Rapport manuscrit canadien des
sciences halieutiques et aquatiques
No 1792

Janvier 1985

Qualité physico-chimique de 251 lacs du bouclier canadien (Québec)

C. Langlois[1], A. Lemay[2], J. Ouellleau[2] et Y. Vigneault[1]

Direction de la Recherche sur les Pêches
Ministère des Pêches et des Océans
901 Cap Diamant, C.P. 15500
QUEBEC, (Québec)
G1K 7Y7

[1] Ministère des Pêches et des Océans, C.P. 15 500, 901 Cap Diamant, Québec (QC) G1K 7Y7
[2] Le Groupe Dryade Ltée, 642, boul. St-Cyrille ouest, Québec (QC) G1S 1S8

Ministère des Approvisionnements et Services Canada 1983
No de catalogue FS 97-4/1792 F ISSN 0706-6589

On devra référer comme suit à cette publication:

Langlois, C., A. Lemay, J. Ouellileau et Y. Vigneault, 1985. Qualité physico-chimique de 251 lacs du bouclier canadien (Québec). Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1792: viii + 63 p.

TABLE DES MATIÈRES

Page

LISTE DES TABLEAUX iv
LISTE DES FIGURES v
LISTE DES ANNEXES vi
RÉSUMÉ/ABSTRACT vii
PRÉFACE viii
INTRODUCTION 1

MÉTHODOLOGIE 2

Le territoire d'étude 2
L'échantillonnage 2
Les méthodes et techniques 2
La validation des résultats 5

RÉSULTATS ET DISCUSSION 8

Morphométrie 9
Physico-chimie 15

Couleur et profondeur photique 15
Conductivité 20
Somme des cations 20
Chlorures 24
pH 26
Alcalinité 29
Sulfates 34
Rapport alcalinité/sulfates 34
Nitrates 37
Carbone 37
Aluminium 40
Manganèse 43
Fer 43
Métaux traces: cadmium, zinc, plomb, nickel et cuivre 43

CONCLUSION 48
REMERCIEMENTS 49
BIBLIOGRAPHIE 49
ANNEXES 52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1	Nombre de lacs échantillonnés par base opérationnelle selon leur ordre de drainage ...	4
2	Méthodes d'analyse physico-chimique et limites de détection	5
3	Écart ionique moyen par base opérationnelle, par région hydrographique et par ordre de drainage des lacs	10
4	Caractéristiques morphométriques des lacs échantillonnés par base opérationnelle (moyenne et intervalle de confiance à 95%)	11
5	Caractéristiques morphométriques des lacs échantillonnés par région hydrographique (moyenne et intervalle de confiance à 95%)	13
6	Caractéristiques morphométriques des lacs échantillonnés par ordre de drainage des lacs (moyenne et intervalle de confiance à 95%)	14
7	Composition physico-chimique de 251 lacs échantillonnés: moyenne et intervalle de confiance (à 95%) par base opérationnelle	16
8	Composition physico-chimique de 251 lacs échantillonnés: moyenne et intervalle de confiance (à 95%) par région hydrographique	18
9	Composition physico-chimique de 251 lacs échantillonnés: moyenne et intervalle de confianceà (à 95%) par ordre de drainage des lacs	19
10	Comparaison des pH mesurés sur le terrain et en laboratoire	28
11	Comparaison de l'alcalinité mesurée sur le terrain et en laboratoire	31

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	Répartition géographique des lacs échantillonnés en 1982	3
2	Histogramme de fréquence des lacs selon leur écart ionique	9
3	Histogramme de fréquence des lacs selon leur conductivité	21
4	Répartition géographique des lacs selon leur conductivité	22
5	Histogramme de fréquence des lacs selon leur somme de cations	23
6	Répartition géographique des lacs selon leur somme de cations	25
7	Histogramme de fréquence des lacs selon leur pH	27
8	Répartition géographique des lacs selon leur pH	30
9	Histogramme de fréquence des lacs selon leur alcalinité	32
10	Répartition géographique des lacs selon leur alcalinité	33
11	Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en sulfates	35
12	Répartition géographique des lacs selon leur concentration en sulfates	36
13	Histogramme de fréquence des lacs selon leur rapport alcalinité/sulfates	38
14	Répartition géogrphique des lacs selon leur rapport alcalinité/sulfates	39
15	Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en aluminium	41
16	Répartition géographique des lacs selon leur concentration en aluminium	42
17	Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en manganèse	44
18	Répartition géographique des lacs selon leur concentration en manganèse	45
19	Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en fer	46
20	Répartition géographique des lacs selon leur concentration en fer	47

LISTE DES ANNEXES

Annexe		Page
1	Liste et localisation des lacs échantillonnés en 1982	52
2	Coefficients de corrélation calculés à partir des différentes formes d'aluminium pour 50 lacs échantillonnés en 1982	61
3	Moyenne et intervalle de confiance (à 95%) des résultats d'analyse des métaux traces, par base opérationnelle, par région hydrographique et par ordre de drainage des lacs	62

RÉSUMÉ

Langlois, C., A. Lemay, J. Ouzilleau et Y. Vigneault. 1985. Qualité physico-chimique de 251 lacs du bouclier canadien (Québec). Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1792: viii + 63 p.

Durant l'été 1982, le ministère des Pêches et des Océans, région du Québec, a réalisé une campagne d'échantillonnage physico-chimique des lacs du bouclier canadien. L'objectif était d'étudier les effets des précipitations acides sur l'habitat du poisson dans des lacs de différentes catégories: lacs de tête, de 2e et 3e niveau hydrographique et lacs drainant des tourbières. Les résultats obtenus confirment et complètent ceux de la première campagne d'échantillonnage en 1981. La qualité physico-chimique des lacs du bouclier semble significativement modifiée par les précipitations acides, surtout à l'ouest du Québec: Outaouais, la Mauricie et Abitibi-Baie James. Dans ces trois régions du Québec, les lacs affichent toutefois des sensibilités très différentes aux dépôts acides, vraisemblablement à cause de la nature du sol et du sous-sol. Les concentrations en sulfates dans les lacs suivent un gradient décroissant du sud-ouest vers le nord-est, ce qui confirme les résultats d'autres études et qui corrobore l'hypothèse sur l'origine atmosphérique des fortes teneurs en SO_4^{-2} dans les lacs de l'ouest du territoire. La spéciation de l'aluminium effectuée sur 50 lacs de notre échantillonnage a montré une forte corrélation entre l'aluminium total et ses différentes formes. Le lessivage des métaux dans les lacs acides, tel que l'ont rapporté plusieurs auteurs à l'extérieur du Québec, n'est toutefois pas du tout évident dans notre territoire d'étude. Enfin, à cause du trop petit nombre de lacs sélectionnés dans les catégories 2e et 3e niveau hydrographique et lacs de tourbières, il est impossible de discerner des différences significatives dans la composition physico-chimique des lacs de tête et des autres catégories de lacs.

ABSTRACT

Langlois, C., A. Lemay, J. Ouzilleau et Y. Vigneault. 1985. Qualité physico-chimique de 251 lacs du bouclier canadien (Québec). Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 1792: viii + 63 p.

Department of Fisheries and Oceans (Québec Region) has conducted during summer 1982 a survey of water quality in lakes of the canadian shield. The main objective was to study effects of acid precipitation on fish habitat in different categories of lakes: headwater lakes, 2nd and 3rd hydrographic order lakes and bog lakes. Results confirm and complete those obtained during a similar campaign in headwater lakes during summer 1981. Water quality of canadian shield lakes seems to be significantly modified by acid precipitation, particularly in the west part of Québec: Outaouais, la Mauricie and Abitibi-James Bay. However, within these three regions, lakes sensitivity to acid deposits is quite variable, probably because of the soil and bed-rock nature. Based on sulphates contents in the lakes, there is a strong evidence that high SO_4^{-2} concentrations in Québec western lakes are related to long range transport of air pollutants. Aluminum speciation, conducted for 50 lakes, showed a strong correlation between total aluminum and its different forms. Leaching of metals in acid lakes, which has been reported by authors outside of Québec, is not apparent in our study area. Finally, probably because the number of lakes in other categories is too small, water quality in headwater lakes did not show significant differences from that of lower hydrographic level or bog lakes.

PRÉFACE

Ce document fait partie d'une série de rapports techniques et manuscrits qui sont publiés par la Direction de la Recherche sur les Pêches, Région du Québec, dans le cadre de l'inventaire national des lacs réalisé dans l'est du Canada pour étudier les effets des précipitations acides sur le milieu aquatique. Le présent rapport traite des résultats obtenus lors de la deuxième campagne d'échantillonnage physico-chimique exécutée durant l'été 1982 par Le groupe Dryade Ltée. Les résultats de la première campagne ont déjà été présentés dans le Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. No 1233.

INTRODUCTION

Au Québec, la recherche sur les effets des précipitations acides sur les milieux aquatiques a démarré tout récemment. Legendre et coll. (1980) ont interprété des données physico-chimiques amassées sur 363 lacs entre 1971 et 1977. Grimard (1981) a examiné le pH et la conductivité de 1333 lacs échantillonnés entre 1976 et 1980. Jones et coll. (1980) ont comparé des données physico-chimiques temporelles sur 40 lacs du parc des Laurentides. Environnement Canada (1980) a examiné le taux d'acidification de 194 lacs échantillonnés entre 1976 et 1978. Enfin, des données provenant de plus de 400 lacs ont été interprétées par Bobée et coll. (1982 et 1983) eu égard à la sensibilité à l'acidification et Environnement Canada (1982) a étudié 22 lacs du parc national de la Mauricie.

Dans le contexte de la recherche sur les précipitations acides, le ministère des Pêches et des Océans s'est vu confier le mandat d'étudier les répercussions du Transport à Grande Distance des Polluants Aéroportés (TGDPA) sur les pêcheries canadiennes. Un programme national d'inventaire a été mis sur pied pour étudier les régions de l'Est du Canada les plus vulnérables et les plus affectées par les retombées acides. Les objectifs spécifiques de ce programme d'inventaire sont les suivants:

1° acquérir des données de base adéquates concernant la physico-chimie et la biologie des lacs du bouclier canadien;

2° évaluer le niveau d'acidification des lacs dans les régions les plus sensibles et vulnérables;

3° évaluer le niveau d'affectation des communautés aquatiques, plus particulièrement les poissons, face à l'acidification du milieu.

Dans le cadre de ce programme national d'inventaire, une première campagne d'échantillonnage a été effectuée durant l'été 1981. Les résultats obtenus ont démontré que l'influence des précipitations acides sur la qualité de l'eau est très significative dans les régions hydrographiques de l'Outaouais, de l'Abitibi/Baie James et de la Mauricie (Langlois et coll. 1983). Parmi les communautés biologiques des lacs échantillonnés dans le cadre de cette étude, c'est le plancton qui a semblé le plus affecté par le niveau d'acidité des lacs.

Une deuxième campagne d'échantillonnage a eu lieu durant l'été 1982 pour compléter et raffiner les informations recueillies en 1981. En particulier, cette seconde campagne visait à augmenter la représentativité du territoire à l'étude, d'une part par l'échantillonnage de plusieurs catégories de lacs et, d'autre part par la sélection de lacs dans des régions non couvertes en 1981. L'inventaire de 1982 visait également à acquérir un maximum de données biologiques à partir d'un sous-échantillon de lacs parmi ceux sélectionnés pour la physico-chimie.

Le présent rapport traite uniquement des résultats obtenus lors de la 2e campagne d'échantillonnage physico-chimique des lacs durant l'été 1982. Les résultats sont présentés et discutés sommairement eu égard aux effets des précipitations acides sur la qualité de l'eau des lacs du Québec. Les données physico-chimiques et biologiques de cet inventaire sont par ailleurs traitées dans le contexte de tout l'est du Canada dans un rapport à paraître (Kelso et coll., sous presse).

MÉTHODOLOGIE

LE TERRITOIRE D'ÉTUDE

Le territoire d'étude est délimité au sud par la rive nord du Saint-Laurent et au nord par le 52° degré de latitude nord; il couvre tout le Québec d'est en ouest, soit de la frontière du Labrador jusqu'à la Baie James (figure 1). Toute la région à l'étude est comprise sur le bouclier canadien et elle couvre cinq régions hydrographiques: Outaouais (04), la Mauricie (05), Saguenay/Lac St-Jean (06), Côte-Nord (07) et Abitibi/Baie James (08). Cette aire d'étude correspond au territoire québécois le plus sensible à l'acidification du milieu, le plus affecté par les retombées atmosphériques acides et celui où les précipitations sont les plus abondantes (Langlois et coll. 1983).

L'ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été effectué entre le 11 août et le 18 septembre 1982. Au total, 251 lacs répartis autour de seize (16) bases opérationnelles ont été échantillonnés. La liste de ces lacs de même que leur localisation géographique sont données en annexe 1.

Pour répondre aux objectifs de l'étude, les lacs échantillonnés devaient répondre aux critères suivants:

- longueur minimum de 1 km et profondeur minimum de 4 m (sauf pour les lacs de tourbières);
- lacs sauvages, exempts de toute trace d'activité humaine locale;
- lacs appartenant à l'une ou l'autre des catérogies suivantes:

1° lacs de tête de bassin hydrographique;

2° lacs de deuxième ordre, c'est-à-dire drainant des eaux provenant, entre autres, d'un lac de tête de bassin;

3° lacs de troisième ordre, c'est-à-dire drainant des eaux provenant, entre autres, d'un lac de deuxième ordre;

4° lacs de tête de bassin drainant des tourbières.

Parmi les lacs échantillonnés en 1982, 102 (40%) l'ont été aussi en 1981, 172 (68%) sont des lacs de tête de bassin et 24 (9,5%) sont des lacs drainant des tourbières (tableau 1). Tous les lacs ont été échantillonnés pour la physico-chimie alors qu'un inventaire biologique a été réalisé sur un sous-échantillon de 54 lacs répartis sur tout le territoire. Les résultats de cet inventaire biologique ne sont cependant pas traités dans ce rapport.

LES MÉTHODES ET TECHNIQUES

La plupart des lacs étaient accessibles par hydravion mais 36 d'entre eux ont été échantillonnés par hélicoptère. Après survol du lac et amerrissage au centre, le prélèvement des échantillons d'eau était effectué à l'aide d'un tube flexible à partir de la colonne d'eau de 0 à 5 m de profondeur. Les échantillons étaient récoltés dans des bouteilles en polyéthylène de 1 l pour les anions et de 500 ml pour les métaux. Le pH, la couleur, la transparence, la profondeur totale au centre du lac, la température, l'oxygène dissous et la conductivité ont été mesurés sur le terrain ou dans un délai maximum de 6 heures. L'alcalinité a été mesurée à la fois sur le terrain et en laboratoire dans un délai maximum de 24 heures. Les nitrates, le

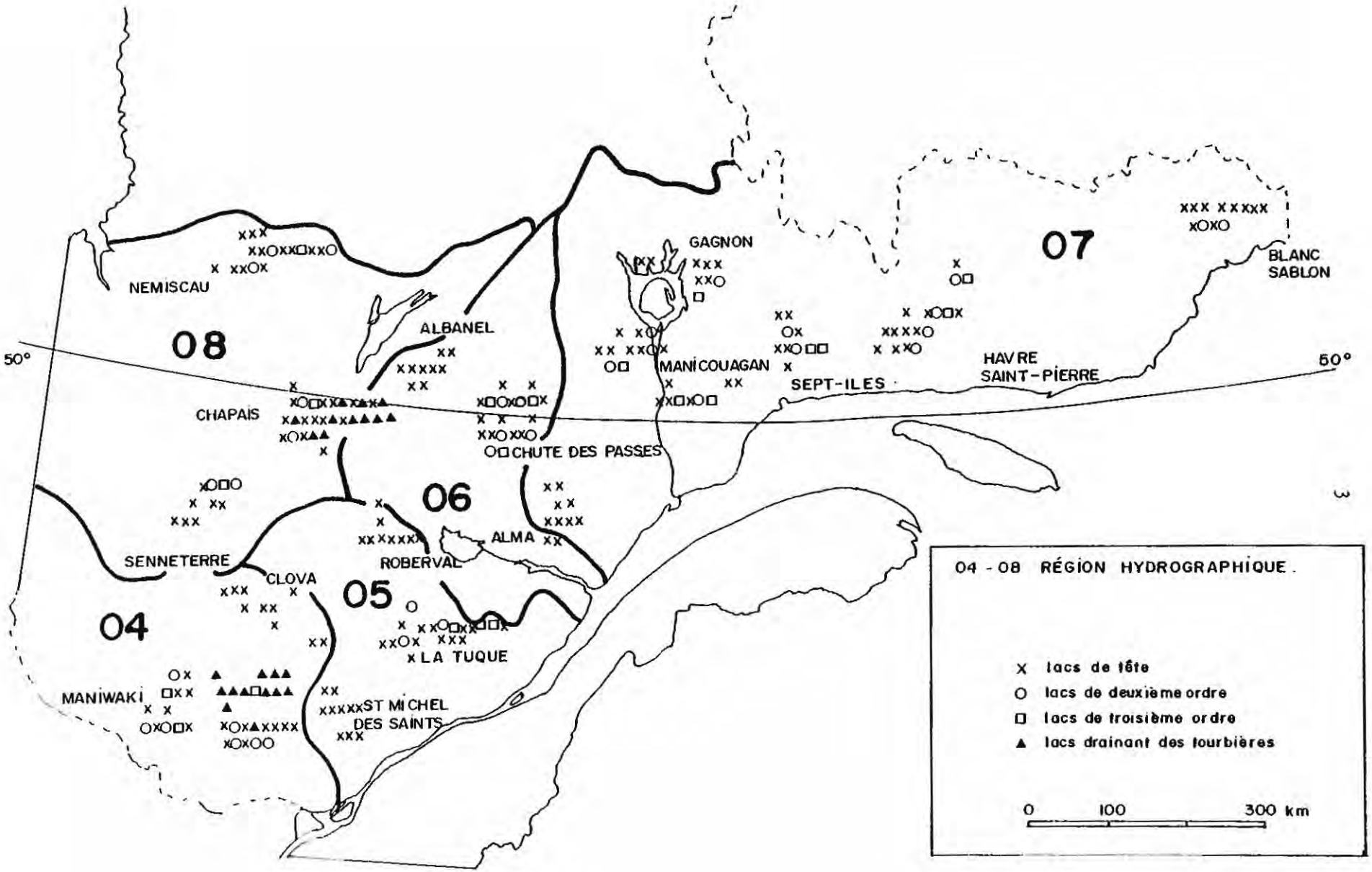

Figure 1: Répartition géographique des lacs échantillonnés en 1982.

Tableau 1: Nombre de lacs échantillonnés par base opérationnelle selon leur ordre de drainage.

Bases opérationnelles (Numéro)	Lacs de tête	Lacs de 2° ordre	Lacs de 3° ordre	Lacs drainant des tourbières	Total
Blanc Sablon (1)	10	2	-	-	12
Havre Saint-Pierre (3)	11	4	2	-	17
Sept-Iles (4)	8	2	2	-	12
Manicouagan (6)	11	5	2	-	18
Gagnon (7)	7	1	1	-	9
Chute-des-Passes (8)	12	5	3	-	20
Alma (9)	10	-	-	-	10
Roberval (10)	10	-	-	-	10
La Tuque (11)	13	4	2	-	19
Maniwaki (13)	16	7	2	12	37
Clova (14)	10	-	-	-	10
Senneterre (15)	7	2	1	-	10
Chapais (16)	14	3	1	12	30
Némiscau (17)	13	3	1	-	17
St-Michel-des-Saints (18)	10	-	-	-	10
Lac Albanel (19)	10	-	-	-	10
TOTAL	172	38	17	24	251

carbone organique et inorganique (total et dissous) ont été mesurés en laboratoire dans un délai de 24 heures. Les chlorures et les sulfates ont été mesurés en laboratoire dans un délai de 7 jours. Les cations majeurs (calcium, magnésium, sodium et potassium) et certains métaux (aluminium, manganèse, fer, nickel, cuivre, zinc, cadmium et plomb) ont été analysés en laboratoire dans un délai de 2 mois, après addition sur le terrain de 1.25 ml d'acide nitrique ULTREX à titre de préservatif. Les bouteilles utilisées pour les métaux ont été préalablement lavées en laboratoire selon un protocole de lavage et rinçage successifs à l'acide chlorhydrique (15%) et à l'acide nitrique (15%). Les méthodes d'analyse physico-chimique utilisées sont énumérées au tableau 2.

Outre les mesures physico-chimiques, chacun des lacs échantillonnés a fait l'objet d'observations et de mesures morphométriques. Sur le terrain, des observations étaient enregistrées à chaque lac sur l'altitude, l'intensité des vents, le type de végétation des rives, l'ensoleillement et la pente des rives. A partir de cartes topographiques à l'échelle de 1:50000, les caractéristiques suivantes ont été déterminées pour chaque lac: latitude, longitude, orientation, longueur maximale et largeur maximale. La superficie du lac et la superficie du bassin versant ont été déterminées selon la méthode de planimétrie par points cotés. Enfin, le volume approximatif de chaque lac a été estimé en posant comme hypothèse que la forme de cône tronqué était représentative de l'ensemble des plans d'eau. La formule utilisée pour le calcul du volume est la suivante (Wetzel, 1975):

$$V = \frac{h}{3}(A_1 + A_2 + A_1 A_2)$$

où V = volume estimé du lac
h = profondeur au centre
A_1 = superficie du lac (à la surface)
A_2 = superficie du fond du lac estimée à $\frac{1}{2}A_1$ (cône tronqué)

LA VALIDATION DES RÉSULTATS

La manipulation d'un grand nombre d'échantillons peut engendrer des erreurs, qui sont notamment susceptibles d'apparaître à l'étape de l'échantillonnage ou de l'analyse. L'établissement du bilan ionique, qui correspond à l'écart entre la somme des cations et la somme des anions, constitue la méthode généralement utilisée pour valider ces résultats d'analyses. Théoriquement, la somme des cations exprimée en micro-équivalent par litre devrait être égale à la somme des anions. Elle en diffère cependant en pratique, selon les erreurs inévitables associées aux manipulations et au niveau de précision des analyses. Le calcul du bilan ionique permet de vérifier la validité des résultats obtenus pour les ions majeurs, soit les cations H^+, Na^+, K^+, Ca^{++} et Mg^{++} et les anions Cl^-, SO_4^{--}, HCO_3^- et NO_3^-. Pour le calcul du bilan ionique, nous avons considéré que $[HCO_3^-] \cong$ [alcalinité totale]; nous présumons ainsi que la concentration en carbonates $[CO_3^{-2}]$ est négligeable, ce qui est généralement le cas lorsque le pH est inférieur à 8,5 (Legendre et coll., 1980). Les valeurs du pH mesuré sur le terrain sont exprimées en concentration d'ions hydrogène. Lorsque la valeur d'un ion se trouvait en-deçà de la limite de détection, elle fut indiquée comme la moitié de la limite de détection. Le calcul s'est effectué selon les étapes suivantes:

$$\sum \text{cations} = [H^+] + [Ca^{++}] + [Mg^{++}] + [Na^+] + [K^+] \ (\mu eq/l)$$

$$\sum \text{anions} = [Cl^-] + [SO_4^{--}] + [NO_3^-] + [\text{Alcal. tot.}] \ (\mu eq/l)$$

$$\text{Écart ionique } (\%) = \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{(\sum \text{cations} + \sum \text{anions})/2} \times 100$$

Tableau 2: Méthodes d'analyse physico-chimique et limites de détection.

