-0.	-0.00	-0.0	-0.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0.0	-0.0	-0.	0.0	-0.00
0178	129.	.83	1.6	26.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	6.	48.	3.	6.	2.	36.	.1	1.0	2.	.5	33.97
0179	222.	.82	.8	94.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	16.	44.	2.	11.	2.	60.	.1	1.0	2.	0.0	63.74
0180	178.	3.74	2.3	92.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	25.	106.	9.	16.	4.	130.	.1	2.0	2.	1.7	16.98
0181	129.	1.03	1.8	120.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	19.	90.	8.	12.	6.	218.	.1	-0.0	-0.	.6	57.94
0182	168.	1.14	2.4	98.	10.	1.0	1.0	20.	16.	90.	6.	17.	3.	112.	.1	3.0	2.	0.0	27.97
0183	167.	.81	.9	34.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	10.	70.	5.	14.	8.	152.	.1	2.0	2.	.5	46.95
0184	192.	1.16	1.9	84.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	18.	88.	7.	13.	3.	136.	.1	-0.0	-0.	0.0	26.97
0185	120.	1.90	2.5	86.	-0.	-0.0	-0.0	-0.	21.	168.	9.	15.	8.	324.	.1	2.0	-0.	0.0	27.97
0186	-0.	8.05	2.7	62.	15.	2.0	2.0	30.	22.	376.	6.	18.	27.	1340.	.2	4.0	2.	1.9	20.98

ANNEXE D

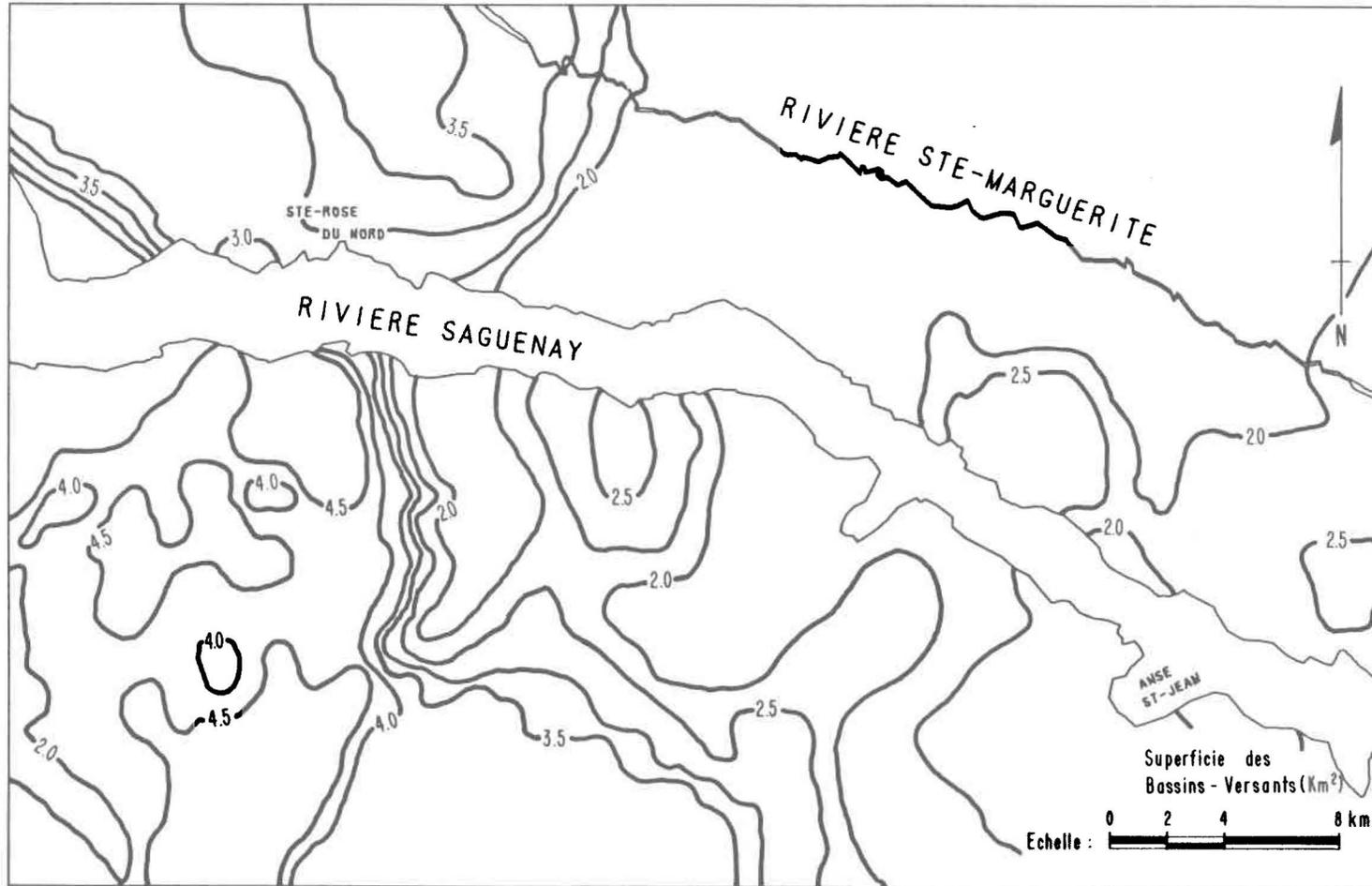
CARTES DE DISTRIBUTION SPATIALE DES DIVERS PARAMETRES



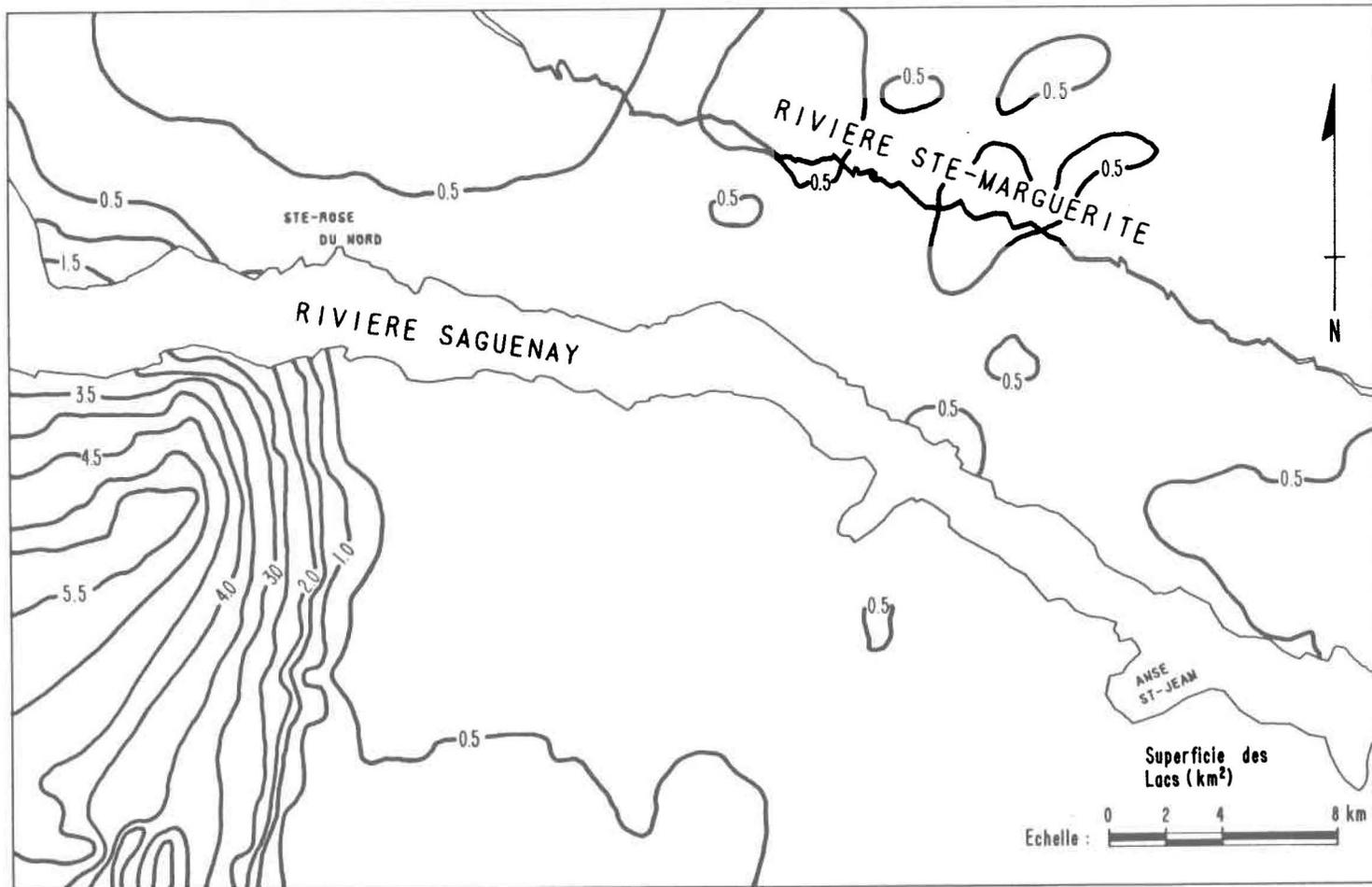
D-1 Fiabilité de la distribution spatiale des divers paramètres.



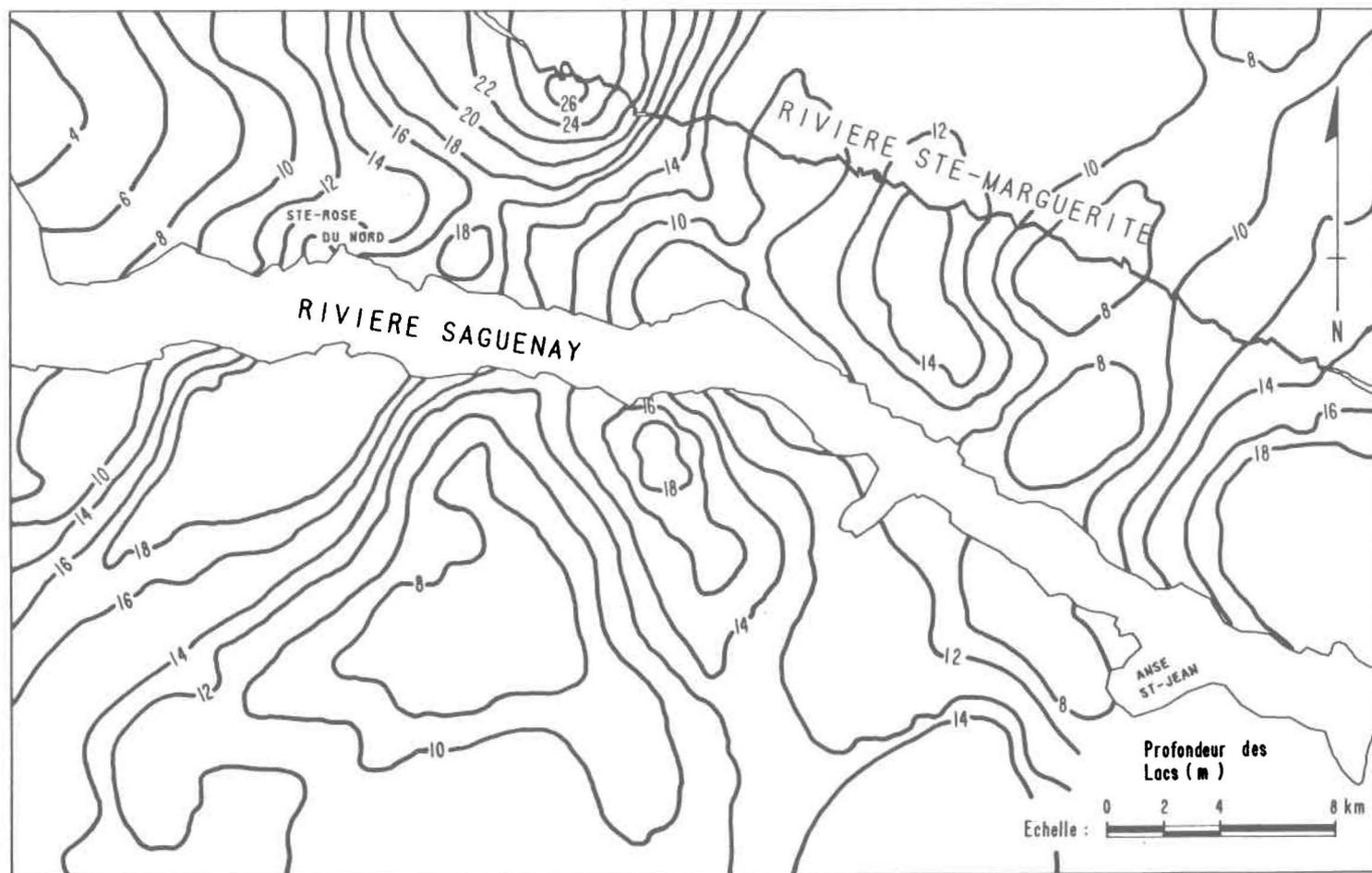
D-2 Carte topographique de la région étudiée.



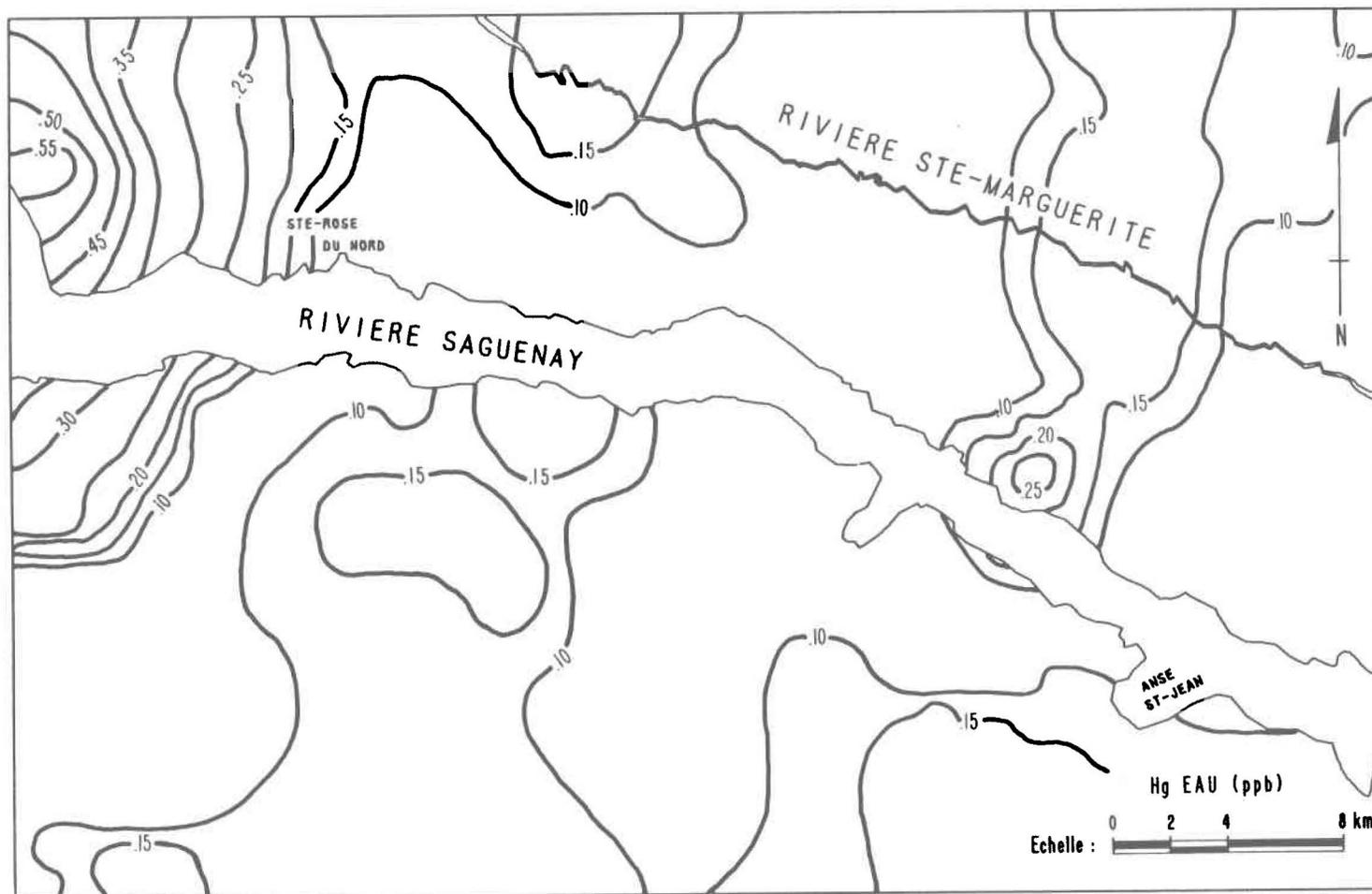
D-3 Distribution spatiale de la superficie des bassins versants.



