

T.D
227
.Q4
H32
1982

DOCUMENT DE TRAVAIL

RATIONALISATION DU RESEAU DE QUALITE
DES EAUX DE SURFACE (TADPA)

Répartition spatiale des paramètres de qualité

John Haemmerli

Environnement Canada
Direction générale des eaux intérieures



Octobre 1982

TD
227
.Q4
H32
1982

Rég. Québec Biblio. Env. Canada Library



38 002 906

30-3.1

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
<u>TABLE DES MATIERES</u>	ii
<u>LISTE DES TABLEAUX</u>	iii
<u>LISTE DES FIGURES</u>	iv
<u>LISTE DES ANNEXES</u>	vi
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>LES OBJECTIFS DU RESEAU</u>	2
<u>LES EFFETS DES PRECIPITATIONS ACIDES AU QUEBEC</u>	4
- <u>Inventaire des régions affectées</u>	4
- <u>Inventaire des régions sensibles</u>	6
- <u>Inventaire des régions "acides"</u>	9
- <u>Synthèse de l'information</u>	10
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	14
<u>ANNEXES</u>	16

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
1 - Provenance des masses d'air affectant certaines stations CANSAP au Québec	16
2 - Types de sensibilité	27
3 - Sensibilité à l'acidification des eaux de surface en fonction de l'alcalinité	28
4 - Limites, milieux très sensibles	8
5 - Classification des lacs du bouclier, adapté de Bobée et al, (1982)	44
6 - Composition physico-chimique des lacs du Québec: moyenne et intervalle de confiance de la moyenne par région hydro- raphique	48

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
1 - Dépôt liquide d'ions hydrogène pour 1978	17
2 - Dépôt liquide d'ions hydrogène pour 1979	18
3 - Dépôt liquide d'ions sulfate pour 1978	19
4 - Dépôt liquide d'ions sulfate pour 1979	20
5 - Répartition régionale des stations du réseau CANSAP selon les données de qualité de 1977 et 1978	21
6 - Classification des lacs selon les valeurs de sulfates (été 1980) (sud du 52e parallèle)	22
7 - Classification des lacs selon les valeurs de sulfates (automne 1981) (sud du 52e parallèle)	23
8 - Régions hydrographiques du Québec et zone du projet inventaire.	24
9 - Teneur moyenne en sulfates des neuf groupes de lacs (sud du 52e parallèle, automne 1981)	25
10 - Classification des lacs selon leur valeur en sulfates (Parc des Laurentides)	26
11 - Carte des valeurs de l'indice de minéralisation (sud du 52e parallèle)	29
12 - Répartition géographique à l'échelle du Québec des groupes de lacs déterminés par analyse multivariée	30
13 - Classification des lacs selon les valeurs de conductivité (sud du 52e parallèle, été 1980)	31
14 - Classification des lacs selon les valeurs de la somme des cations calcium et magnésium (sud du 52e parallèle, été 1980)..	32
15 - Classification des lacs selon les valeurs de l'indice de saturation calcique (sud du 52e parallèle, été 1980)	33
16 - Classification des lacs selon les valeurs de l'alcalinité (sud du 52e parallèle, été 1980)	34
17 - Carte de sensibilité des eaux lacustres au Québec	35
18 - Classification des lacs selon l'alcalinité (sud du 52e parallèle, automne 1981)	36

19 - Variation spatiale des conductivités moyennes calculées selon un découpage par unité de longitude et de latitude	37
20 - Classification des lacs selon les valeurs de pH (sud du 52e parallèle, été 1980)	38
21 - Classification des lacs selon le pH (sud du 52e parallèle, automne 1981)	39
22 - Représentation cartographique des lacs selon le pH en surface (sud du 50e parallèle)	40
23 - Classification des lacs selon le rapport bicarbonates sur sulfates (sud du 52e parallèle, été 1980)	41
24 - Carte des lacs d'après le rapport sulfate sur bicarbonate (sud du 50e parallèle)	42
25 - Répartition des groupes de lacs du bouclier déterminés par analyse multivariée, selon leur sensibilité et leur niveau d'acidification	43
26 - Hiérarchie du classement et caractérisation des lacs du bouclier	45
27 - Localisation géographique des neuf groupes de lacs	46
28 - Dendrogramme réduit et clef d'interprétation des groupes	47
29 - Localisation des lacs échantillonnés dans le Parc des Laurentides (selon les groupes de sensibilité)	49

LISTE DES ANNEXES

	<u>Page</u>
1 - Plan de travail	50
2 - Sources d'information (état actuel de la qualité des eaux de surface)	53

INTRODUCTION

Le présent document de travail s'insère dans le plan sommairement défini à l'annexe 1, qui doit conduire à l'élaboration de la partie québécoise du réseau TADPA pour les eaux de surface.

Il consiste principalement en un inventaire des régions sensibles, affectées et acidifiées par les charges acides d'origine atmosphérique.

Cet inventaire doit servir de référence pour l'application des critères de conception du réseau, de délimitation des régions et de sélection des sites.

LES OBJECTIFS DU RESEAU

Les objectifs du réseau de qualité des eaux de surface dans le cadre du programme TADPA sont de documenter sur:

- L'état actuel de la qualité des eaux de surface dans l'Est du pays (niveau de référence);
- L'évolution de cette qualité dans le temps et dans l'espace ("to document long term widespread changes in water quality"; T. Dafoe, Note de service, 5 mai 1982. Et "Tendances (temps et espace) recherchées"; P. Brooksbank, Note de service, 9 août 1982).

Un commentaire remet en question le deuxième point. Il prétend que considérer ensemble les images spatiales et temporelles (et leurs variabilités respectives) compliquerait l'approche de façon exagérée. Il recommande de mettre clairement l'emphase sur la détection de tendances temporelles à un nombre limité de sites, à un niveau de signification suffisamment précis (F.C. Elder, note de service, 24 août 1982).

Il faudrait au moins que lesdits sites soient représentatifs des aires où ils sont situés, ce qui implique une bonne connaissance de la variabilité spatiale.

Il est nécessaire également, qu'ils soient représentatifs pour un nombre minimum de variables indépendantes et de paramètres de qualité ayant trait à l'acidification des eaux.

De plus, une résolution spatiale minimale est indispensable pour vérifier que le patron spatial ne change pas ou s'il le fait, dans quelle mesure, et que les sites choisis évoluent de la même façon que le reste de la région.

Il semble alors inévitable d'en arriver à un compromis permettant de traiter également les images spatiales et temporelles, par exemple en échantillonnant un petit nombre de stations à une grande fréquence, et un plus grand nombre de sites à une fréquence plus faible.

Il n'est pas nécessairement vrai, comme le prétend la même note, que les réseaux existants fourniront l'information nécessaire à la perception de l'évolution spatiale. Ce ne sera vrai que si les critères de sélection et de classification des sites sont identiques.

Ces points une fois réglés, le réseau sera mis en place pour l'année financière 83-84. Il est prévu qu'il opère au moins 20 ans et les premiers résultats (quant aux tendances) devraient apparaître après 5 à 7 ans. Son opération devra composer des tâches de routine (P. Brooksbank, note de service, 9 août 1982).

LES EFFETS DES PRECIPITATIONS ACIDES AU QUEBEC

Inventaire des régions affectées

Une région est dite affectée lorsqu'elle reçoit de façon notable des apports acides d'origine atmosphérique.

Une étude, portant sur des données du réseau CANSAP de 1978, identifie les trajectoires des masses d'air, leur provenance (Québec, Ontario, Maritimes, Etats-Unis) et l'acidité des précipitations (moyennes mensuelles) à six sites du Québec (Desautels, 1981).

La présence de trois stations seulement au Sud du 50^e parallèle ne permet pas de donner une image réaliste des charges acides apportées par les précipitations. Elle autorise cependant une première délimitation, une ligne qui va de la Baie de James à Sept-Iles et qui correspond au 51^e parallèle, au Sud duquel les masses d'air d'origine américaine commencent à prendre une importance non négligeable, (tableau 1).

Travaillant sur les mêmes données du réseau CANSAP, ainsi que sur celles d'APN et de réseaux américains, Barrie donne un portrait des dépôts humides d'ions H⁺ pour l'est du pays, aux figures 1 et 2 (Barrie, 1981). Les régions les plus affectées sont les régions hydrographiques 04 et 05, qui reçoivent plus de 40 mmol de H⁺ par m² et par année, pour 1978, (figure 1).

Les stations du réseau APN sont inexistantes au Québec, mais une extrapolation permet d'esquisser le même patron spatial, (figure 2).

Harvey et al. (1981) reprennent les données de CANSAP pour tracer une carte des dépôts liquides de sulfates et de nitrates (figures 3 et 4). Sur la base de ces données, ils séparent également l'est du pays en deux régions (figure 5). Les régions 1 et 2 sont séparées principalement par le contenu des précipitations en produits d'origine anthropique. (Il y a plus de sulfates et de nitrates dans la région I).

Puisque l'oxyde de soufre est considéré comme le polluant aéroporté le plus lié à l'acidification des eaux de surface, et que l'ion sulfate est généralement peu abondant dans tous les minéraux formant le socle rocheux du Québec, ce dernier peut être un bon indice d'acidification due aux précipitations (Bobée et al. 1982). Le bruit de fond moyen est d'environ $30 \mu\text{eq/l}$, au maximum $60 \mu\text{eq/l}$. (Bobée et al., 1982, Harvey et al., 1981).

Ces auteurs, compilant des données de qualité en lacs pour l'été 1980, mettent ainsi en évidence un fort gradient des concentrations de sulfates, orienté SSW-NNE (figure 6). On retrouve la même limite, au nord, aux alentours du 51^{e} parallèle.

La partie la plus affectée semble être une mince bande, parallèle à la rivière des Outaouais, entre $46^{\circ}30'$ et $45^{\circ}30'$ de latitude. Il faudrait cependant vérifier s'il existe un apport local du bassin.

Une bande intermédiaire couvre le Québec, du haut de l'Outaouais à la Gaspésie entre les 46^{e} et 48^{e} parallèles.

Les données de Langlois et al. (1982) montrent un comportement des sulfates également dégradé d'ouest en est, mais le patron est différent dans la moitié ouest de la province, (figure 7).

Des données prises en hiver, dans le cadre du projet inventaire, (dans une bande de 150 km, parallèle au fleuve Saint-Laurent) devraient apporter un supplément d'information sur les régions les plus affectées (figure 8).

D'autres études donnent également des renseignements sur des régions particulières de la province.

Un travail pour Pêches et Océans (Impact Environnement, 1982) identifie neuf groupes de lacs au nord du fleuve Saint-Laurent, qui montrent à peu près le même gradient de sulfates que la carte de Bobée et al. (1982), figure 9. On y remarque cependant des valeurs relativement élevées dans la région de la Baie James. La possibilité d'un apport géologique important sera vérifiée ultérieurement.

A des échelles plus fines, on peut obtenir le même type de renseignements (classement par les sulfates) pour le parc des Laurentides, par exemple (Richard, 1982), figure 10; ou le parc National de la Mauricie (Magnan, 1982).

La plupart de ces résultats sont issus de méthodes d'analyse multivariées qui font intervenir d'autres paramètres de qualité et il peut s'avérer difficile et dangereux d'interpréter les résultats en fonction d'un seul paramètre.

Il faut retenir de cette partie les schémas de variation spatiale élaborés par Bobée et al. (1982) et Langlois et al. (1982), qui sont complémentaires, bien que les limites de classes soient différentes. Ils donnent une image globale de la Province jusqu'au 51^e parallèle, et recouvrent les cartes de dépôts humides de Desautels (1981) et Barrie (1981), et celles données par Harvey et al. (1981).

Dans le cadre du réseau TADPA, la limite entre régions I et II de Harvey et al. (1981) pourrait être modifiée pour inclure les stations du réseau CANSAP no 14 (Chibougamau) et no 17 (Sept-Iles), qui, bien que moins influencées (non incluses dans la région I), sont situées en bordure de trajectoires importantes (tableau 1, figures 1 à 4).