Paramètre	Limite de détection	Méthode
Profondeur au centre	0,1 m	Sonde Furuno (FE 400)
pH	0,1	pH mètre Métrohm
Conductivité	5 µS/cm	Sonde Hydrolab (No 4041)
Transparence	0,1 m	Disque de Secchi
Température	1°C	Sonde Hydrolab (No 4041)
O_2 dissous	0,1 PPM	Sonde Hydrolab (No 4041)
Couleur vraie	5 U.H.	Spectrophotomètre[1]
Alcalinité ($CaCO_3$)	0,06 PPM (1,0 µéq/l)	Titration potentiométrique de Gran[2]
Chlorure	0,1 PPM (2,8 µéq/l)	Colorimétrie[1] (Thiocyanate de mercure)
Nitrates (N)	0,01 PPM (0,08 µéq/l)	Colorimétrie[1] (Réduction au cadmium)
Sulfates	0,1 PPM (2,1 µéq/l)	Colorimétrie[1] (Méthylthymol bleu)
Carbone organique et inorganique total et dissous	1 PPM	Carbon analyser IR
Calcium	0,01 PPM (0,5 µéq/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)
Magnésium	0,01 PPM (0,82 µéq/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)
Potassium	0,01 PPM (0,26 µéq/l)	Photométrie à flamme[2]

Tableau 2: (suite)

Paramètre	Limite de détection	Méthode
Sodium	0,01 PPM (0,43 µéq/l)	Photométrie à flamme[2]
Aluminium	10 PPB (10 µg/l)	Spectrophotométrie[3] (Absorption atomique avec fournaise au graphite)
Manganèse	1 PPB (1 µg/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)
Fer	1 PPB (1 µg/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)
Nickel	1 PPB (1 µg/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)
Cuivre	1 PPB (1 µg/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)
Zinc	1 PPB (1 µg/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)
Cadmium	0,1 PPB (0,1 µg/l)	Spectrophotométrie[3] (Absorption atomique avec fournaise au graphite)
Plomb	1 PPB (1 µg/l)	Spectrophotométrie[1] (Absorption atomique)

[1] Environnement Canada, 1979. Analytical Methods Manual, Direction générale de la qualité des eaux, Ottawa, Ontario.

[2] Kramer, J.-R., 1980. Precise Determination of low alkalinities using the modified Gran Analysis. Environmental Geochemistry Report #1980/1, McMaster University, Hamilton Ontario.

[3] Perkin-Elmer Corporation. Analytical Methods for Furnace Atomic Absorption Spectroscopy, Norwalk Connecticut.

NOTE: Toutes les analyses sont faites à partir de l'eau non filtrée, sauf pour le carbone organique et inorganique dissous.

Parmi les 251 lacs échantillonnés, 95% affichaient un écart ionique inférieur à 25% (figure 2), ce qui est considéré par plusieurs auteurs comme un seuil d'acceptabilité (Legendre et coll., 1980; Bobée et coll., 1983). Après vérification des données pour les 13 lacs dont l'écart était supérieur à 25%, nous avons décelé des erreurs de transcription pour les concentrations en calcium de 5 lacs; après correction, les écarts deviennent inférieurs à 12% dans tous ces lacs. Quant aux 8 lacs pour lesquels aucune erreur de transcription n'a pu être décelée, ils ont quand même été conservés dans la banque de données car les résultats sont considérés comme fiables pour les raisons suivantes:

- La somme des ions étant généralement inférieure à 100 µéq/l, un écart faible en valeur absolue devient rapidement très important lorsque exprimé en pourcentage.

- Le faible niveau de précision des concentrations de sulfates (± 20,8 µéq/l) est un facteur d'erreur important dans le calcul du bilan ionique de ces lacs dont la somme des ions est faible; en effet, malgré que la limite de détection pour les sulfates était de 0,1 PPM (2,1 µéq/l), les résultats ont été présentés avec un niveau de précision de 1 PPM (20,8 µéq/l).

Le bilan ionique varie peu d'une région à l'autre (tableau 3). C'est dans les lacs de la Côte-Nord qu'il est le plus élevé (écart moyen de 11,2%), là où la somme des ions est généralement très faible (inférieure à 100 µéq/l). Seuls les lacs de la base de Sept-Iles affichent un écart ionique moyen supérieur à 15%. L'écart moyen global pour l'ensemble des 251 lacs n'est que de 8,4% et pour plus de 85% d'entre eux, il est inférieur à 15%. Par ailleurs, l'écart ionique est positif dans 59% des lacs et négatif dans 31% d'entre eux; cette répartition est uniforme dans l'ensemble du territoire étudié.

Les résultats présentés ci-dessus pour le calcul du bilan ionique tendent à démontrer la qualité et la fiabilité des résultats fournis par l'échantillonnage et l'analyse en laboratoire des principaux ions. En conséquence, tous les lacs (251) ont été retenus pour l'analyse statistique et la discussion des résultats.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont présentés d'abord en considérant les caractéristiques morphométriques des lacs et ensuite, leur composition physico-chimique. Dans chaque cas, les résultats sont discutés en fonction des régions hydrographiques, des bases d'opération et de l'ordre de drainage des lacs.

MORPHOMÉTRIE

Les caractéristiques morphométriques des lacs inventoriés affichent des variations importantes selon leur localisation géographique (tableaux 4 et 5) et selon l'ordre de drainage des lacs (tableau 6). Ces variations témoignent d'une physiographie et d'une géomorphologie distinctes qui influencent très certainement la qualité physico-chimique des lacs.

Pour l'ensemble des lacs, la profondeur moyenne au centre est de 17,4 m. La profondeur minimum de 1 m a été mesurée dans certains lacs de tourbières, mais la majorité des lacs ont une profondeur supérieure à 4 m. La profondeur maximum de 90 m a été enregistrée à Sept-Iles. Sur la Côte-Nord, la profondeur moyenne est de 26,7 m alors qu'en Abitibi-Baie-James elle n'est que de 7,6 m.

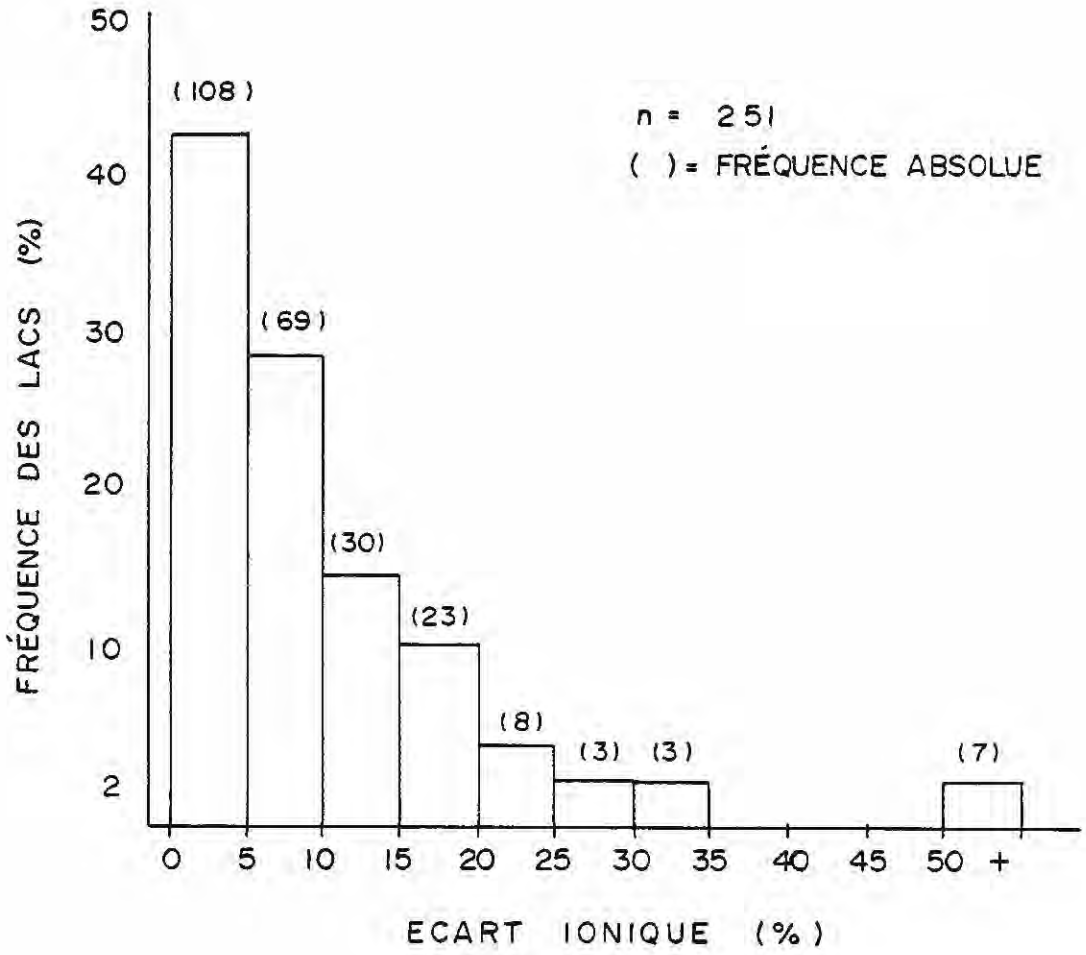

Figure 2: Histogramme de fréquence des lacs selon leur écart ionique.

Tableau 3. Écart ionique moyen par base opérationnelle, par région hydrographique et par ordre de drainage des lacs.

Bases opérationnelles (No des bases)	Écart moyen %
Blanc Sablon (01)	6,7
Havre Saint-Pierre (03)	14,6
Sept-Iles (04)	17,5
Manicouagan (06)	7,4
Gagnon (07)	13,2
Chute-des-Passes (08)	9,1
Alma (09)	8,3
Roberval (10)	7,7
La Tuque (11)	7,2
Maniwaki (13)	4,8
Clova (14)	8,5
Senneterre (15)	9,0
Chapais (16)	5,5
Némiscau (17)	12,6
Saint-Michel-des-Saints (18)	3,9
Lac Albanel (19)	5,5
Régions hydrographiques (No des régions)	
Outaouais (04)	5,1
La Mauricie (05)	6,8
Saguenay - Lac St-Jean (06)	8,0
Côte-Nord (07)	11,2
Abitibi - Baie James (08)	8,2
Ordre de drainage des lacs	
Lacs de tête	8,4
Lacs de deuxième ordre	8,8
Lacs de troisième ordre	9,3
Lacs drainant des tourbières	6,1
Écart moyen global	8,4

Tableau 4. Caractéristiques morphométriques des lacs échantillonnés par base opérationnelle (moyenne et intervalle de confiance à 95%).

Base opérationnelle (No)	Nombre de lacs	Profondeur au centre (m)	Altitude (m)	Volume du lac (x 10^6 m^3)	Superficie du lac (ha)	Superficie du bassin versant (ha)	Superficie du lac/ Superficie du bassin	Longueur maximum (km)	Largeur maximum (km)
Blanc Sablon (01)	12	12,8 ± 5,1	272 ±218	14,3 ± 6,9	137,4 ± 53,3	1 722,2 ±3 145,3	0,128 ±0,097	3,0 ±1,3	0,9 ±0,4
Havre Saint-Pierre (03)	17	31,9 ±35,8	439 ±296	56,3 ±16,2	188,4 ±194,0	2 728,2 ±1 899,6	0,101 ±0,057	3,6 ±1,0	1,1 ±0,8
Sept-Iles (04)	12	35,8 ±13,0	361 ±136	45,0 ± 5,0	145,4 ± 65,7	4 251,4 ± 337,2	0,112 ±0,064	2,7 ±1,2	0,8 ±0,3
Manicouagan (06)	18	27,8 ±18,6	499 ±258	46,6 ± 3,0	204,7 ± 38,6	3 697,5 ±1 663,6	0,127 ±0,074	3,3 ±1,8	1,1 ±0,7
Gagnon (07)	9	19,9 ±10,0	662 ±334	13,0 ± 8,0	73,6 ± 22,2	3 872,2 ± 140,3	0,128 ±0,005	1,9 ±1,1	0,6 ±0,4
Chute-des-Passes (08)	20	13,9 ± 2,3	488 ±252	15,8 ± 7,0	150,1 ±114,5	5 268,9 ± 553,3	0,096 ±0,054	2,7 ±1,9	0,9 ±0,5
Alma (09)	10	23,1 ±13,6	623 ±490	19,3 ±18,0	101,7 ±110,1	861,5 ± 589,6	0,140 ±0,120	2,1 ±2,1	0,8 ±0,7
Roberval (10)	10	8,6 ± 7,5	555 ±392	10,2 ±11,5	143,6 ±121,5	1 512,0 ± 776,1	0,205 ±0,108	2,8 ±2,8	0,9 ±0,6
La Tuque (11)	19	19,7 ± 9,2	364 ±195	23,7 ± 7,9	122,8 ± 18,3	1 635,5 ± 44,3	0,131 ±0,010	2,4 ±0,4	0,9 ±0,5
Maniwaki (13)	37	18,0 ± 5,7	242 ±102	17,4 ± 1,4	97,1 ± 12,7	1 510,4 ± 342,1	0,116 ±0,133	2,2 ±0,5	0,7 ±0,2

Tableau 4. (Suite)

Base opérationnelle (No)	Nombre de lacs	Profondeur au centre (m)	Altitude (m)	Volume du lac (x 10^6 m^3)	Superficie du lac (ha)	Superficie du bassin versant (ha)	Superficie du lac/ Superficie du bassin	Longueur maximum (km)	Largeur maximum (km)
Clova (14)	10	17,9 ± 9,2	420 ±313	22,6 ±20,9	172,6 ±162,9	941,8 ± 648,2	0,193 ±0,155	3,2 ±2,5	1,1 ±0,7
Senneterre (15)	10	14,3 ± 4,3	371 ±267	91,7 ±17,5	367,8 ±173,7	10 245,0 ± 503,1	0,158 ±0,165	4,4 ±5,4	1,4 ±1,6
Chapais (16)	30	6,1 ± 3,4	370 ±135	7,0 ± 5,5	160,9 ±211,7	1 052,2 ± 439,4	0,211 ±0,060	2,5 ±1,0	1,1 ±0,4
Némiscau (17)	17	6,3 ± 4,3	306 ± 17	5,3 ± 1,6	118,7 ± 55,3	1 312,9 ± 402,7	0,152 ±0,143	2,5 ±0,8	0,9 ±0,8
Saint-Michel-des-Saints (18)	10	23,0 ±12,7	449 ±328	18,4 ±23,8	100,6 ± 87,9	2 599,8 ±7 333,6	0,140 ±0,092	2,4 ±1,8	0,8 ±0,6
Lac Albanel (19)	10	9,2 ± 6,4	495 ±359	10,5 ± 4,5	133,4 ± 90,0	867,6 ± 486,3	0,208 ±0,067	2,6 ±2,1	0,9 ±0,9
Total	251	17,4 ± 5,0	403 ± 47	24,2 ± 0,2	147,1 ± 22,0	2 533,7 ± 85,3	0,144 ±0,018	2,7 ±0,3	0,9 ±0,1

Tableau 5. Caractéristiques morphométriques des lacs échantillonnés par région hydrographique (moyenne et intervalle de confiance à 95%).

Nom de la région hydrographique (No)	Nombre de lacs	Profondeur au centre (m)	Altitude (m)	Volume du lac ($\times 10^6 m^3$)	Superficie du lac (ha)	Superficie du bassin versant (ha)	Superficie du lac/ Superficie du bassin	Longueur maximum (km)	Largeur maximum (km)
Outaouais (04)	45	18,2 ± 1,2	273 ± 61	18,9 ± 1,2	113,0 ± 22,3	1 432,5 ± 466 7	0,126 ±0,073	2,4 ±1,7	0,8 ±0,2
La Mauricie (05)	40	17,6 ± 8,2	433 ±124	18,4 ± 4,0	119,9 ± 39,6	1 804,3 ± 904,5	0,156 ±0,054	2,4 ±0,8	0,9 ±0,4
Saguenay - Lac St-Jean (06)	34	12,3 ± 3,3	512 ±185	13,5 ± 4,6	139,5 ± 44,6	3 428,2 ± 757,9	0,136 ±0,019	2,7 ±0,9	0,9 ±0,3
Côte-Nord (07)	75	26,7 ± 3,2	454 ±130	37,4 ± 3,9	156,9 ± 65,1	3 019,1 ±1 470,9	0,121 ±0,055	3,0 ±1,3	0,9 ±0,1
Abitibi - Baie James (08)	57	7,6 ± 2,9	351 ±101	21,4 ± 1,5	184,6 ± 53,0	2 742,0 ± 90,3	0,184 ±0,009	2,8 ±0,6	1,1 ±0,1
Total	251	17,4 ± 5,0	403 ± 47	24,2 ± 0,2	147,1 ± 22,0	2 533,7 ± 85,3	0,144 ±0,018	2,7 ±0,3	0.9 ±0.1

Tableau 6. Caractéristiques morphométriques des lacs échantillonnés par ordre de drainage des lacs (moyenne et intervalle de confiance à 95%).

Ordre de drainage des lacs	Nombre de lacs	Profondeur au centre (m)	Altitude (m)	Volume du lac (x 10^6 m^3)	Superficie du lac (ha)	Superficie du bassin versant (ha)	Superficie du lac/ Superficie du bassin	Longueur maximum (km)	Largeur maximum (km)
Lacs de tête	172	17,7 ± 7,2	433 ± 22	19,4 ± 0,27	131,1 ± 4,4	1 110,5 ± 43,7	0,167 ±0,012	2,5 ±0,4	0,9 ±0,2
Lacs de deuxième ordre	38	22,4 ± 3,9	346 ± 95	59,1 ±39,4	228,2 ± 72,3	6 004,5 ±1 023,8	0,055 ±0,015	3,6 ±0,9	1,1 ±0,6
Lacs de troisième ordre	17	18,4 ±18,3	356 ±204	26,4 ± 5,7	182,6 ±119,0	11 431,7 ±7 870,3	0,035 ±0,011	3,5 ±2,6	0,9 ±0,6
Lacs drainant des tourbières	24	7,1 ± 6,1	308 ±123	4,2 ± 1,2	105,9 ± 21,0	576,8 ± 261,5	0,201 ±0,138	1,9 ±0,6	0,9 ±0,4
Total	251	17,4 ± 5,0	403 ± 47	24,1 ± 0,2	147,1 ± 22,0	2 533,7 ± 85,3	0,144 ±0,018	2,7 ±0,3	0,9 ±0,1

La longueur et la largeur maximum des lacs varient peu d'une base à l'autre et elles semblent peu influencées par les régions hydrographiques. Pour l'ensemble des lacs, la longueur moyenne est de 2,7 km et la largeur moyenne de 0,9 km. Par contre, l'altitude des lacs varie beaucoup selon les régions hydrographiques. Alors que l'altitude moyenne de tous les lacs est de 403 m, ceux du Saguenay/Lac St-Jean (512 m), de la Côte-Nord (454 m) et de La Mauricie (433 m) ont une altitude moyenne beaucoup plus élevée que celle des lacs de l'Outaouais (273 m) et de l'Abitibi/Baie-James (351 m).

En moyenne, les lacs échantillonnés ont un volume estimé de 24,2 x 10^6 m^3, mais cette valeur doit être utilisée avec prudence, puisqu'il fut assumé que tous les lacs adoptaient la forme d'un cône tronqué dont le fond correspond à la moitié de la superficie de la surface. Puisque la superficie des lacs varie moins d'une région à l'autre que la profondeur au centre, c'est cette dernière variable qui influence le plus fortement le volume estimé des lacs.

La superficie moyenne des lacs est de 147,1 ha et celle des bassins versants est de 2 533,7 ha. Dans le nord du territoire d'étude (Saguenay/Lac St-Jean, Côte-Nord et Abitibi-Baie-James) les lacs et leurs bassins versants affichent en moyenne des superficies nettement plus élevées que dans le sud du territoire (Outaouais et La Mauricie).

Si on considère l'ordre de drainage des lacs (tableau 6), les résultats obtenus indiquent que la superficie moyenne du bassin versant est 5 fois plus élevée dans les lacs de 2e ordre et 10 fois plus élevée dans les lacs de 3e ordre par rapport aux lacs de tête. Toutefois, la superficie moyenne du lac et son volume estimé moyen sont plus grands chez les lacs de 2e ordre que chez ceux de 3e ordre. Cette situation est due aux particularités topographiques régionales. Chez les lacs drainant des tourbières, la profondeur moyenne est la plus faible de même que les superficies du lac et du bassin versant et le volume estimé. Il faut préciser ici que les lacs de cette catégorie proviennent uniquement des secteurs de Chapais (région hydrographique Abitibi-Baie James - 08) et de Maniwaki (région hydrographique Outaouais - 04).

PHYSICO-CHIMIE

Les résultats de l'analyse physico-chimique descriptive des 251 lacs échantillonnés sont présentés aux tableaux 7, 8 et 9 pour tous les paramètres mesurés. Les valeurs moyennes et l'intervalle de confiance à la moyenne (95%) sont présentés selon les bases opérationnelles, les régions hydrographiques et l'ordre de drainage des lacs. La variabilité totale et/ou régionale est par ailleurs discutée ci-dessous pour chacun des paramètres ou groupe de paramètres.

Couleur et profondeur photique

La couleur sert d'indice dans l'évaluation de la matière organique présente dans l'eau et la transparence de l'eau permet d'évaluer la profondeur photique. Le phénomène d'acidification des lacs augmenterait la transparence et diminuerait la couleur en accentuant la précipitation des particules et de la matière organique en suspension (Harvey et coll., 1981; Almer et coll., 1978).

La couleur des lacs échantillonnés varie entre 5 et 155 U.H. avec une valeur moyenne de 33,9. C'est à la base opérationnelle de Manicouagan que les valeurs moyennes sont maximales (53,8 U.H.), alors qu'elles sont minimales à la base de Gagnon (12,2 U.H.). Ce paramètre varie sensiblement selon la région hydrographique. En effet, l'Outaouais présente une couleur moyenne de 24,8 U.H., alors que pour la région du Saguenay/Lac Saint-Jean,

Tableau 7. Composition physico-chimique de 251 lacs échantillonnés: moyenne et intervalle de confiance de la moyenne (à 95%) par base opérationnelle.