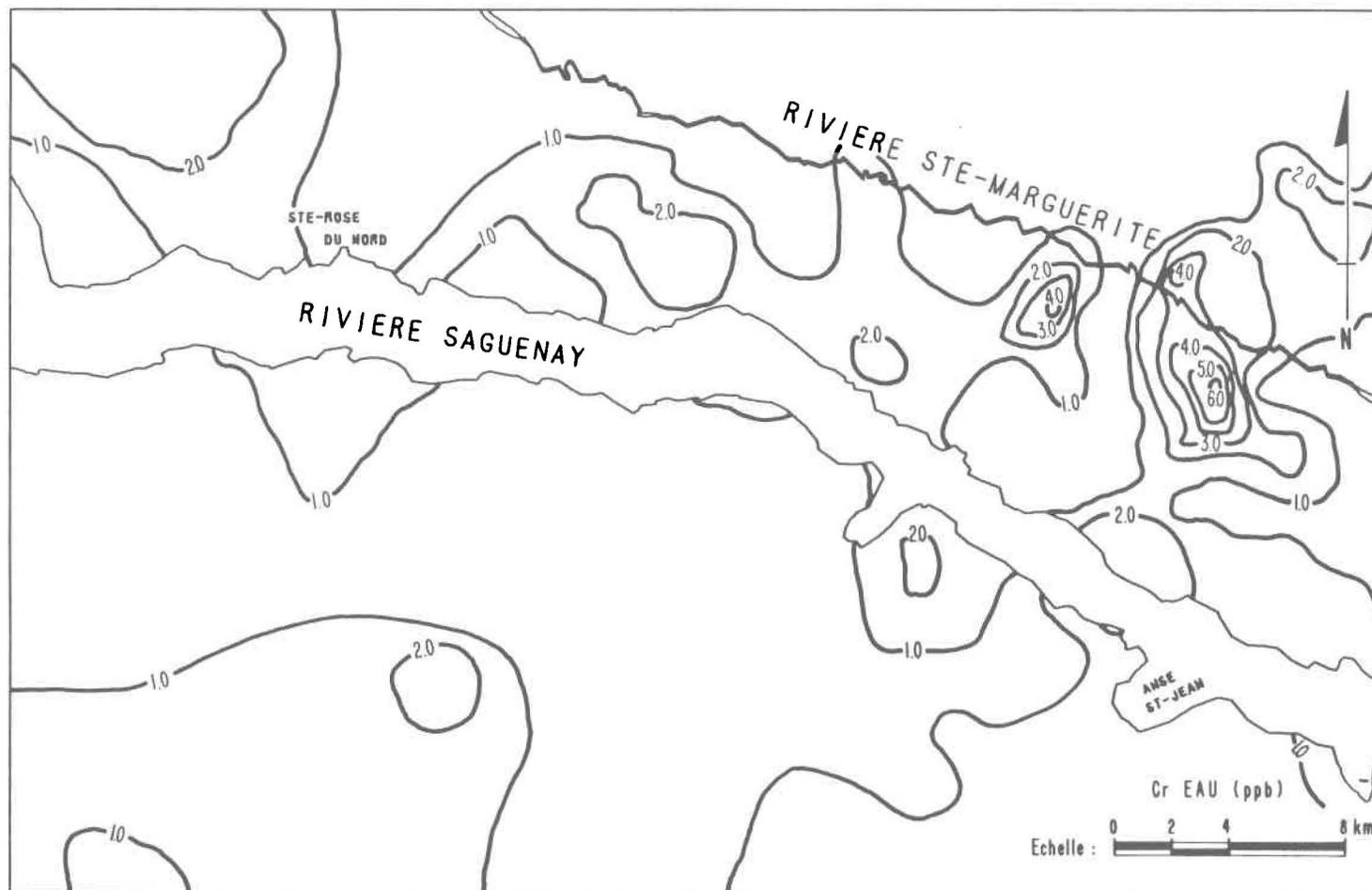
D-4 Distribution spatiale de la superficie des lacs étudiés.



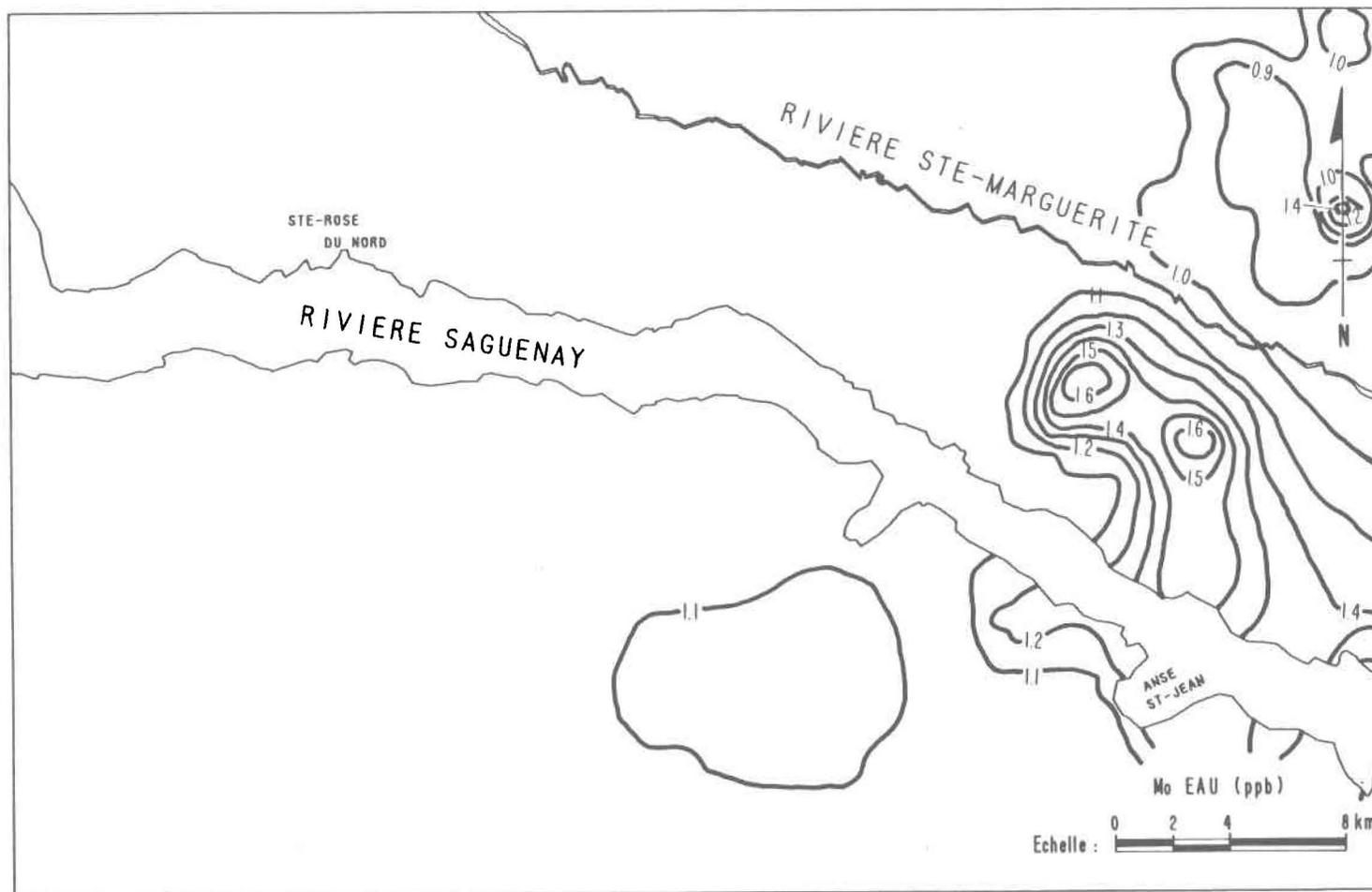
D-5 Distribution spatiale de la profondeur d'échantillonnage des lacs étudiés.



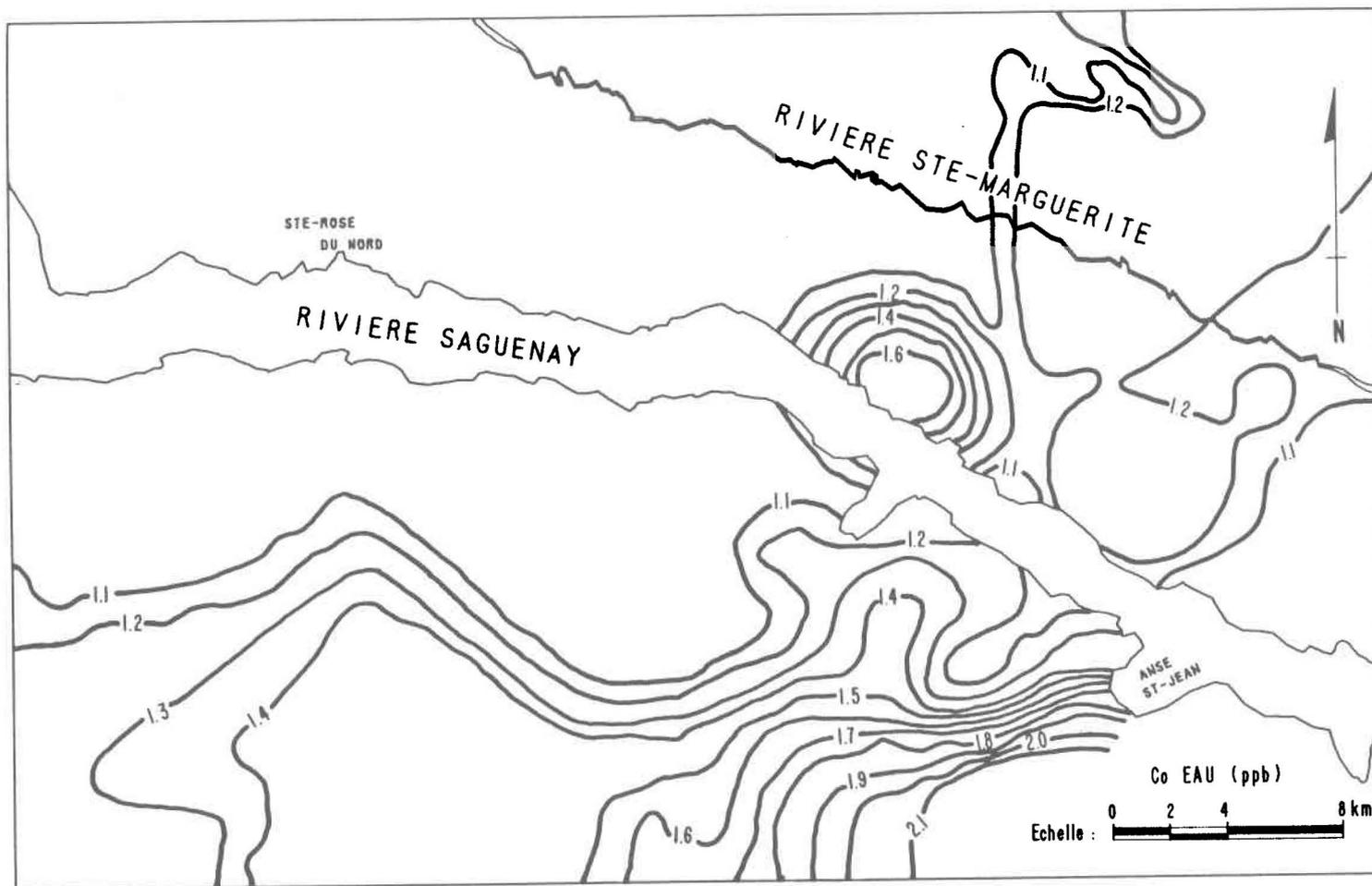
D-6 Distribution spatiale du mercure dans les eaux lacustres.



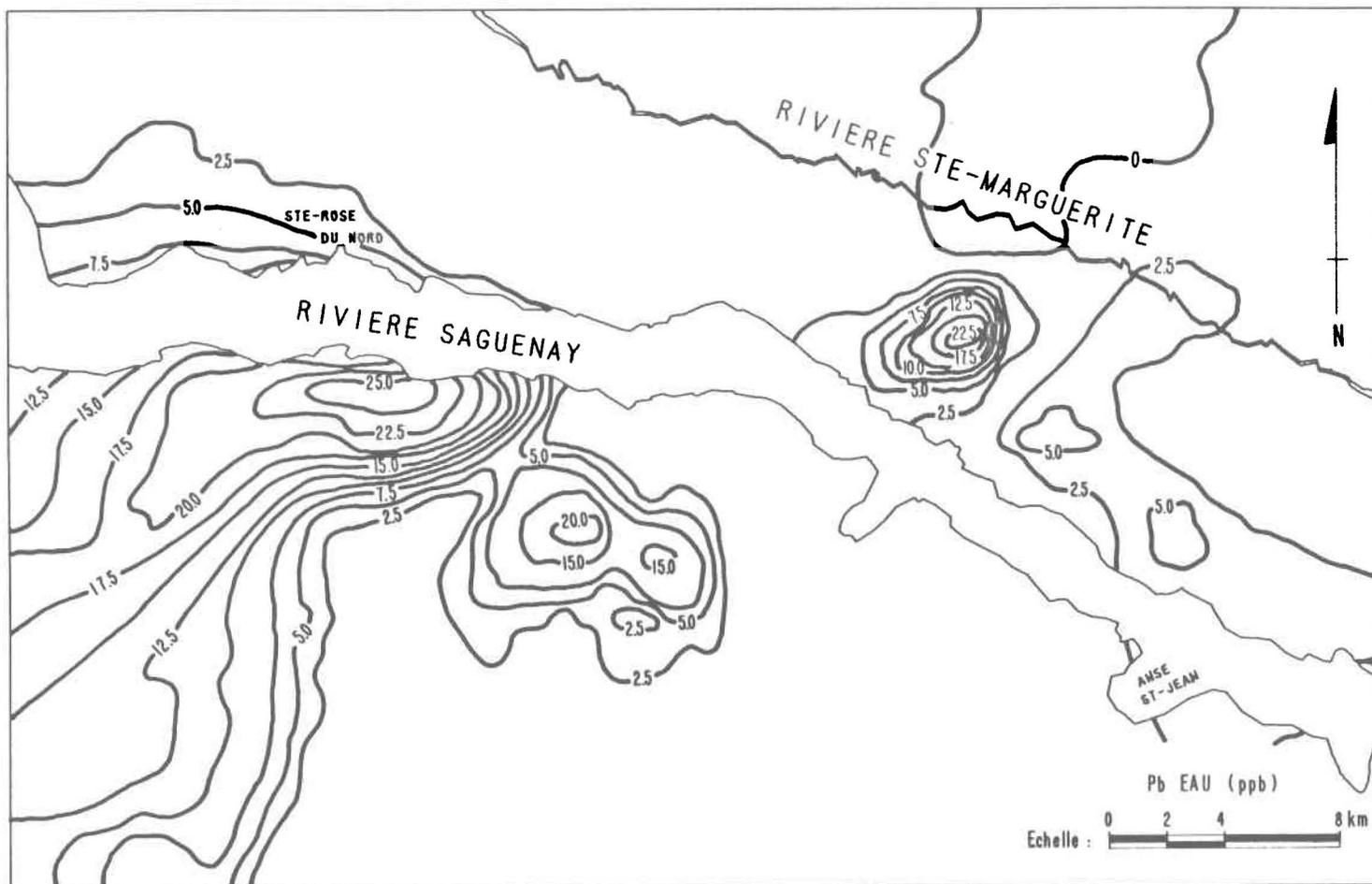
D-7 Distribution spatiale du chrome dans les eaux lacustres.



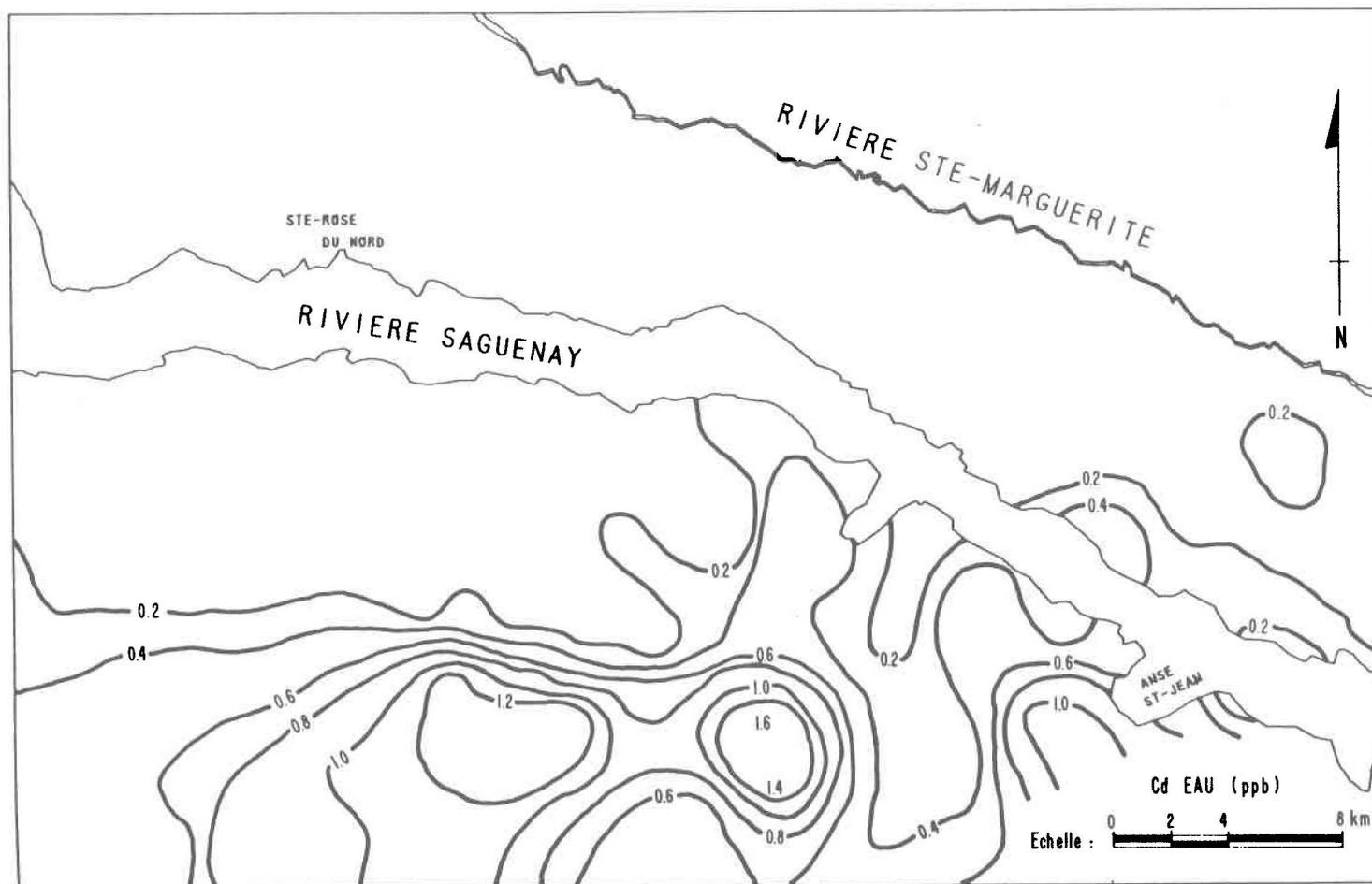
D-8 Distribution spatiale du molybdène dans les eaux lacustres.