Lors du choix des sous-régions et des sites, il sera alors temps de recourir aux études plus détaillées (par exemple: Richard, 1982) et aux banques de données qui figurent en annexe 2.

Inventaire des régions sensibles

Les paramètres caractérisant la sensibilité du milieu aquatique sont liés essentiellement à la minéralisation des eaux, soit:

- la conductivité spécifique,
- les ions Ca^{++} et Mg^{++} ,
- l'alcalinité
- l'indice de saturation calcique.

Les limites de sensibilité associées à certains de ces paramètres figurent aux tableaux 2 et 3 (de Harvey et al. (1981) et Bobée et al. (1982)).

Différentes études présentent des cartes de sensibilité couvrant certaines parties de la province.

Legendre et al. (1980) calculent un indice de minéralisation qui dénote une grande vulnérabilité des régions 05 à 07, de même que la moitié ouest de la région 02 ainsi que la région 04 à l'exception d'une bande le long de la Rivière des Outaouais (figure 11), et ceci même si les critères de sélection des sites sont différents de ceux de Langlois et al. (1982) et Bobée et al. (1982).

Ces derniers déterminent par analyse multivariée quatre classes de minéralisation à travers la province (figure 12), cette information pouvant être détaillée au niveau des quatre paramètres énumérés plus haut (figures 13 à 16).

La péninsule gaspésienne à l'Est de Rivière-du-Loup présente une minéralisation très élevée et correspond aux plus fortes valeurs de pH, Alcalinité, conductivité et calcium + magnésium.

Une bande qui couvre presque toute la région 03 et qui longe l'Outaouais jusqu'au 48^o parallèle correspond à des valeurs légèrement inférieures mais qui restent au-dessus de la limite du très sensible défini par le tableau 2.

La zone B, qui couvre le reste de la région 04, toute la région 05, les alentours du Lac St-Jean et du Saguenay ainsi qu'une étendue étroite recouvrant le 49^o parallèle, est située dans le domaine très sensible, particulièrement la région du Haut-Outaouais.

La dernière région, extrêmement sensible, couvre la Côte-Nord ainsi qu'une zone située au point de rencontre des régions 04, 05, 08. Elle

partage les plus faibles valeurs de conductivité avec la région de Portneuf - Parc des Laurentides, et les valeurs d'alcalinité y sont peut-être même légèrement supérieures.

La situation particulière de la zone Laurentides - Portneuf - Mauricie est également mise en évidence par Environnement Canada (1981) (figure 17), alors que Langlois et al. (1982) confirment les valeurs d'alcalinité de Bobée et al (1982) avec plus de détail vers le nord (figure 18).

Grimard, (1981), compilant les valeurs de conductivité de plus de 1300 lacs (toujours en été) confirme le patron de variation spatiale de ce paramètre (figure 19).

Il faut retenir de ce chapitre (en y associant le précédent) le fort pouvoir tampon d'une région peu affectée, la Gaspésie.

Tout le bouclier, mis à part une zone longeant l'Outaouais est au moins très, sinon extrêmement sensible, particulièrement la région qui chevauche le 47^o parallèle, à l'ouest du Saint-Maurice, très sensible et située dans une zone très affectée. De même la région Parc des Laurentides (ouest) - Portneuf, qui ressort sur toutes les cartes. Elle est en moyenne plus sensible que l'aire dans laquelle elle se situe.

Le tableau 4 ci-dessous résume la grande vulnérabilité du bouclier.

Tableau 4

Limites, milieu très sensible	Conductivité 32.5 μ S/cm	Alcalinité 200 μ eq/l	Ca+ Mg 200 μ eq/l	I.S.C. 3.5
% inférieur (supérieur pour ISC)	82	95	89	85

En terminant, sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, il ne faut pas oublier la partie de la région 02 située à l'ouest de Rivière-du-Loup (versant nord-ouest des Appalaches) qui semble également peu minéralisée.

Inventaire des régions "acides"

Les deux paramètres les plus utilisés pour interpréter l'acidité sont le pH et l'alcalinité (ou plutôt la perte d'alcalinité).

La superposition des apports (zones affectées) aux régions vulnérables donne les résultats qui sont illustrés aux figures 20 à 22 pour le pH. On renvoie aux figures 15 et 18 pour l'alcalinité.

Bien que le pH ne soit pas mesuré (ou calculé) de façon identique dans les trois études, on peut extraire les points suivants:

41% des lacs du Bouclier ont un pH inférieur à 5.5. Ces lacs sont situés sur la Côte Nord en bordure de l'estuaire, dans le Parc des Laurentides, Portneuf, la vallée du Saint-Maurice, le bassin de la rivière des Outaouais au nord du 46^o parallèle et le haut bassin de la rivière Nottaway (Bobée et al., 1982).

Ces chiffres sont plus ou moins confirmés par Langlois et al. (1982) pour les régions de Senneterre, Maniwaki, Québec et la Côte Nord, où de faibles pH se retrouvent plus à l'intérieur des terres.

Quant aux résultats de Legendre et al. (1980), ils confirment le statut particulier de la région Parc des Laurentides - Portneuf, de l'ouest de la région 02 et de quelques lacs à la frontière entre les régions 04 et 05. Les valeurs semblent systématiquement plus élevées que pour les autres auteurs cités.

L'alcalinité n'est supérieure à 200 $\mu\text{eq/l}$ que dans certains lacs de la région de Maniwaki et de Chapais, et est plus grande que 40 $\mu\text{eq/l}$ dans une bande située entre Maniwaki et le Lac St-Jean ainsi qu'au nord d'une ligne Senneterre - Lac St-Jean - Gagnon.

Un autre critère d'acidification est le rapport bicarbonates / sulfates, si l'on admet que la majorité du pouvoir tampon du milieu est due au système des carbonates et la plus grande partie de l'acidification aux composés du soufre.

Les figures 23 et 24 font état de ce rapport. Les régions les plus acidifiées sont le versant ouest du Parc des Laurentides, Portneuf, la Mauricie, le reste de la région 05 au nord du 47^e et toute la région 04 au nord du 46^e parallèle.

Ainsi, bien que les cartes de pH donnent une image rassurante, le rapport bicarbonates / sulfates rétablit le diagnostic vers le pessimisme: 84% des lacs du bouclier ont un rapport inférieur à l'unité. Encore une fois, l'interprétation paramètre par paramètre est loin d'être exhaustive.

Synthèse de l'information

Il a donc été reconnu qu'il est difficile de caractériser de façon concise la province de Québec, qui représente des milieux hétérogènes, avec plusieurs critères de classement (vulnérabilité, acidification, acidité) et au moyen de nombreux paramètres.

Le recours aux méthodes d'analyses multivariées a permis à certains auteurs d'opérer cette caractérisation, en fonction des paramètres les plus discriminants. Ceux-ci varient cependant d'une étude à l'autre de même que leur stratification. Il peut en résulter un nombre final de groupes différents, ceux-ci ayant des caractéristiques différentes et la synthèse de cette information (entre différentes études) s'avère difficile.

Ne considérant que les données du bouclier (N = 149), Bobée et al. (1982) ont divisé les distributions des paramètres en trois classes quasi-équiprobables (pH, conductivité, alcalinité, sulfates, $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$). La classification ascendante hiérarchique (CAH) leur a permis de séparer les lacs en sept groupes, classés selon qu'ils sont vulnérables, affectés

et acides (figure 25, tableau 5). A la figure 26 se trouvent les différents niveaux d'interprétation et les paramètres les plus discriminants:

- Calcium + magnésium et conductivité (vulnérabilité) sont très discriminants.
- Alcalinité et pH (acidité) séparent bien les groupes 3, 4 et 5 et interviennent de façon moins marquée, pour les groupes 1 et 2.
- Sulfates (régions affectées) est peu discriminant, sauf pour séparer le groupe 6 du groupe 7.

Ainsi, les paramètres d'acidité sont plus discriminants que les paramètres d'acidification, pour des groupes de sensibilité équivalente.

Dans Environnement Canada (1981) on trouve une classification des lacs en fonction du calcium et de l'ISC, figure 17. Bien que certaines divisions soient arbitraires, et indépendamment de la capacité tampon des eaux, on peut séparer les régions comme suit:

- Les basses terres du Lac St-Jean et du Saint-Laurent, comme le bassin inférieur de l'Outaouais et la péninsule Gaspésienne sont tamponnés.
- Les régions Portneuf - Mauricie et une petite zone à cheval sur les régions 04 et 05 sont acides.
- Le reste des régions 02 à 07 est dans un état intermédiaire (en voie d'acidification)

Langlois et al. (1982) ont effectué également une classification des lacs du sud du Québec sur la base de 14 paramètres physico-chimiques. Ils aboutissent à neuf groupes (figures 27 et 28), centrés sur des bases régionales.

Ces résultats sont difficilement compatibles avec ceux de Bobée et al. (1982) pour plusieurs raisons: méthodes d'échantillonnage et d'analyse des paramètres, limites de classes, critères et méthodes de classification sont différents.

Si l'analyse porte sur les moyennes régionales calculées par Bobée et al. (1982), (tableau 6), et en considérant le classement des régions pour

chaque paramètre (l représente la moyenne qui tend le plus vers les caractéristiques acides) puis en calculant le rang moyen de chaque région hydrographique, on obtient le classement qui figure ci-dessous.

Paramètres	Signification	Régions
Conductivité ions majeurs, sans les sulfates	vulnérabilité	05
		07
		06 et 08
Sulfates	acidification et acidité	05
pH		08
Aluminium		06
Manganèse		04
Sulfates	acidification	04
		05
		08
		06
pH	acidité	05
		08
		06
		07

De cette compilation extrêmement sommaire et du reste de l'information, il ressort que la région 05 est la plus menacée à tous points de vue. Cette affirmation est confirmée par l'analyse des moyennes régionales de Langlois et al. (1982). Ensuite, apparaissent les régions 06 et 08, puis 07 et 04, cette dernière étant très affectée. On peut cependant considérer que l'analyse est très grossière et ne tient pas compte des particularités locales.

A une échelle plus fine, les divisions s'opèrent autrement. Bien que certaines parties de la région 05 restent en tête de liste, elles sont accompagnées de certaines zones de la région 04 et de la Côte-Nord. L'information concernant la région 08 est minime et ne permet pas de délimiter précisément des zones prioritaires.

13

La détermination précise des zones prioritaires dépend des critères de conception du réseau et de sélection des sites, qui restent à concevoir.

A ce niveau également existe parfois une information régionale plus détaillée, exploitable lors du choix définitif des sites (figure 29, tirée de Richard, 1982).

BIBLIOGRAPHIE

- BARRIE, L.A. 1981. Environment Canada's long range transport of atmospheric pollutants program: atmospheric studies. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview, Ontario. 26 p.
- BOBEE, B., GRIMARD, Y., LACHANCE, M., TESSIER, A. 1982. Nature et étendue de l'acidification des lacs du Québec. INRS-Eau, rapport scientifique no 140. 243 p., 3 annexes.
- DESAUTELS, Gilles. 1981. Trajectoire des parcelles d'air qui ont atteint le Québec en 1978. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, région du Québec, 28 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 1981. Sensibilité des écosystèmes aquatiques aux effets des retombées des polluants atmosphériques au Québec. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Québec. Etude no 118, série scientifique. 46 p.
- GRIMARD, Yves. 1981. Contribution à l'étude de la vulnérabilité des eaux lacustres québécoises face à l'acidification des précipitations. Service de la qualité des eaux, Ministère de l'Environnement, Québec. Rapport 81-6. 38 p.
- HARVEY, H.H., DILLON, P.T., KRAMER, T.R., PIERCE, R.C., WHELPDALE, D.M. 1981. Acidification dans l'environnement aquatique du Canada: critères scientifiques pour évaluer les effets du dépôt acide sur les écosystèmes aquatiques. Conseil national de recherche Canada, comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement, CNRC no 18476, Ottawa. 377 p.