Nom des bases (No)	Nb de lacs	Couleur (U.H.)	Prof. phot. (m)	Cond. µS/cm	pH	SO_4 µeq/l	Alca µeq/l	Al µg/l	Mn µg/l	Fe µg/l
Blanc Sablon (01)	12	33,3 ±20,6	3,5 ±2,8	14,6 ± 8,3	6,3 ±4,0	36,5 ±19,8	53,1 ± 27,9	97,8 ± 68,6	6,2 ± 3,2	109,7 ± 76,5
Havre Saint-Pierre (03)	17	23,2 ±15,4	4,7 ±2,7	8,6 ± 5,6	6,1 ±2,7	40,4 ±21,3	32,4 ± 11,3	117,0 ± 60,4	4,5 ± 1,0	52,5 ± 17,9
Sept-Iles (04)	12	42,9 ±27,0	3,1 ±2,2	13,3 ± 7,6	5,5 ±3,5	45,1 ±26,5	11,7 ± 10,5	170,5 ± 90,0	13,2 ± 8,9	117,8 ± 43,0
Manicouagan (06)	18	53,8 ± 3,1	3,6 ±2,5	12,7 ± 6,2	5,9 ±3,3	59,0 ±25,8	31,9 ± 12,6	157,3 ± 83,9	11,4 ± 3,7	82,6 ± 49,0
Gagnon (07)	9	12,2 ± 3,8	6,6 ±3,8	12,9 ±13,0	6,7 ±5,1	37,0 ±16,0	56,9 ± 35,3	85,8 ±104,3	3,3 ± 2,3	45,7 ± 76,7
Chute-des-Passes (08)	20	52,0 ±32,7	3,0 ±0,7	14,1 ± 4,7	6,4 ±2,9	65,6 ±29,2	32,7 ± 6,3	161,0 ± 72,4	18,6 ± 7,0	181,3 ± 70,1
Alma (09)	10	28,8 ±42,9	4,7 ±3,1	18,1 ±12,9	6,8 ±4,8	68,7 ±44,7	56,2 ± 30,7	86,4 ± 42,2	7,8 ± 3,2	54,1 ± 89,7
Roberval (10)	10	20,5 ±26,8	3,2 ±2,3	19,5 ±13,9	6,1 ±4,4	64,6 ±44,7	31,8 ± 20,7	59,0 ± 60,0	16,0 ±13,2	163,2 ± 90,2
La Tuque (11)	19	39,8 ± 3,4	4,3 ±1,3	28,9 ±10,1	6,3 ±3,0	103,1 ±50,2	50,9 ± 19,3	81,2 ± 14,0	13,8 ± 7,7	206,3 ± 11,6
Maniwaki (13)	37	25,7 ± 5,0	4,2 ±1,7	58,3 ±43,4	7,2 ±2,1	148,6 ±55,6	370,2 ± 12,3	40,0 ± 4,7	12,7 ± 0,7	112,1 ± 5,0
Clova (14)	10	21,0 ±16,1	4,2 ±2,9	29,5 ±21,1	6,6 ±4,7	100,0 ±67,0	47,7 ± 35,4	47,0 ± 62,9	14,0 ±10,0	62,6 ± 51,1
Senneterre (15)	10	31,0 ±17,9	3,5 ±1,5	15,9 ±11,4	5,9 ±4,2	83,3 ±59,5	18,9 ± 7,1	108,2 ± 67,9	16,3 ±12,5	105,7 ± 35,0
Chapais (16)	30	41,8 ±20,6	2,3 ±1,3	34,8 ± 9,5	7,1 ±2,7	60,4 ±23,4	329,0 ±112,8	52,6 ± 23,2	13,6 ± 7,3	118,2 ± 61,0
Némiscau (17)	17	40,9 ±12,8	2,8 ±2,4	12,4 ± 6,1	6,0 ±3,0	52,7 ±21,3	21,8 ± 7,7	106,2 ± 73,7	12,1 ± 6,7	125,3 ± 50,7
Saint-Michel-des-Saints (18)	10	12,4 ± 5,4	5,9 ±3,8	32,2 ±20,0	6,5 ±4,6	131,2 ±89,3	62,9 ± 44,3	29,3 ± 16,4	8,7 ± 6,1	58,5 ± 22,5
Lac Albanel (19)	10	28,5 ±19,7	2,8 ±1,6	20,0 ±13,6	7,1 ±5,1	56,2 ±44,7	113,2 ±116,1	104,6 ± 70,0	14,4 ± 7,9	131,3 ± 82,2
Total 1982	251	33,9 ± 4,4	3,7 ±0,4	25,6 ± 6,6	6,5 ±0,7	78,0 ± 7,9	124,6 ± 14,5	90,8 ± 6,8	12,1 ± 0,5	114,1 ± 4,9

Tableau 7. (suite)

Nom des bases (No)	Nb de lacs	Na µeq/l	K µeq/l	Ca µeq/l	Mg µeq/l	Cl µeq/l	Carbone organique total mg/l	Carbone organique dissous mg/l
Blanc Sablon (01)	12	37,7 ±23,5	3,8 ± 1,7	52,4 ±29,0	24,5 ±19,8	22,8 ±17,9	7,5 ±5,1	7,2 ±5,1
Havre Saint-Pierre (03)	17	21,1 ±10,2	2,4 ± 1,0	44,0 ±19,4	14,7 ± 9,2	14,3 ±10,1	5,1 ±3,1	4,8 ±2,6
Sept-Iles (04)	12	16,9 ± 9,0	4,6 ± 3,1	34,4 ±15,8	13,5 ± 9,2	12,9 ± 7,2	7,1 ±4,8	6,9 ±4,8
Manicouagan (06)	18	20,8 ±10,2	3,8 ± 1,9	55,7 ±40,9	22,9 ±13,4	13,5 ± 8,4	7,3 ±3,7	6,9 ±3,5
Gagnon (07)	9	21,0 ±36,0	3,2 ± 2,2	60,7 ±54,3	24,9 ±18,0	5,0 ± 4,3	3,7 ±3,1	3,4 ±3,1
Chute-des-Passes (08)	20	20,7 ± 9,0	6,8 ± 3,9	69,7 ±22,4	23,2 ± 9,5	14,7 ± 5,9	6,3 ±3,3	6,1 ±2,6
Alma (09)	10	23,7 ±14,6	6,7 ± 4,4	71,1 ±42,6	26,3 ±17,6	10,2 ± 7,1	5,9 ±3,6	5,6 ±3,6
Roberval (10)	10	25,4 ±15,1	9,6 ± 4,8	50,5 ±37,1	27,9 ±21,5	10,4 ± 7,1	5,3 ±4,3	5,1 ±4,3
La Tuque (11)	19	30,9 ±12,2	7,5 ± 3,7	93,4 ±44,7	34,3 ±13,7	11,1 ± 4,1	7,7 ±2,4	7,4 ±2,4
Maniwaki (13)	37	31,4 ± 8,4	13,0 ± 3,5	346,8 ±32,6	98,3 ±20,7	10,9 ± 2,8	5,7 ±1,3	5,1 ±2,3
Clova (14)	10	27,3 ±18,0	12,0 ±10,8	90,5 ±61,3	41,4 ±34,4	10,4 ± 7,1	3,8 ±2,9	3,7 ±2,5
Senneterre (15)	10	29,6 ±22,7	5,0 ± 3,2	62,6 ±40,7	24,3 ±15,3	10,2 ± 8,1	5,5 ±3,2	5,2 ±2,9
Chapais (16)	30	22,2 ± 9,4	7,1 ± 2,1	234,6 ±79,6	140,7 ±49,4	13,9 ± 3,7	6,2 ±1,1	6,3 ±1,7
Némiscau (17)	17	28,2 ±11,8	5,0 ± 2,6	41,9 ±17,6	15,8 ± 8,0	13,1 ± 4,3	6,4 ±2,6	6,2 ±2,0
Saint-Michel-des-Saints (18)	10	24,3 ±18,2	9,8 ± 6,7	119,1 ±72,4	48,5 ±33,5	11,0 ± 7,1	3,9 ±2,5	3,8 ±3,6
Lac Albanel (19)	10	22,5 ±13,2	8,7 ± 5,6	98,5 ±61,9	60,8 ±50,0	14,7 ± 9,1	5,8 ±3,6	5,6 ±3,9
Total 1982	251	25,5 ± 3,5	7,2 ± 0,5	127,5 ±22,4	51,3 ±28,7	12,7 ± 2,5	6,0 ±0,8	5,7 ±0,6

Tableau 8. Composition physico-chimique de 251 lacs échantillonnés: moyenne et intervalle de confiance (à 95%) par région hydrographique.

Nom des régions hydrographiques (No)	Nb de lacs	Couleur (U.H.)	Prof. phot. (m)	Cond. µS/cm	pH	SO_4 µeq/l	Alca µeq/l	Al µg/l	Mn µg/l	Fe µg/l
Outaouais (04)	45	24,8 ± 3,0	4,2 ±1,3	53,3 ± 4,2	7,1 ±1,8	140,7 ±50,2	313,2 ± 5,1	42,2 ± 8,4	13,1 ±2,1	104,5 ± 7,5
La Mauricie (05)	40	27,8 ± 4,8	4,5 ±0,5	27,5 ± 5,9	6,4 ±2,1	100,5 ±39,9	48,8 ±16,6	60,6 ±34,8	12,9 ±1,4	152,8 ±96,6
Saguenay - Lac St-Jean (06)	34	40,6 ±11,3	3,1 ±1,1	16,1 ± 7,0	6,6 ±2,3	63,1 ±21,8	56,3 ± 4,0	135,0 ±37,6	16,3 ±5,9	151,3 ±83,4
Côte-Nord (07)	75	35,2 ± 5,8	4,2 ±1,0	12,8 ± 3,5	6,2 ±1,4	47,2 ±14,4	38,6 ±10,6	125,4 ±33,3	8,0 ±3,2	79,3 ±34,4
Abitibi - Baie James (08)	57	39,6 ±18,5	2,6 ±0,5	24,8 ± 6,0	6,6 ±1,6	62,1 ±41,7	183,0 ± 1,9	78,4 ±18,8	13,6 ±2,6	118,1 ±20,4
Total 1982	251	33,9 ± 4,4	3,7 ±0,4	25,6 ± 6,6	6,5 ±0,8	78,0 ± 7,9	124,6 ±14,5	90,8 ± 6,8	12,1 ±0,5	114,1 ± 4,9

Tableau 8. (suite)

Nom des régions hydrographiques (No)	Nb de lacs	Na µeq/l	K µeq/l	Ca µeq/l	Mg µeq/l	Cl µeq/l	Carbone organique total mg/l	Carbone organique dissous mg/l
Outaouais (04)	45	30,6 ±7,3	12,9 ±5,6	301,8 ±168,3	88,5 ±14,2	10,9 ±2,5	5,4 ±2,4	4,9 ±1,5
La Mauricie (05)	40	27,8 ±7,8	8,8 ±3,1	89,3 ± 20,1	36,3 ±10,1	10,9 ±3,6	5,9 ±1,4	5,7 ±1,3
Saguenay - Lac St-Jean (06)	34	20,9 ±8,9	7,2 ±2,6	76,4 ± 22,6	34,2 ± 9,0	13,9 ±3,9	6,0 ±2,3	5,8 ±2,3
Côte-Nord (07)	75	23,6 ±4,5	3,9 ±1,1	51,8 ± 8,8	20,6 ± 1,4	13,8 ±2,0	6,2 ±1,4	6,0 ±1,4
Abitibi - Baie James (08)	57	25,3 ±8,9	6,1 ±1,6	147,0 ± 76,7	83,0 ±16,8	13,0 ±5,6	6,1 ±2,1	6,1 ±1,3
Total 1982	251	25,5 ±3,5	7,2 ±0,5	127,5 ± 22,4	51,3 ±28,7	12,7 ±2,5	6,0 ±0,8	5,7 ±0,6

Tableau 9. Composition physico-chimique de 251 lacs échantillonnés: moyenne et intervalle de confiance (à 95%) par ordre de drainage des lacs.

Ordre de drainage des lacs	Nb de lacs	Couleur (U.H.)	Prof. phot. (m)	Cond. µS/cm	pH	SO_4 µeq/l	Alca µeq/l	Al µg/l	Mn µg/l	Fe µg/l
Lacs de tête	172	29,4 ± 3,8	3,9 ±0,8	23,4 ± 2,1	6,5 ±1,0	75,3 ± 6,4	96,2 ± 4,1	87,5 ±22,9	11,9 ± 2,1	97,3 ± 5,4
Lacs de deuxième ordre	38	42,5 ± 9,9	3,5 ±1,5	25,9 ± 5,2	6,6 ±2,2	81,7 ±20,6	137,4 ±44,0	113,6 ±33,1	11,3 ± 5,1	136,7 ±35,9
Lacs de troisième ordre	17	42,2 ±18,6	4,0 ±2,0	18,0 ±10,3	6,2 ±2,5	75,2 ±25,8	67,7 ± 7,9	128,1 ±70,3	15,6 ±14,6	167,7 ±56,4
Lacs drainant des tourbières	24	45,9 ±13,7	2,7 ±0,3	47,1 ±18,3	7,2 ±2,9	93,7 ±30,7	349,8 ±89,1	49,7 ±10,5	12,5 ± 4,4	158,2 ±39,5
Total	251	33,9 ± 4,4	3,7 ±0,4	25,6 ± 6,6	6,5 ±0,8	78,0 ± 7,9	124,6 ±14,5	90,8 ± 6,8	12,1 ± 0,5	114,1 ± 4,9

Tableau 9. (suite)

Ordre de drainage des lacs	Nb de lacs	Na µeq/l	K µeq/l	Ca µeq/l	Mg µeq/l	Cl µeq/l	Carbone organique total mg/l	Carbone organique dissous mg/l
Lacs de tête	172	25,1 ± 2,9	7,0 ±1,3	108,0 ± 12,8	44,8 ± 6,9	12,2 ±2,6	5,6 ±1,2	5,4 ±1,1
Lacs de deuxième ordre	38	27,5 ±10,8	6,4 ±3,1	140,4 ±152,0	51,7 ±13,7	13,0 ±6,5	6,4 ±1,8	6,1 ±2,3
Lacs de troisième ordre	17	24,2 ±10,6	6,0 ±1,9	100,1 ± 37,8	29,1 ±16,3	11,9 ±7,0	7,1 ±3,5	6,7 ±2,7
Lacs drainant des tourbières	24	26,2 ±13,4	11,2 ±4,5	267,2 ± 79,5	113,4 ±45,6	16,2 ±7,7	7,2 ±2,7	6,7 ±2,3
Total	251	25,5 ± 3,5	7,2 ±0,5	127,5 ± 22,4	51,3 ±28,7	12,7 ±7,5	6,0 ±0,8	5,7 ±0,6

elle est de 40,6 U.H. Elle varie aussi selon l'ordre de drainage des lacs, puisque les lacs de premier ordre présentent une couleur moyenne de 29,4 U.H., alors que les lacs de tourbières affichent des couleurs de 45,9 U.H.

De même, la profondeur photique varie selon les bases opérationnelles, les régions hydrographiques et l'ordre de drainage des lacs. La base de Chapais possède la profondeur photique la plus faible (2,3 m), alors que la valeur la plus élevée provient de Gagnon (6,6 m). Selon les régions hydrographiques, la profondeur photique moyenne passe de 2,6 m dans la région de l'Abitibi - Baie James à 4,5 m dans celle de la Mauricie. La variation est moins marquée selon l'ordre de drainage des lacs, car seuls les lacs de tourbières ont une profondeur photique moyenne (2,7 m) inférieure à celles des autres types de lacs.

Conductivité

La conductivité des eaux est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique; elle dépend ainsi de la concentration totale des ions présents. L'appareil utilisé (Hydrolab digital 4041) permet de déceler ce paramètre avec un niveau de précision de ±20 µS/cm. L'interprétation des résultats doit être faite avec prudence, puisque la majorité des données (58%) se situent sous ce niveau de précision (figure 3). Par ailleurs, 6% des lacs échantillonnés ont une conductivité supérieure à 80 µS/cm. Selon les classes de sensibilité suggérées par plusieurs auteurs en fonction de la conductivité (Bobée et coll., 1982; Wright et coll., 1976), les lacs échantillonnés ont une sensibilité modérée à extrême face à l'acidification des eaux de surface.

Les valeurs varient en fonction des bases, des régions et des types de lacs. La valeur moyenne de tous les échantillons est de 25,6 µS/cm, alors que la valeur moyenne minimum provient des lacs de Némiscau (12,4 µS/cm) et la valeur maximum de ceux de Maniwaki (58,3 µS/cm). Selon la région hydrographique, on trouve des valeurs moyennes minimales de 12,8 µS/cm dans la région de la Côte-Nord et des valeurs moyennes maximales de 53,3 µS/cm dans la région de l'Outaouais. Dans cette région à forte minéralisation, la roche en place est constituée en partie de calcaire cristallin, dont l'abondance diminue en allant vers l'est (Bobée et coll., 1983). Ces roches carbonatées et métamorphisées sont plus facilement altérables que les roches granitiques que l'on retrouve sur le reste du bouclier.

Les lacs de tête ont une conductivité moyenne de 23,4 µS/cm alors que celle des tourbières est de 47,1 µS/cm. Bien que la minéralisation de ces différents plans d'eau semble différente, ces valeurs sont davantage reliées à la répartition géographique des lacs de tourbières inventoriés; ces derniers sont tous situés dans les secteurs de Maniwaki et de Chapais. La figure 4 indique la répartition spatiale des lacs selon quatre classes de conductivité. On remarque que les bases opérationnelles de Maniwaki et de Chapais regroupent les lacs possédant la plus forte conductivité.

Somme des cations

La somme des cations est exprimée par la somme des concentrations des ions suivants: $[H^+] + [Ca^{++}] + [Mg^{++}] + [Na^+] + [K^+]$ (µeq/l). Tout comme c'est le cas pour la conductivité, cette somme reflète le degré de minéralisation d'une eau, la lithologie de la roche en place et la nature des dépôts de surface.

La figure 5, qui illustre la distribution de la somme des cations des lacs étudiés, montre que plus de 60% des lacs possèdent une concentration en cations inférieure à 160 µeq/l et que 32 lacs seulement ont des

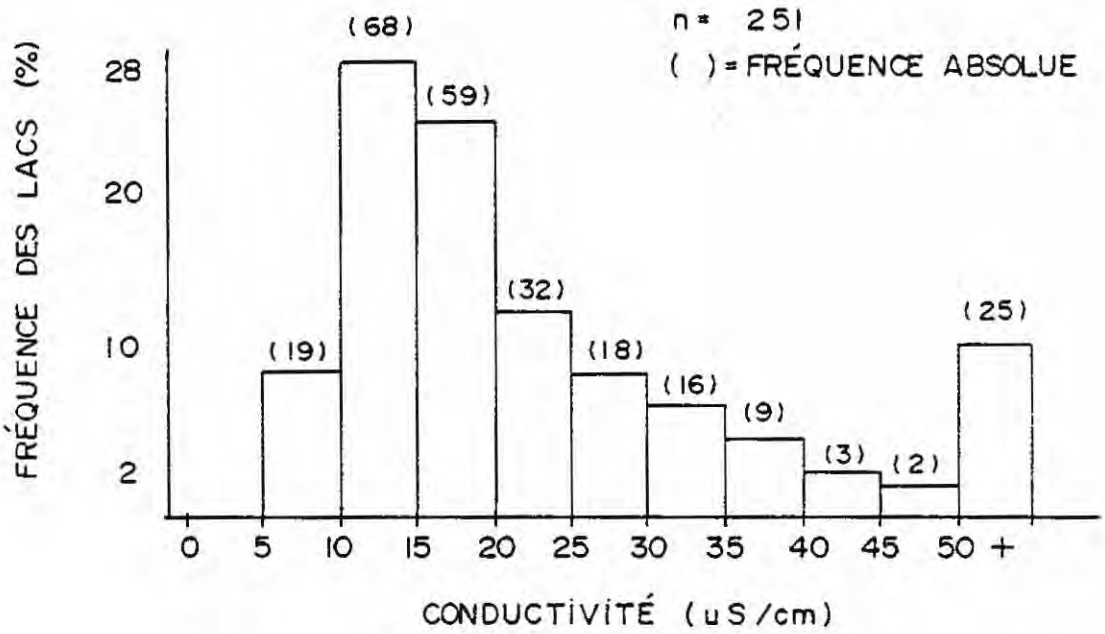

Figure 3: Histogramme de fréquence des lacs selon leur conductivité.

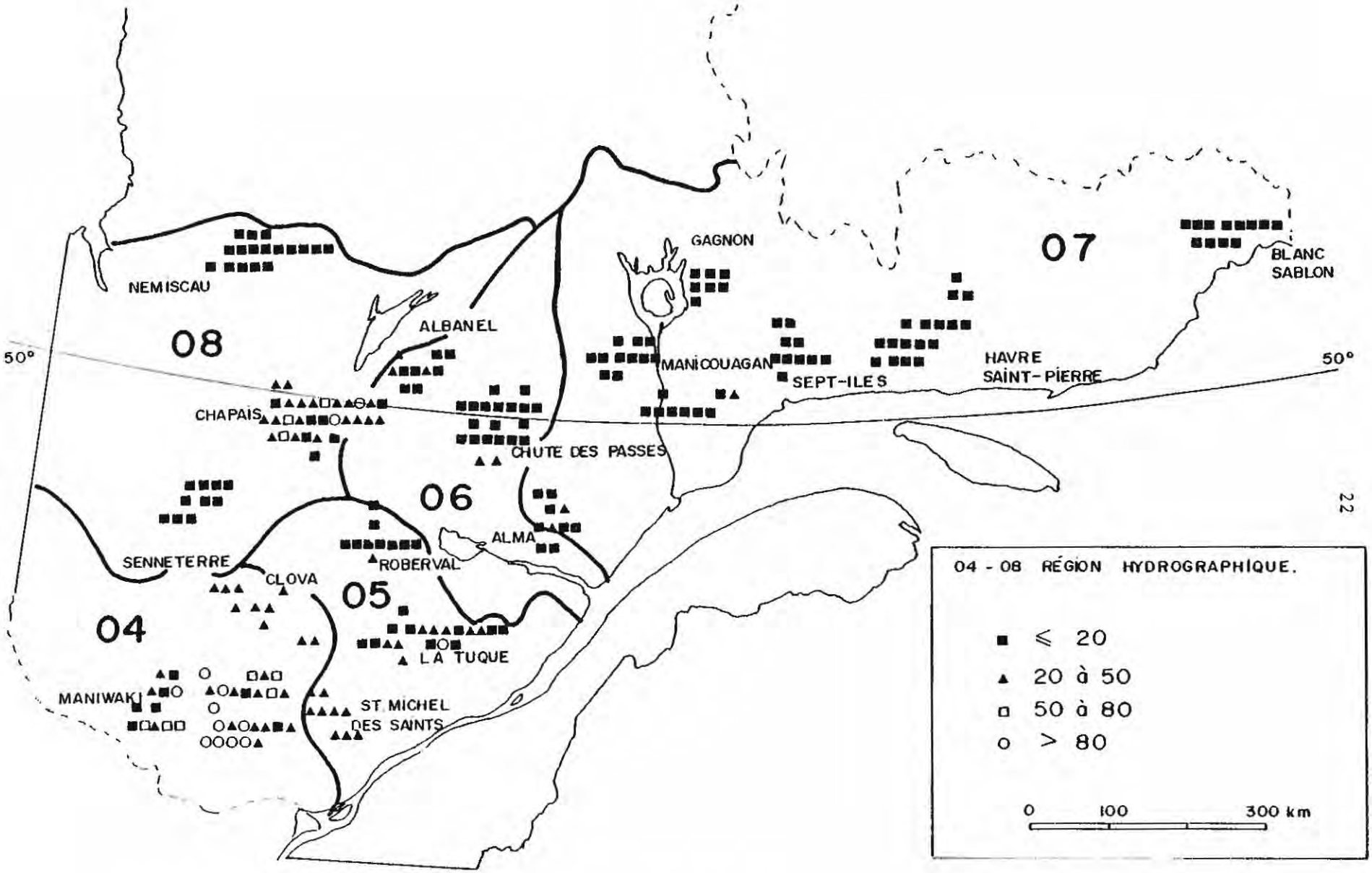

Figure 4: Répartition géographique des lacs selon leur conductivité (µS/cm).