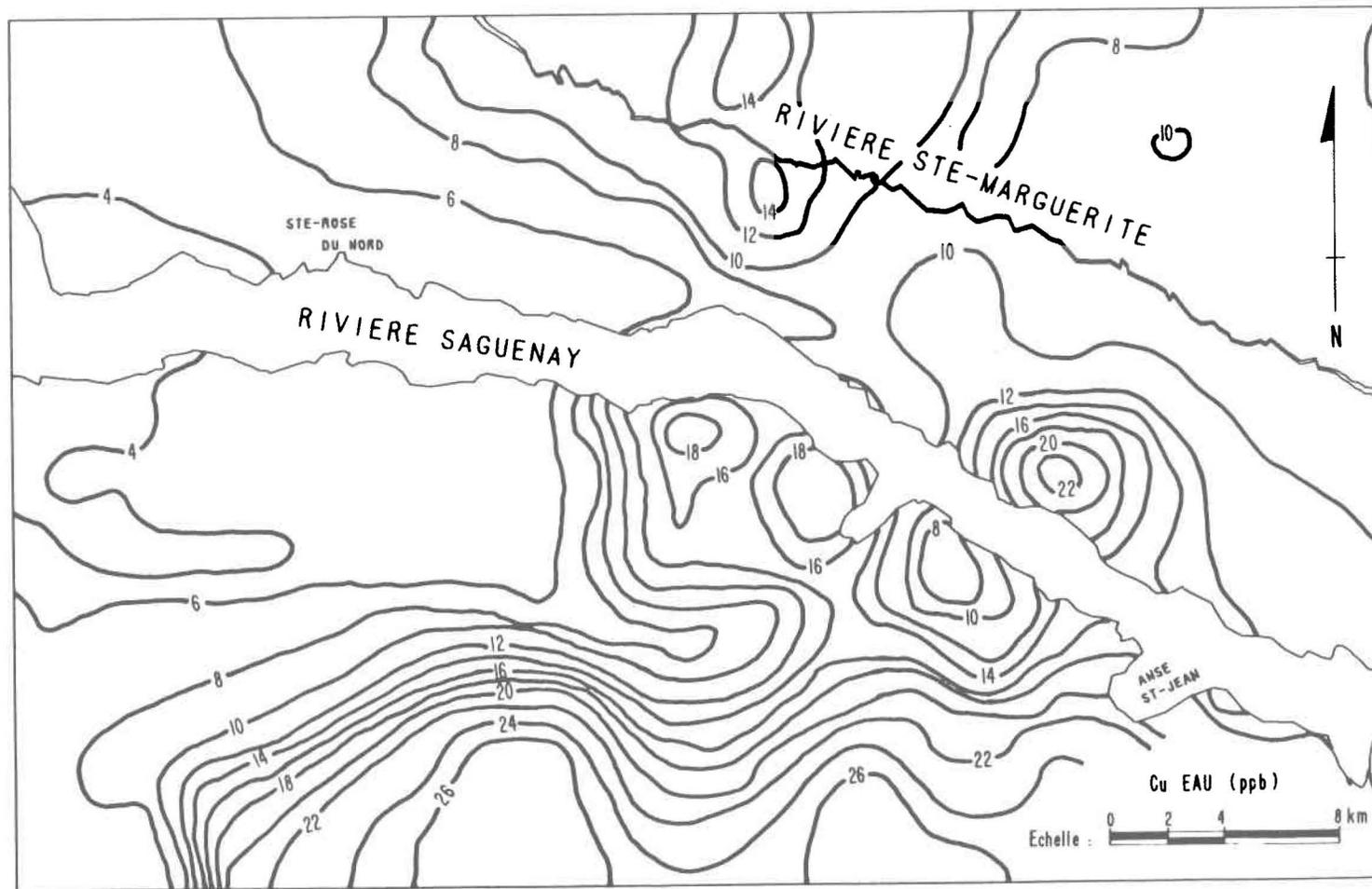
D-9 Distribution spatiale du cobalt dans les eaux lacustres.



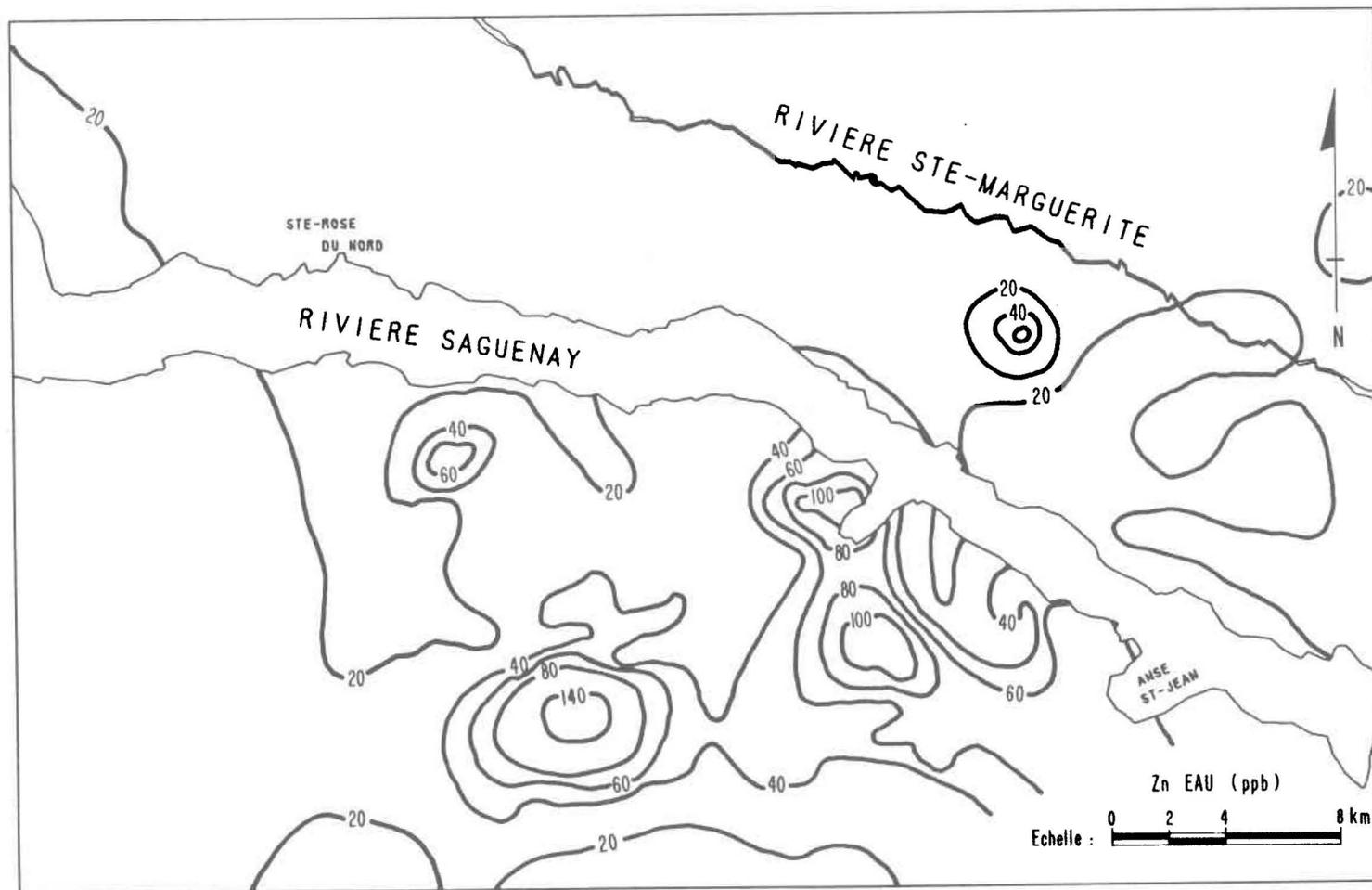
D-10 Distribution spatiale du plomb dans les eaux lacustres.



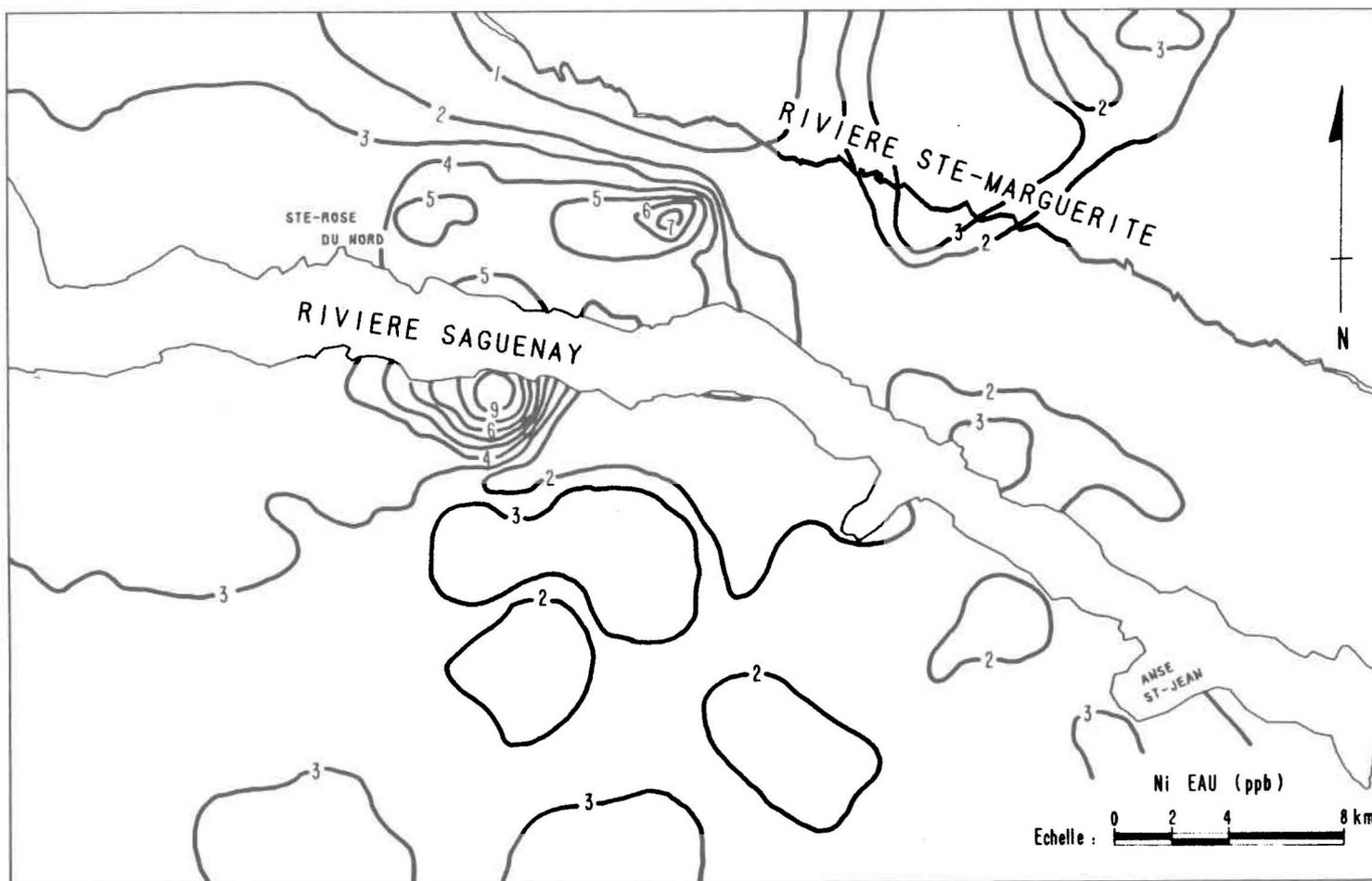
D-11 Distribution spatiale du Cadmium dans les eaux lacustres.



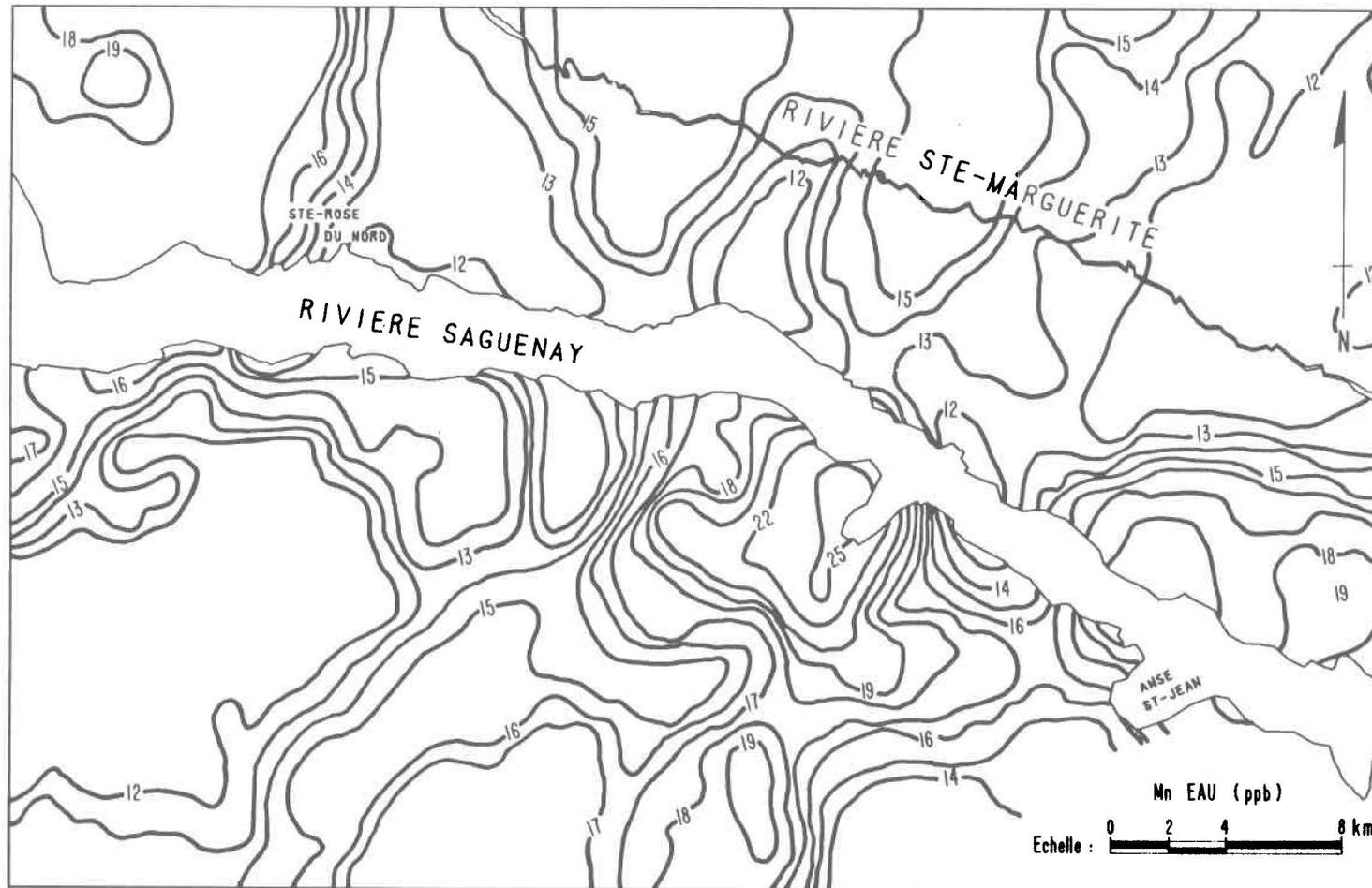
D-12 Distribution spatiale du cuivre dans les eaux lacustres.