IMPACT ENVIRONNEMENT. 1982. Analyse multivariée des données écologiques recueillies dans 198 lacs du Québec. Pêches et Océans Canada, région du Québec. 32 p., 1 annexe.

LANGLOIS, C., VIGNEAULT, Y., NADEAU, A., DESILETS, L. 1982. Evaluation des effets de l'acidification sur la physico-chimie et la biologie des lacs du bouclier Canadien (région du Québec). Pêches et Océans Canada, document de travail non publié.

LEGENBRE, P., CHODOROWSKI, A., CHODOROWSKA, W., PICHET, P., POTVIN, P. 1980. Qualité des eaux: interprétation des données lacustres (1971-1977). Service de la qualité des eaux, Ministère de l'Environnement, Québec, QE-45. 443 p.

MAGNAN, P. 1982. Etude de la sensibilité aux précipitations acides de 22 lacs du Parc national de la Mauricie. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, région du Québec. A paraître.

RICHARD, Yvon. 1982. Relations entre le niveau d'acidité de 158 lacs du Parc des Laurentides et l'évolution de leurs statistiques de pêche au cours des dernières années. Service de la qualité des eaux, Ministère de l'Environnement, Québec, document de travail no 82-05.

IMPACT ENVIRONNEMENT. 1982. Analyse multivariée des données écologiques recueillies dans 198 lacs du Québec. Pêches et Océans Canada, région du Québec. 32 p., 1 annexe.

LANGLOIS, C., VIGNEAULT, Y., NADEAU, A., DESILETS, L. 1982. Evaluation des effets de l'acidification sur la physico-chimie et la biologie des lacs du bouclier Canadien (région du Québec). Pêches et Océans Canada, document de travail non publié.

LEGENDRE, P., CHODOROWSKI, A., CHODOROWSKA, W., PICHET, P., POTVIN, P. 1980. Qualité des eaux: interprétation des données lacustres (1971-1977). Service de la qualité des eaux, Ministère de l'Environnement, Québec, QE-45. 443 p.

MAGNAN, P. 1982. Etude de la sensibilité aux précipitations acides de 22 lacs du Parc national de la Mauricie. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, région du Québec. A paraître.

RICHARD, Yvon. 1982. Relations entre le niveau d'acidité de 158 lacs du Parc des Laurentides et l'évolution de leurs statistiques de pêche au cours des dernières années. Service de la qualité des eaux, Ministère de l'Environnement, Québec, document de travail no 82-05.

		tous les cas				sans précipitations				avec précipitations			
		QB	ONT	MRTM	EU	QB	ONT	MRTM	EU	QB	ONT	MRTM	EU
VP	HIVER	2.2	0.8	0.2	0.2	2.8	0.6	0.3	0.1	1.7	0.8	0.1	0.4
	PRINT	3.5	0.7	0.4	0.8	2.5	0.3	0.4	0.5	5.0	1.4	0.5	1.4
	ÉTÉ	5.3	2.7	0.0	0.8	5.0	2.5	0.1	1.0	5.5	2.9	0.0	0.7
	AUT	4.3	1.6	0.1	1.6	1.7	0.8	0.2	1.4	7.1	2.1	0.0	1.7
	ANNÉE	4.0	1.4	0.2	0.8	3.0	1.0	0.3	0.7	5.3	1.8	0.1	1.0
NI	HIVER	9.2	1.9	1.0	2.6	6.6	1.4	0.3	1.1	14.5	2.8	1.7	4.6
	PRINT	11.5	2.6	1.7	2.0	9.3	0.1	2.0	0.7	14.3	5.1	1.4	3.8
	ÉTÉ	16.2	4.4	1.2	5.6	10.1	2.5	1.2	5.2	18.3	5.1	1.2	5.8
	AUT	12.7	3.4	0.9	3.4	8.9	2.1	0.0	1.0	14.5	4.0	1.3	4.4
	ANNÉE	12.4	3.1	1.2	3.4	8.5	1.6	0.9	1.4	15.8	4.0	1.4	4.8
MO	HIVER	2.7	6.7	0.4	3.3	1.3	3.7	0.0	0.9	4.3	10.2	0.9	5.9
	PRINT	4.0	6.5	0.7	7.3	2.2	4.7	0.9	2.9	7.6	10.3	0.5	15.3
	ÉTÉ	0.7	10.5	0.0	15.0	1.2	8.5	0.0	6.2	0.3	12.1	0.0	21.9
	AUT	2.4	7.9	0.1	7.9	0.5	4.8	0.0	5.3	4.8	11.8	0.3	11.0
	ANNÉE	2.4	7.9	0.3	8.4	1.3	5.3	0.3	3.6	3.8	11.1	0.4	14.1

Sept-Îles

ZV	HIVER	12.6	3.1	2.0	6.0	8.4	2.9	0.7	1.7	19.1	3.2	4.0	9.8
	PRINT	13.5	3.2	6.1	2.3	9.4	1.3	4.8	0.5	19.7	6.0	8.0	4.8
	ÉTÉ	21.5	5.6	5.4	13.9	20.0	5.0	3.8	8.6	23.5	6.2	7.5	20.8
	AUT	16.6	7.2	3.9	5.6	11.1	4.9	0.3	2.0	22.8	9.7	8.0	9.6
	ANNÉE	16.0	4.8	4.3	6.9	12.1	3.5	2.4	3.1	21.3	6.5	6.6	12.0

Québec

QB	HIVER	16.4	9.6	1.3	14.4	19.1	9.9	1.1	9.4	13.9	9.3	1.5	19.0
	PRINT	16.7	10.4	2.5	12.5	17.2	7.7	3.1	6.6	16.2	14.2	1.6	21.0
	ÉTÉ	20.4	14.7	0.3	23.2	19.2	14.8	0.2	16.9	21.5	16.7	0.3	31.4
	AUT	16.4	14.0	0.6	16.3	15.3	11.4	0.2	12.5	17.6	15.1	1.0	20.9
	ANNÉE	17.5	12.5	1.1	16.9	17.6	10.8	1.2	11.1	17.2	14.2	1.1	23.1

Maniwaki

MW	HIVER	11.9	15.8	0.1	19.9	13.3	16.9	0.0	9.4	10.0	14.5	0.2	32.8
	PRINT	13.8	14.9	0.6	21.5	14.3	15.9	0.7	12.7	10.7	12.9	0.3	37.0
	ÉTÉ	12.0	24.1	0.0	33.4	14.3	24.5	0.0	23.6	9.0	23.7	0.0	44.9
	AUT	12.2	19.6	0.0	26.1	13.6	16.7	0.0	18.1	10.6	23.5	0.0	37.2
	ANNÉE	12.5	18.6	0.2	23.7	14.2	18.4	0.2	15.7	10.0	18.9	0.1	38.4

		tous les cas				sans précipitations				avec précipitations			
		QB	ONT	MRTM	EU	QB	ONT	MRTM	EU	QB	ONT	MRTM	EU

TABLEAU 1 - Pourcentage du temps pour lequel la rétro-trajectoire d'une durée de 96 heures au niveau 925mbar se situe au-dessus de régions sources (Latitude inférieure à 50°) au Québec, en Ontario, dans les provinces maritimes et aux États-Unis. Le tableau présente une distinction saisonnière en plus de séparer les cas des jours sans précipitations (sec) de ceux avec précipitations (humide)

Tiré de Desautels (1981)

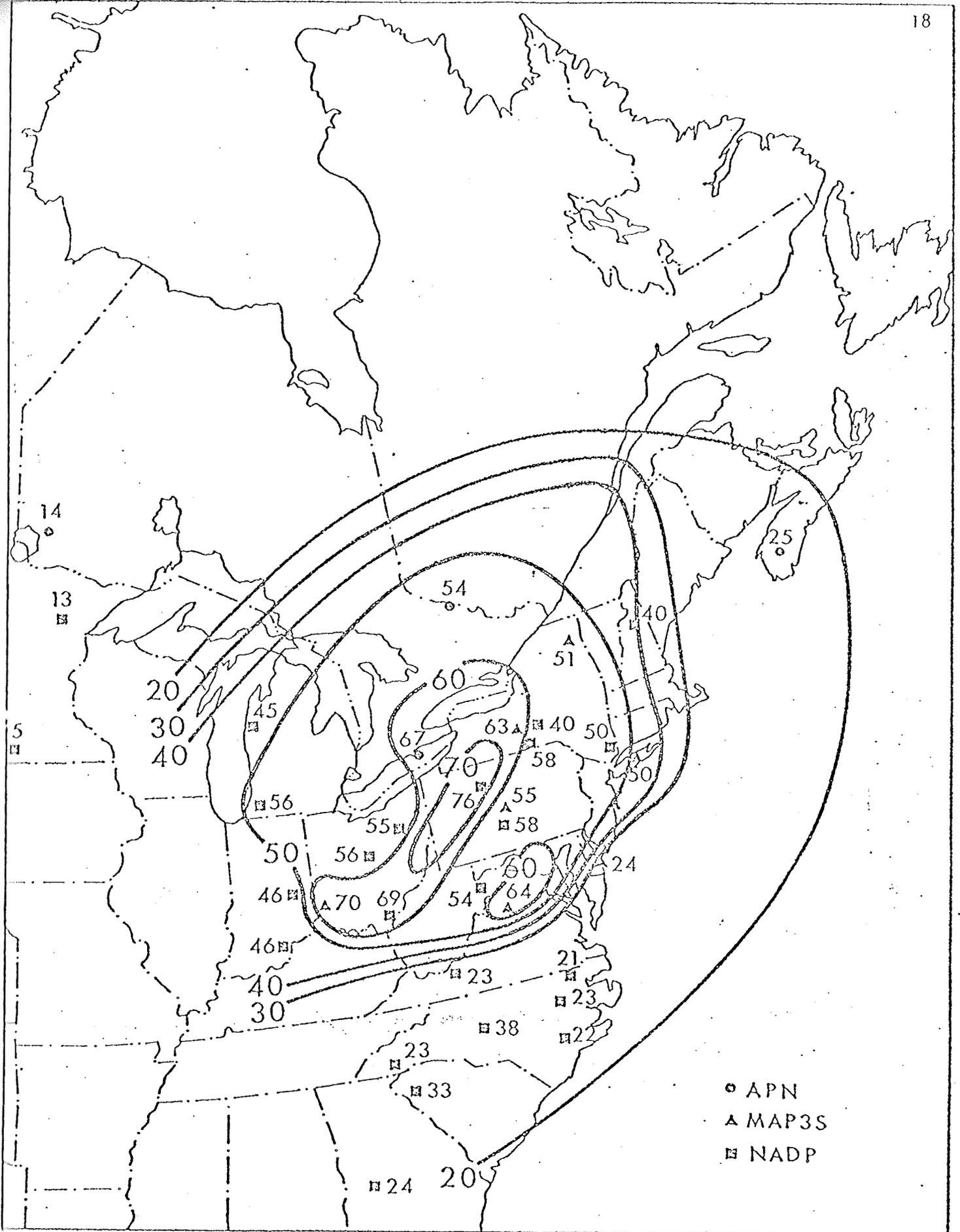


Figure 2 The spatial distribution of precipitation-amount weighted-mean hydrogen ion concentration ($\mu\text{mole/l}$) in precipitation in eastern North America during 1979 as determined using data from Canadian (APN) and American (MAP3S, NADP) networks. Tirée de Barriè (1981)