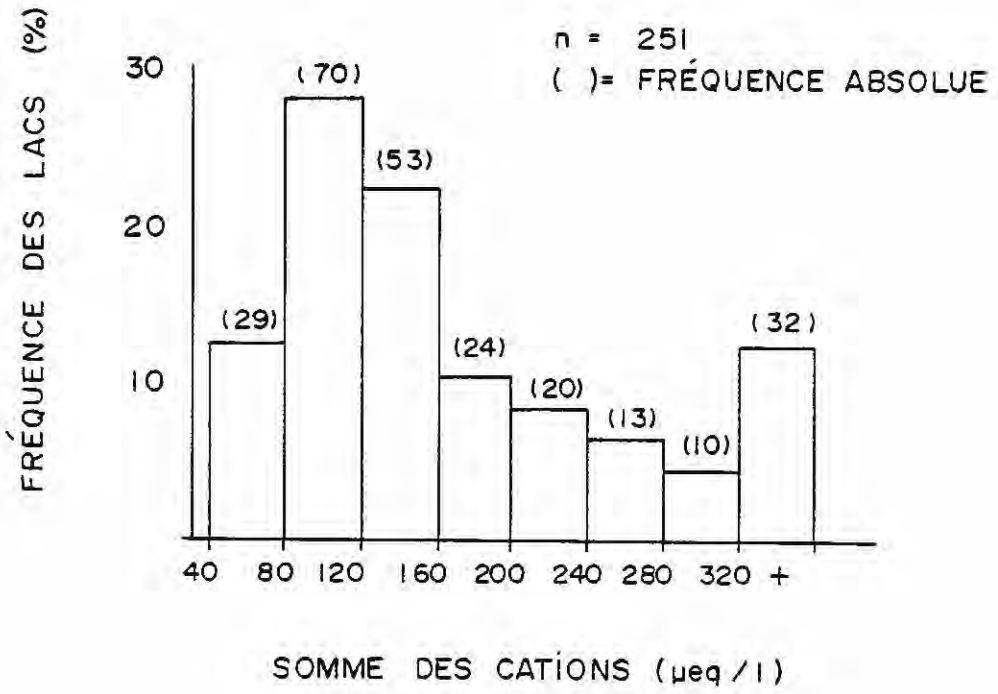

Figure 5: Histogramme de fréquence des lacs selon leur somme de cations.

concentrations supérieures à 320 µeq"l. Ces faibles concentrations sont typiques des lacs peu minéralisés du bouclier canadien.

Les plus fortes sommations se trouvent à Maniwaki et à Chapais (figure 6). Rappelons que ces régions possédaient aussi les plus fortes conductivités. Les lacs de la Côte-Nord ont par ailleurs les sommes les plus faibles, ce qui confirme la faible minéralisation de cette région.

Parmi les cations mesurés, le calcium et le magnésium sont généralement en concentrations beaucoup plus élevées que le sodium et le potassium. La concentration de ces deux premiers cations est souvent utilisée comme indice de minéralisation et de vulnérabilité à l'acidification des eaux de surface; cette concentration est généralement proportionnelle à l'abondance du calcaire dans la roche en place ou dans les dépôts de surface.

La concentration moyenne de calcium dans les 251 lacs échantillonnés est de 127,5 µeq/l, alors que celle du magnésium est de 51,3 µeq/l. C'est à la base de Maniwaki que la concentration moyenne de calcium est la plus forte (346,8 µeq/l) et à la base de Chapais qu'on retrouve la plus forte concentration moyenne de magnésium (140,7). Les concentrations moyennes les plus faibles se retrouvent à la base de Sept-Iles (Ca: 34,4 µeq/l, Mg: 13,5 µeq/l) tout comme dans le cas de l'alcalinité. L'analyse de ces deux cations effectuée par région hydrographique montre que l'Outaouais possède les concentrations les plus fortes (Ca: 301,8 µeq/l, Mg: 88,5 µeq/l). Ces résultats s'expliquent par la présence de dépôts calcaires et de roches carbonatées dans cette région.

Selon la littérature, la distribution spatiale et temporelle du sodium et du potassium dans les lacs est généralement uniforme, quoiqu'elle subisse une légère variation saisonnière. Au voisinage des côtes, les embruns peuvent apporter une certaine quantité de sodium sous forme de NaCl (Dussard, 1966). Ces ions peuvent aussi être produits par dissolution de la roche en place ou des dépôts selon des processus reliés au lessivage des matériaux.

Les concentrations en sodium rencontrées dans le territoire à l'étude sont en moyenne de 25,5 µeq/l. C'est à la base de Blanc-Sablon que la concentration moyenne est la plus élevée (37,7 µeq/l), mais les concentrations varient peu d'une région à l'autre puisque la moyenne la plus basse est de 20,8 µeq/l; cette dernière provient de la base de Gagnon.

Les concentrations de potassium sont en moyenne de 7,2 µeq/l; elles varient entre 2,4 µeq/l à la base de Havre Saint-Pierre à 13,0 µeq/l à la base de Maniwaki. Ces valeurs se rapprochent de celles provenant de l'échantillonnage de l'été 1981 (Langlois et coll., 1983).

Chlorures

Les chlorures sont essentiellement d'origine marine (Sasseville et Lachance, 1981 in Brouard et coll., 1982). Toutefois, ce paramètre est influencé par des processus aquatiques et certains échanges ioniques, mais ils ne causent pas de variation significative dans l'espace et dans le temps (Wetzel, 1975). Ainsi, les résultats obtenus peuvent être subséquemment reliés à l'influence de la contribution marine. La valeur moyenne pour les 251 lacs est de 12,7 µeq/l. La valeur maximale moyenne s'observe à la base de Blanc-Sablon (22,8 µeq/l), tandis que la valeur minimale moyenne se trouve à Gagnon (5,0 µeq/l); cet écart tend à confirmer l'hypothèse d'une certaine contribution provenant des eaux marines. Des valeurs sous le seuil de détection ont été rencontrées à la base de Gagnon. Les concentrations les plus fortes se trouvent ainsi au nord-est du territoire.

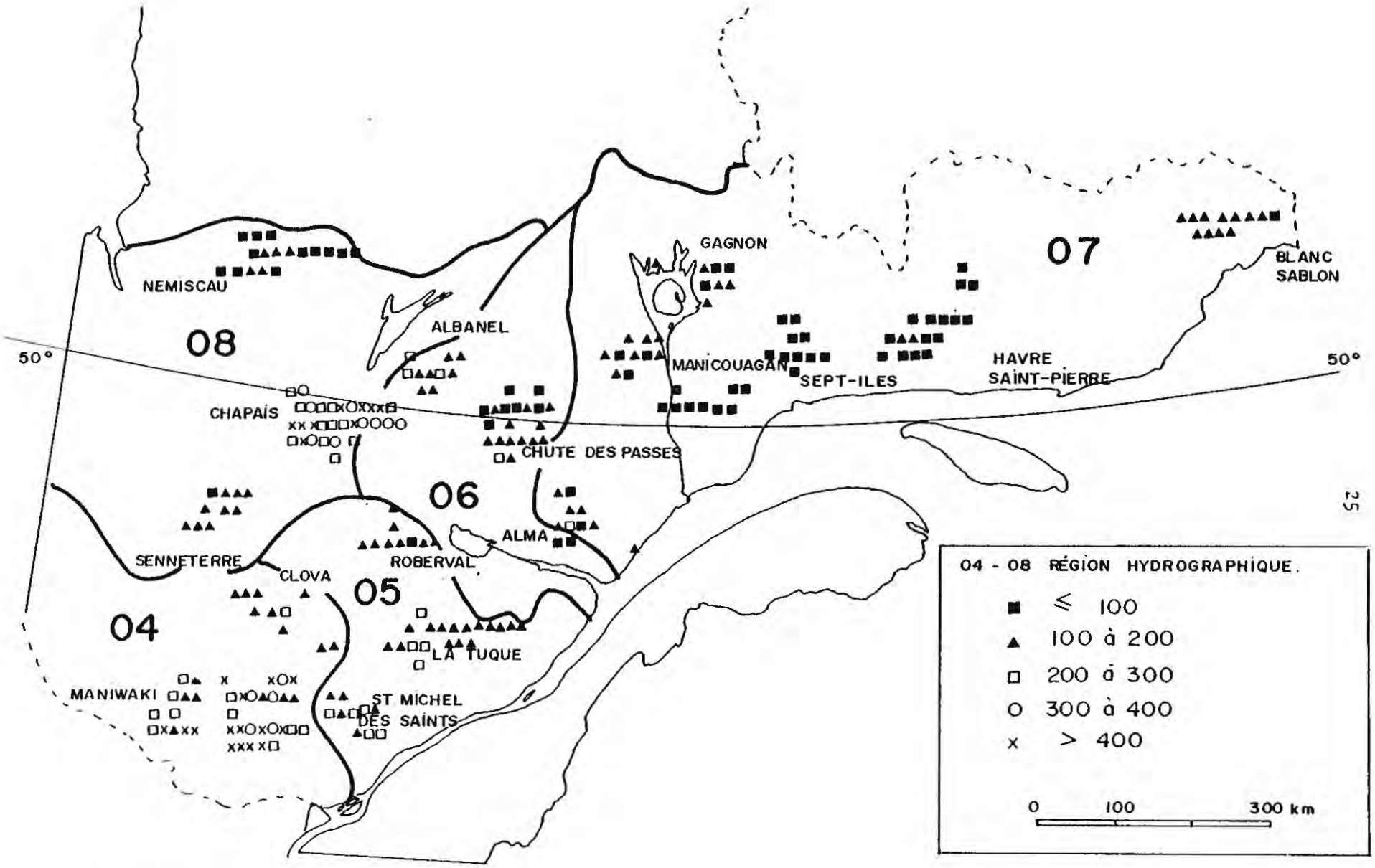

Figure 6: Répartition géographique des lacs selon leur somme de cations (péq/l).

pH

Le pH des lacs échantillonnés fluctue entre un minimum de 4,7 mesuré dans un lac de Sept-Iles et un maximum de 8,3 enregistré à Maniwaki. Le pH moyen pour les 251 lacs est de 6,5.

La concentration en ions H^+ varie selon les bases, les régions hydrographiques et les types de lacs. La base de Sept-Iles possède le pH moyen le plus faible (5,5) et celle de Maniwaki le pH moyen le plus élevé (7,2). Selon les régions hydrographiques, la valeur moyenne du pH la plus faible se retrouve dans le bassin de la Côte-Nord (6,2) alors que la plus élevée se situe dans l'Outaouais (7,1). La variation des pH par région hydrographique est moins importante que celle associée aux différentes bases d'opération. Selon l'ordre de drainage des lacs, on constate que les lacs drainant des tourbières ont un pH moyen de 7,2, ce qui leur confère la valeur moyenne la plus élevée. Ces résultats s'expliquent par le fait que ces lacs sont tous situés dans les régions de Maniwaki et de Chapais, là où la présence de calcaire influence certes de façon déterminante les valeurs du pH. De plus, la sélection de ce type de lac s'est effectuée à l'aide de cartes topographiques à l'échelle de 1:50000. Selon la légende utilisée sur ce type de carte, ces lacs peuvent aussi être considérés comme des marais ou des marécages. Dans le cas où ces lacs drainent effectivement des tourbières, on peut poser comme hypothèse qu'ils drainent des tourbières de type minérotrophe (fen), qui sont soumises à un apport d'éléments minéraux provenant du ruissellement du bassin versant, contrairement aux tourbières ombrotrophes (bog) qui ne sont alimentées que par des eaux de précipitation. L'importance des sphaignes est moins grande dans les "fens" qui sont plutôt caractérisés par la présence des laîches. Or, ces dernières n'ont pas la propriété acidifiante qu'on reconnaît aux sphaignes (Grondin et Ouzilleau, 1981).

La distribution du pH des lacs étudiés (figure 7) montre que trois (3) lacs seulement ont un pH inférieur à 5,0, alors que 75% des lacs ont un pH qui varie entre 6,0 et 7,5. Par ailleurs, 19 lacs ont un pH supérieur à 8,0; ils se retrouvent à la base de Maniwaki.

Ces valeurs sont sensiblement différentes de celles de l'échantillonnage effectué à l'été 1981 (Langlois et coll., 1983). De façon générale, le pH observé en 1982 est plus élevé que celui de 1981; il est de 6,5 pour l'ensemble des lacs échantillonnés en 1982 alors qu'il était de 6,0 pour ceux échantillonnés en 1981. Plusieurs lacs visités durant les deux années ont un pH supérieur en 1982 alors que quelques lacs seulement ont vu leur pH diminuer la deuxième année. Outre les considérations climatiques qui ont pu intervenir pour donner une image générale moins acide pour les lacs échantillonnés en 1982, plusieurs autres facteurs peuvent influencer ces résultats:

a) en 1982, les lacs échantillonnés ne sont pas uniquement des lacs de tête, mais ils comprennent des lacs de deuxième et de troisième ordre;

b) en 1982, les régions sud-ouest et nord-ouest du territoire d'étude étaient davantage représentées en nombre de lacs que la région est où les lacs sont en général plus acides.

Une comparaison entre les valeurs obtenues en laboratoire dans un délai de vingt-quatre heures après l'échantillonnage et les valeurs mesurées sur le terrain démontre que ces dernières sont légèrement supérieures à celles du laboratoire. La différence est de 0,1 unité de pH avec un intervalle de confiance de 0,04 pour une probabilité de 99% (tableau 10). Cette légère différence peut être attribuée à différents facteurs, tels les erreurs de manipulation et les types d'appareils utilisés; cependant, les délais dans

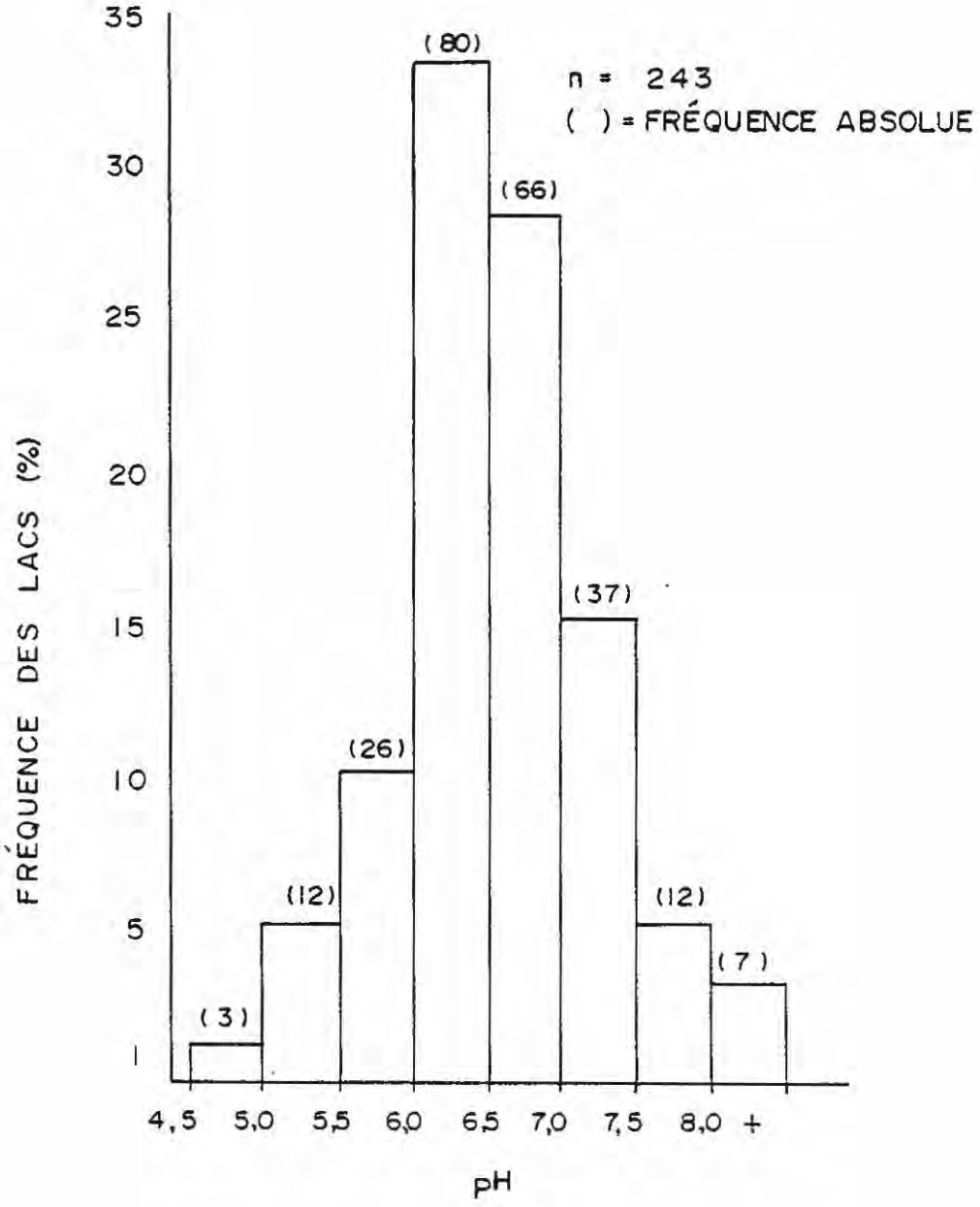

Figure 7: Histogramme de fréquence des lacs selon leur pH

Tableau 10. Comparaison des pH mesurés sur le terrain et en laboratoire.

	Nombre d'observations	Moyenne	Variance	Écart-type
pH (terrain)	251	6,5	0,42	0,65
pH (laboratoire)	251	6,4	0,55	0,74
Différence		0,1	0,07	0,26

T Calculé: 6,94

T (250) 99%: 2,61

Intervalle de confiance de la différence à 99%: 0,04

lesquels les mesures étaient prises (6 et 24 heures) et les écarts de température entre les échantillons de terrain et de laboratoire sont probablement les principales variables responsables de cette différence (Bougie, comm. pers.).

La répartition spatiale des différentes classes de pH montre que les plus faibles valeurs se situent à Sept-Iles et Manicouagan, alors que les bases de Chapais et du lac Albanel possèdent des valeurs relativement élevées (figure 8); cette répartition spatiale correspond d'ailleurs assez bien avec celle de l'échantillonnage de 1981 (Langlois et coll., 1983) lorsqu'on regarde l'écart relatif entre les régions.

Alcalinité

L'alcalinité est considérée par la plupart des auteurs comme le paramètre le plus important pour déterminer la sensibilité des plans d'eau à l'acidification. Elle a été mesurée à la fois sur le terrain (pour 201 lacs) et en laboratoire (pour 251 lacs). Les mesures de laboratoire sont utilisées pour l'analyse statistique. Les mesures prises sur le terrain sont comparées statistiquement avec les mesures prises en laboratoire (tableau 11). Ce test de comparaison démontre qu'il n'y a pas de différence significative (99%) entre ces deux séries de mesures.

L'alcalinité varie entre des valeurs situées sous la limite de détection et un maximum de 1 607,0 µeq/l; la moyenne pour les 251 lacs s'établit à 124,6 µeq/l. La valeur moyenne la plus élevée (370,2 µeq/l) est celle de la base de Maniwaki; cette situation est sans doute reliée à la présence de calcaire et de roches carbonatées dans cette région. Au contraire, la base de Sept-Iles possède l'alcalinité moyenne la plus faible (11,7 µeq/l).

Analysée en fonction des régions hydrographiques, l'alcalinité montre les mêmes tendances. Ainsi, la région de l'Outaouais possède l'alcalinité moyenne la plus élevée (313,2 µeq/l), alors que la région de la Côte-Nord possède le pouvoir tampon le plus faible (38,6 µeq/l).

En relation avec l'ordre de drainage des lacs, on note que les lacs de tourbières ont une alcalinité supérieure (349,8 µeq/l) à celle des lacs de premier (96,2 µeq/l), deuxième (137,4 µeq/l) ou troisième ordre (67,7 µeq/l). Il faut toutefois se rappeler que ces lacs de tourbières sont situés près de Maniwaki et de Chapais.

La distribution des lacs selon des classes d'alcalinité (figure 9) indique que près de 53% des lacs ont une alcalinité plus faible que 40 µeq/l, ce qui leur confère, selon plusieurs auteurs, une sensibilité extrême à l'acidification (Bobée et coll., 1982; Glass et coll., 1980; OME, 1979). D'après la répartition spatiale des lacs selon leurs classes d'alcalinité (figure 10), les lacs ayant une sensibilité extrême se retrouvent principalement sur la Côte-Nord, à Manicouagan, à Chute-des-Passes, à Senneterre et à Témiscau. Les lacs considérés comme ayant une faible sensibilité à l'acidification ([alcalinité] > 200 µeq/l) se retrouvent principalement aux bases de Chapais et de Maniwaki et ils représentent près de 15% des lacs échantillonnés.