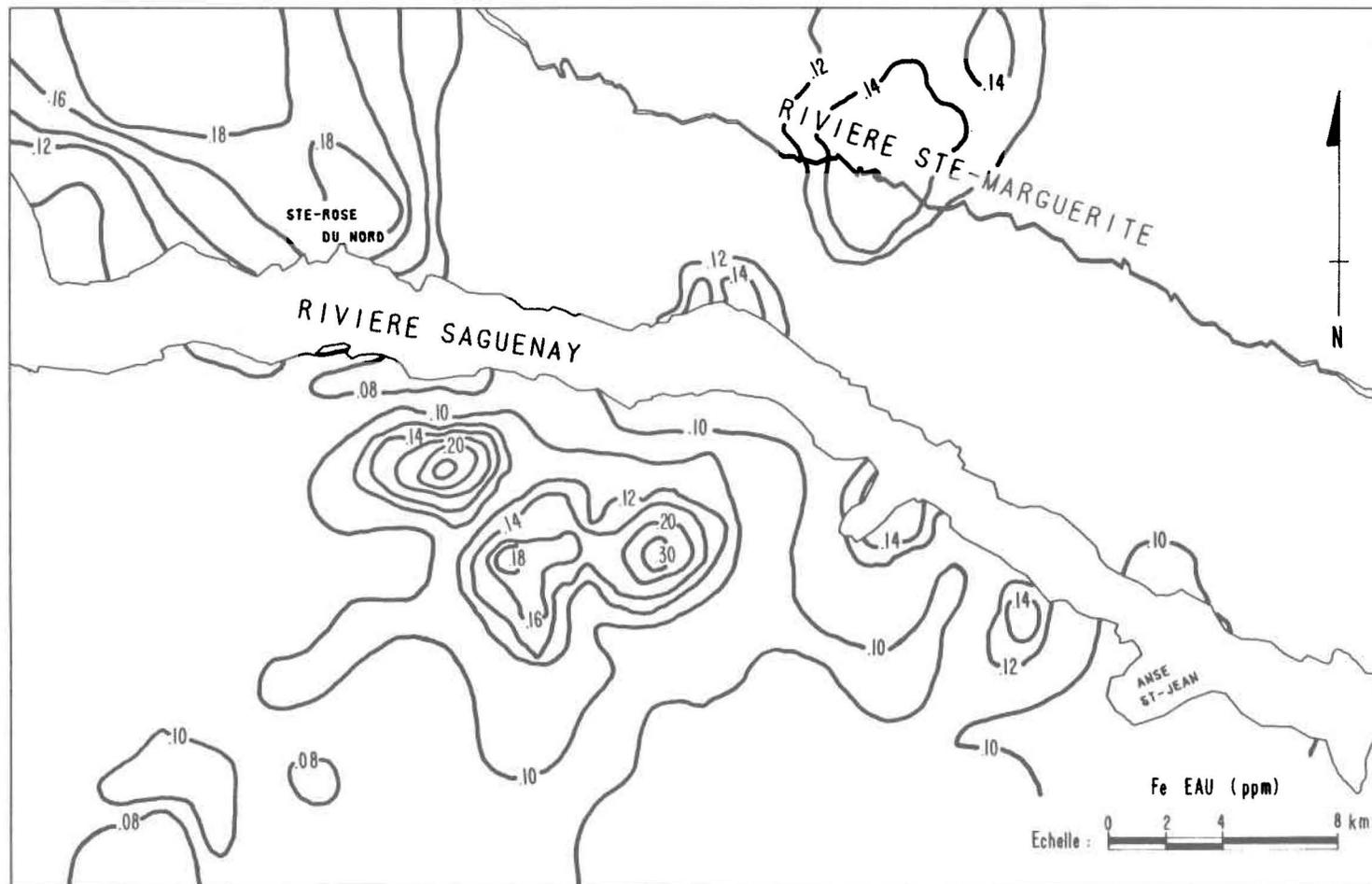
D-13 Distribution spatiale du zinc dans les eaux lacustres.



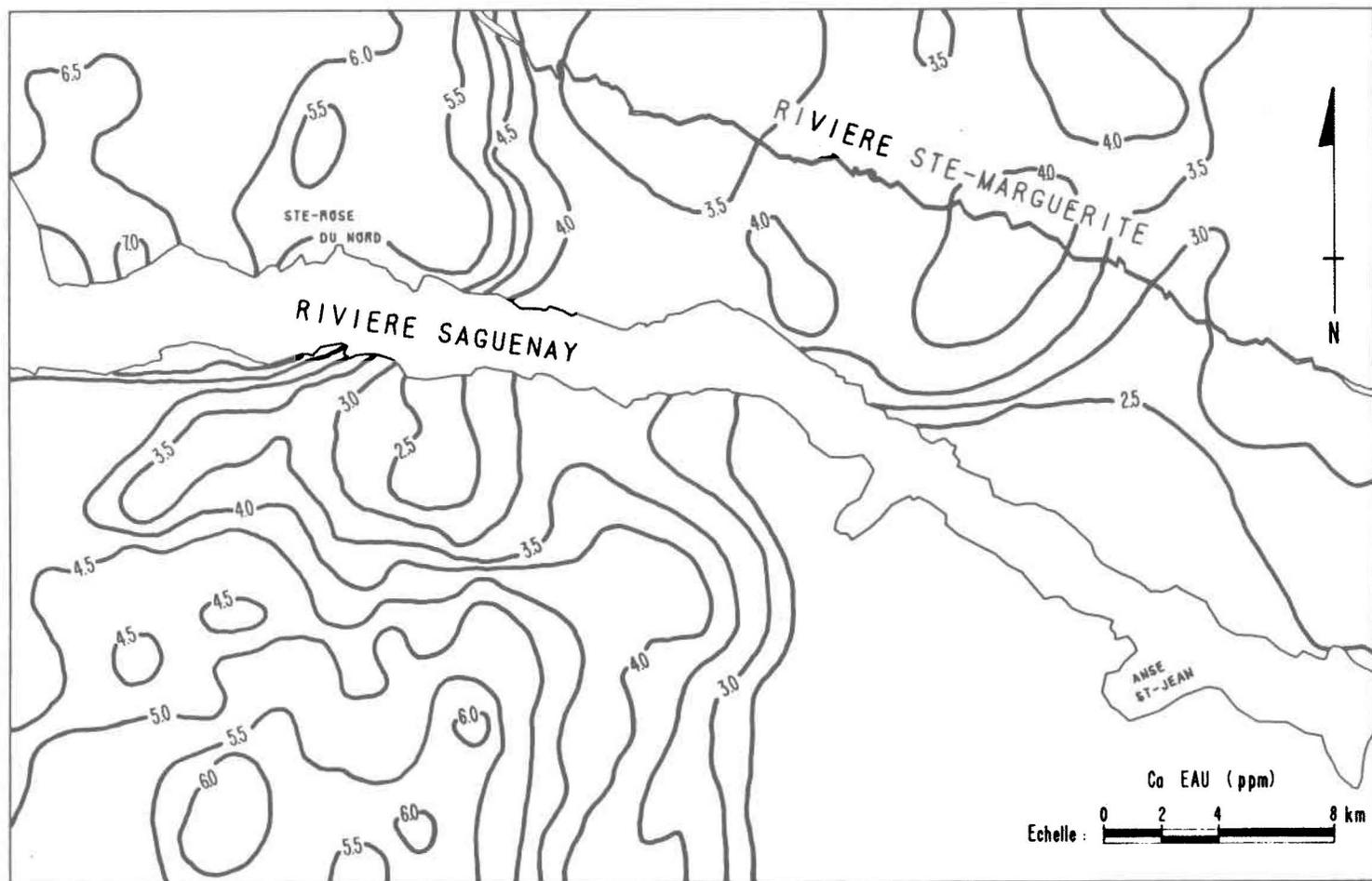
D-14 Distribution spatiale du nickel dans les eaux lacustres.



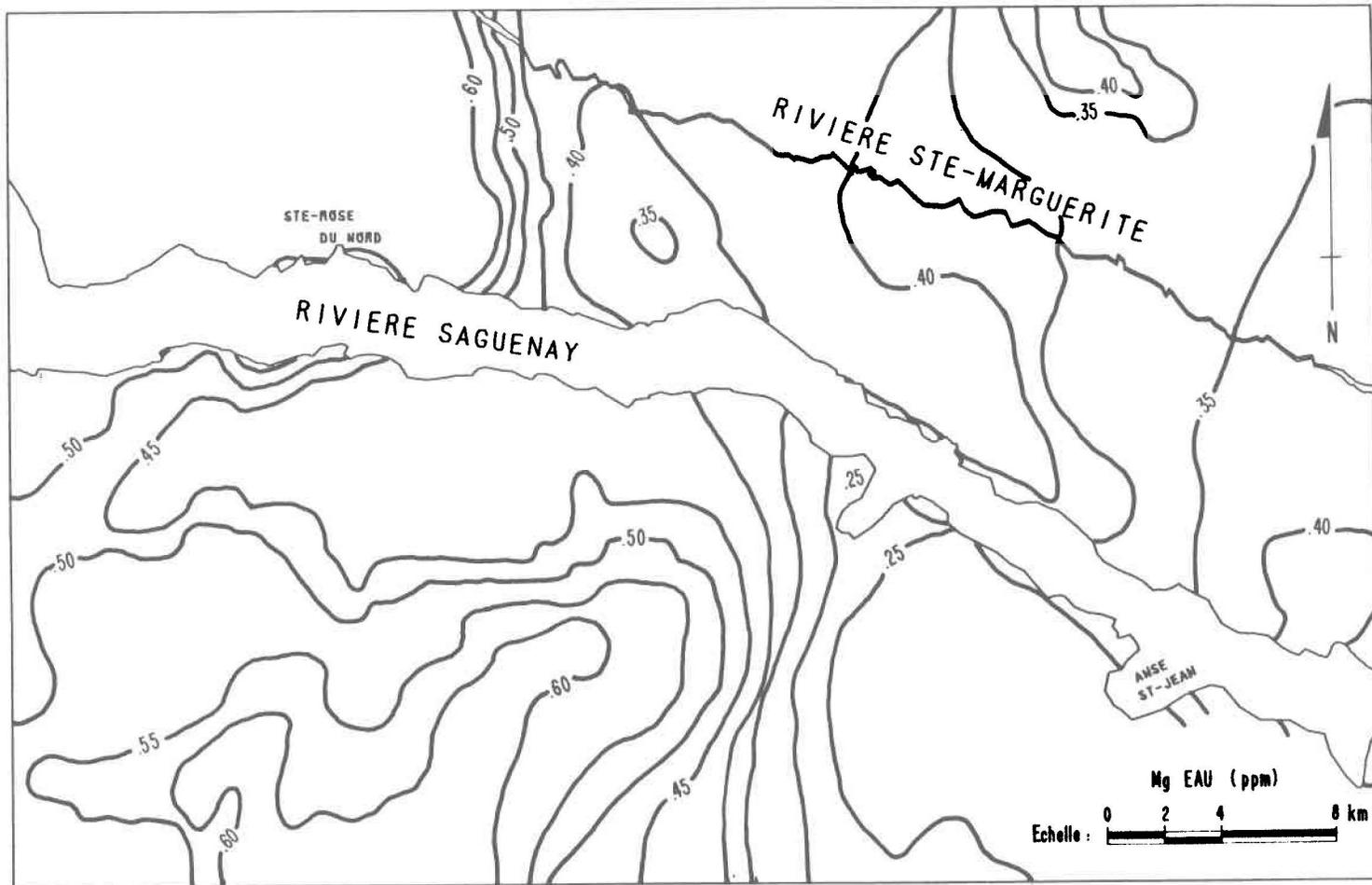
D-15 Distribution spatiale du manganèse dans les eaux lacustres.



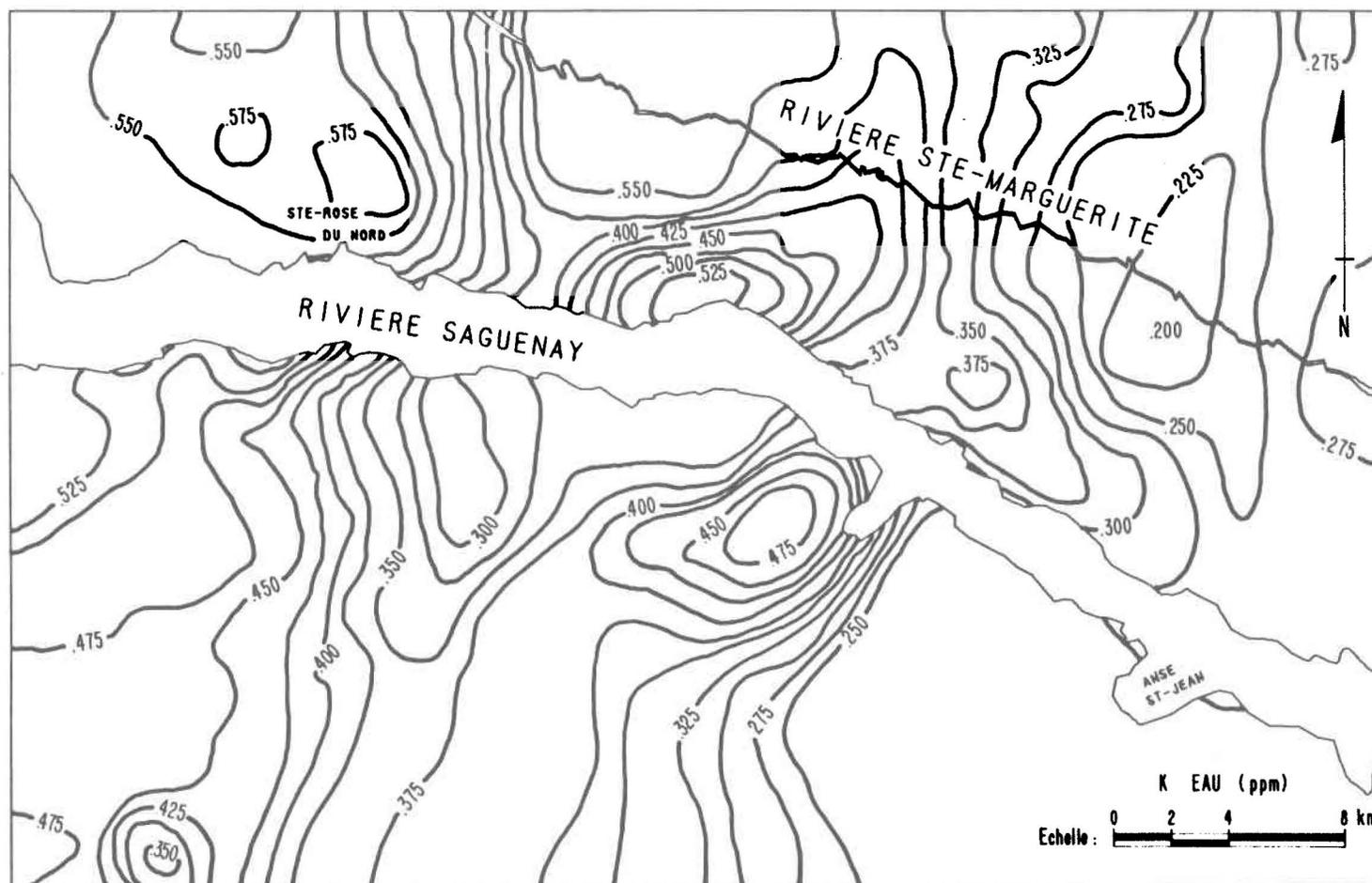
D-16 Distribution spatiale du fer dans les eaux lacustres.



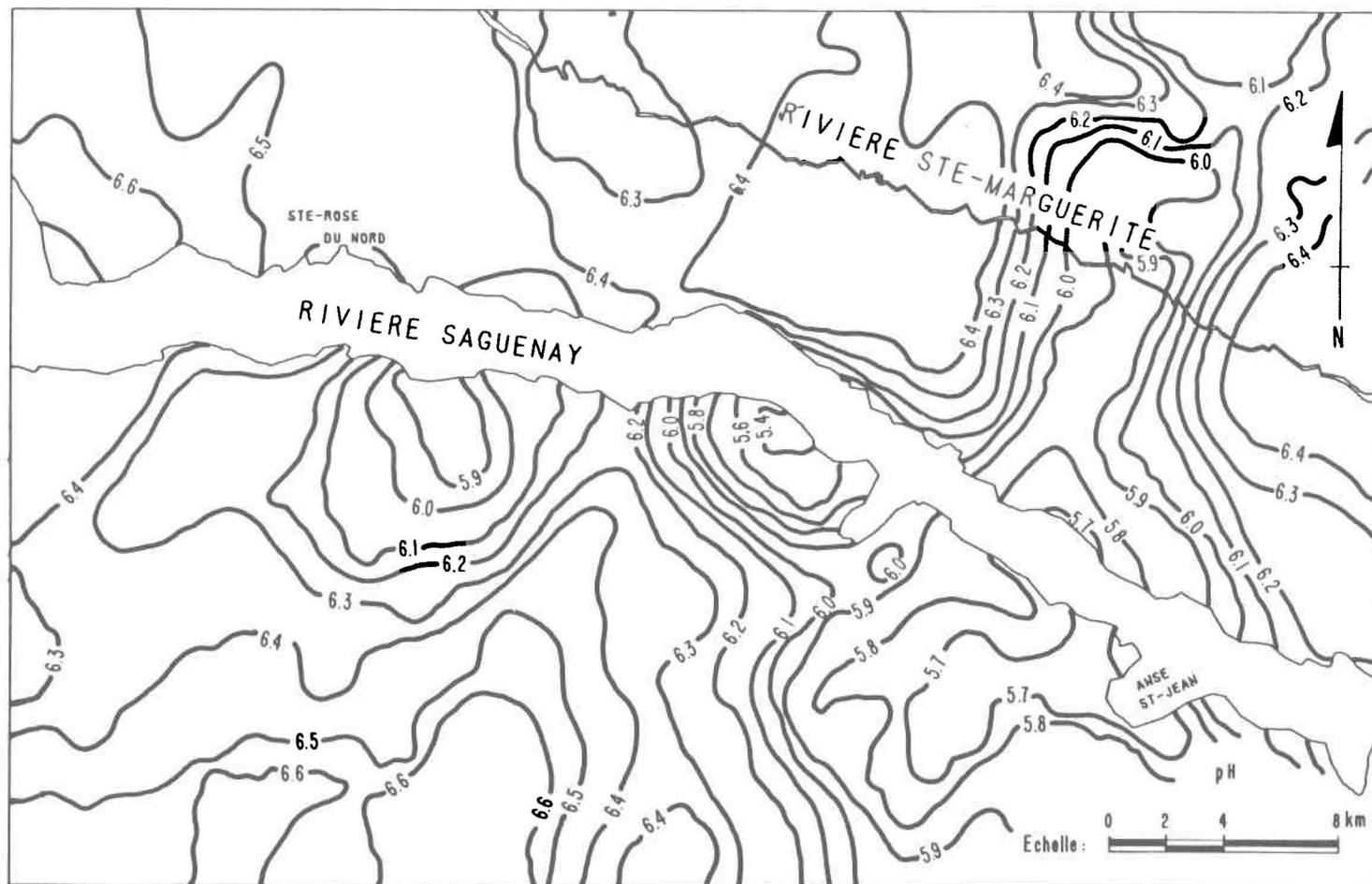
D-17 Distribution spatiale du calcium dans les eaux lacustres.