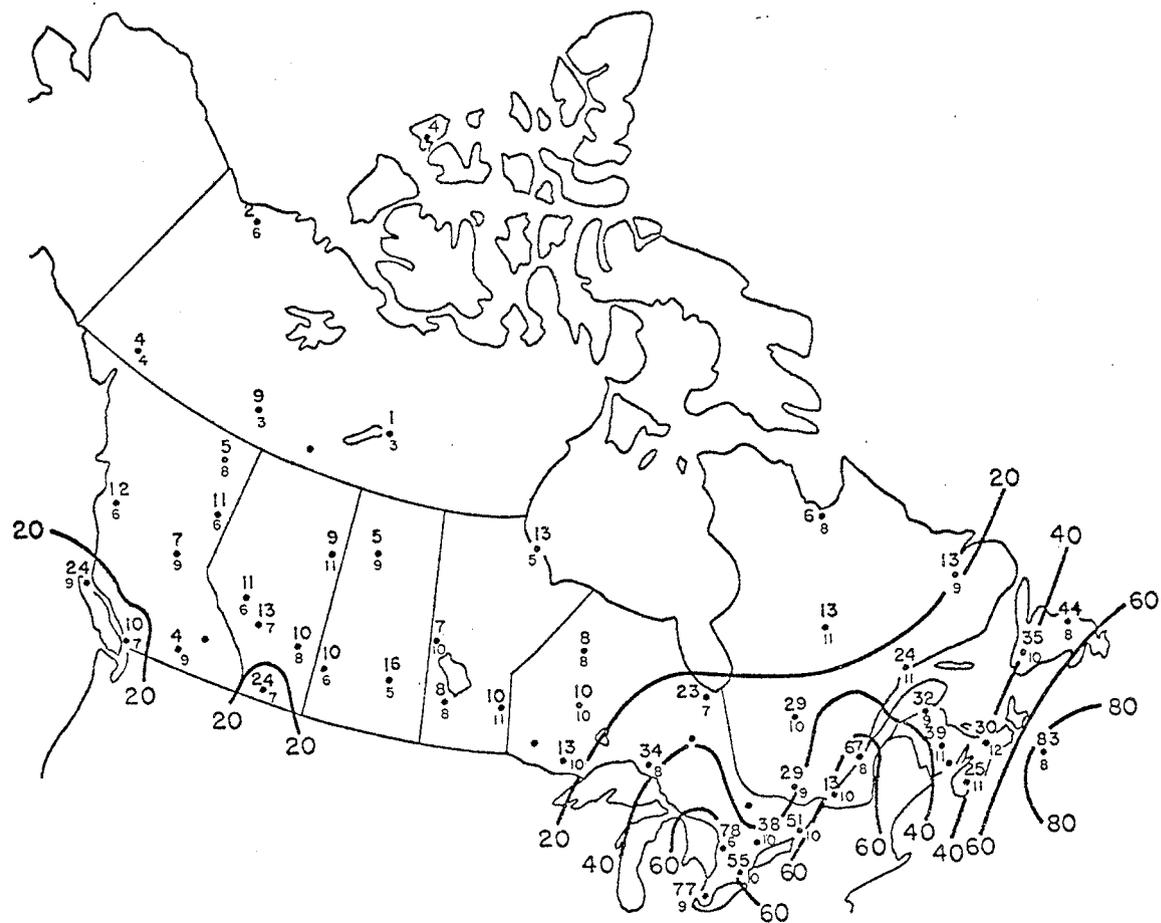


Figure 3 Dépôt liquide d'ions sulfate d'après les données de 1978 du RCEP. Les chiffres supérieurs indiquent le taux de dépôt par unité de surface ($\text{mmol SO}_4^{2-} \text{ m}^{-2} \text{ an}^{-1}$) et les chiffres inférieurs le nombre de mois à partir duquel on a calculé proportionnellement les valeurs annuelles.

Tirée de Harvey et al. (1981)

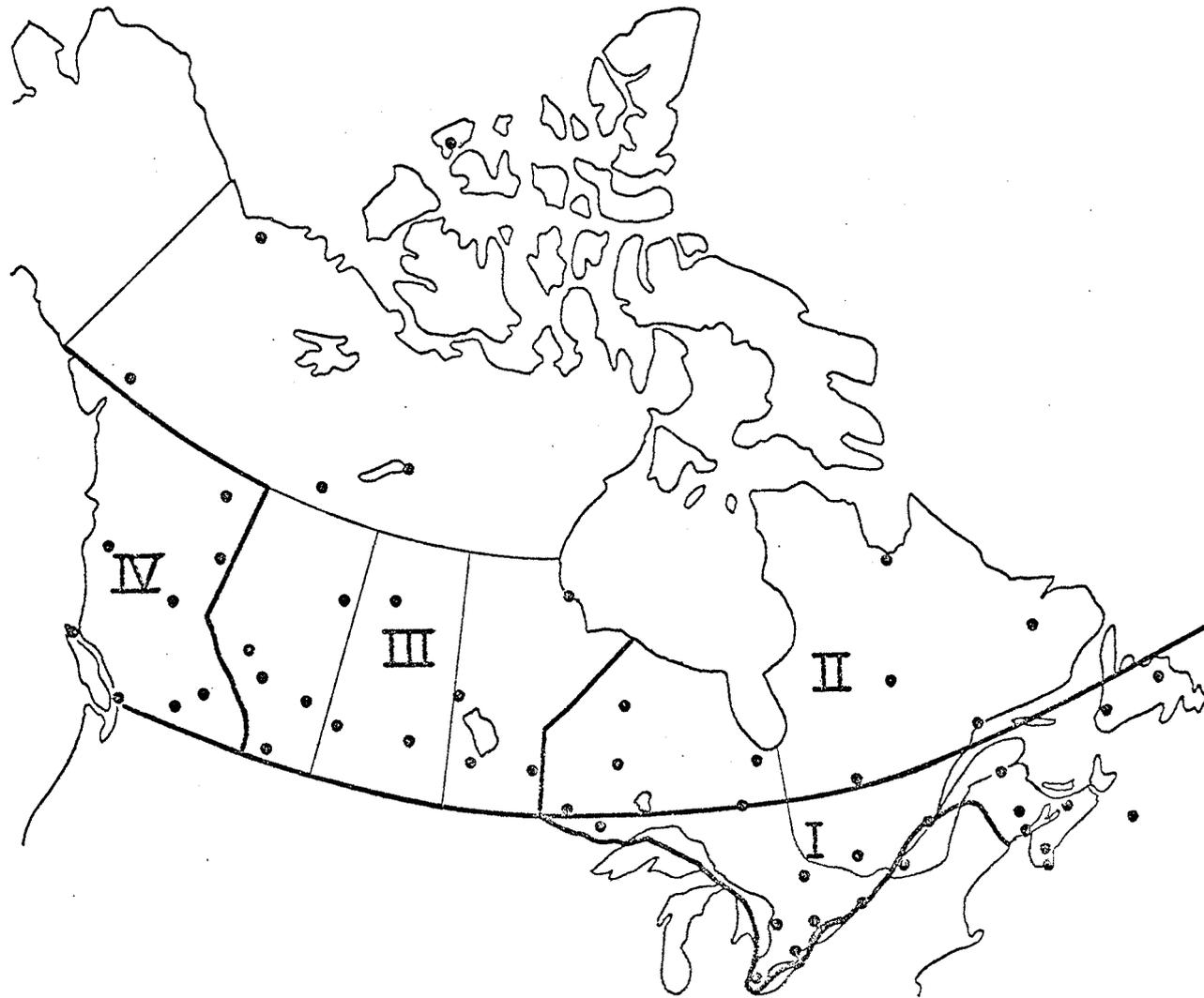


Figure 5 Répartition régionale des stations RCEP d'après des données sur les ions sulfate, nitrate et calcium et sur le pH pour la période allant de janvier 1977 à décembre 1978 (Berry 1980).

Tirée de Harvey et al. (1981)

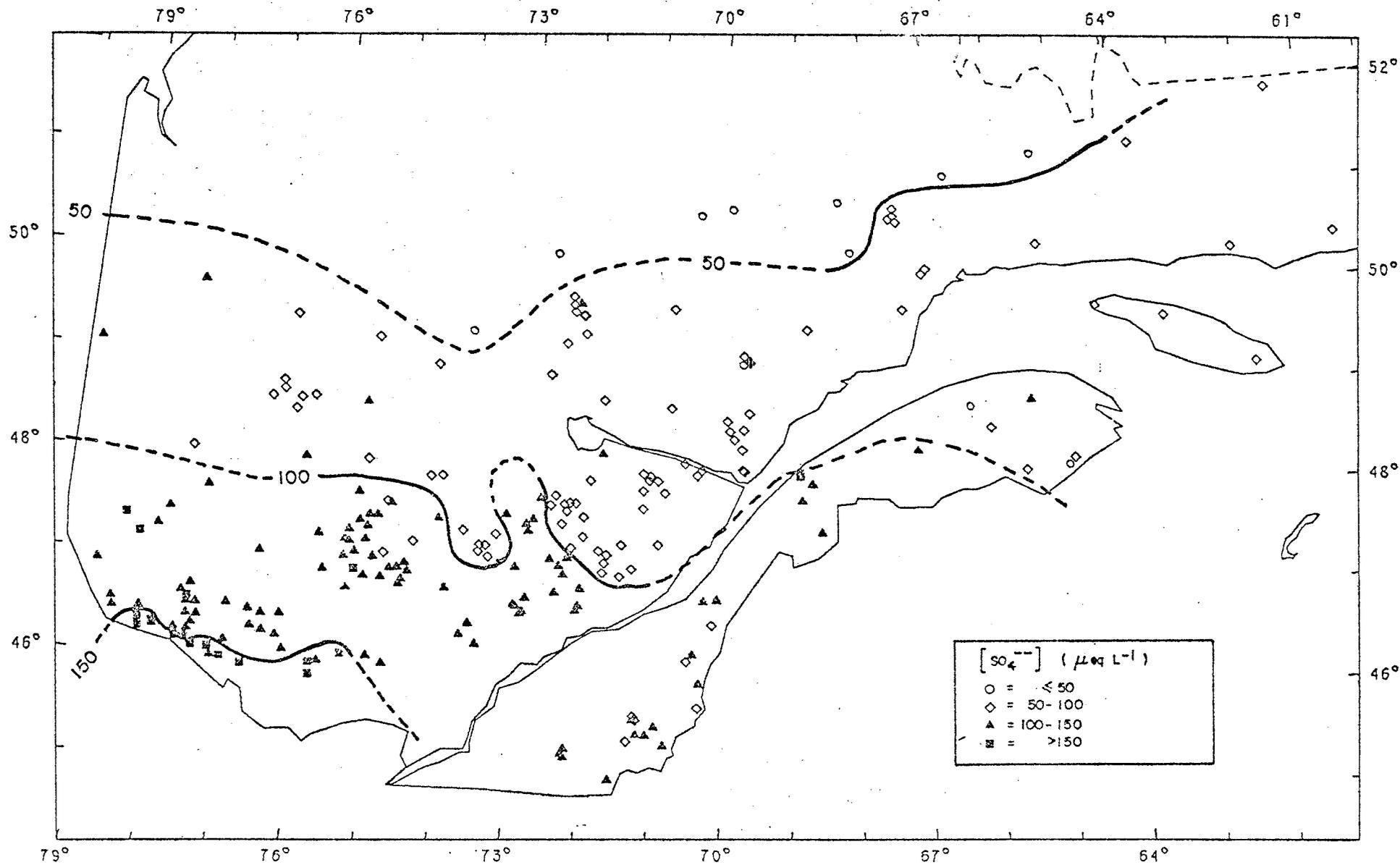
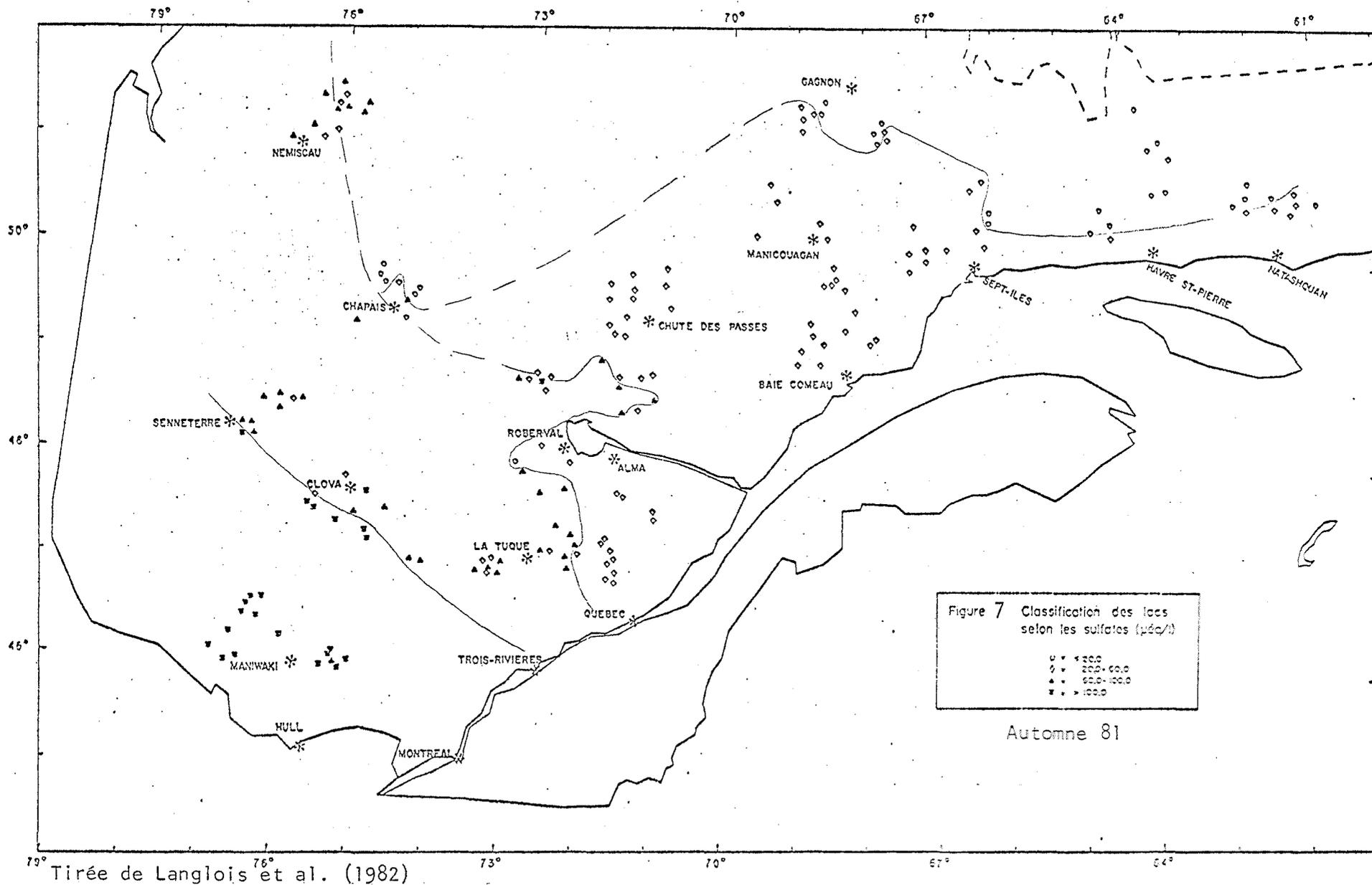