Comme pour le pH, l'alcalinité moyenne observée en 1982 pour l'ensemble des lacs est beaucoup plus élevée (124,0 µéq/l) que celle observée en 1981 (61,9 µéq/l). Ces résultats sont tout à fait compatibles avec ceux mentionnés précédemment, soit un pH moins acide en 1982. Aux raisons déjà suggérées pour expliquer les différences sensibles entre les deux années, il faut ajouter dans le cas de l'alcalinité une sous-estimation probable des valeurs d'alcalinité GRAN mesurées en 1981 par le laboratoire d'analyse; les écarts

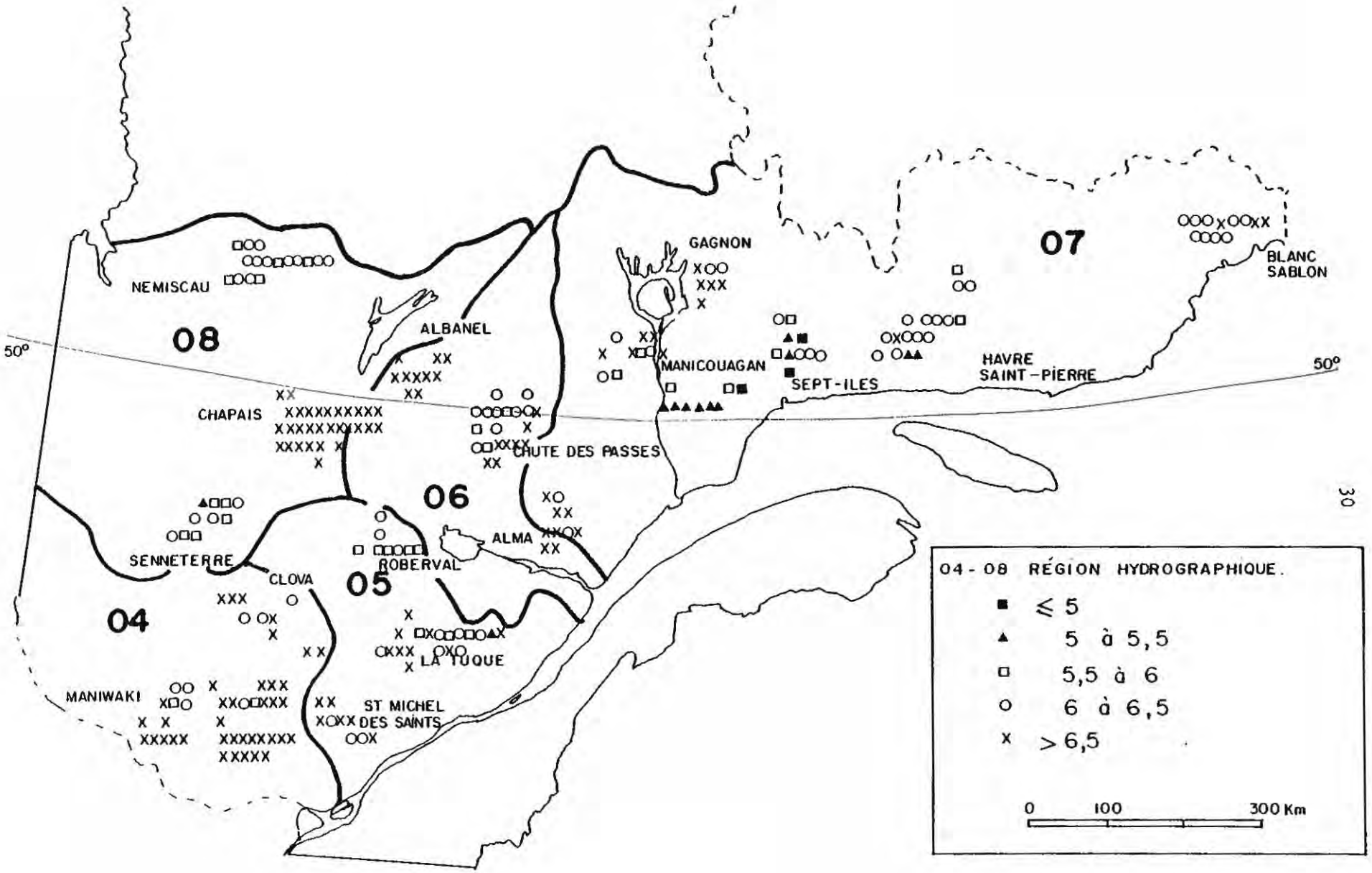

Figure 8: Répartition géographique des lacs selon leur pH.

Tableau 11. Comparaison de l'alcalinité mesurée sur le terrain et en laboratoire.

	Nombre d'observations	Moyenne	Variance	Écart-type
Alcalinité (laboratoire)	201	124	44560	211
Alcalinité (terrain)	201	117	46857	215
Différence		7	51910	227

T Calculé: 0,3991

T (200) 99%: 2,62

Intervalle de confiance de la différence à 99%: 42,06

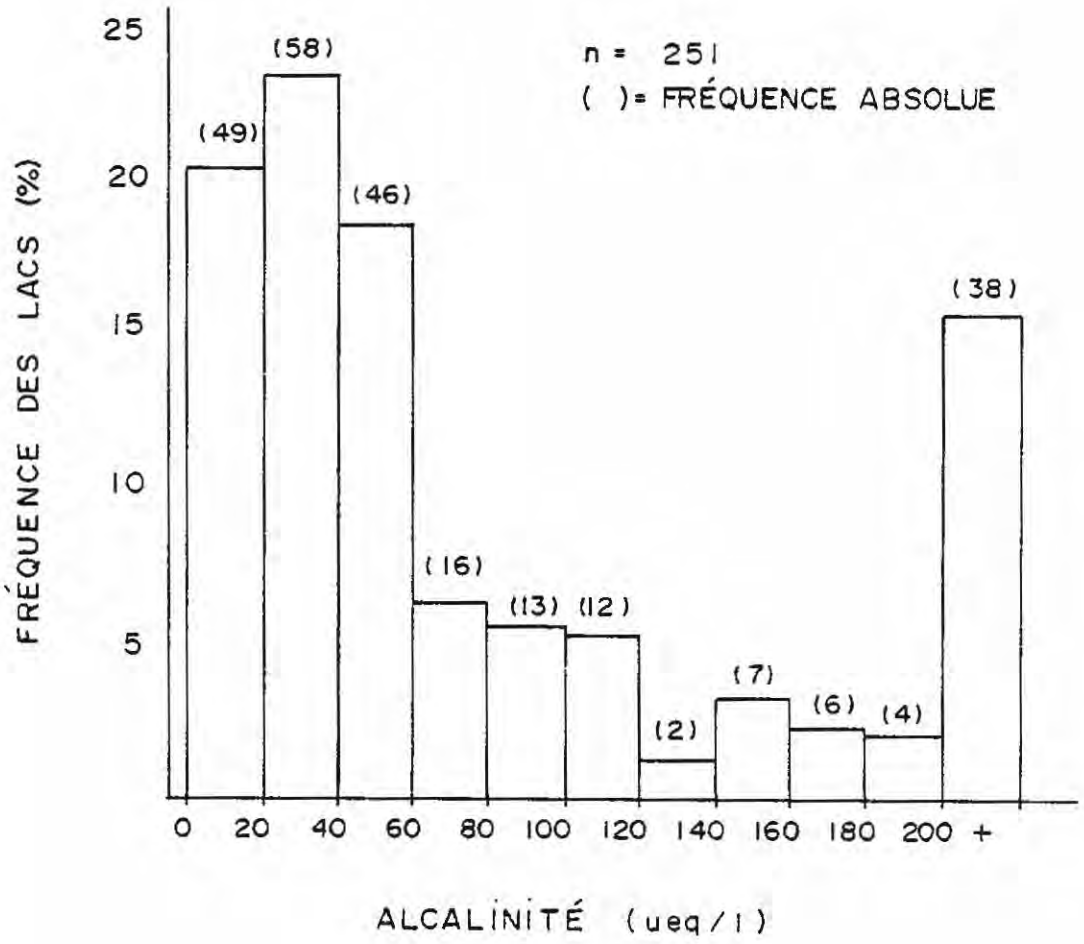

Figure 9: Histogramme de fréquence des lacs selon leur alcalinité.

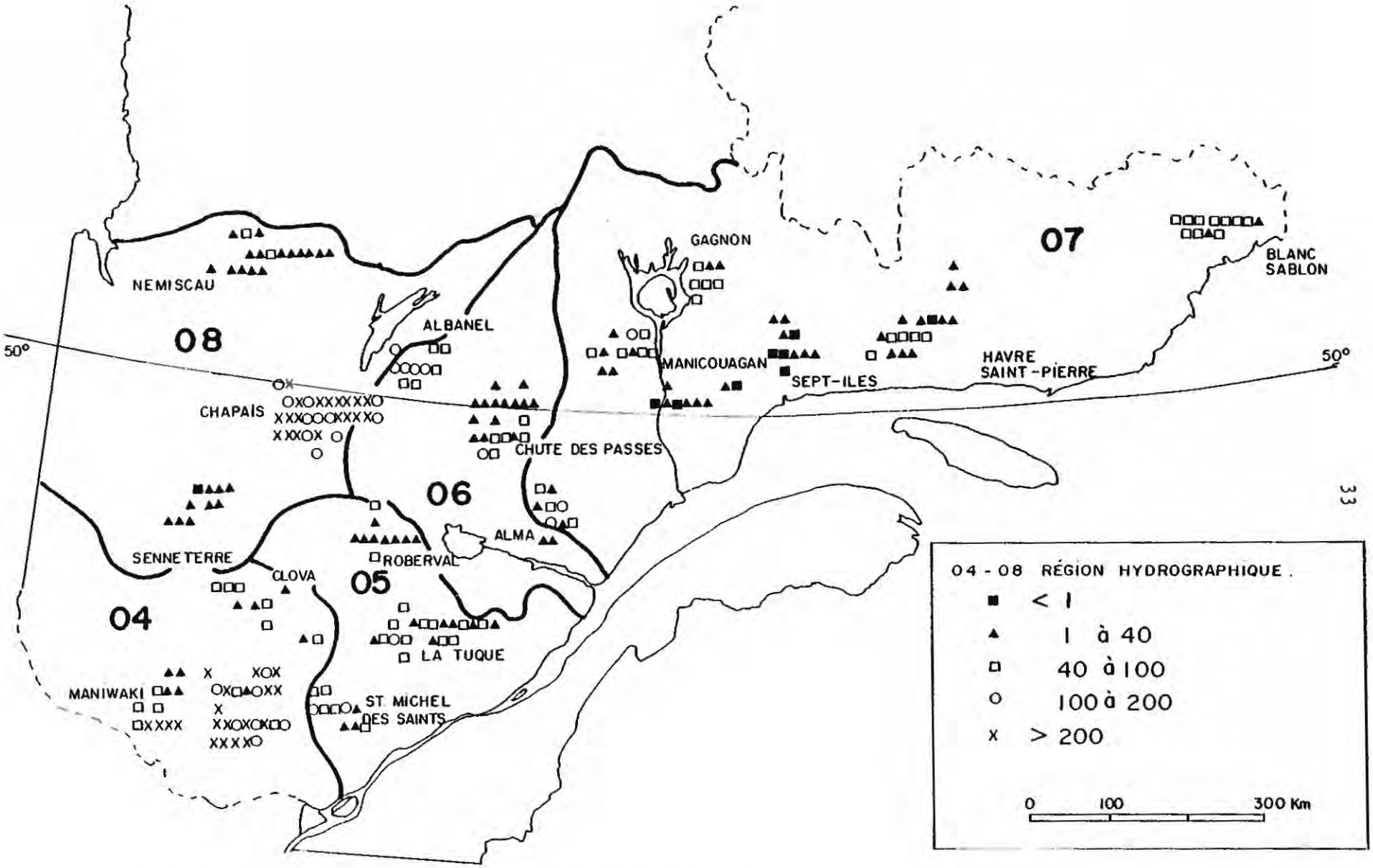

Figure 10: Répartition géographique des lacs selon leur alcalinité (méq/l).

importants du bilan ionique calculé à partir des données de 1981 suggèrent en effet que les déficits en anions étaient dus principalement à la sous-estimation des valeurs d'alcalinité (Langlois et coll., 1983).

Sulfates

Les sulfates présents dans les milieux aquatiques du Québec proviennent en majeure partie des précipitations acides; les concentrations en sulfates dans les lacs deviennent ainsi un indice important du niveau d'affectation d'un lac par les précipitations acides. Les concentrations naturelles de sulfates dans les eaux du bouclier canadien pourraient être inférieures à 30 µéq/l, comme l'indiquent des concentrations mesurées dans des lacs de la basse Côte-Nord et du Nouveau-Québec (Langlois et coll., 1983; Bobée et coll., 1982). En Ontario, les concentrations de fond du bouclier ont été évaluées à 60 µéq/l (Harvey et coll., 1981).

La concentration moyenne en SO_4^{-2} pour les lacs échantillonnés en 1982 est de 78,0 µeq/l, ce qui est nettement supérieur aux concentrations naturelles. Les bases de Manlwaki, Saint- Michel-des-Saints, La Tuque et Clova ont des concentrations particulièrement élevées, soit respectivement 148,6 131,2, 103,1 et 100,0 µeq/l. Par contre, les bases de la Côte-Nord ont des concentrations assez faibles en sulfates, comme 36,5 µeq/l pour Blanc- Sablon.

En analysant ces données par régions hydrographiques, on constate que la région de l'Outaouais possède les concentrations les plus fortes (140,7 µeq/l). L'analyse des sulfates par type de lacs tend aussi à démontrer la distribution spatiale des concentrations de cet ion, puisque les lacs de tourbières qui se retrouvent tous à l'ouest du Québec possèdent les concentrations moyennes en sulfates les plus élevées (93,7 µeq/l). Près de 75% des lacs échantillonnés ont des concentrations plus élevées que 60 µeq/l et près de 12% de ces lacs ont des concentrations supérieures à 140 µeq/l (figure 11).

La concentration en sulfates suit par ailleurs une décroissance marquée du sud au nord et de l'ouest à l'est (figure 12). Les lacs des bases de Manlwaki, Clova, Saint-Michel-des-Saints et La Tuque possèdent des concentrations supérieures à 100 µeq/l, alors que les lacs des bases de Senneterre, Albanel, La Tuque, Alma et Chute-des-Passes ont des concentrations qui varient de 60 à 100 µeq/l. Comme l'ont souligné Langlois et coll. (1983), il apparaît clairement que les teneurs en sulfates des lacs sont étroitement reliées au transport à grande distance des polluants atmosphériques selon un gradient qui épouse l'axe des vents dominants en provenant du sud-ouest. Ces vents sont surtout présents en période estivale (Houde, 1978).

Rapport alcalinité/sulfates

Dans les lacs non affectés par les précipitations acides, la concentration en sulfates est supposée négligeable et l'alcalinité totale est à peu près équivalente à la somme des cations. Par contre, dans un lac affecté par les précipitations acides, la concentration en sulfates n'est pas négligeable car l'ion SO_4^{-2} a tendance à remplacer l'ion HCO_3^- (Bobée et coll., 1982).

Ainsi, le rapport entre les ions bicarbonates et les sulfates permet de vérifier l'importance de l'anion SO_4^{-2} dans les lacs du bouclier canadien; dans un milieu non influencé par les précipitations acides, le rapport devrait excéder l'unité (Dickson, 1975).

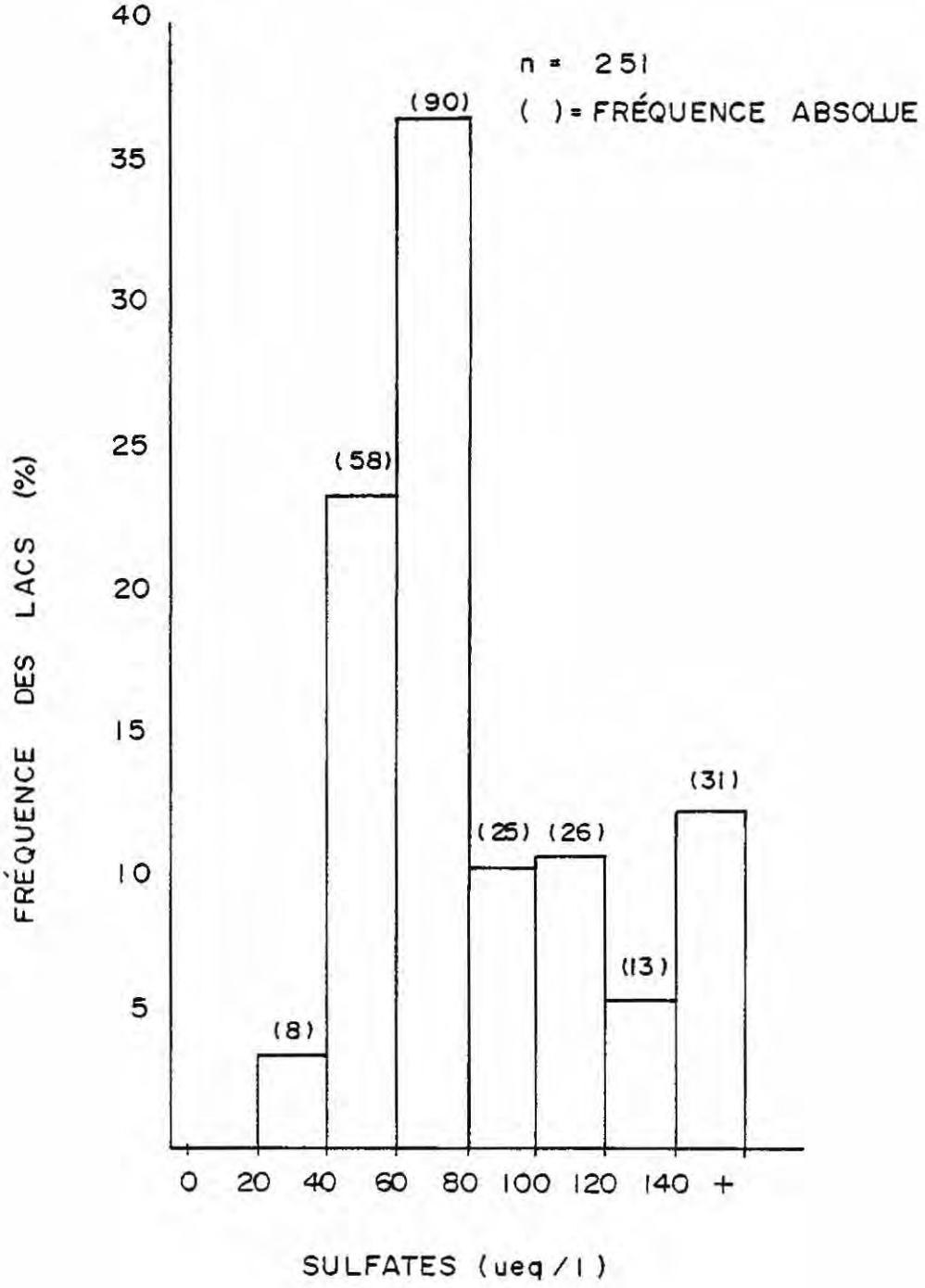

Figure 11: Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en sulfates.

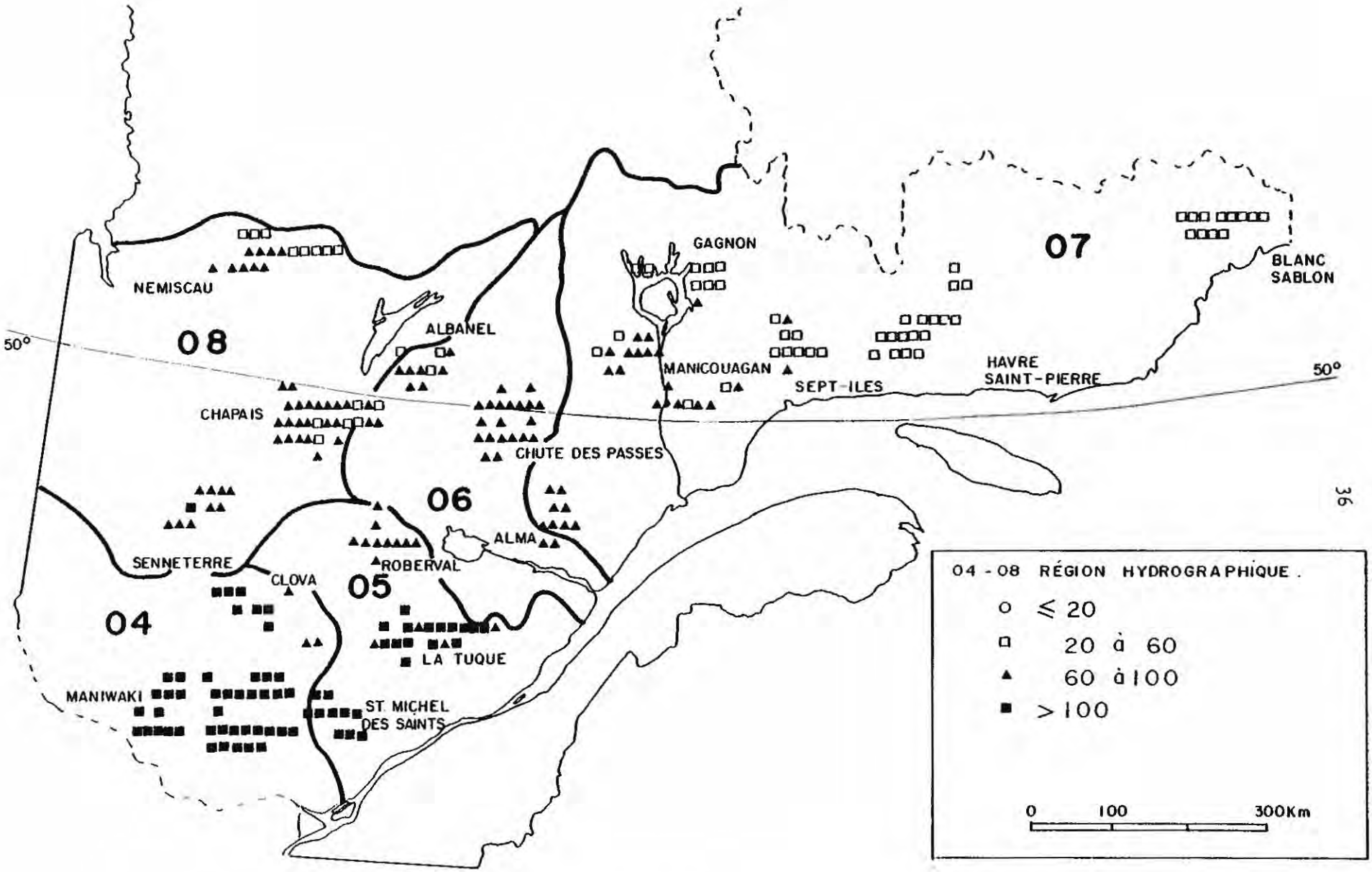

Figure 12: Répartition géographique des lacs selon leur concentration en sulfates (µéq/l).