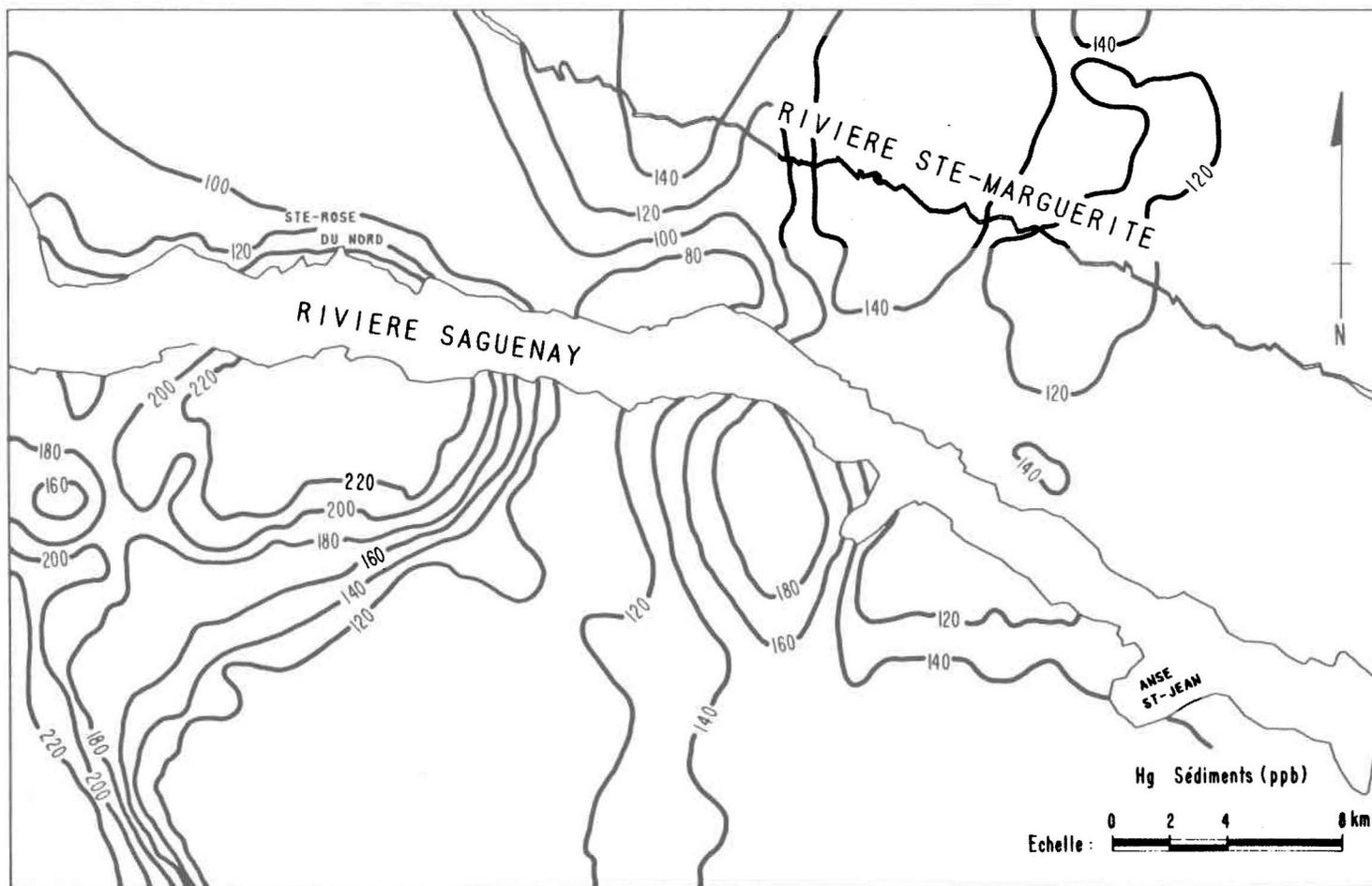
D-18 Distribution spatiale du magnésium dans les eaux lacustres.



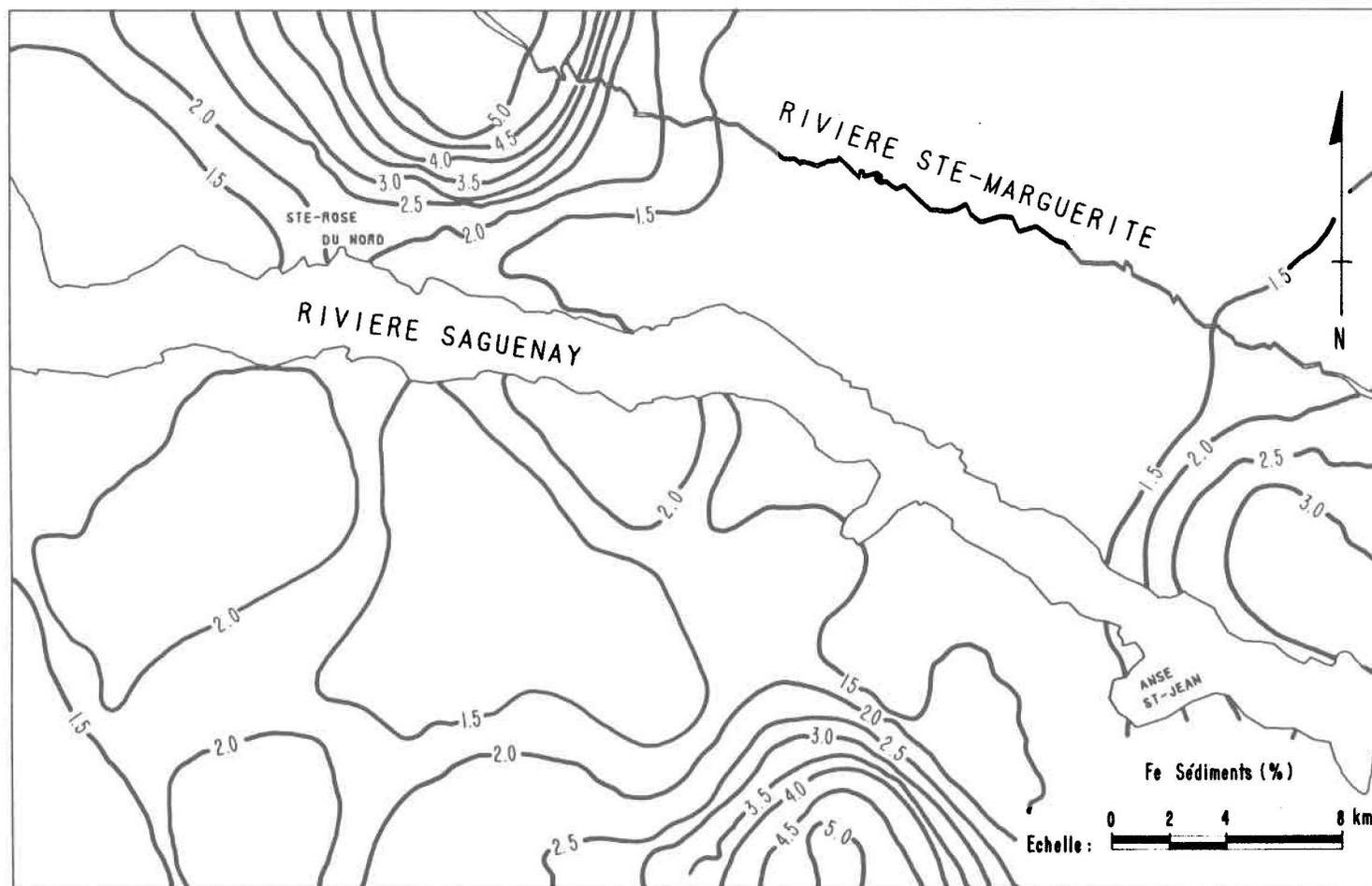
D-19 Distribution spatiale du potassium dans les eaux lacustres.



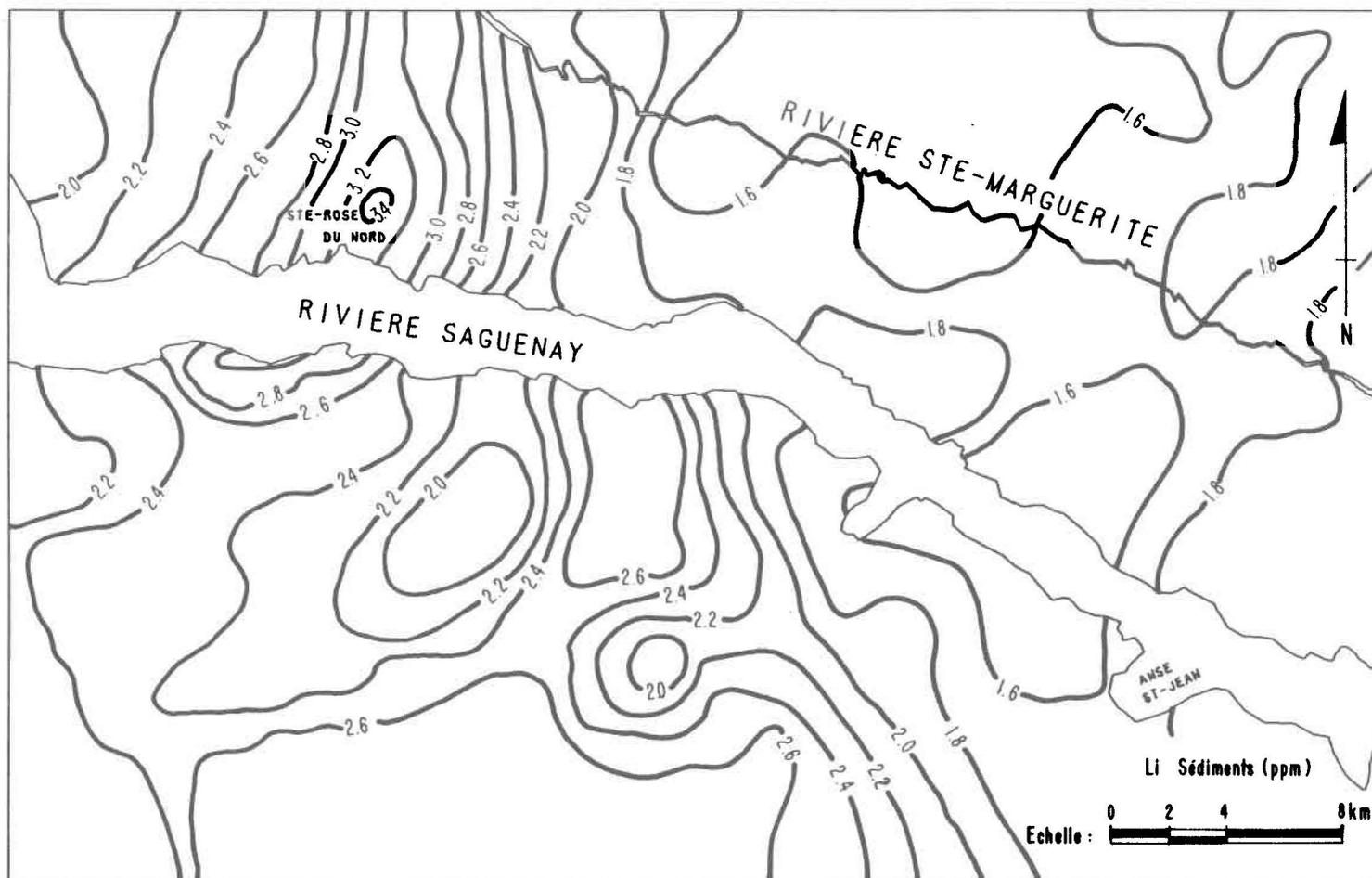
D-20 Distribution spatiale des valeurs de pH dans les eaux lacustres.



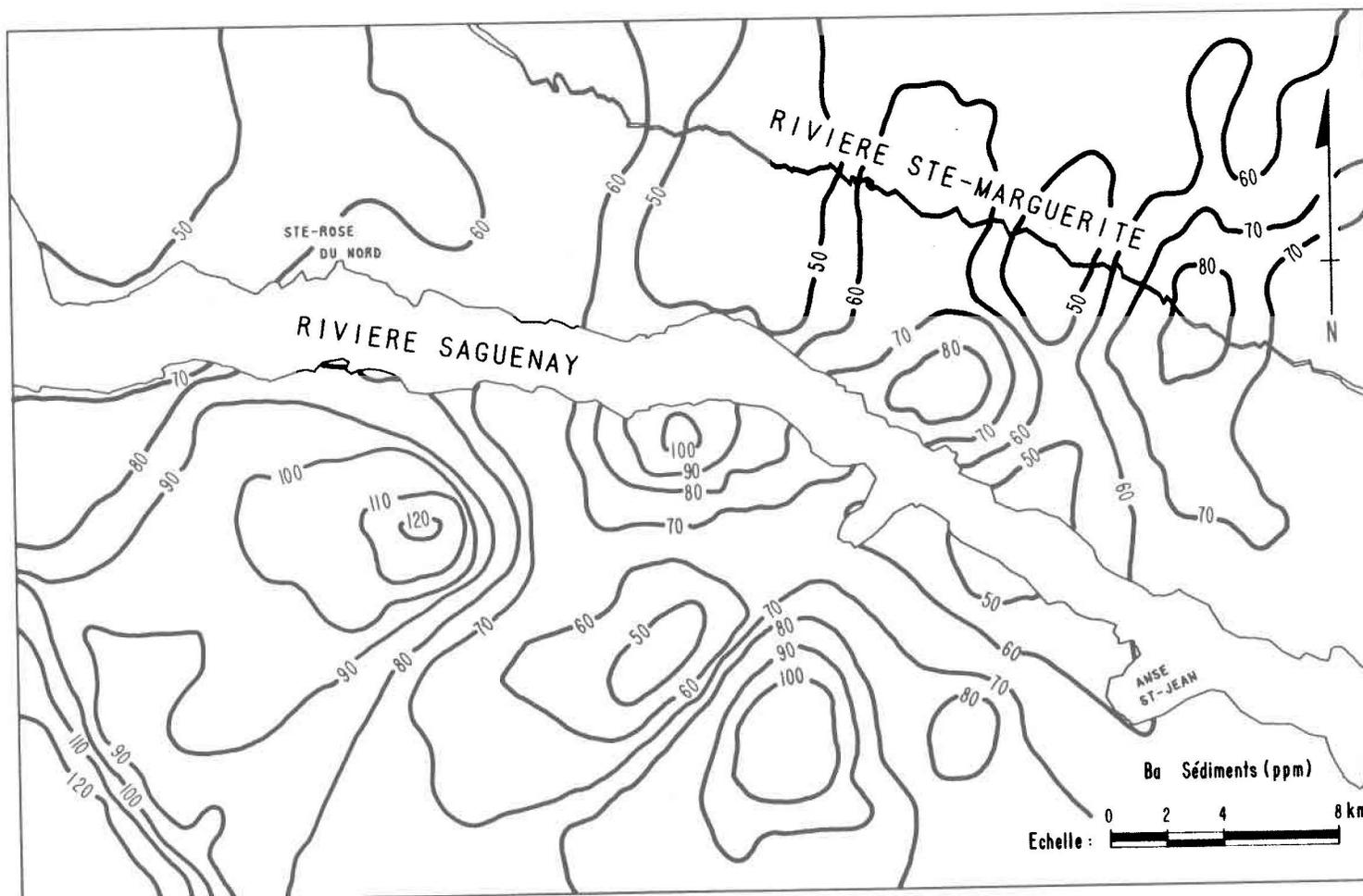
D-21 Distribution spatiale du mercure dans les sédiments lacustres.