Figure 6 . Classification des lacs selon les valeurs de sulfates (été 1980).

Tirée de Bobée et al. (1982)



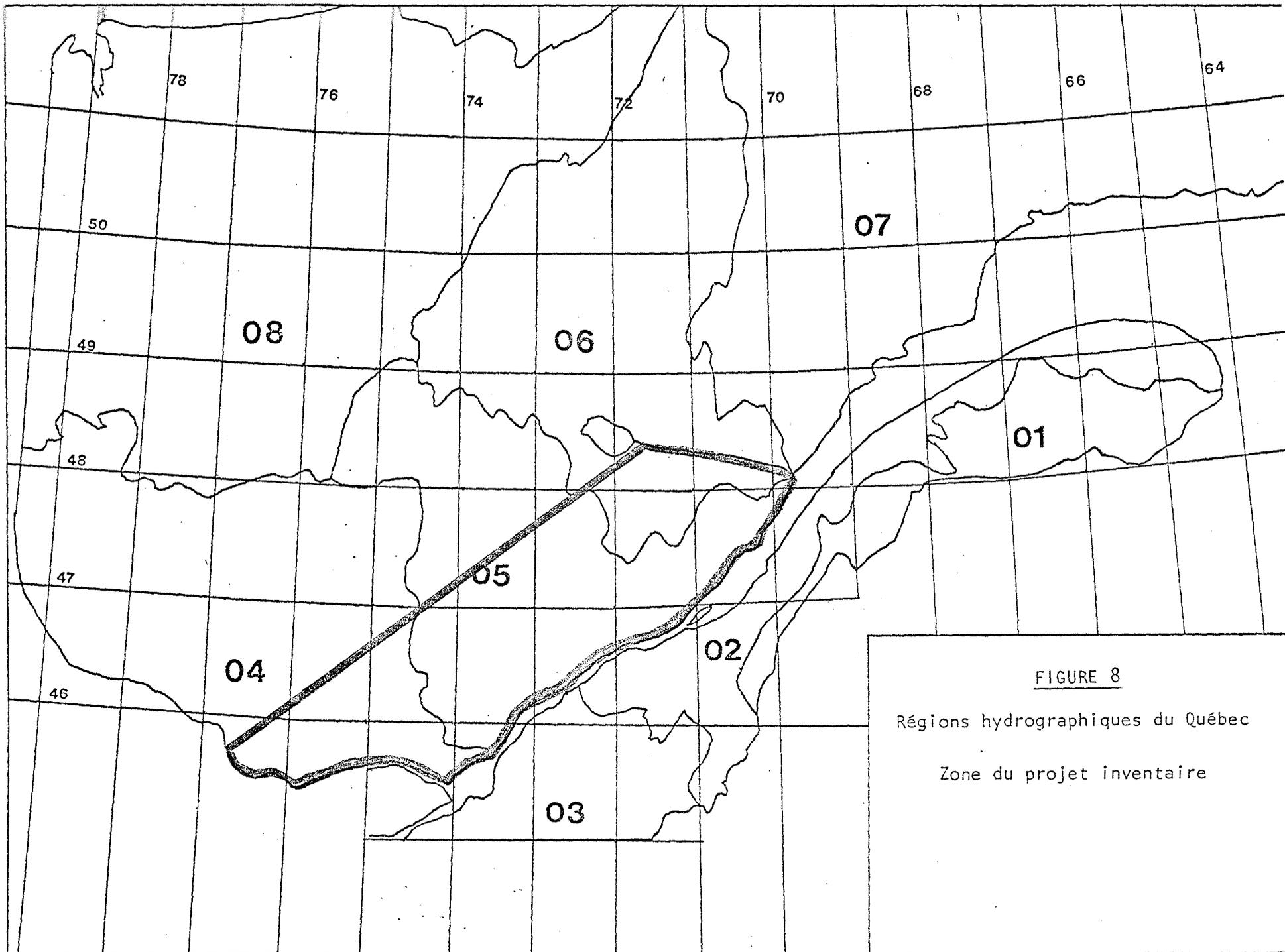


FIGURE 8

Régions hydrographiques du Québec

Zone du projet inventaire

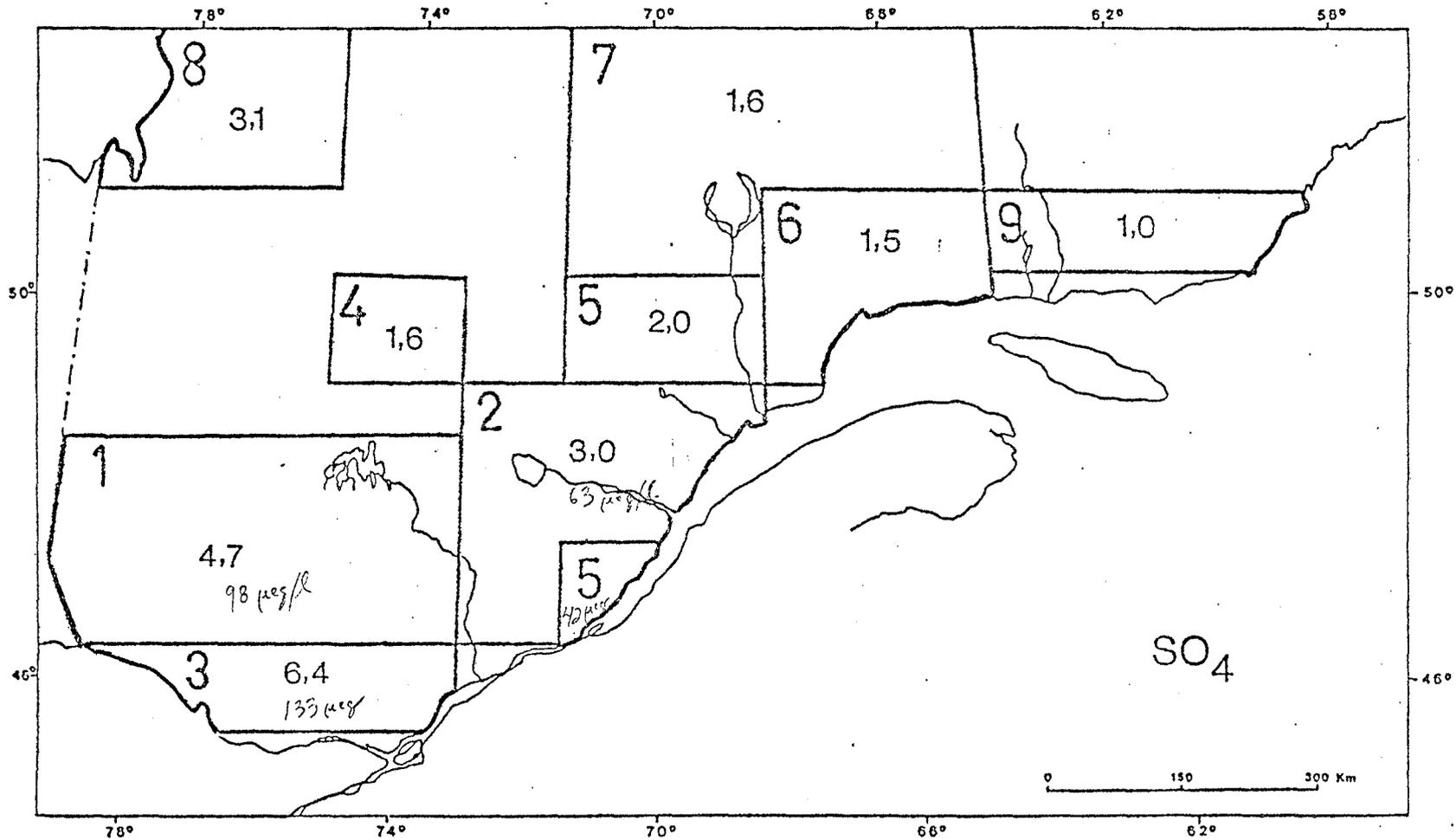


Figure 9 Teneur moyenne en SO_4 des 9 groupes de lacs (mg/l).
Tirée de Impact Environnement (1982)