Le calcul du rapport alcalinité/sulfates dans notre territoire d'étude montre que plus de 60% des lacs échantillonnés ont un rapport inférieur à l'unité (figure 13). La répartition spatiale des lacs, en fonction du rapport alcalinité/sulfates (figure 14), indique que seules les régions de Blanc-Sablon, Chapais, Albanel et Gagnon ne semblent pas affectées par un excès de sulfates par rapport aux ions bicarbonates.

Nitrates

Les nitrates représentent une des formes de composés azotés présents dans les cours d'eau. Les apports d'azote proviennent des précipitations, du bassin de drainage et de la fixation de l'azote dans le plan d'eau ou dans les sédiments. Bien que l'apport de composés azotés dans les eaux douces et leurs bassins de drainage soit principalement dû au ruissellement, on remarque que la partie attribuable à la pollution atmosphérique augmente de façon constante (Wetzel, 1975). Cependant, cet apport d'azote dépend en premier lieu de la source émettrice ainsi que des conditions météorologiques associées au transport. De plus, la présence de ces polluants contenus dans la neige est souvent plus importante que dans la pluie et peut représenter près de la moitié de l'apport annuel.

Le comportement de ce paramètre est plus difficile à déceler que celui des ions sulfates, calcium et bicarbonates. Brouard et coll. (1982) ont constaté que les concentrations deviennent relativement faibles au cours de l'été; cette situation pourrait résulter de l'incorporation des substances azotées par les composantes biotiques du bassin.

Les résultats provenant de l'échantillonnage de 1982 indiquent que 77% des lacs ont des concentrations en nitrates inférieures à la limite de détection (0,01 mg/l). Alors que la concentration médiane est inférieure à la limite de détection dans la plupart des secteurs, les plus fortes concentrations se retrouvent dans les lacs de la base d'Alma (maximum de 0,364 mg/l).

Sauf pour le secteur d'Alma, les valeurs ne varient pas de façon notable d'une région à l'autre, non plus que d'un ordre de drainage à l'autre.

Carbone

Puisque normalement on retrouve dans les eaux peu d'ions métalliques libres, ces métaux étant plutôt liés à des agents complexants comme la matière organique, la concentration en carbone organique et inorganique, total ou dissous, revêt une certaine importance.

Les concentrations du carbone organique total et dissous varient peu d'une base opérationnelle à l'autre (tableaux 7, 8 et 9). Ainsi, on retrouve des concentrations maximales à la base opérationnelle de La Tuque où la moyenne en carbone organique total est de 7,7 mg/l alors qu'elle est de 7,4 mg/l sous forme dissoute. Les valeurs moyennes les plus basses se retrouvent à la base opérationnelle de Gagnon où la concentration du carbone organique total est de 3,7 mg/l et la forme dissoute est de 3,4 mg/l. Les valeurs du carbone organique augmentent selon l'ordre de drainage du lac: 5,6 mg/l pour les lacs de premier ordre et 7,1 mg/l pour les lacs de troisième ordre).

Dans l'ensemble, les valeurs moyennes ne présentent pas de variations importantes, ce qui ne permet pas d'expliquer certains écarts dans la concentration moyenne des métaux (forme totale). Cependant, lorsqu'on scrute les résultats lac par lac, certaines valeurs élevées de carbone correspondent à des concentrations importantes de fer et d'aluminium;

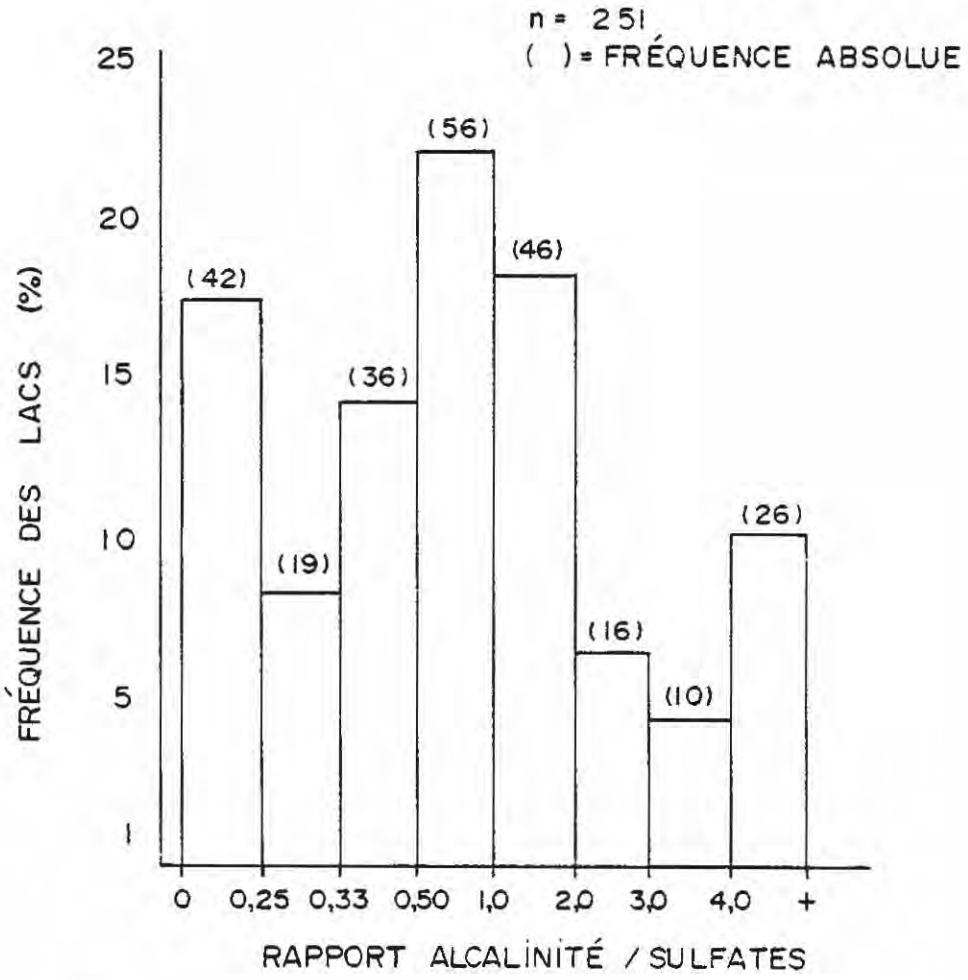

Figure 13: Histogramme de fréquence des lacs selon leur rapport alcalinité/sulfates.

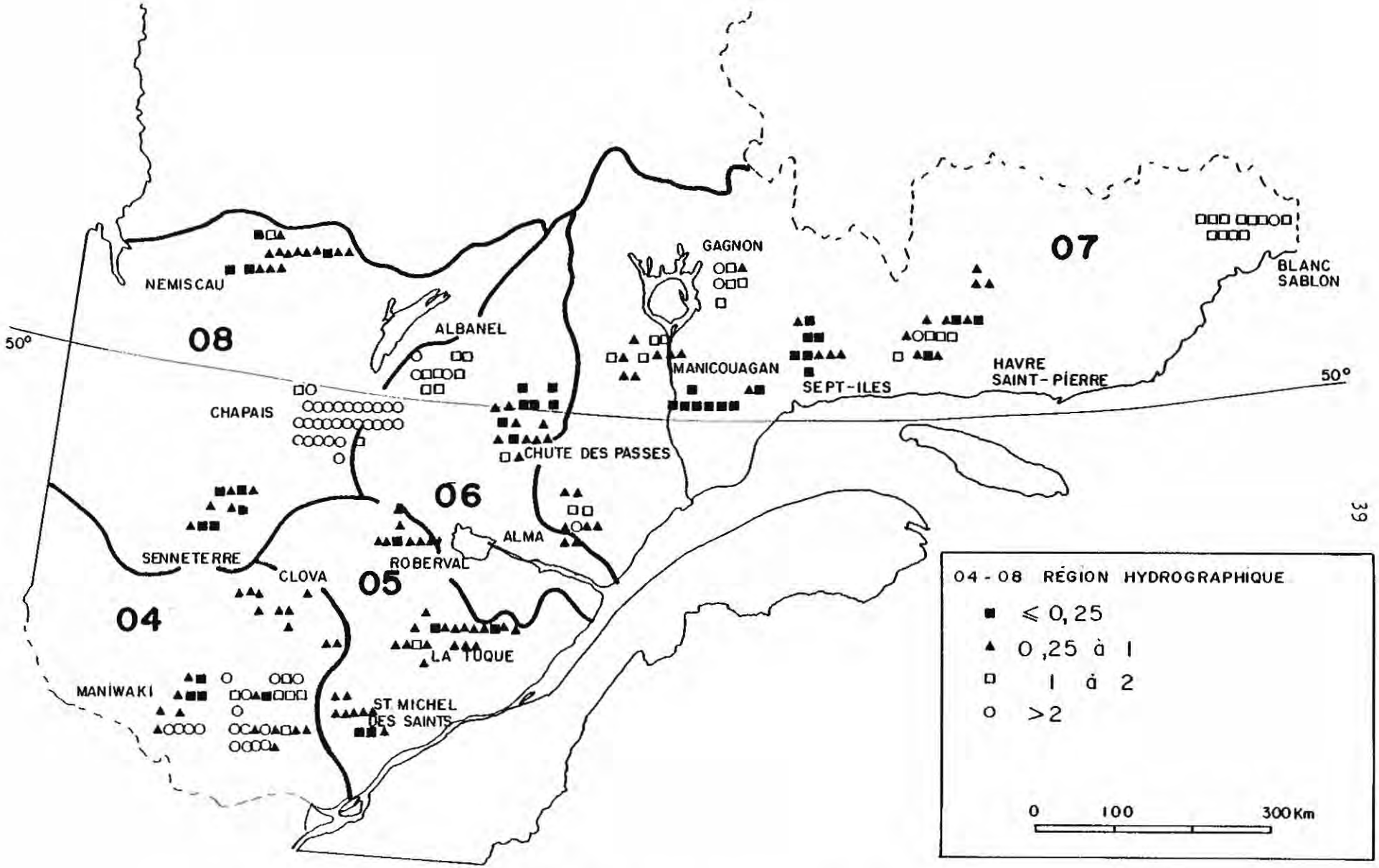

Figure 14: Répartition géographique des lacs selon leur rapport alcalinité/sulfates.

par exemple, le lac 201A présente une concentration de 1 610 µg/l de fer et une concentration de 236 µg/l d'aluminium, et ses concentrations en carbone organique sont de 15 mg/l.

Le carbone inorganique est beaucoup moins abondant (forme dissoute et totale) que le carbone organique. Dans 78% des lacs, les concentrations sont inférieures à la limite de détection (1 mg/l). Seuls quelques lacs des régions de l'Outaouais et de l'Abitibi/Baie James affichent des concentrations non négligeables, allant parfois jusqu'à 16 mg/l.

Aluminium

Les précipitations acides peuvent favoriser la libération des métaux des sols, des sédiments du lac et des roches du bassin versant. L'aluminium constitue un élément particulièrement abondant dans les roches du bouclier canadien, mais sa concentration serait faible dans les eaux naturelles, soit de 2 à 10 µg/l (Schneider et coll., 1979). L'aluminium peut se présenter sous différentes formes, dont certaines plus toxiques que d'autres pour les organismes aquatiques. C'est la forme totale qui a été analysée principalement dans le cadre de cette étude.

Pour l'ensemble des 251 lacs inventoriés, la concentration moyenne atteint 90,2 µg/l. C'est à la base opérationnelle de Sept-Iles qu'on retrouve la concentration moyenne la plus élevée (170,5 µg/l). La base de Saint-Michel-des-Saints possède la concentration moyenne la plus faible (29,3 µg/l). La concentration maximale (300 µg/l) a été mesurée dans un lac de Sept-Iles.

Lorsque les concentrations en aluminium sont interprétées par région hydrographique, on constate que c'est la région du Saguenay - Lac Saint-Jean qui possède les plus fortes concentrations (135,0 µg/l). Tout comme pour l'analyse selon les bases d'opération, cette concentration ne peut s'expliquer par aucun autre paramètre physico-chimique (pH, sulfates, profondeur photique, matière organique, etc.). Il faudrait davantage rechercher l'explication dans le type de sol, les dépôts et les sédiments des cours d'eau.

Par ailleurs, la concentration exprimée par l'ordre de drainage des lacs tend à démontrer qu'elle augmente selon l'ordre du lac. Cette augmentation suit le même gradient que le carbone organique total. La présence d'aluminium pourrait donc être plus importante lorsqu'elle s'associe à celle de la matière organique. Dans le cas des tourbières, ce parallèle ne peut cependant pas être effectué. Cette situation pourrait s'expliquer par les faibles concentrations en aluminium rencontrées dans les 2 régions où sont situées toutes les tourbières.

La distribution de la concentration de l'aluminium (figure 15) montre que 42% des lacs ont une concentration supérieure à 100 µg/l et que 11 lacs dépassent les 200 µg/l. Lorsqu'on regarde la répartition spatiale des lacs selon la concentration en aluminium (figure 16), on constate que les lacs ayant plus de 160 µg/l d'aluminium se retrouvent principalement au centre du Québec, soit aux bases de Sept-Iles, Manicouagan et Chute-des-Passes, alors que les bases du sud-ouest, qui subissent les principaux effets des précipitations acides, ont peu de lacs ayant des concentrations élevées. Ces résultats semblent supporter les conclusions de Langlois et coll. (1983) à l'effet qu'il ne semble pas avoir de relation immédiate entre le pH des lacs et les concentrations en aluminium total retrouvées dans les eaux lacustres du Québec.

Les différentes formes d'aluminium (total, dissous, labile et complexé) ont été analysées pour 50 lacs de notre échantillonnage selon la méthode décrite par Campbell et coll. (1982). Les résultats obtenus montrent qu'il existe une relation linéaire à peu près

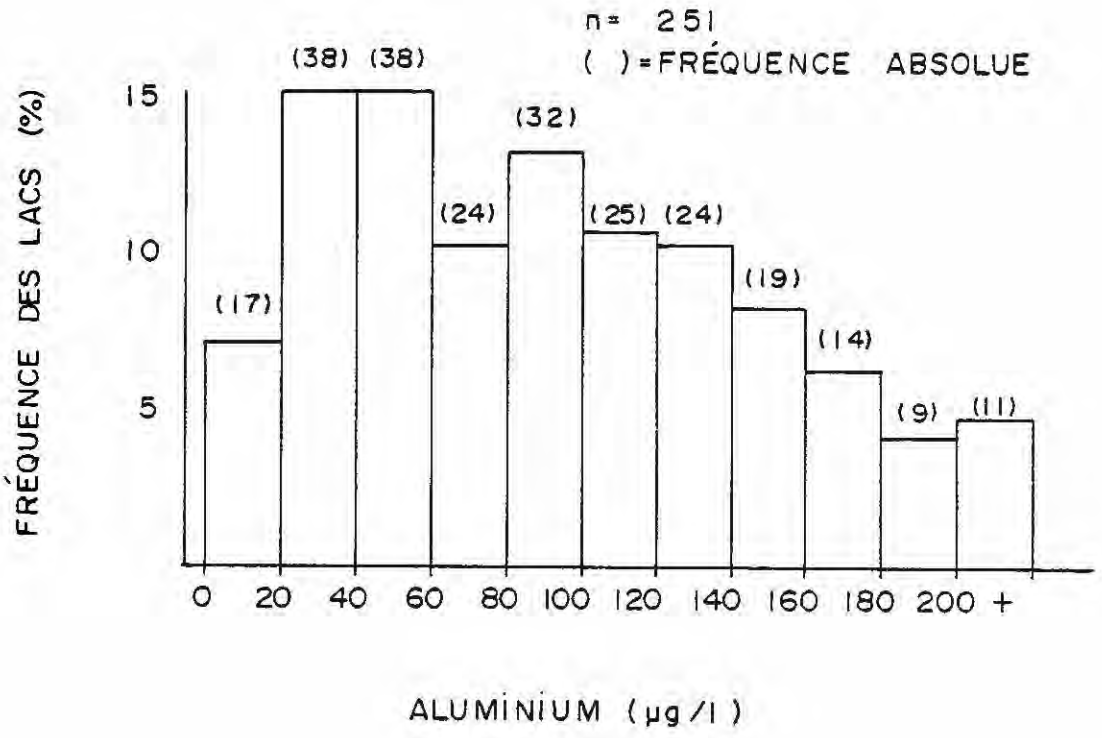

Figure 15: Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en aluminium.

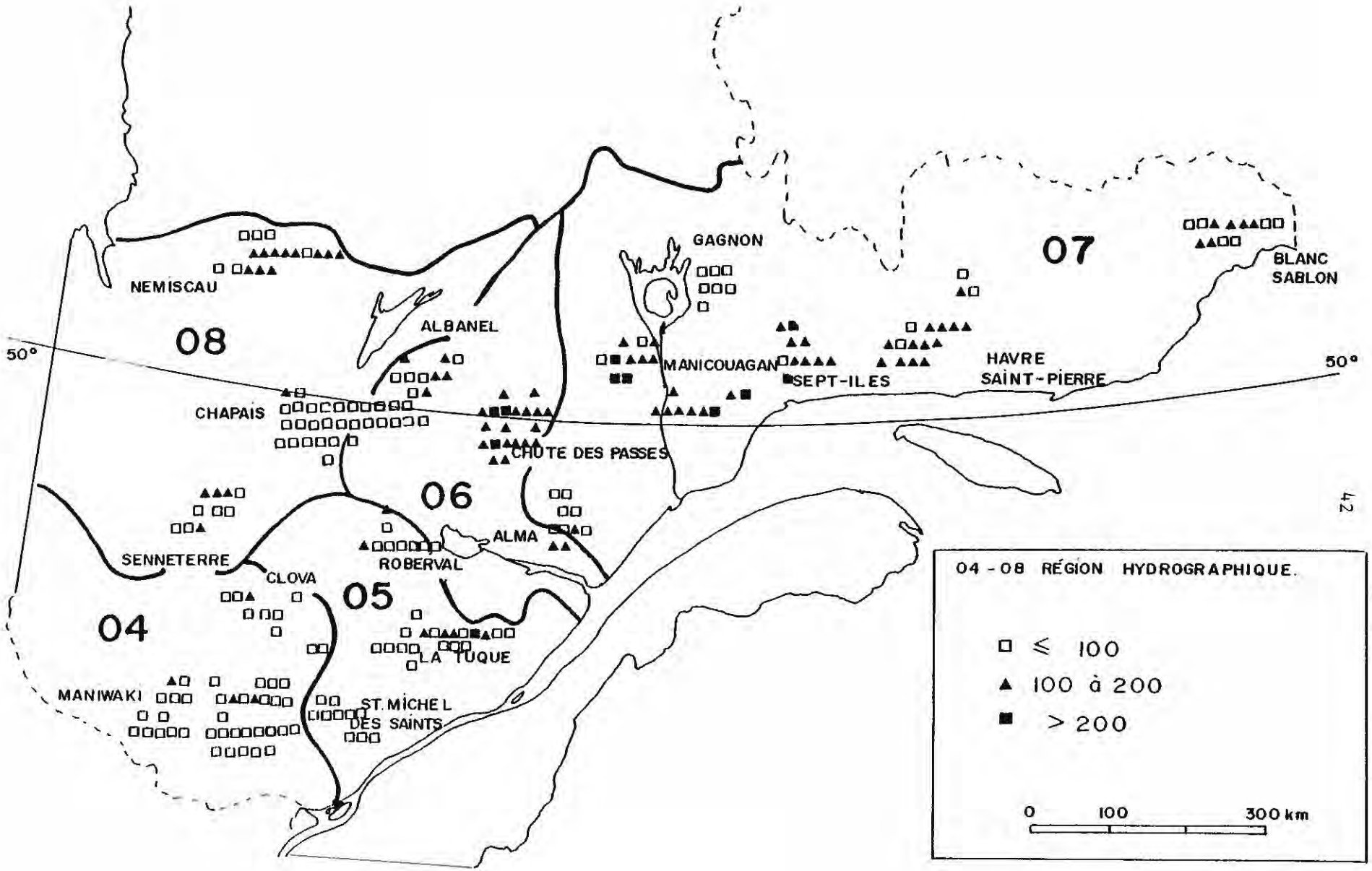

Figure 16: Répartition géographique des lacs selon leur concentration en aluminium (µg/l).

constante entre les différentes formes d'aluminium (annexe 2). Le coefficient de corrélation (r) entre Al total et Al dissous est de 0.99 ($p<5\%$); il est par ailleurs de 0.76 entre Al total et Al labile et de 0,98 entre Al total et Al complexé. Malgré l'étroite relation observée dans 50 lacs entre l'Al total et ses différentes formes plus toxiques, il faudra étudier davantage le phénomène de spéciation de l'aluminium et les variations saisonnières de ce métal dans l'eau pour mieux cerner les problèmes de lessivage de l'aluminium des eaux acidifiées.

Manganèse

Comme l'aluminium, le manganèse est susceptible de se solubiliser lorsqu'il y a augmentation de l'acidité des plans d'eau. Les résultats d'analyse présentent une concentration moyenne de 12,1 µg/l de manganèse (forme totale). La base de Chute-des-Passes possède la concentration moyenne la plus élevée (18,6 µg/l) et la base de Gagnon la valeur la plus faible (3,3 µg/l). Les valeurs moyennes varient peu d'une base à l'autre; la concentration maximale se trouve dans un lac de la base de La Tuque (42,0 µg/l).

Les concentrations moyennes de manganèse, tout comme celles de l'aluminium, sont plus abondantes dans la région hydrographique du Saguenay - Lac Saint-Jean, alors que la Côte-Nord possède la concentration moyenne la plus faible. La distribution du manganèse dans les lacs étudiés (figure 17) montre que les concentrations sont variables et que 18% des lacs ont des concentrations supérieures à 20 µg/l. La répartition spatiale de ces concentrations (figure 18) indique que les bases du sud-ouest, du nord-ouest et du centre du Québec possèdent des lacs ayant une concentration en manganèse dépassant les 20 µg/l, alors que la Côte-Nord possède des lacs ayant des concentrations plutôt faibles.

Fer

Le fer est aussi un métal dont la solubilité augmente en milieu acide. Dans les lacs échantillonnés, la concentration moyenne en fer (forme totale) est de 114,1 µg/l. La concentration moyenne la plus élevée se trouve à la base de La Tuque (206,3 µg/l) et la plus faible à la base de Gagnon (45,7 µg/l). Les concentrations sont toutefois variables. Ainsi, à la base de Gagnon, un minimum de 8,0 µg/l a été observé, alors qu'à la base de La Tuque un maximum de 1 610,0 µg/l fut noté.