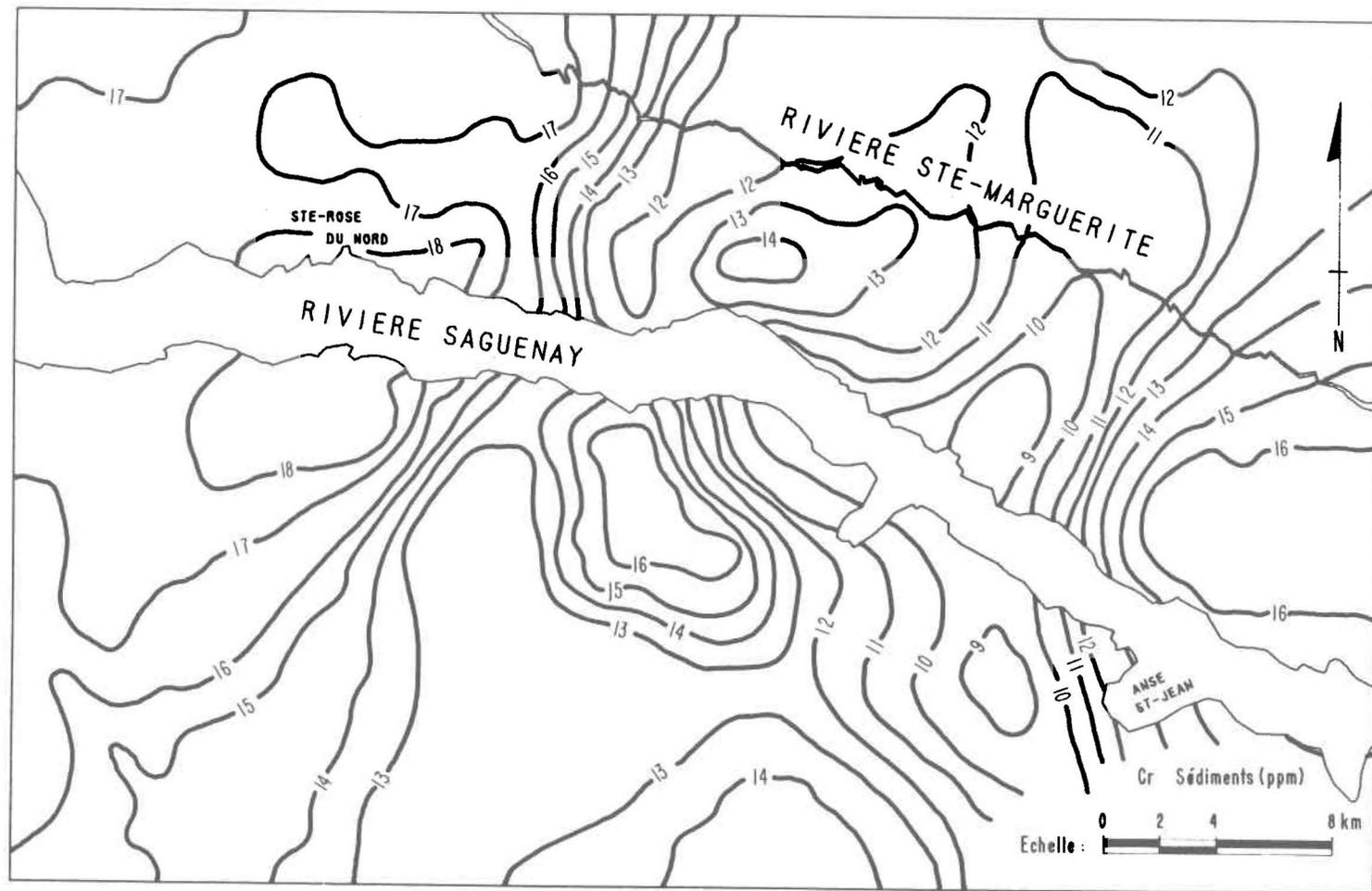
D-22 Distribution spatiale du fer dans les sédiments lacustres.



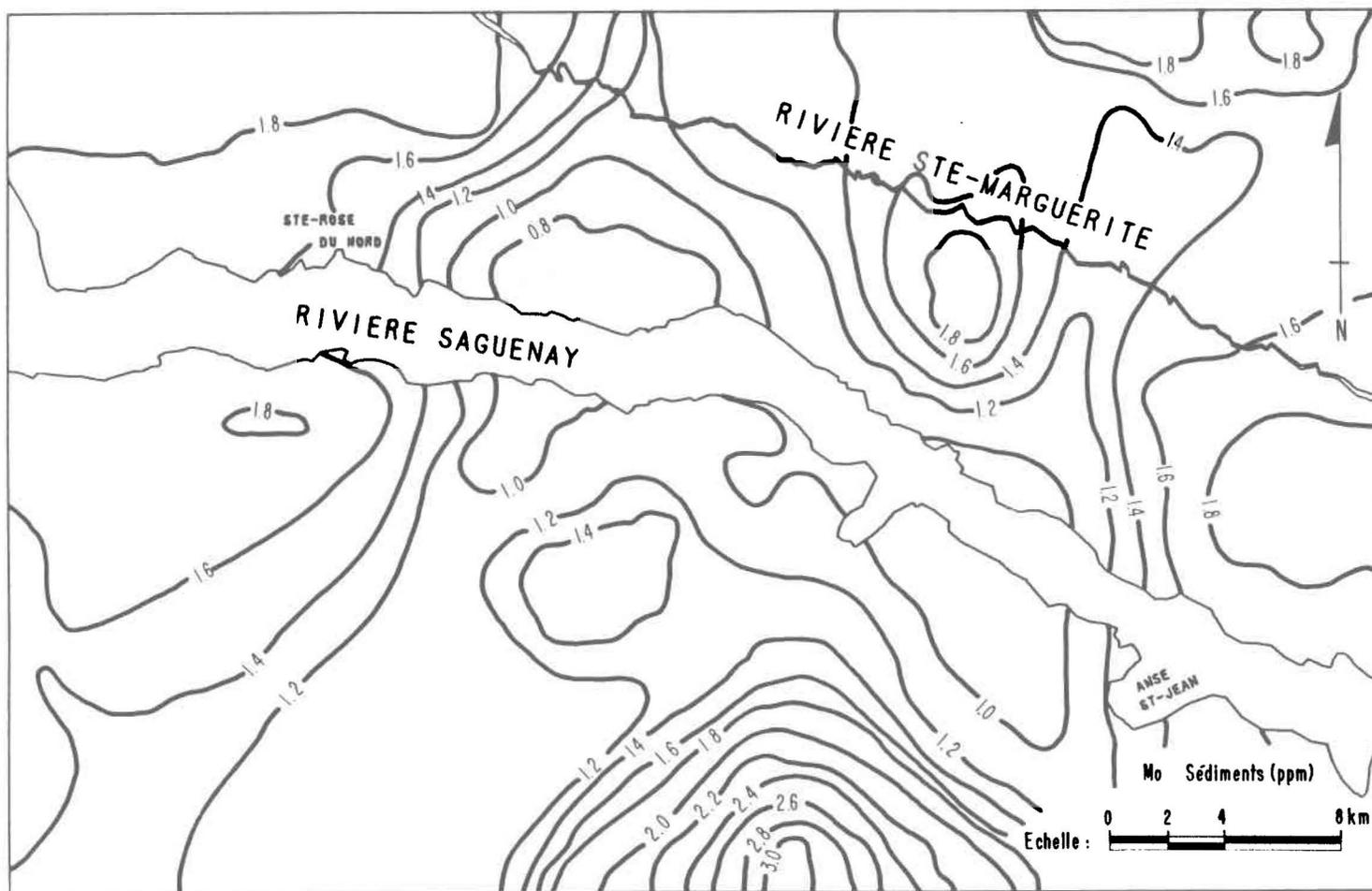
D-23 Distribution spatiale du lithium dans les sédiments lacustres.



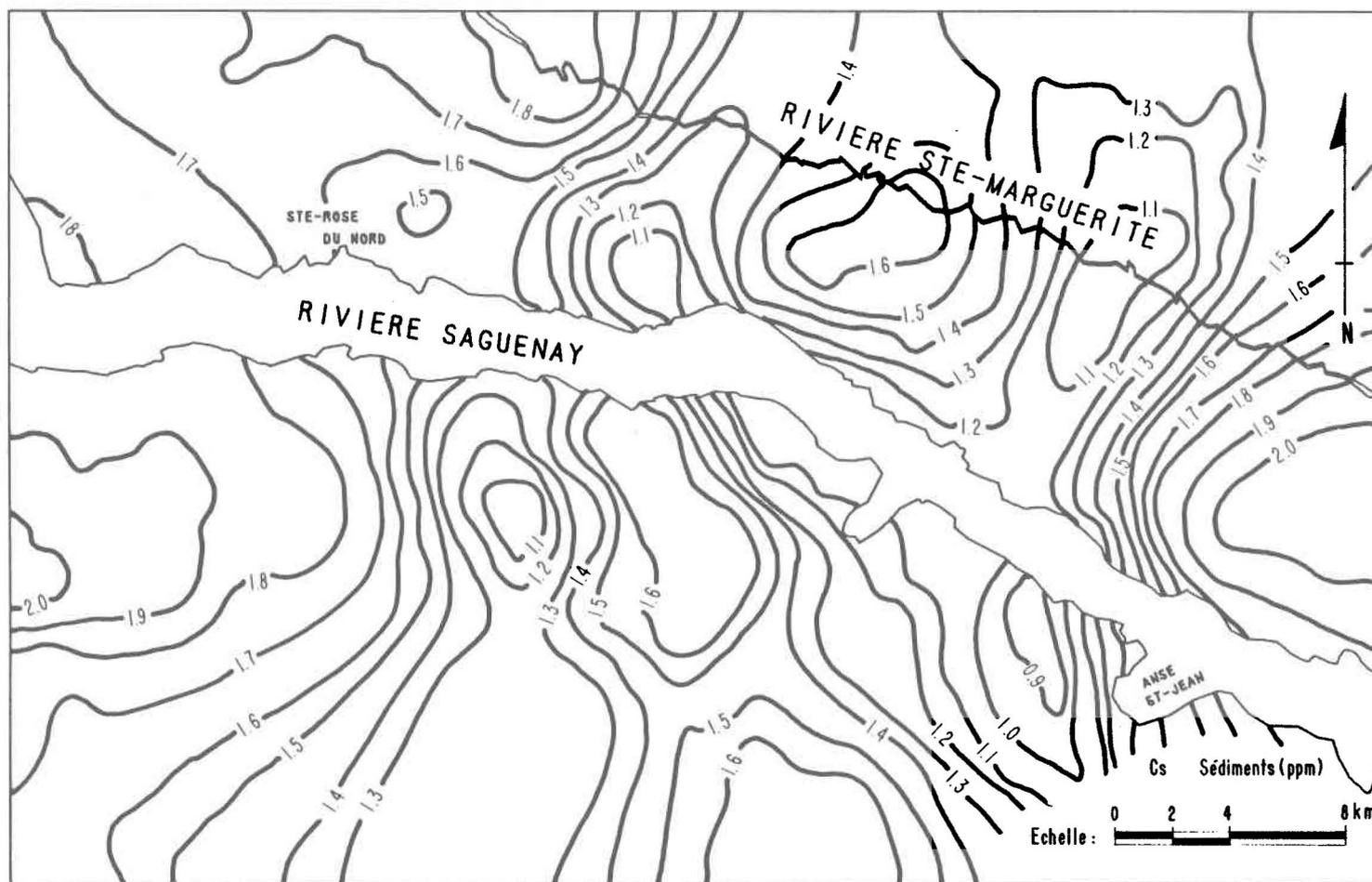
D-24 Distribution spatiale du baryum dans les sédiments lacustres.



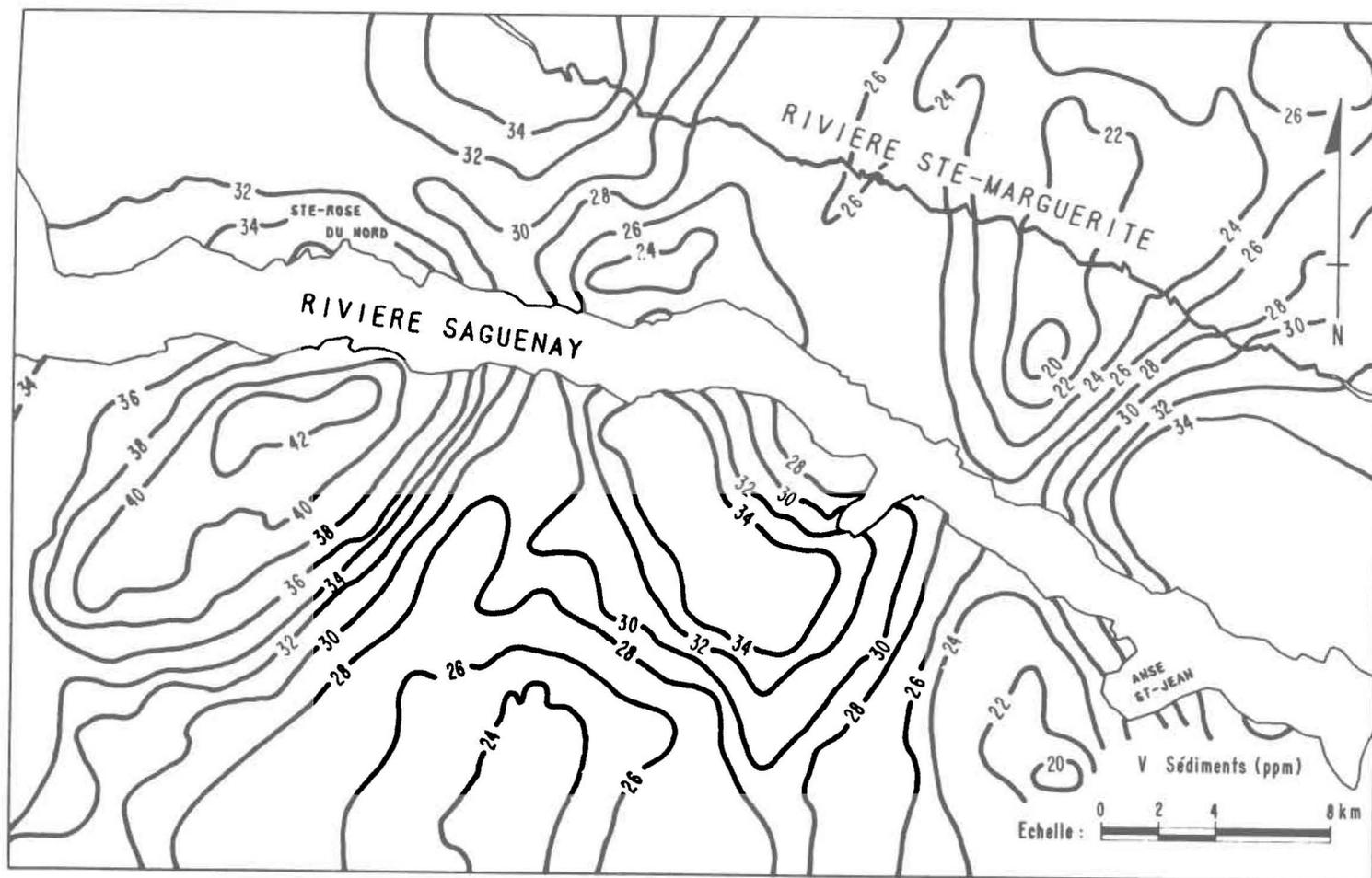
D-25 Distribution spatiale du chrome dans les sédiments lacustres.



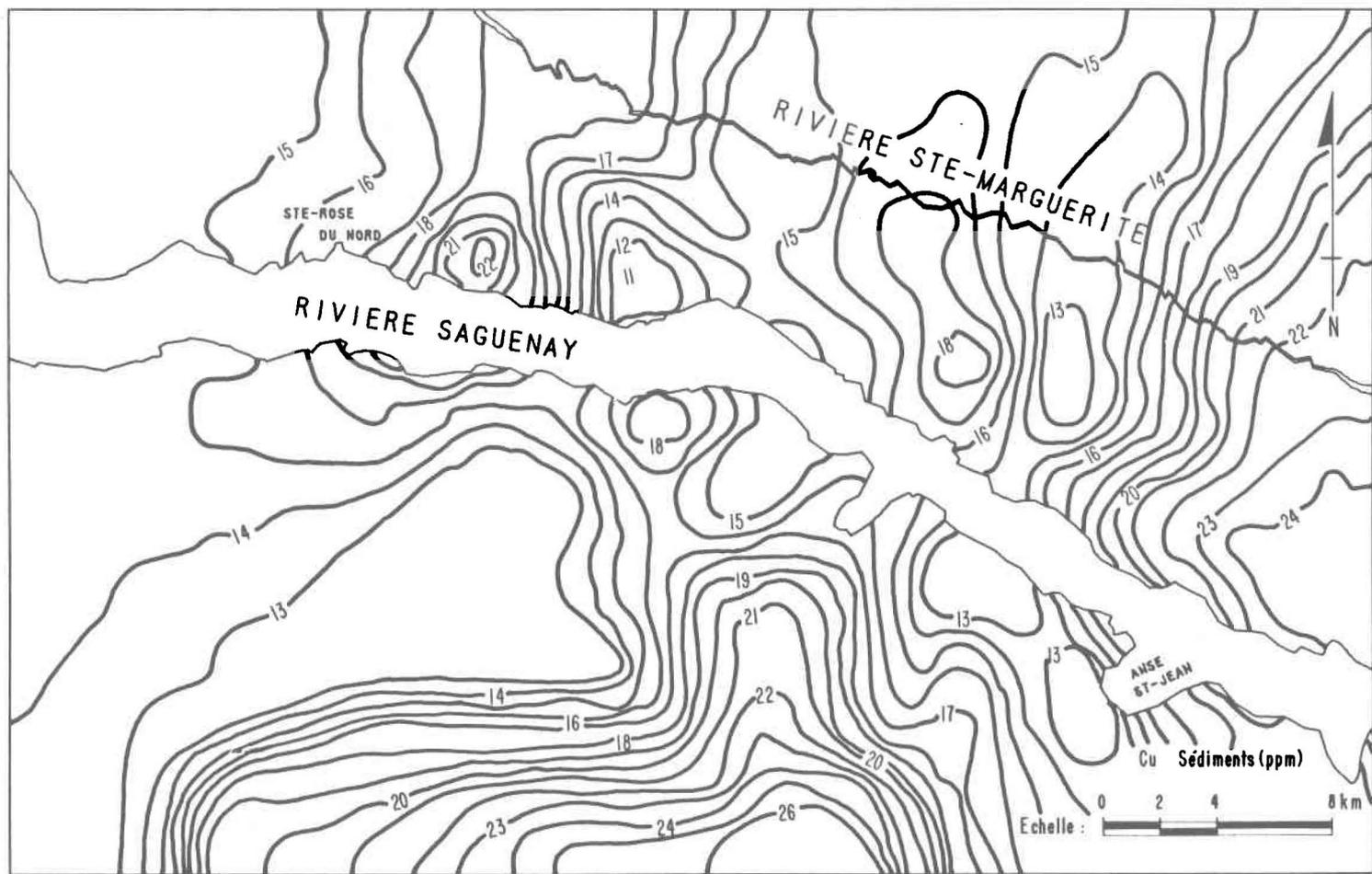
D-26 Distribution spatiale du molybdène dans les sédiments lacustres.