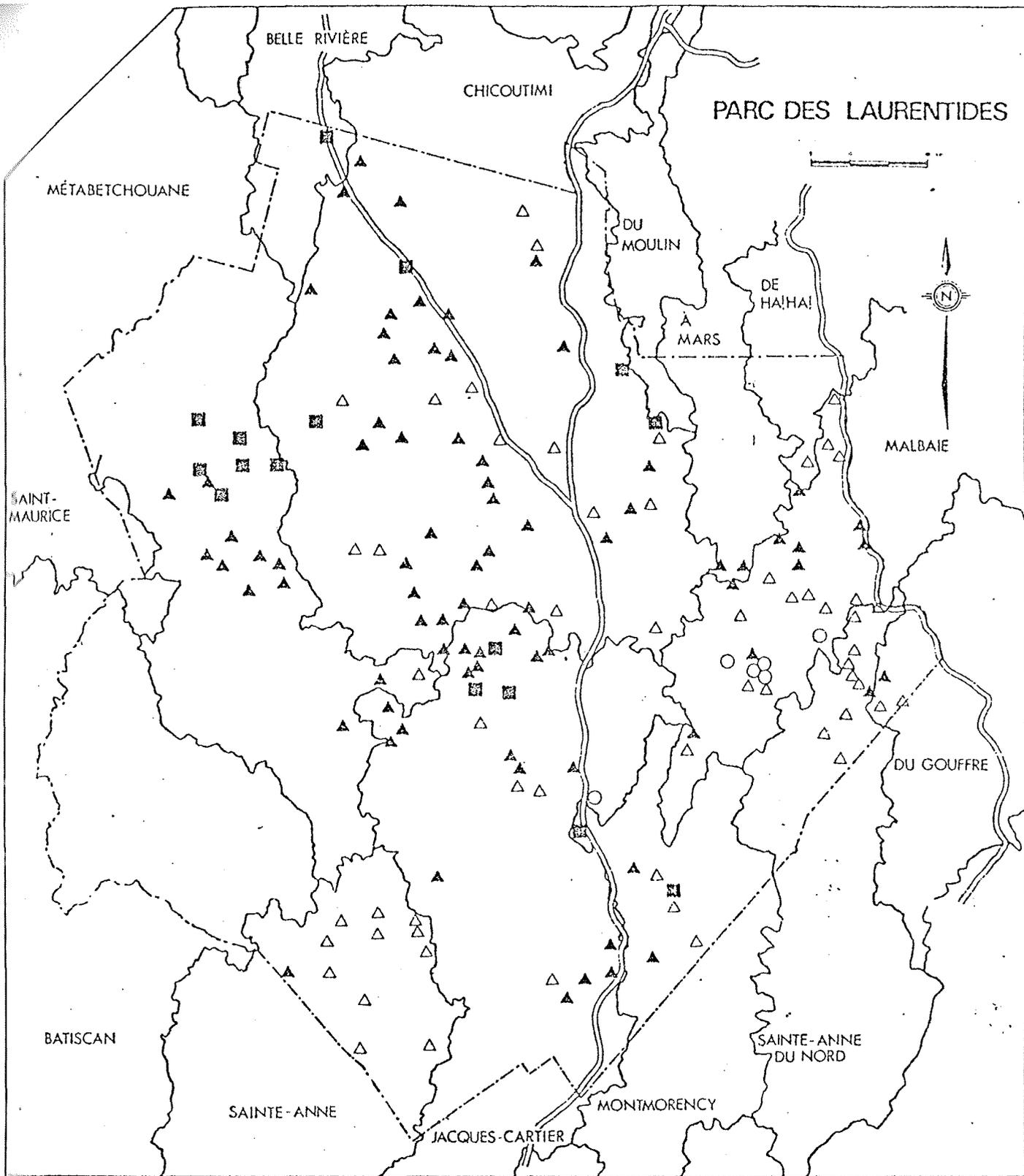


FIGURE 10

CLASSIFICATION DES LACS SELON LEUR VALEUR EN SULFATES

LÉGENDE

$[SO_4^{--}]$ ($\mu eq L^{-1}$)

- • ≤ 50
- △ 51 - 75
- ▲ 76 - 100
- • ≥ 101

Tirée de Richard (1982)

Tableau 2

Types de sensibilité

Caractéristiques de l'eau				
Description	Alcalinité meq L ⁻¹	HCO ₃ ⁻ mg L ⁻¹ (μ eq/l)	Ca ²⁺ mg L ⁻¹ (μ eq/l)	Conductivité μ S cm ⁻¹ (25° C)
Très sensible	0.0 - 0.2	1-12 (16-200)	0-4 (0-200)	0-35
Modérément sensible	0.2 - 0.4	12-24 (200-400)	4-8 (200-400)	22-78
Sensibilité minimale	0.4	24 (400)	8 (400)	60

Les limites sont choisies arbitrairement, selon les auteurs.

Tiré de Harvey et al. (1981).

Tableau 3 : Sensibilité à l'acidification des eaux de surface en fonction de l'alcalinité

Référence	Sensibilité (alcalinité $\mu\text{eq}/\ell$)			
	extrême	modérée	faible	nulle
OME (1979)	0-40	40-200	200-500	500 et plus
Altshuller et McBean (1980)	0-200	200-400		400 et plus
Zimmerman et Harvey (1979)	0-300		300 et plus	
Glass et al. (1980)	0-100	100-200	200 et plus	

Tiré de Bobée et al. (1982)

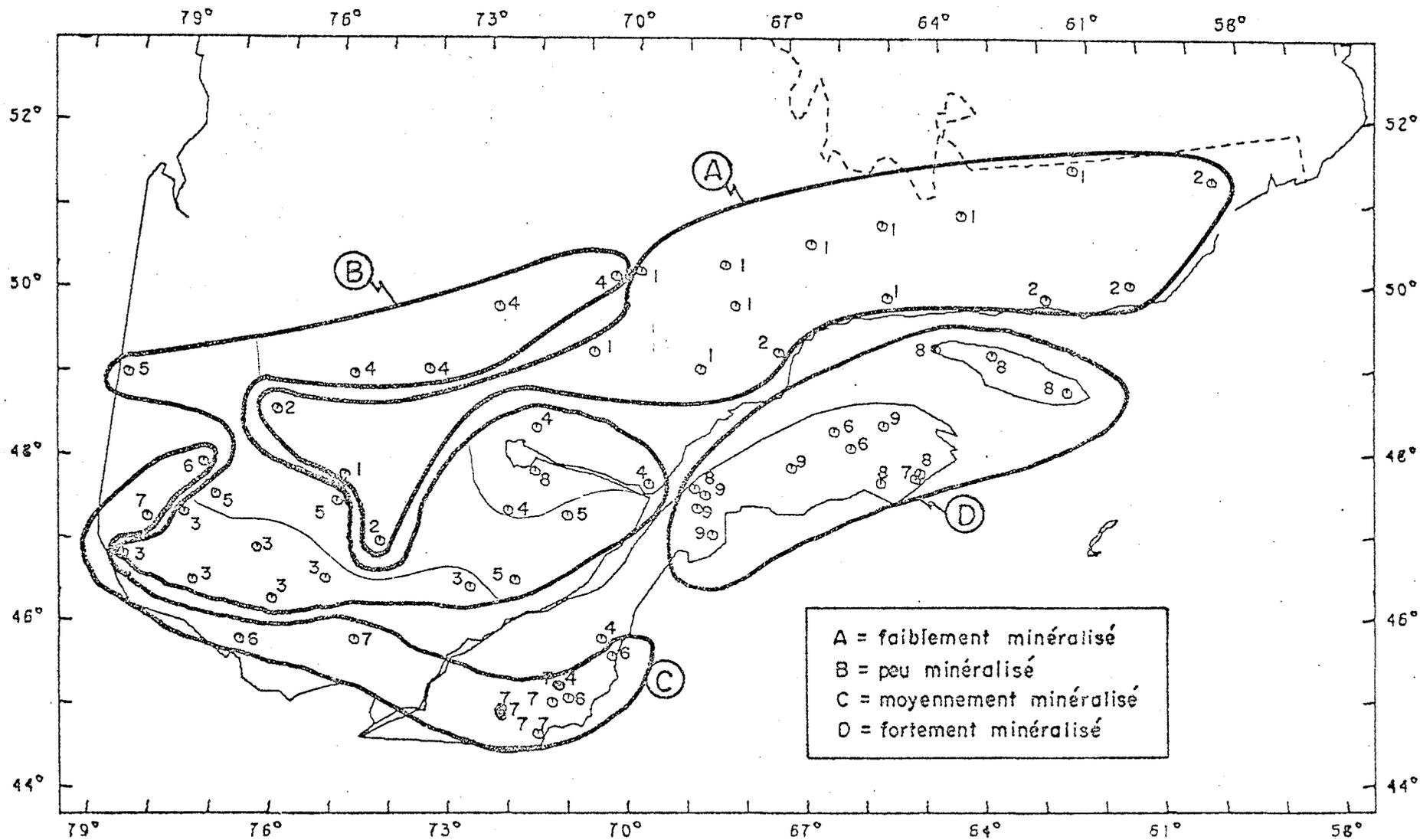


Figure 12 Répartition géographique à l'échelle du Québec des groupes de lacs déterminés par analyse multivariée.

Tirée de Bobée et al. (1982)

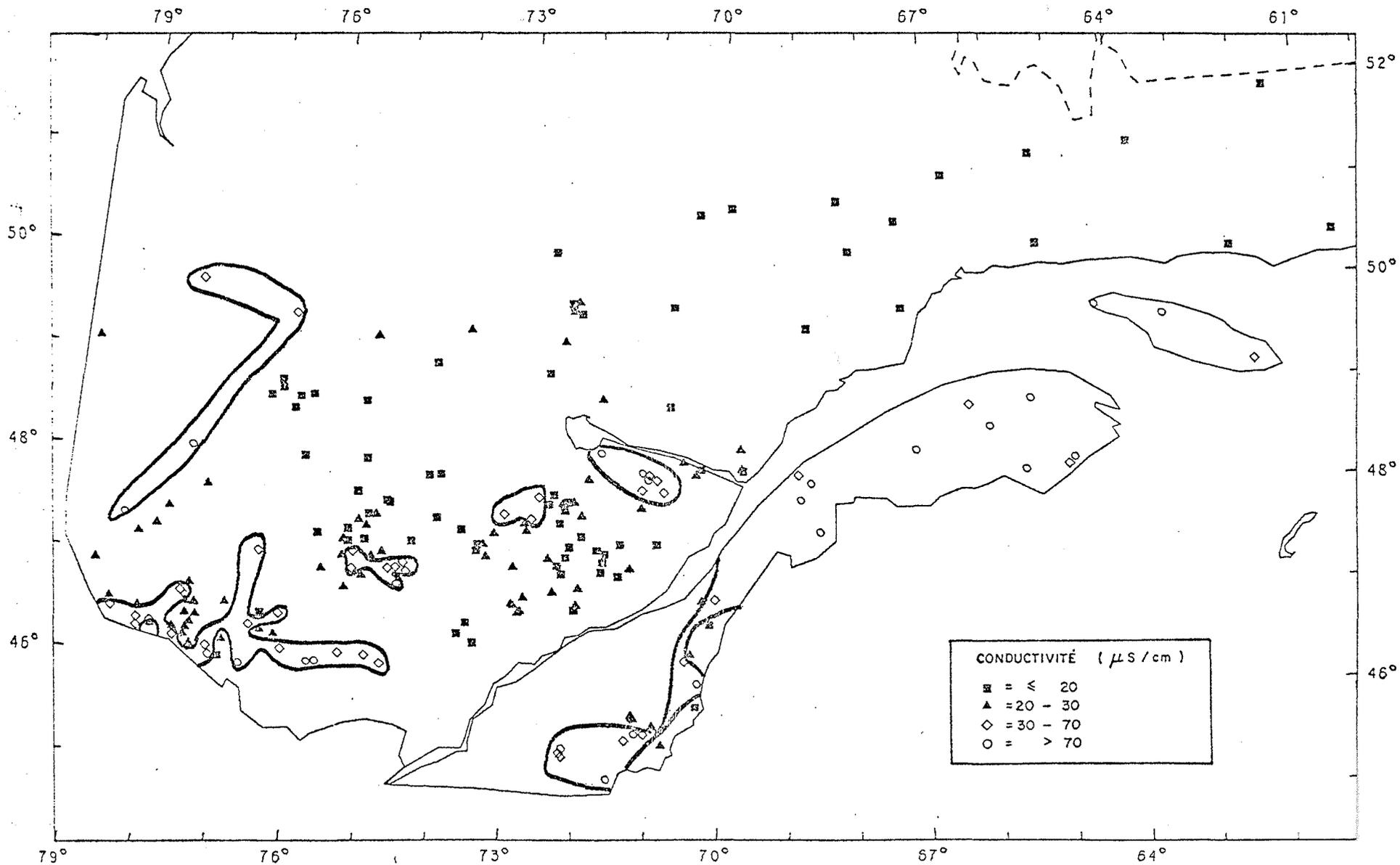


Figure 13 . Classification des lacs selon les valeurs de conductivité (été 1980) .