Comme dans le cas de l'aluminium et du manganèse, la concentration en fer augmente avec l'ordre des lacs; elle est en moyenne de 97,3 µg/l dans les lacs de tête et de 167,7 µg/l dans les lacs de 3e ordre. La concentration en fer est inférieure à 40 µg/l dans 30% des lacs et supérieure à 300 µg/l pour 7% d'entre eux (figure 19). Les différentes classes de concentrations sont assez bien distribuées dans le territoire d'étude (figure 20). Cependant, les lacs ayant des concentrations supérieures à 200 µg/l se retrouvent presque exclusivement à l'ouest du Québec. Les concentrations de fer semblent, elles aussi, liées davantage à la géologie du bassin versant et à la présence de matière organique dans l'eau qu'à l'influence du niveau d'acidification des lacs (Langlois et coll., 1983).

Métaux traces: cadmium, plomb, nickel, zinc et cuivre

Les métaux traces sont considérés comme des contaminants et sont, en général, toxiques. Leurs concentrations naturelles dans l'eau demeurent très faibles, mais elles peuvent être influencées par l'acidification, notamment dans les secteurs situés au voisinage de sources d'émissions polluantes. Il faut souligner ici que les concentrations sont exprimées sous forme totale (annexe 3).

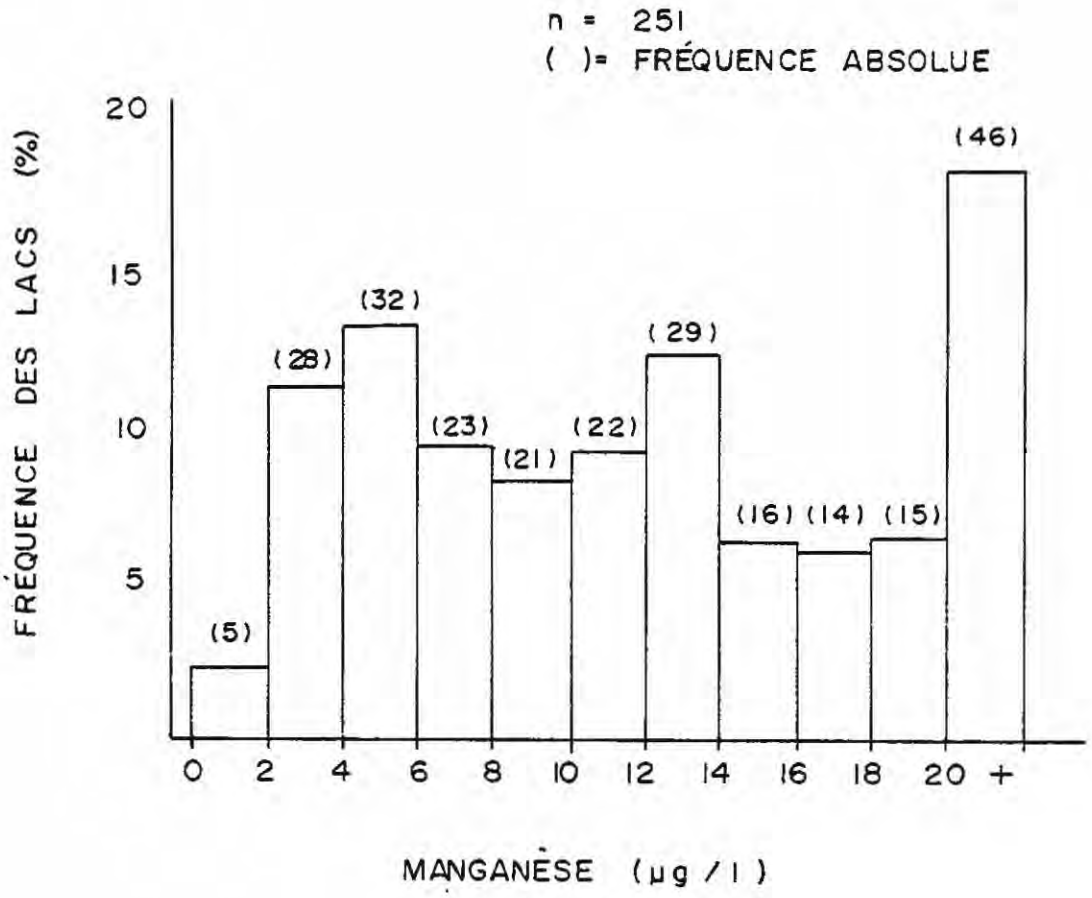

Figure 17: Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en manganèse.

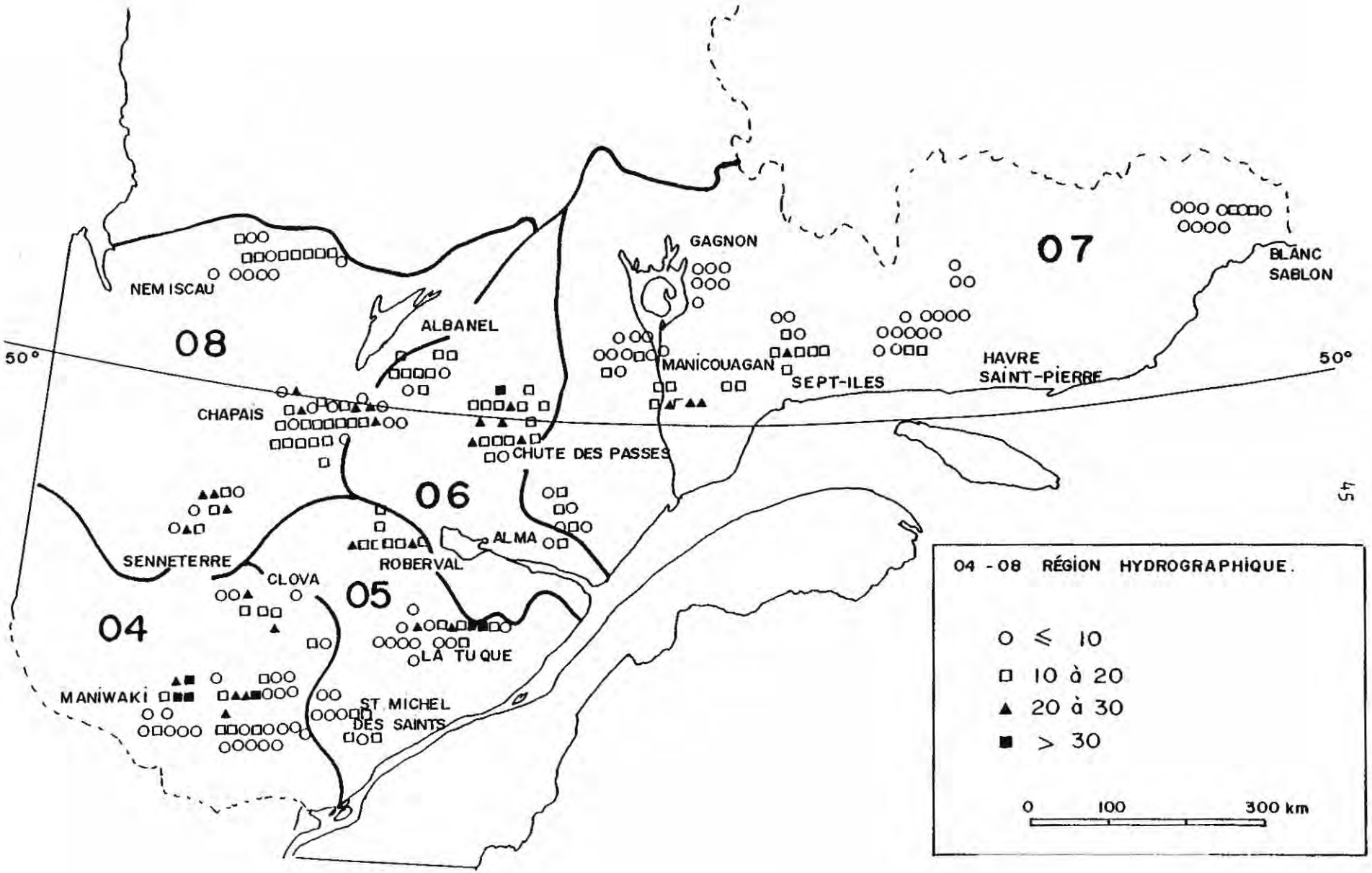

Figure 18: Répartition géographique des lacs selon leur concentration en manganèse (µg/l).

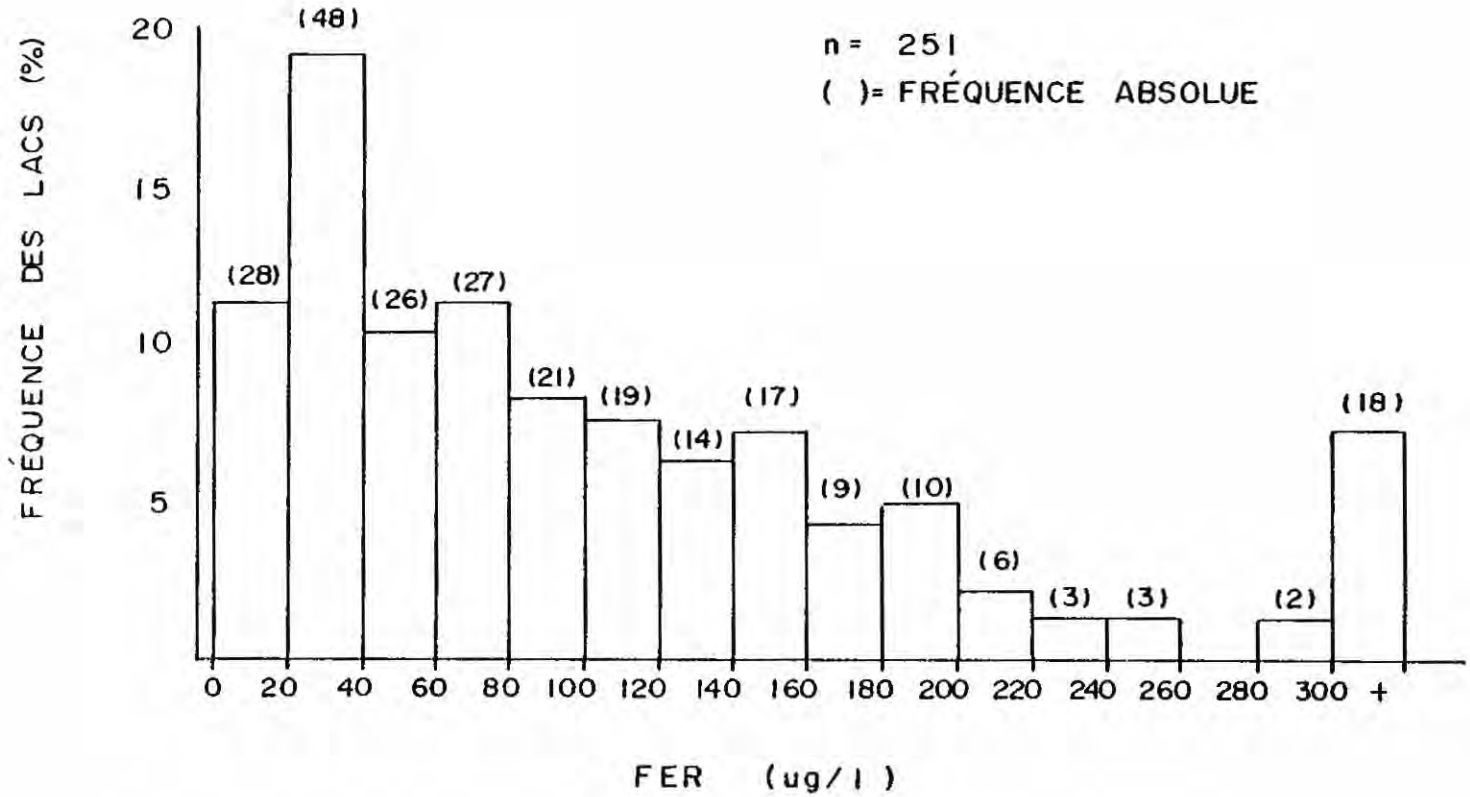

Figure 19: Histogramme de fréquence des lacs selon leur concentration en fer.

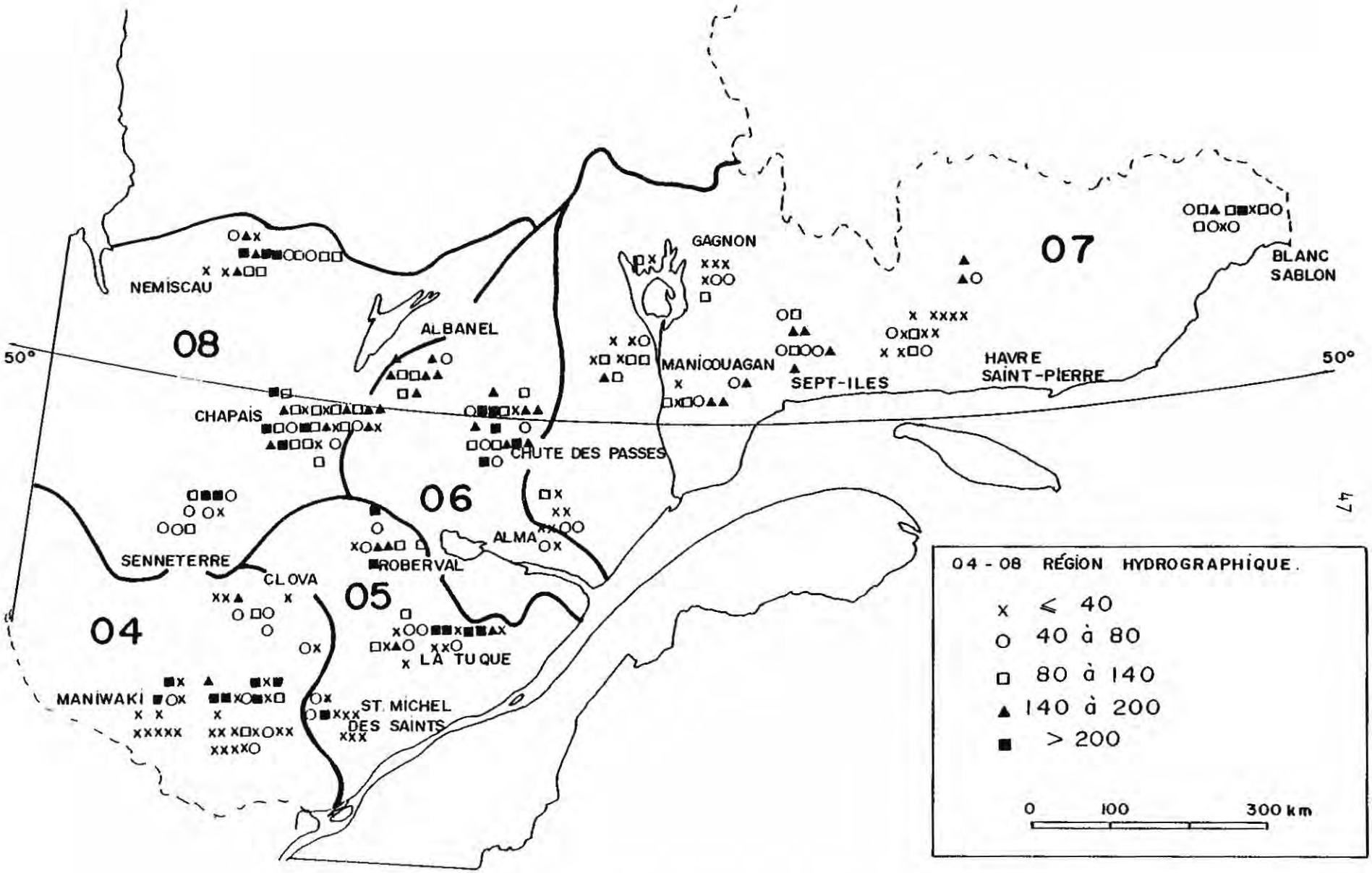

Figure 20: Répartition géographique des lacs selon leur concentration en fer (µg/l).

Cadmium

Le cadmium est un des métaux les plus toxiques pour les poissons, même à des concentrations aussi faibles que 0,7 µg/l. La moyenne des concentrations retrouvées dans le territoire est de 0,3 µg/l. Les valeurs varient peu d'une base à l'autre puisque la concentration moyenne la plus élevée se retrouve à la base de Roberval (0,7 µg/l) alors que la concentration moyenne la plus faible est à Sept-Iles (0,1 µg/l). Cette faible variation s'observe aussi lorsqu'on compare les résultats par région hydrographique. Les valeurs maximales sont observées dans des lacs de Manicouagan (1,6 µg/l), de la Chute-des-Passes et de Roberval (1,1 µg/l), de Maniwaki (1,3 µg/l) et de Clova (1,8 µg/l). Des concentrations particulièrement élevées sont distribuées sur l'ensemble du territoire.

Zinc

Les concentrations en zinc varient entre la limite de détection (1 µg/l) et une valeur maximale de 31,0 µg/l; cette dernière provient d'un lac de la base de Maniwaki. Les valeurs moyennes se situent entre une concentration de 8,7 µg/l à Roberval et La Tuque, et 5,2 µg/l à Havre Saint-Pierre (annexe 3). Les variations entre chaque base sont donc peu importantes. De même, lorsqu'elles sont analysées par région hydrographique, les variations dans les concentrations en zinc sont faibles et elles se situent entre 6,5 µg/l et 8,6 µg/l. Enfin, on remarque une augmentation des concentrations selon l'ordre de drainage des lacs. Les concentrations mesurées sont nettement inférieures aux concentrations toxiques maximum acceptables de 50-130 µg/l (Spry et coll., 1981).

Plomb, nickel et cuivre

Pour ces trois métaux-traces, les concentrations mesurées sont extrêmement faibles. Dans le cas du plomb, 77% des lacs ont des concentrations inférieures à la limite de détection (1 µg/l); c'est la même situation pour le cuivre dans 53% des lacs et le nickel dans 44% des lacs. Les valeurs maximum mesurées sont de 48 µg/l pour le plomb, 10 µg/l pour le nickel et 14 µg/l pour le cuivre. Très peu de lacs, cependant, ont des valeurs supérieures ou égales aux concentrations toxiques maximum acceptables pour le milieu aquatique; ces dernières sont de 4 à 8 µg/l pour le plomb, 380 à 730 µg/l pour le nickel et 9,5 µg/l pour le cuivre (Spry et coll., 1981).

CONCLUSION

Dans l'ensemble, les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude confirment et complètent ceux obtenus durant la première campagne d'échantillonnage de l'inventaire national en 1981 (Langlois et coll., 1983). Ils confirment que, selon le rapport alcalinité/sulfates, la qualité physico-chimique des lacs du bouclier canadien est significativement influencée par les précipitations acides et que cette influence est particulièrement importante à l'ouest du Québec (Outaouais, La Mauricie et Abitibi - Baie-James). La présente étude permet par ailleurs de préciser davantage, à l'intérieur des trois régions mentionnées plus haut, des zones dont les lacs affichent des sensibilités très différentes aux retombées atmosphériques acides. Dans la région de Maniwaki par exem-

ple, certains lacs ont une réserve alcaline importante alors que d'autres, situés à proximité, sont très sensibles à l'acidification. La nature du sol et du sous-sol expliquerait vraisemblablement aussi pourquoi les bases de Chapais et Albanel affichent un pouvoir tampon (alcalinité) considérablement plus élevé que les zones avoisinantes.

Le gradient des concentrations en sulfates dans les lacs observés à partir des résultats de l'échantillonnage de 1981 (Langlois et coll., 1983) est confirmé par les résultats actuels. La représentativité de l'échantillonnage étant meilleure dans l'ouest du territoire pour la présente étude, le gradient décroissant du sud-ouest vers le nord-est est encore mieux délimité, ce qui semble confirmer l'origine atmosphérique des fortes teneurs en SO_4^{-2} dans les lacs de l'ouest du territoire.

Quant aux concentrations en métaux dans les lacs échantillonnés, elles ne semblent pas davantage reliées aux précipitations acides que ne le rapportent Langlois et coll. (1983) pour l'échantillonnage de l'été 1981. Il faut toutefois souligner que ce sont les formes totales des métaux qui ont été analysées dans le cadre de ces inventaires. La spéciation de l'aluminium, effectuée sur 50 lacs de notre échantillonnage, a cependant montré une corrélation très forte entre l'aluminium total et ses différentes formes. Le lessivage des métaux dans les lacs acidifiés, tel que le rapportent plusieurs auteurs à l'extérieur du Québec, reste donc très peu évident dans notre territoire d'étude. Les concentrations observées ici sont d'ailleurs inférieures à celles rapportées dans les lacs acidifiés de la Norvège, de la Suède, du Mont La Cloche (Ontario) ou des monts Adirondack (États- Unis).

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette étude. En particulier, nous voulons exprimer notre gratitude à MM. Jacques Michaud, René Bougie et René Dubuc respectivement responsables de la planification du projet, des analyses en laboratoire et des analyses statistiques. Nos remerciements s'adressent aussi à MM. Denis Gareau et Jean Pelletier qui ont effectué les relevés de terrain et à M. Viateur Dubé qui a assuré la liaison entre le ministère des Pêches et des Océans et le Groupe Dryade durant les travaux d'échantillonnage. Nous voulons remercier enfin messieurs Gilles Tremblay, Lévis Talbot, Jacques Dupont et Yves Grimard qui ont bien voulu réviser la version préliminaire de ce rapport.

BIBLIOGRAPHIE

Almer, B., W. Dickson, C. Ekstrom et E. Hornstrom 1978. Sulfurpollution and the aquatic ecosystem. In Sulfur in the environment. Part II. Ecological impacts. Edited by J.O. Niagru., J. Wiley and Sons Inc, New York, N.-Y. pp. 271-311.

Bobée, B., M. Lachance, J. Haemmerli, A. Tessier, J.Y. Charette et J. Kramer 1983. Évaluation de la sensibilité à l'acidification des lacs du sud du Québec et incidences sur le réseau d'acquisition de données. INRS-Eau, rapport scientifique no 157, 198 pp., 4 annexes, 1 appendice.

Bobée, B., Y. Grimard, M. Lachance et A. Tessier 1982. Nature et étendue de l'acidification des lacs du Québec. INRS-Eau, Ste-Foy, Rapport scientifique no 140. Préparé pour le service de la qualité des eaux du ministère de l'Environnement du Québec. 243 pp. + 3 ann.

Bougie, R. 1982. Communication personnelle. INRS-Eau, Québec.

Brouard, D., M. Lachance, G.S. Shooner et R. von Colile 1982. Sensibilité à l'acidification de quatre rivières à saumons de la Côte-Nord du Saint-Laurent (Québec). Direction de la recherche sur les pêches, ministère des Pêches et des Océans, Québec, 55 p.

Campbell, P.G.C., M. Bisson, J. Boisvert, R. Bougie, A. Tessier et J.P. Villeneuve 1982. Méthodologie analytique pour déterminer la spéciation de l'aluminium dans les eaux lacustres en voie d'acidification. INRS-Eau, Rapport scientifique, no. 145, 113 p.