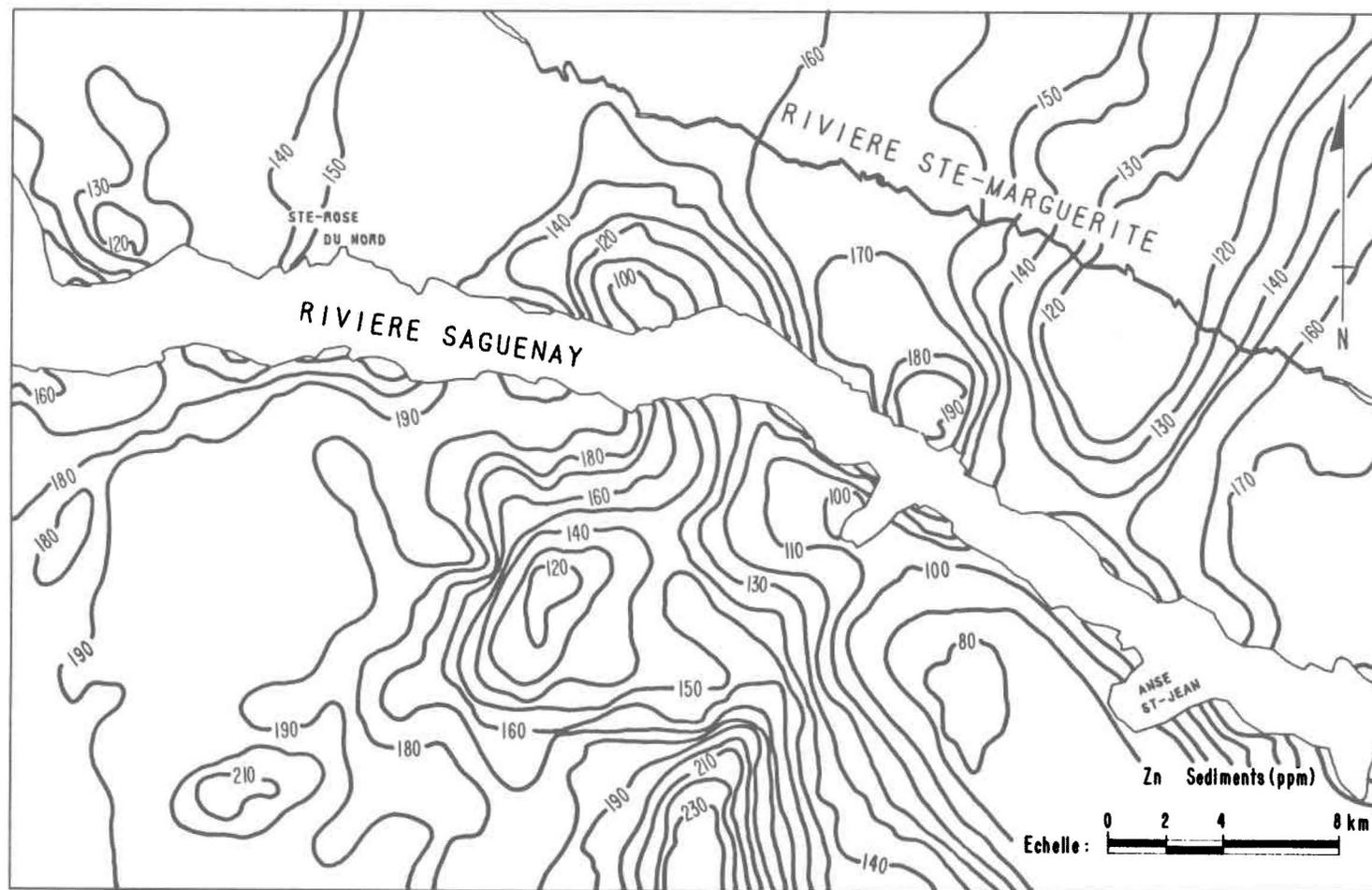
D-27 Distribution spatiale du caesium dans les sédiments lacustres.



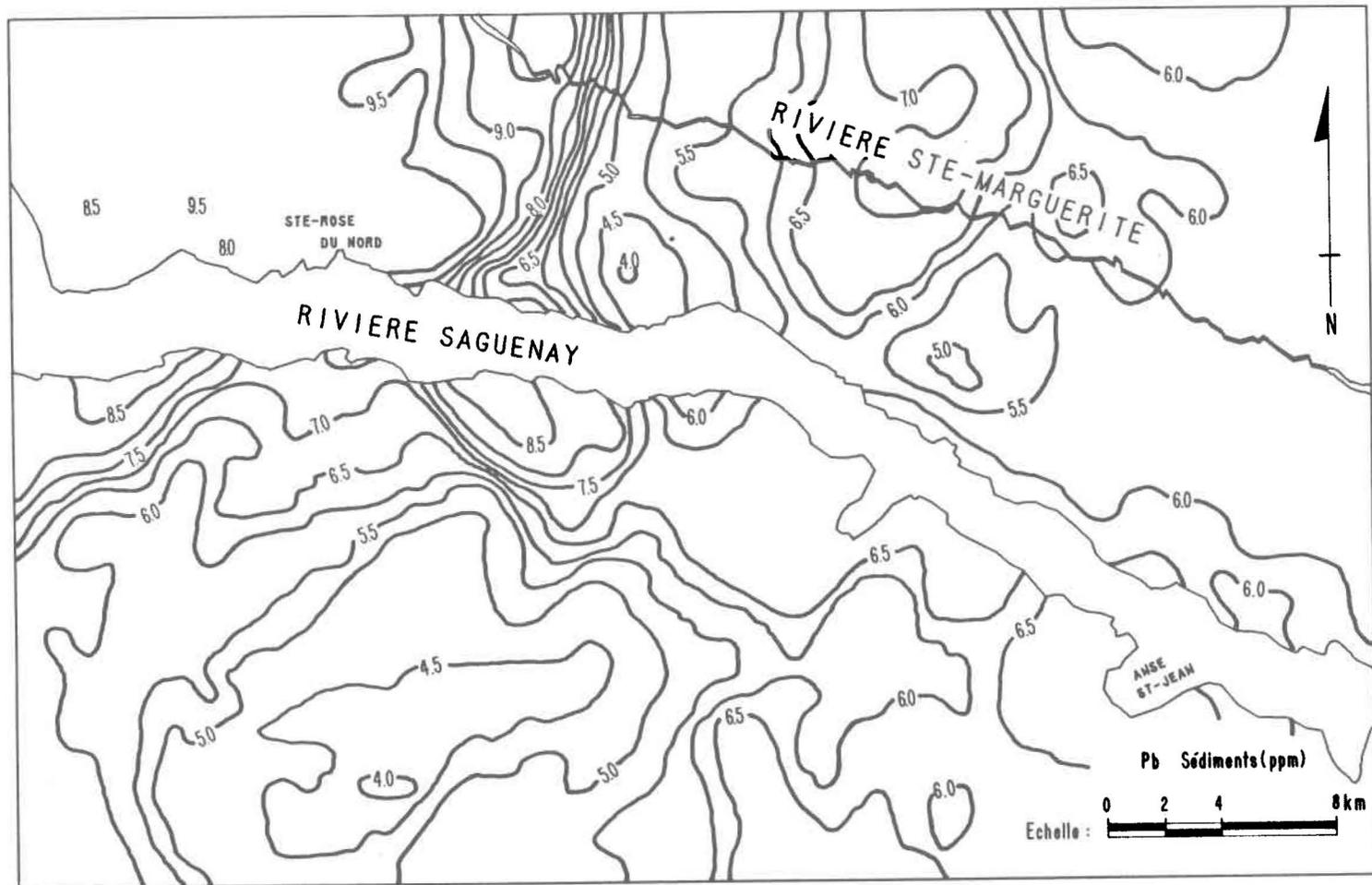
D-28 Distribution spatiale du vanadium dans les sédiments lacustres.



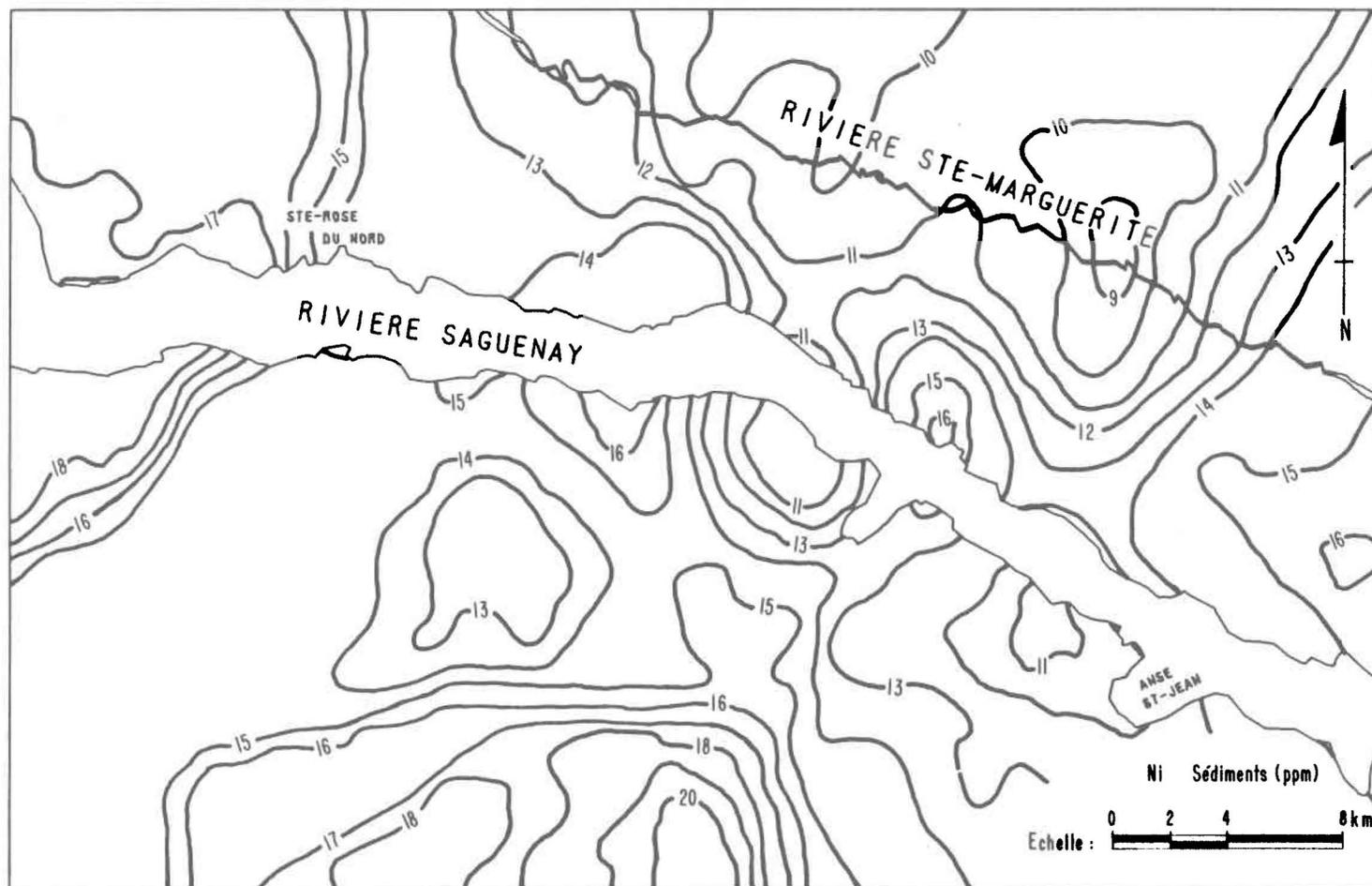
D-29 Distribution spatiale du cuivre dans les sédiments lacustres.



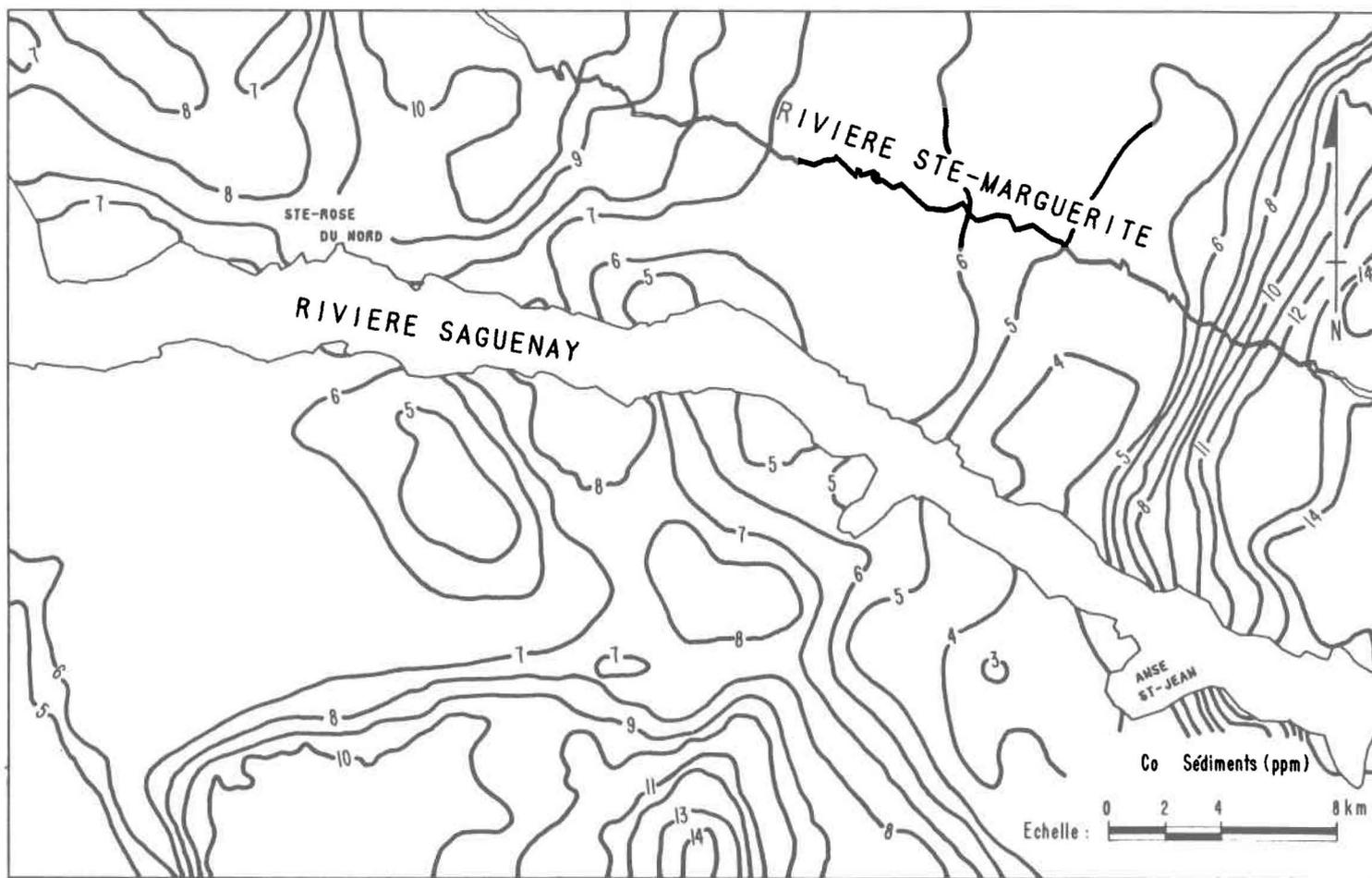
D-30 Distribution spatiale du zinc dans les sédiments lacustres.



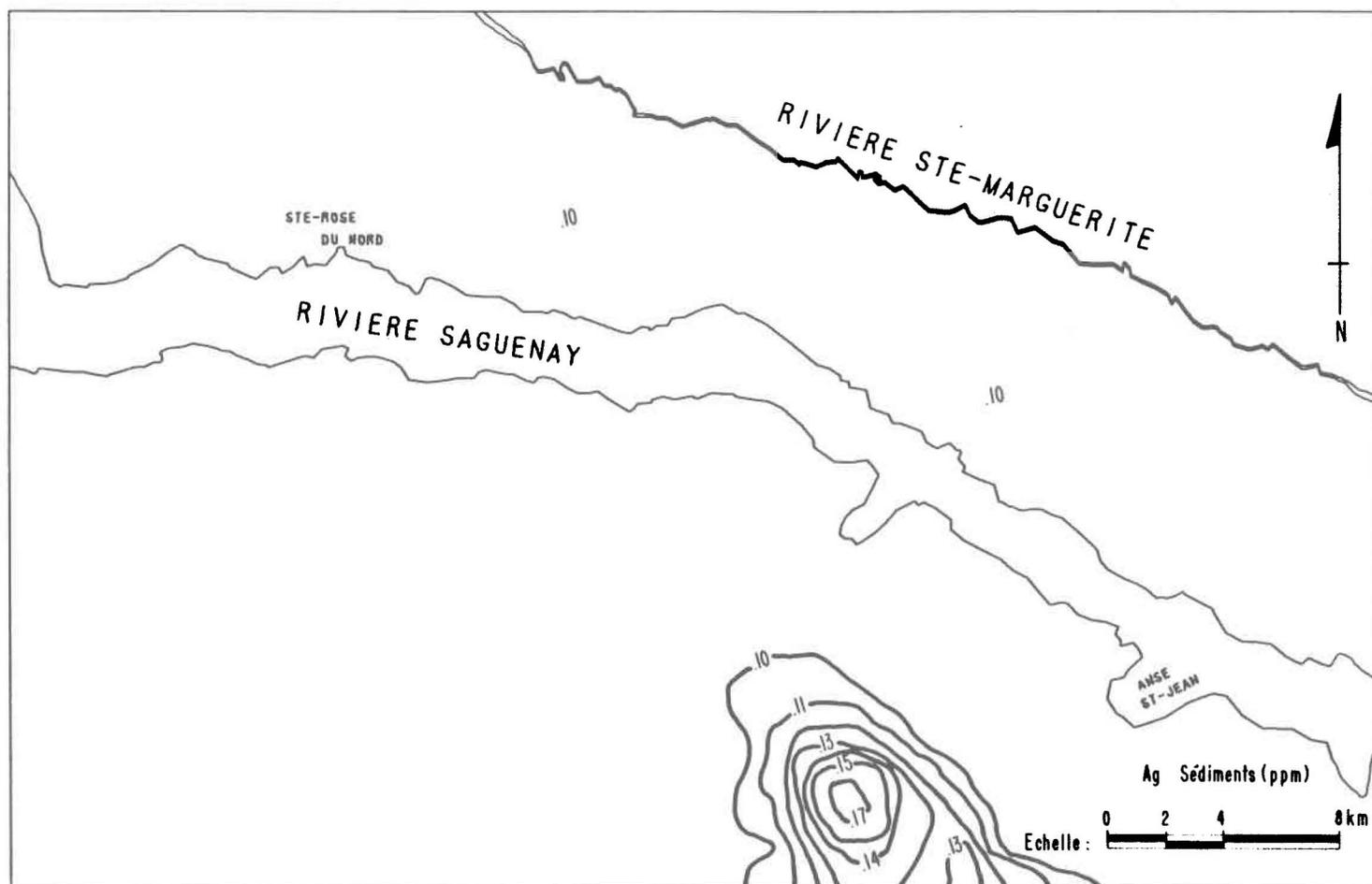
D-31 Distribution spatiale du plomb dans les sédiments lacustres.