Tirée de Bobée et al. (1982)

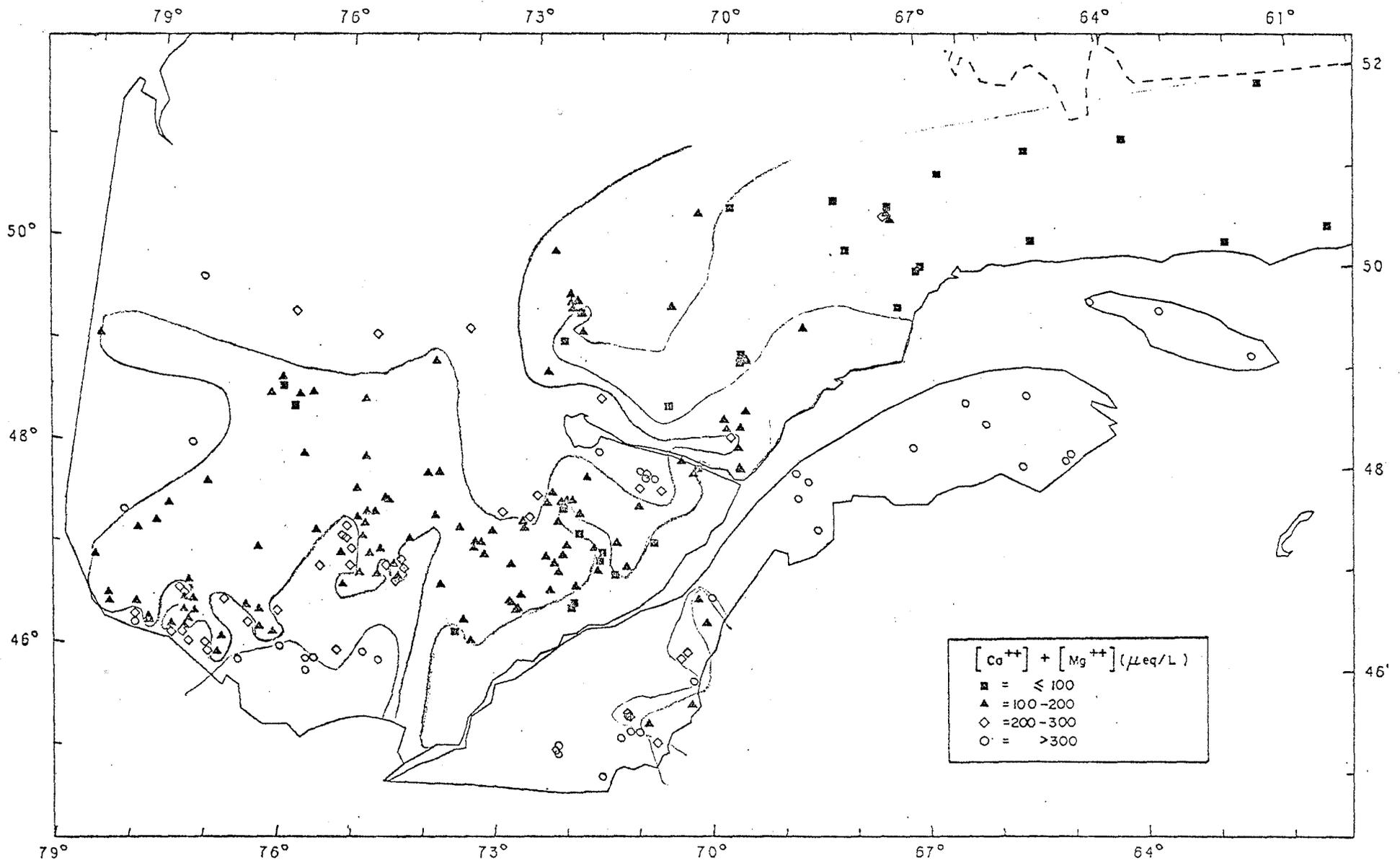


Figure 14 : Classification des lacs selon les valeurs de la somme des cations calcium et magnésium (été 1980) :

Tirée de Bobée et al. (1982)

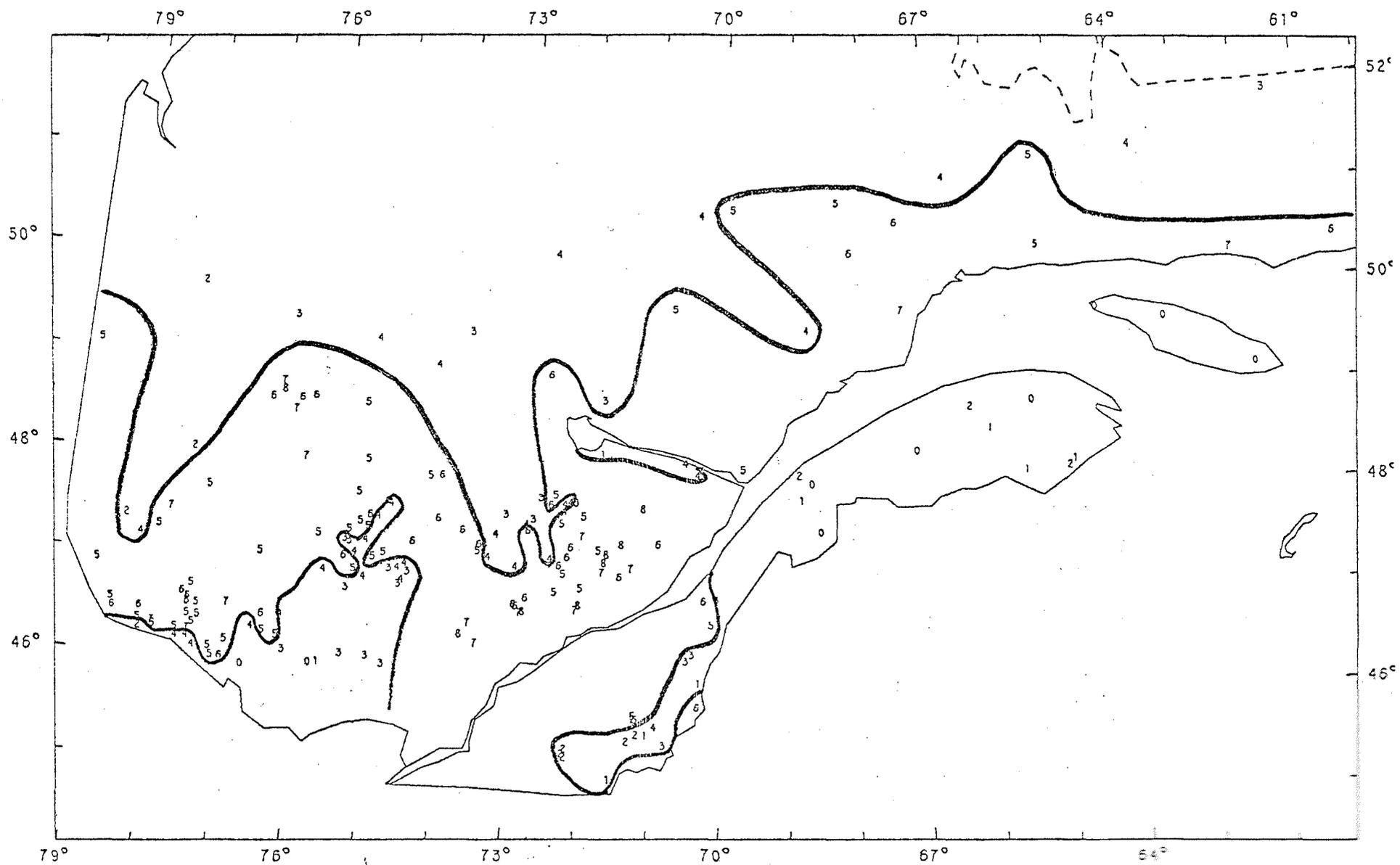


Figure 15 . Classification des lacs selon les valeurs de l'indice de saturation calcique (été 1980) .
Tirée de Bôbée et al. (1982)

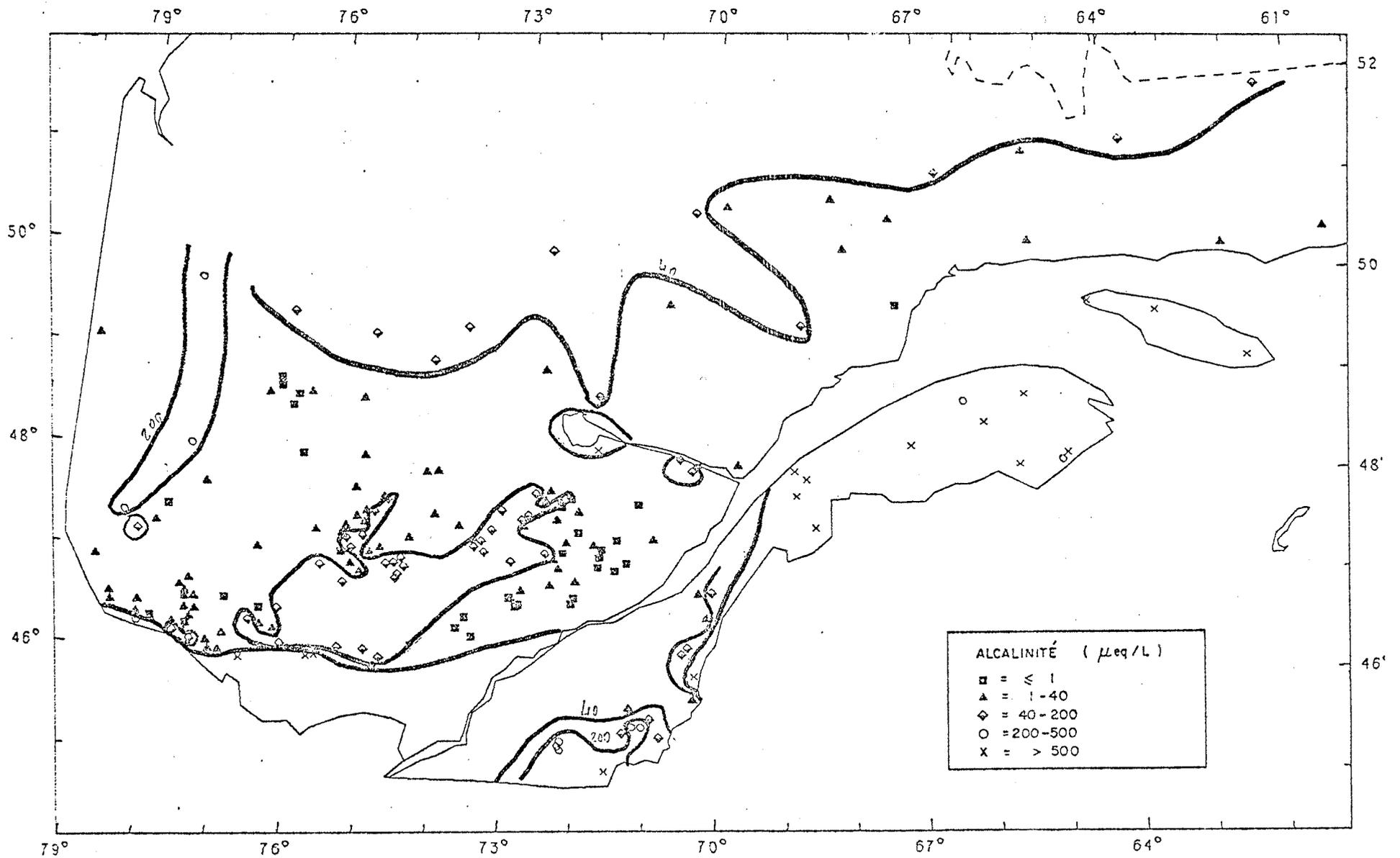


Figure 16 : Classification des lacs selon les valeurs de l'alcalinité (été 1980).
Tirée de Bobée et al. (1982)