Dickson, W. 1975. The acidification of swedish lakes. Inst. Freshwater Res. Drottningholm, Sweden, Report no 54, pp 8-20.

Dussart, B., 1966. Limnologie. L'étude des eaux continentales. Gauthier-Villars, Paris, 676 p.

Environnement Canada 1982. Étude de la sensibilité aux précipitations acides de 22 lacs du Parc national de la Mauricie. Direction générale des Eaux intérieures, Québec, 44 pp.

Environnement Canada 1980. Sensibilité des écosystèmes aquatiques aux effets des retombées des polluants atmosphériques dans la région de Québec. Environnement Canada, Direction régionale des Eaux intérieures, Québec, 85 p.

Glass, N.R., C.F. Powers, J.J. Lee et D.L. Rambo 1980. A brief survey of the sensitivity of the environment to acide precipitation. Preliminary draft of the environmental protection agency, USA, 35 pp.

Grondin, P. et J. Ouzilleau 1980. Les tourbières du sud de la Jamésie, Québec. Géograph. phys. Quat., Vol. 34, no. 3, p. 267-299.

Grimard, Y. 1981. Contribution à l'étude de la vulnérabilité des eaux lacustres québécoises face à l'acidification des précipitations. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux (rapport 81-6), 38 p.

Harvey, H.H., P.J. Dillon, J.R. Kramer, R.C. Pierre et D.M. Welpdale 1981. Acidification in the Canadian Aquatic Environment: Scientific Criteria for Assessing the Effects of Acidic Deposition on Aquatic Ecosystems. National Research Council of Canada, Environmental Secretariat, NRCC Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality. 369 p. Publ. No NRCC 18475.

Houde, A. 1978. Atlas climatologique du Québec. Ministère des Richesses Naturelles, Direction générale des eaux.

Jones, H.G., M. Ouellet et D.F. Brakke 1980. The evolution of acidity in the surface waters of Laurentides Park (Québec, Canada) over a period of 40 years. Oslo, Proceedings of the International Conference on Ecological Impact of Acid Precipitation at Sandefjord, Norway, 11-14 March 1980. 8 p.

Keiso, J. et coll. 1984. Current status of lake acidification and its effect on the biota of Eastern Canada. Department of Fisheries and Oceans, Sault-Ste-Marie (en révision).

Langlois, C., Y. Vigneault, L. Désilets, A. Nadeau et M. Lachance 1983. Evaluation des effets de l'acidification sur la physico-chimie et la biologie des lacs du bouclier canadien (Québec). Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. No 1233: xii + 129 p.

Legendre, P., A. Chodorowski et Chodorowska (et al.) 1980. Qualité des eaux. Interprétation des données lacustres (1971-1977). Ministère de l'Environnement du Québec, Direction générale des inventaires et de la recherche, Service de la qualité des eaux et Centre de Recherche en sciences de l'environnement (CERSE), UQUAM (d'après des données du ministère des Richesses naturelles). Québec. 407 p.

OME 1979. Dtermination of the susceptibility to acidification of poorly buffered surface waters. Ontario Ministry of Environment, Limnology and Toxicity section, Water Resources Branch, 21 p.

Scheider, W.A., D.S. Jeffries et P.J. Dillon 1979. Effects of acidic precipitation on Precambrian freshwaters in Southern Ontario. J. Great Lakes Res. 5: 45-51.

Wetzel, R.G. 1975. Limnology. W.B. Saunders Company, Toronto, 743 p.

Wright, R.F., T. Dale, E.T. Gjessing, G.R. Hendrey, A. Henriksen, M. Johannsessen et I.P. Muniz 1976. Impact of acid precipitation on freshwater ecosystems in Norway. Water Air Soil Pollut., 6: 483-499.

Annexe 1. Liste et localisation des lacs échantillonnés en 1982.

Nom du lac Base d'opération	Numéros*	Coordonnées		Cartes
Maniwaki				
Irwin	137	76°31'	46°36'	31K/10 et 9
Sidney	138 A	76°42'	46°37'	31K/10 et 9
Léger	138 B	76°42'	46°38'	31K/10 et 9
Nettie	138 C	76°46'	46°37'	31K/10 et 9
Weldie	142	76°39'	46°43'	31K/10 et 9
Cameron	145	76°51'	46°25'	31K/7
Achigan	148 A	77°06'	46°12'	31K/3 et 6
Smith	148 B	77°08'	46°12'	31K/3
	138 X	76°40'	46°39'	31K/10 et 9
Binet	131	75°19'	46°13'	31J/3
Sourd	131 A	75°15'	46°08'	31J/3
Berneuil	132 B	75°27'	46°14'	31J/3
Mitchell	133	75°25'	46°20'	31J/6
Hydroplane	135	75°20'	46°14'	31J/3 et 6
Matabi	136	75°34'	46°10'	31J/4
Peter	144	76°42'	46°10'	31K/2
Indian	147 A	76°52'	46°07'	31K/2
Bouchard	147 B	76°52'	46°06'	31K/2
Moiseau	147 C	76°52'	46°05'	31K/2
Loutre	207 A	75°47'	46°04'	31J/4
Numéro 3	207 B	75°47'	46°03'	31J/4
Croche	208 A	75°47'	46°04'	31J/4
Chasseurs	208 B	75°46'	46°04'	31J/4
Tom	209 A	75°43'	46°08'	31J/4
Bailey	209 B	75°45'	46°09'	31J/4

*Signification: 137, 138A: Lacs de tête
138 B : Lacs de 2e niveau hydrographique
138 C : Lacs de 3e niveau hydrographique
138 X : Lac sélectionné sur le terrain comme substitut
251 à 300: Lacs de tourbières

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
Maniwaki (suite)				
Hache	264	75°06'	46°52'	31J/14
Bouette	265	75°09'	46°49'	31J/14
Michaud	266	75°14'	46°50'	31J/14
Boucher	267	75°17'	46°44'	31J/11
Desjardins	268	75°22'	46°35'	31J/11
Iles	269	75°34'	46°43'	31J/12
Philomène	270	75°51'	46°39'	31J/12
Caronna	271	75°49'	46°36'	31J/12
Curtis	272	75°55'	46°38'	31J/12
Darby	273	75°57'	46°38'	31J/12
Laframboise	274	75°49'	46°22'	31J/5
Gore	275	75°33'	46°16'	31J/5
Senneterre				
Cimetière	162 A	76°17'	48°45'	32C/16
Wetetnagami	162 B	76°15'	48°55'	32C/16
Martin	163	76°48'	48°26'	32C/7
Jacques	164	76°59'	48°25'	32C/6 et 47
Roger	165	76°14'	48°46'	32C/8 et 16
--	166	76°44'	48°44'	32C/10
--	168	76°52'	48°29'	32C/7
--	170 A	76°30'	48°47'	32C/15 et 16
Castonguay	170 B	76°26'	48°49'	32C/15 et 16
Gaillard	170 C	76°24'	48°55'	32C/15 et 16
La Tuque				
Bourgeoys	108	72°37	47°28'	31P/7
Bellavance	111	73°17	47°22'	31P/6
Fauvette	112 A	73°14	47°20'	31P/6
Pasteur	112 B	73°07	47°20'	31P/6
Morin	116	72°14	47°20'	31P/8
--	117	72°16	47°23'	31P/8
Passes	118	72°06	47°27'	31P/8

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
La Tuque (suite)				
Hope	120 A	72°12'	47°36'	31P/9
--	122 A	72°29'	47°38'	31P/9 et 10
Canot	122 B	72°27'	47°38'	31P/9 et 10
Hirondelles	201 C	72°17'	47°32'	31P/9
Trois Caribous	221	72°09'	47°35'	31P/9
Thomas	222	72°39'	47°18'	31P/7
Carignan	223	72°46'	47°15'	31P/7 et 2
Minomaquam	224 A	72°52'	47°37'	31P/10
Duplessis	224 B	72°49'	47°39'	31P/10
	122 X	72°28'	47°35'	31P/9 et 10
	201 X	72°18'	47°32'	31P/9
Chapais				
Messine	171	74°35'	49°20'	32G/7
Hook	172	74°56'	49°58'	32G/15
Burton	173 A	75°08'	49°52'	32G/14
Marchand	173 B	75°05'	49°53'	32G/14
Armanda	173 C	75°04'	49°53'	32G/14
Springer	174	74°47'	49°48	32G/15
Arml	175	74°57'	49°38	32G/10
--	176	74°41'	49°52	32G/15
—	177	74°37'	49°56	32G/15
Moraine	179 A	75°11'	50°04	32G/3
Julien	179 B	75°14'	50°01	32G/3
Mac Leod	215 A	75°01'	49°38	32G/11
Lescure	215 B	75°00'	49°35	32G/10 et 11
Anville	216	75°13'	49°44	32G/11
Poingdextre	217	75°07'	49°40	32G/10 et 11
Bosse	218	75°00'	49°40	32G/10
Mann	219	75°10'	49°35	32G/10
Chaleur	220	75°08'	49°59	32G/14

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
Chapais (suite)				
Esox	276	74°49'	49°39'	32G/10
--	277	74°48'	49°32'	32G/10
--	278	74°43'	49°44'	32G/10
Goudreau	279	74°37'	49°45'	32G/15
Gignac	280	74°32'	49°57'	32G/15
Lamoille	281	74°52'	49°52'	32G/15
André	282	74°14'	49°40'	32G/9
O'Melia	283	75°17'	49°40'	32G/11
--	284	74°37'	49°31'	32G/10
Sable	285	74°50'	49°50'	32G/15
	286 X	74°14'	49°42'	32G/9
	287 X	74°09'	49°41'	32G/9
Chute-des-Passes				
--	72	71°48'	49°57'	22E/13
--	73	71°42'	49°37'	22E/12
--	74 A	71°33'	49°36'	22E/12
--	74 B	71°36'	49°35'	22E/12
Brûle-Neige	74 C	71°34'	49°31'	22E/12
--	75	71°53'	49°53'	22E/15
--	76 A	71°32'	49°47'	22E/13
Dulain	76 B	71°34'	49°45'	22E/13
Capellière	77 A	71°47'	49°42'	22E/12
--	77 B	71°44'	49°44'	22E/12 et 13
--	78	70°58'	50°06'	22L/2
--	79	70°57'	50°15'	22L/2 et 7
--	80 A	71°28'	50°12'	22L/3
--	80 B	71°29'	50°10'	22L/3
--	80 C	71°34'	50°06'	22L/4
--	81	71°47'	50°06'	22L/4
--	82	71°27'	49°58'	22L/14
--	83 A	71°26'	50°02'	22L/3
--	83 B	71°26'	50°03'	22L/3
Brodeuse	83 C	71°28'	50°02'	22L/3

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
Sept-Iles				
—	29	66°11'	50°30'	22J/8 et 9
Deville	30 A	66°07'	50°43'	22J/9
Herbiers	30 B	66°10'	50°42'	22J/9
Fornel	30 C	66°09'	50°40'	22J/9
—	31 A	66°06'	50°50'	22J/16
Villebois	31 B	66°09'	50°50'	22J/16
Eau Dorée	31 C	66°11'	50°46'	22J/16
--	32	66°18'	50°40'	22J/9
—	33	66°23'	51°03'	22J/1
--	34	66°12'	51°08'	22J/1
Pineault	37	66°04'	50°22'	22J/6
Larry	39	66°19'	50°16'	22J/6
Manicouagan				
—	56	68°27'	50°19'	22K/8
--	57	68°31'	50°09'	22K/2 et 1
—	58 A	68°34'	50°08'	22K/2
--	59 A	68°18'	50°06'	22K/1
—	59 B	68°19'	50°05'	22K/1
--	59 C	68°22'	50°03'	22K/1
—	58 X	68°36'	50°06'	22K/2
—	51	69°19'	50°57'	22K/14
--	52	69°02'	50°47'	22K/14
—	53	69°37'	50°37'	22K/12
Charbon	55	68°36'	50°36'	22K/10
Picard	210 A	69°27'	50°37'	22K/11
--	210 B	69°25'	50°35'	22K/11
Hermas	210 C	69°24'	50°34'	22K/11
Magdallan	225 A	68°55'	50°55'	22K/15
Bois Long	225 B	68°55'	50°55'	22K/15
Fido	226 A	69°02'	50°42'	22K/10
Goddue	226 B	68°55'	50°45'	22K/10 et 15

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
Gagnon				
—	61	68°56'	51°43'	22N/10
—	63	68°56'	51°40'	22N/10
—	65	67°43'	51°43'	220/12
—	66	67°47'	51°31'	220/12
—	67	67°42'	51°38'	220/12
—	68	67°48'	51°37'	220/12
—	212 A	67°48'	51°25'	220/5
—	212 B	67°49'	51°23'	220/5
—	212 C	67°50'	51°19'	220/5
Némiscau				
—	187	76°16'	51°17'	32N/8
—	188	76°26'	51°23'	32N/8
—	189	76°45'	51°16'	32N/7
—	190	76°38'	51°40'	320/12
—	191	76°42'	51°34'	320/12
—	192	76°03'	51°36'	32N/9
—	193	76°01'	51°36'	32N/9
—	194 A	76°05'	51°38'	32N/9
—	194 B	76°04'	51°39'	32N/9
—	195	76°04'	51°41'	32N/9
—	196	76°20'	51°42'	32N/9
—	197 A	76°04'	51°23'	32N/8
—	197 B	76°10'	51°21'	32N/8
—	198	76°03'	51°46'	32N/16
—	213 A	75°35'	51°37'	320/12
—	213 B	75°39'	51°37'	320/12
—	213 C	75°43'	51°36'	320/12
Havre St-Pierre				
—	18	64°26'	50°49'	221/9
Caribou	19	64°17'	50°34'	221/9
—	20 A	64°17'	50°38'	221/9

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
Havre St-Pierre (suite)				
Girard	20 B	64°16'	50°35'	221/9
Renard	21	64°35'	50°36'	221/10
--	22 A	63°37'	50°56'	22L/13
--	22 B	63°37'	50°57'	22L/13
Charles	22 C	63°32'	50°55'	22L/13
Maurice	23	63°24'	50°57'	12L/14
--	214 A	63°03'	51°27'	12M/6
--	214 B	63°04'	51°25'	12M/6
--	214 C	63°06'	51°23'	12M/6
Elle	228	64°10'	50°54'	121/16
--	229	64°22'	50°55'	221/16 et 12L/13
Mackam	230	64°00'	50°57'	221/16
Chèvre	231 A	64°01'	50°53'	221/16
Ternet	231 B	64°05'	50°52'	221/16
Blanc-Sablon				
Mery	1	58°34'	51°52'	120/15
--	2	58°34'	51°56'	120/15
--	3	58°15'	51°47'	120/16
--	4 A	58°28'	51°44'	120/9
Kennedy	4 B	58°23'	51°41'	120/9
--	5 A	58°14'	51°43'	120/9 et 16
--	5 B	58°16'	51°42'	120/9
--	6	57°32'	51°48'	12P/13 et 14
--	7	57°30'	51°52'	12P/13 et 14
--	234	57°51'	51°50'	12P/13
--	235	57°46'	51°47'	12P/13
--	246	57°57'	51°50'	12P/14

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
Saint-Michel-des-Saints St-Zénon				
	301	46°33'	73°37'	311/12
	302	46°27'	73°39'	311/5
	303	46°26'	73°38'	311/5
	304	46°27'	73°46'	311/5
	305	46°40'	74°06'	311/9
	306	46°38'	74°10'	311/9
	307	46°28'	73°56'	311/5
	308	46°27'	73°28'	311/6
	309	46°32'	73°57'	311/12
	310	46°29'	74°04'	311/8
Roberval				
	311	48°29'	73°16'	32A/6 et 11
	312	48°24'	73°27'	32A/6
	313	48°33'	73°03'	32A/11
	314	48°37'	73°24'	32A/11
	315	48°14'	73°21'	32A/3 et 6
	316	48°27'	73°21'	32A/6
	317	48°32'	73°24'	32A/11
	318	48°51'	73°19'	32A/14
	319	48°33'	73°37'	32A/12
	320	48°28'	73°35'	32A/5
Lac Albanel				
	321	50°14'	72°58'	321/2 et 7
	322	50°12'	72°58'	321/2
	323	50°41'	72°35'	321/10
	324	50°20'	72°36'	321/7
	325	50°26'	72°00'	321/7 et 6
	326	50°27'	72°52'	321/7
	327	50°34'	72°35'	321/10
	328	50°22'	72°57'	321/7
	329	50°36'	73°12'	321/11
	330	50°23'	73°16'	321/6

Annexe 1. (suite)

Nom du lac Base d'opération	Numéros	Coordonnées		Cartes
Alma				
	331	48°54'	70°19'	22D/16
	332	48°59'	70°14'	22D/16 et 22E/1
	333	48°51'	70°12'	22D/16
	334	48°10'	70°16'	22E/1
	335	48°44'	70°24'	22D/9
	336	48°46'	70°11'	22D/16
	337	48°47'	70°26'	22D/16
	338	48°36'	70°28'	22D/9
	339	48°37'	70°20'	22D/9
	340	48°07'	70°28'	22E/1
Clova				
	150	47°28'	75°04'	310/6
	152	47°33'	75°07'	310/11
	153	47°47'	74°51'	310/15
	157	47°46'	75°57'	310/13
	158	47°47'	75°51'	310/13
	159	47°47'	75°51'	310/13
	160	47°17'	74°17'	310/8
	161	47°18'	74°27'	310/8
	341	47°31'	75°34'	310/12
	342	47°34'	75°22'	310/12

Annexe 2. Coefficient de corrélation calculés à partir des différentes formes d'aluminium pour 50 lacs échantillonnés en 1982.

	Aluminium total particulaire et dissous	Aluminium total digéré	Aluminium dissous	Aluminium labile	Aluminium complexé
Aluminium total particulaire et dissous	1	.98*	.99*	.76*	.98
Aluminium total digéré	—	1	.96	—	—
Aluminium dissous	—	—	1	.76	.98
Aluminium labile	—	—	—	1	.63
Aluminium complexé	—	—	—	—	1

* Aucune différence significative au seuil 5%.

Annexe 3. Moyenne et intervalle de confiance (à 95%) des résultats d'analyse des métaux traces, par base opérationnelle, par région hydrographique et par ordre de drainage des lacs.[1]

Nom des bases (No)	Nb de lacs	Pb µg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
Blanc Sablon (01)	12	0,2 ±0,3	0,2 ±0,1	2,3 ±0,0	0,7 ±0,0	5,8 ± 2,9
Havre Saint-Pierre (03)	17	1,2 ±0,0	0,2 ±0,0	1,7 ±1,0	1,0 ±0,0	5,2 ± 3,6
Sept-Iles (04)	12	0,5 ±0,0	0,1 ±0,0	2,3 ±2,5	0,1 ±0,0	8,0 ± 4,4
Manicouagan (06)	18	0,8 ±1,5	0,4 ±0,1	0,9 ±0,5	0,4 ±0,0	8,3 ± 3,5
Gagnon (07)	9	0,6 ±0,8	0,3 ±0,2	0,9 ±0,8	0,3 ±0,0	6,2 ± 3,8
Chute-des-Passes (08)	20	0,3 ±0,0	0,1 ±0,0	0,7 ±0,7	1,7 ±0,0	8,8 ± 2,3
Alma (09)	10	0,0 ±0,0	0,4 ±0,4	0,2 ±0,0	1,2 ±0,0	6,8 ± 4,6
Roberval (10)	10	0,2 ±0,7	0,7 ±0,5	0,8 ±1,8	1,0 ±0,4	8,7 ± 8,2
La Tuque (11)	19	0,1 ±0,0	0,2 ±0,0	0,3 ±0,0	0,9 ±1,0	8,7 ± 2,9
Maniwaki (13)	37	0,2 ±0,0	0,3 ±0,0	0,8 ±0,0	1,6 ±0,3	8,2 ±10,3
Clova (14)	10	5,1 ±0,0	0,5 ±0,4	0,8 ±0,7	0,8 ±0,7	7,1 ± 6,1
Senneterre (15)	10	0,7 ±1,1	0,2 ±0,2	0,1 ±0,0	0,6 ±0,0	7,6 ± 6,8
Chapais (16)	30	0,2 ±0,2	0,3 ±0,1	0,4 ±0,0	1,5 ±0,7	5,4 ± 1,5
Némiscau (17)	17	0,6 ±1,0	0,3 ±0,2	1,1 ±1,0	1,2 ±0,5	7,6 ± 3,6
Saint-Michel-des-Saints (18)	10	0,0 ±0,0	0,6 ±0,4	1,9 ±0,7	3,2 ±0,7	8,4 ± 6,1
Lac Albanel (19)	10	0,2 ±0,0	0,5 ±0,6	0,4 ±0,0	0,8 ±0,7	7,3 ± 5,0
Total	251	0,6 ±0,0	0,3 ±0,0	0,9 ±0,0	1,2 ±0,3	7,4 ± 1,1

1 Pour les calculs statistiques, les concentrations sous les limites de détection ont été considérées égales à la moitié de la valeur de la limite de détection.

Annexe 3. (suite).

Nom des régions hydrographiques (No)	Nb de lacs	Pb µg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
Outaouais (04)	45	1,3 ±0,0	0,4 ±0,1	0,8 ±0,0	1,5 ±0,6	8,0 ±3,6
La Mauricie (05)	40	0,1 ±0,0	0,4 ±0,1	0,8 ±0,0	1,6 ±0,5	8,6 ±3,7
Saguenay - Lac St-Jean (06)	34	0,2 ±0,3	0,3 ±0,0	0,5 ±0,3	1,4 ±0,3	8,1 ±1,9
Côte-Nord (07)	75	0,7 ±0,0	0,3 ±0,2	1,5 ±1,6	0,6 ±0,0	6,7 ±1,4
Abitibi - Baie James (08)	57	0,4 ±0,0	0,3 ±0,0	0,5 ±0,0	1,2 ±0,8	6,5 ±1,3
Total 1982	251	0,6 ±0,3	0,3 ±0,0	0,9 ±0,0	1,2 ±0,3	7,4 ±1,1

Ordre de drainage des lacs	Nb de lacs	Pb µg/l	Cd µg/l	Cu µg/l	Ni µg/l	Zn µg/l
Lacs de tête	172	0,6 ±0,0	0,3 ±0,0	0,9 ±0,2	1,0 ±0,0	7,2 ±0,8
Lacs de deuxième ordre	38	0,7 ±0,0	0,2 ±0,0	1,4 ±0,0	1,1 ±0,3	7,5 ±2,5
Lacs de troisième ordre	17	0,3 ±0,0	0,3 ±0,0	0,3 ±0,2	1,1 ±1,5	9,2 ±2,7
Lacs drainant des tourbières	24	0,0 ±0,0	0,5 ±0,0	0,5 ±0,2	2,4 ±1,7	7,4 ±3,8
Total	251	0,6 ±0,0	0,3 ±0,3	0,9 ±0,0	1,2 ±0,3	7,4 ±1,1