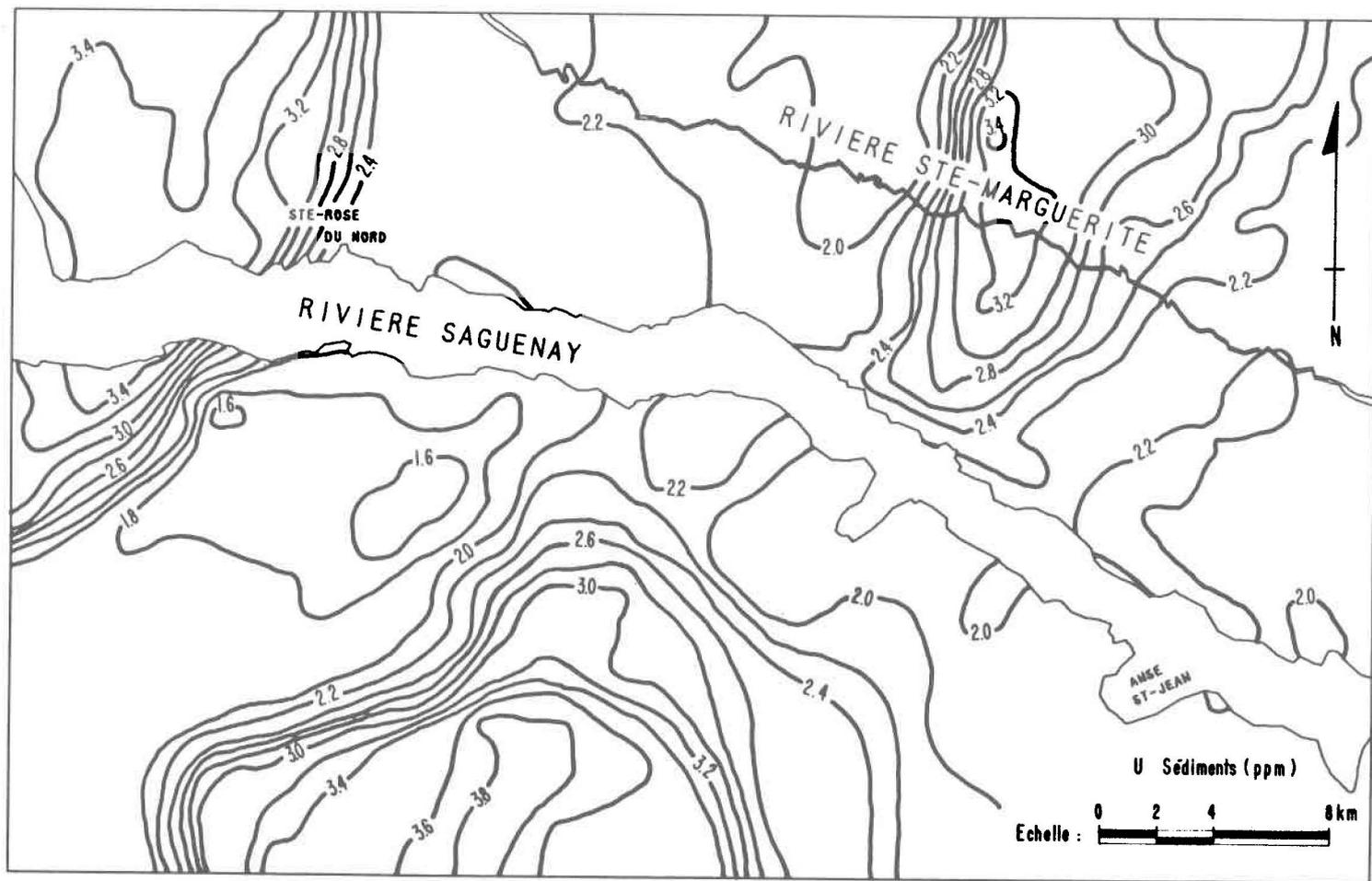
D-32 Distribution spatiale du nickel dans les sédiments lacustres.



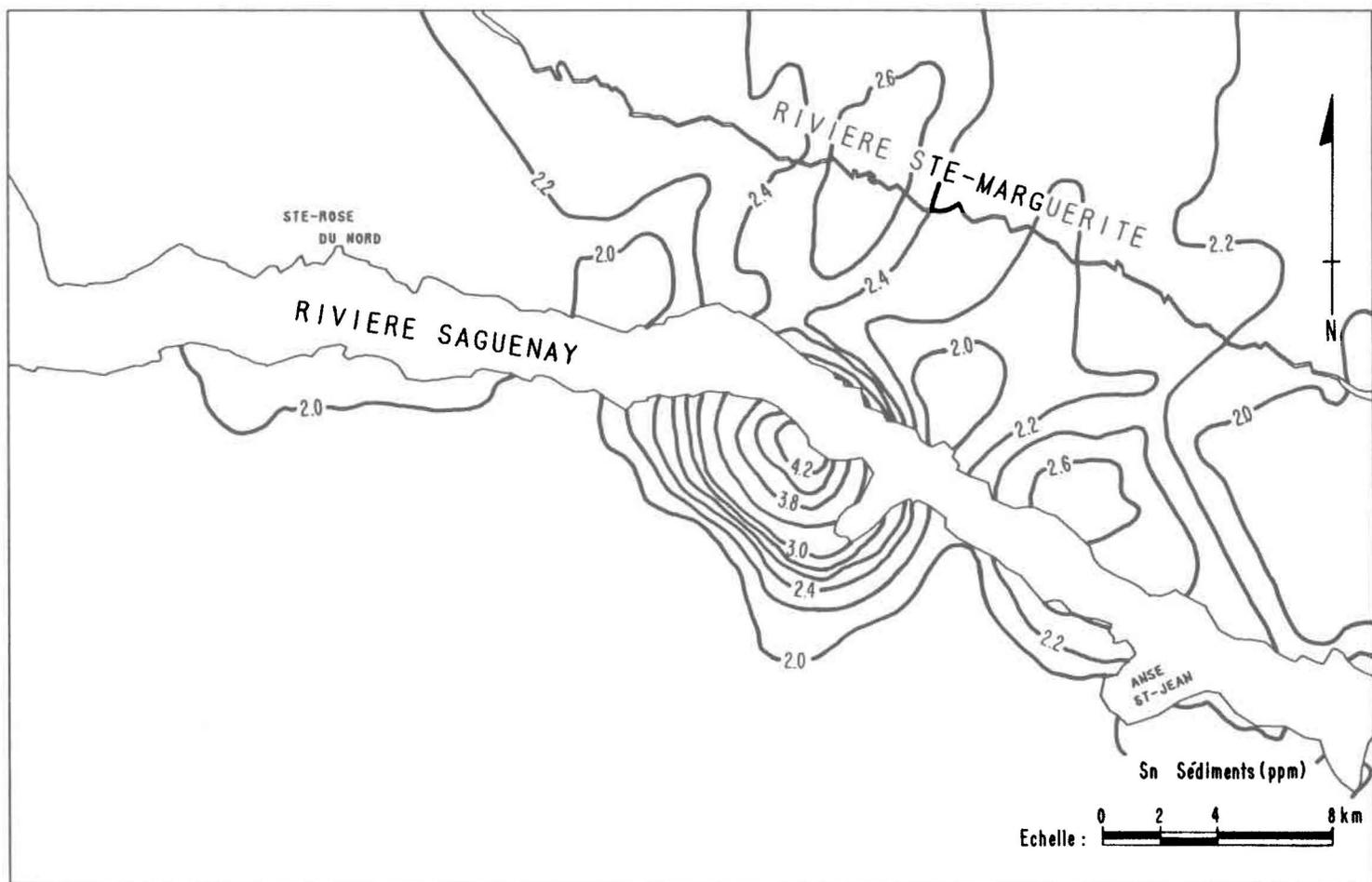
D-33 Distribution spatiale du cobalt dans les sédiments lacustres.



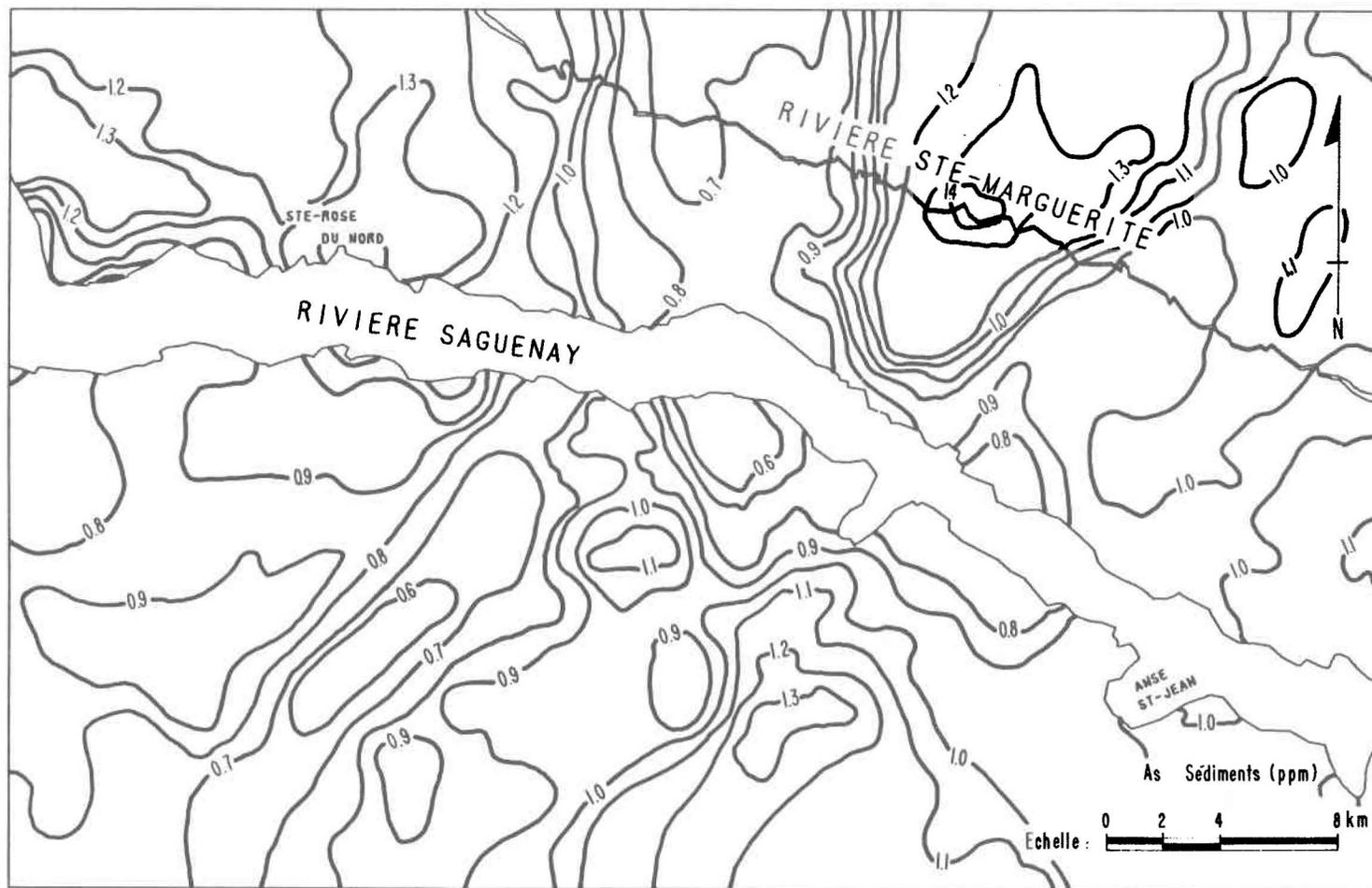
D-34 Distribution spatiale de l'argent dans les sédiments lacustres.



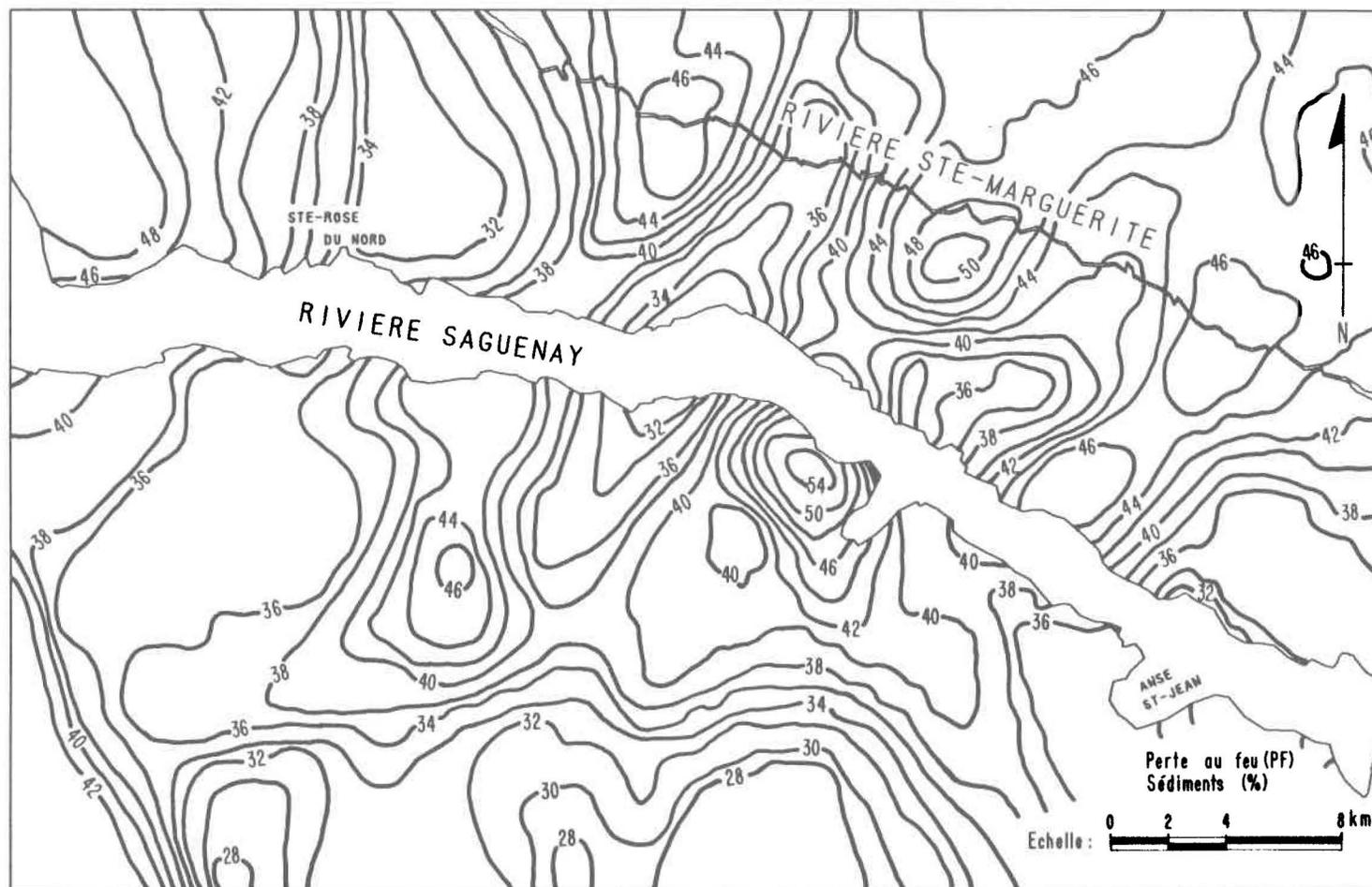
D-35 Distribution spatiale de l'uranium dans les sédiments lacustres.



D-36 Distribution spatiale de l'étain dans les sédiments lacustres.



D-37 Distribution spatiale de l'arsenic dans les sédiments lacustres.



D-38 Distribution spatiale de l'estimation de la matière organique par perte au feu dans les sédiments lacustres.