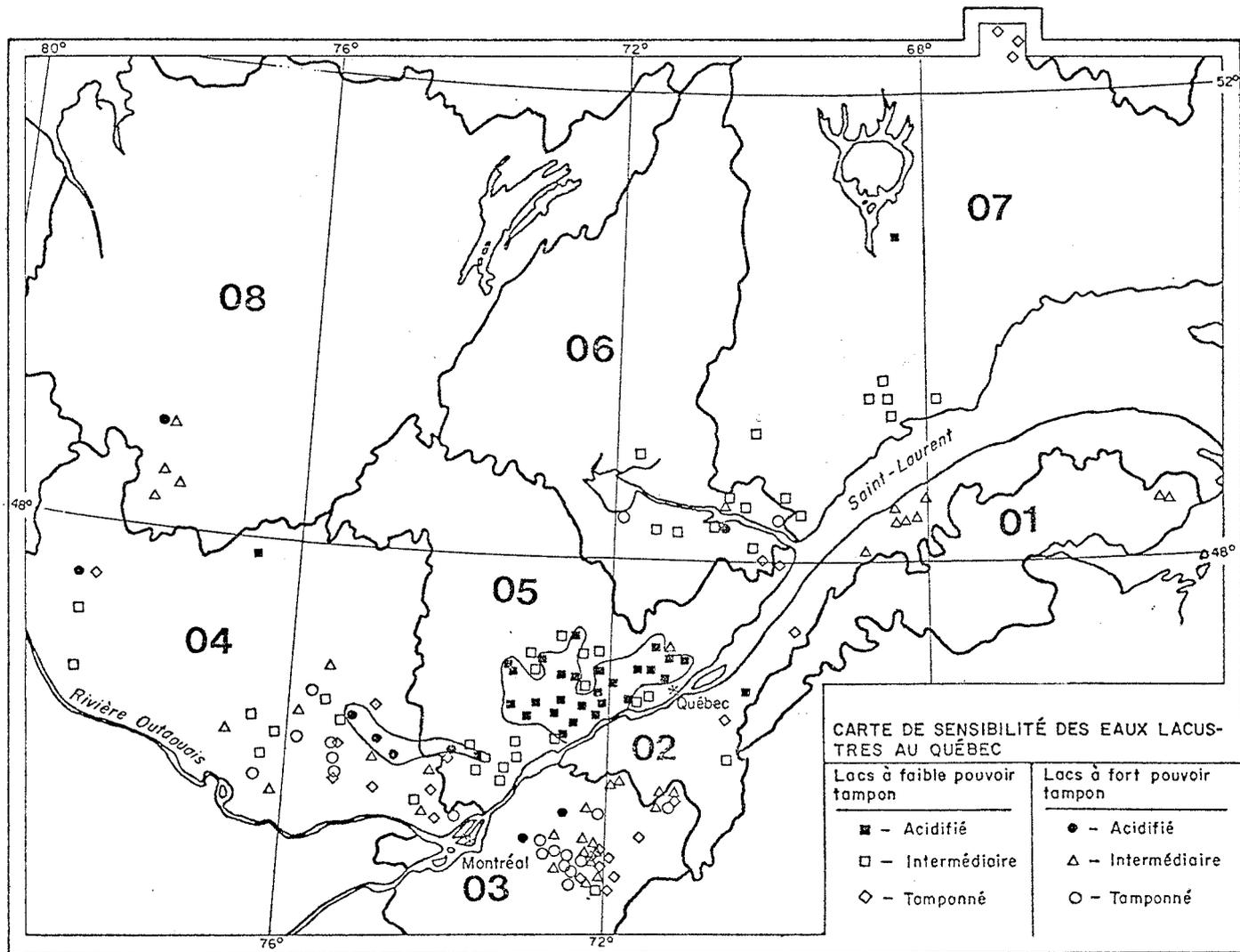


Figure 17

Tirée de Environnement Canada (1981)

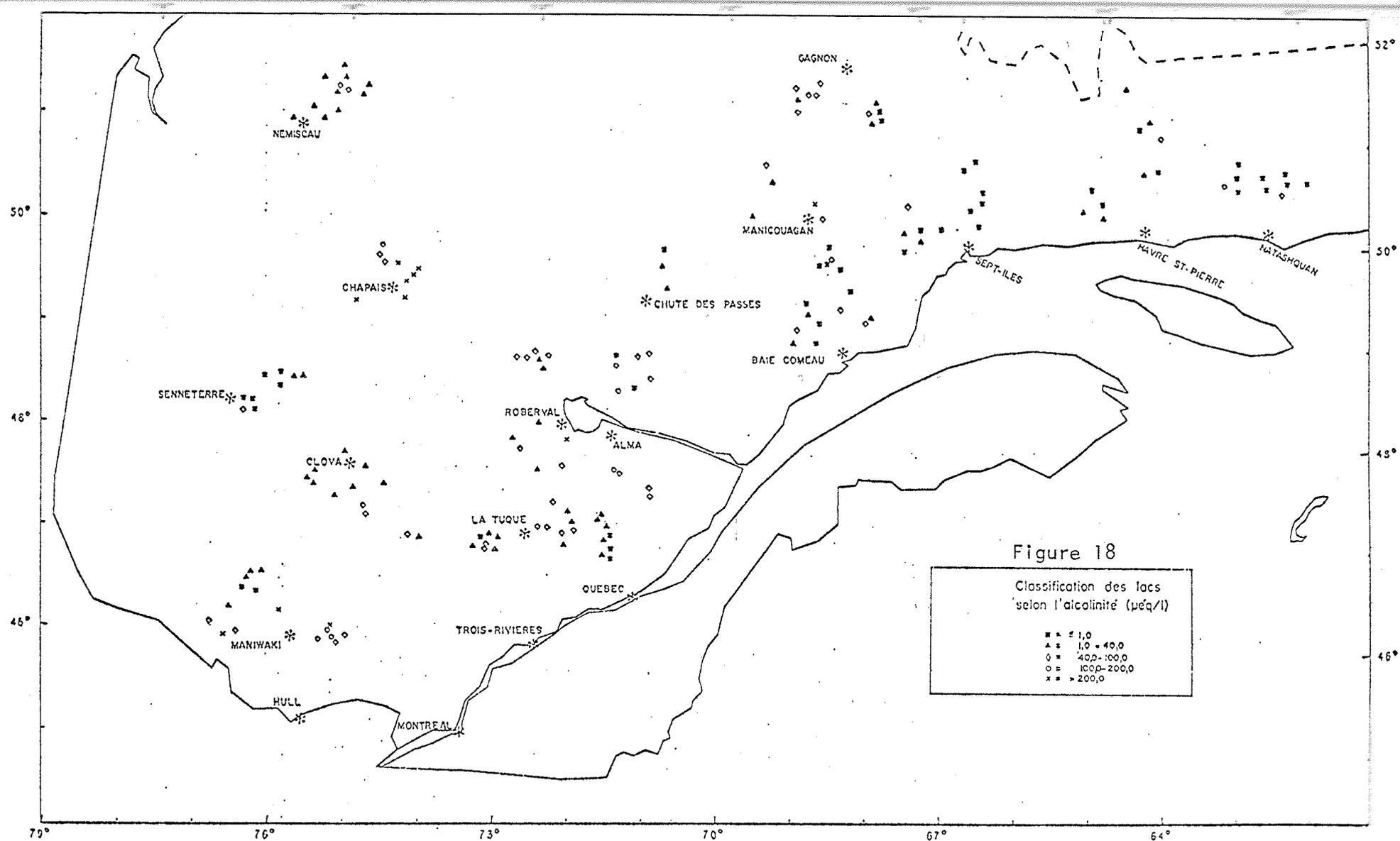
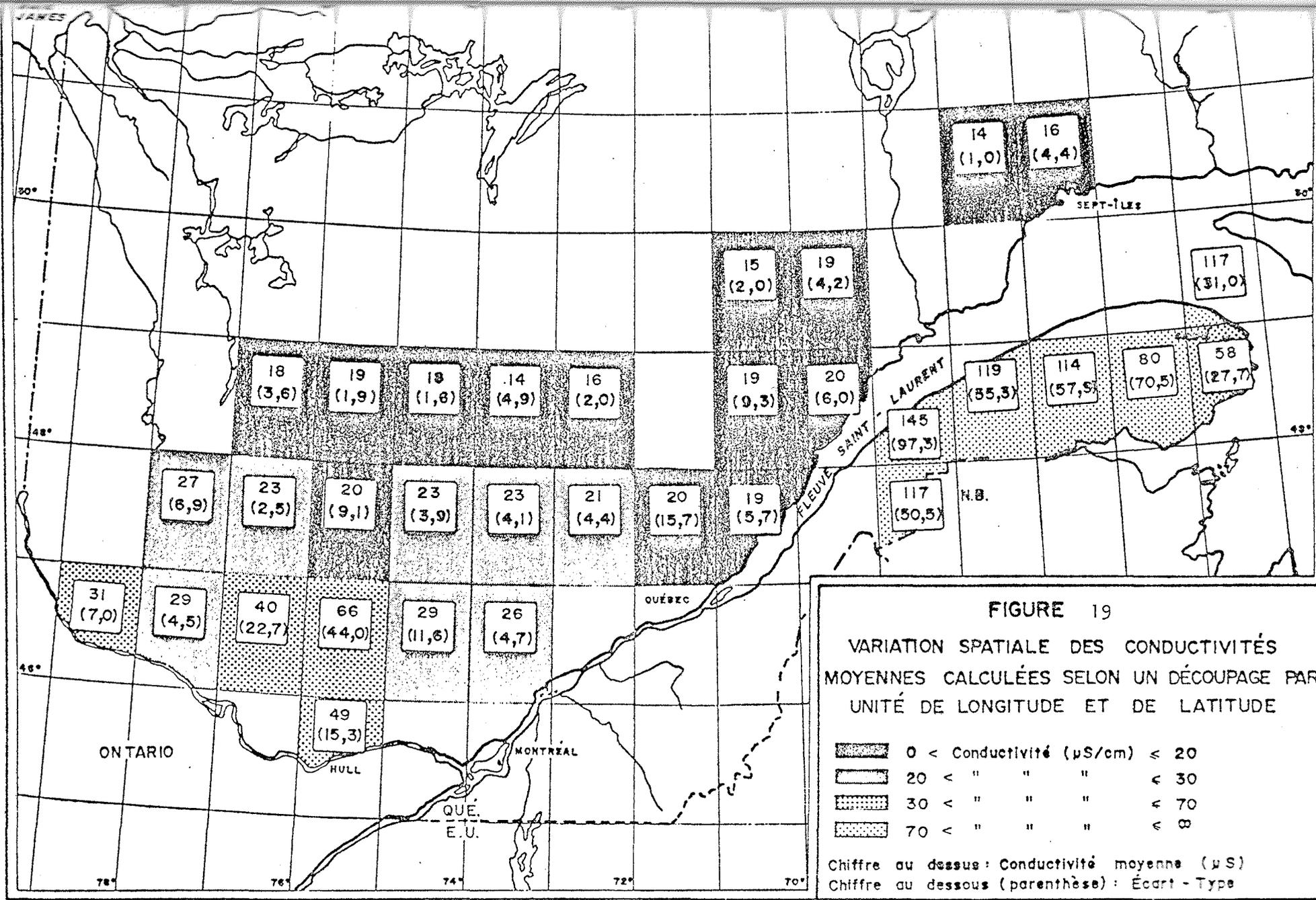


Figure 18

Classification des lacs
selon l'alcalinité ($\mu\text{eq/l}$)

Tirée de Langlois et al. (1982)



Tirée de Grimard (1981)

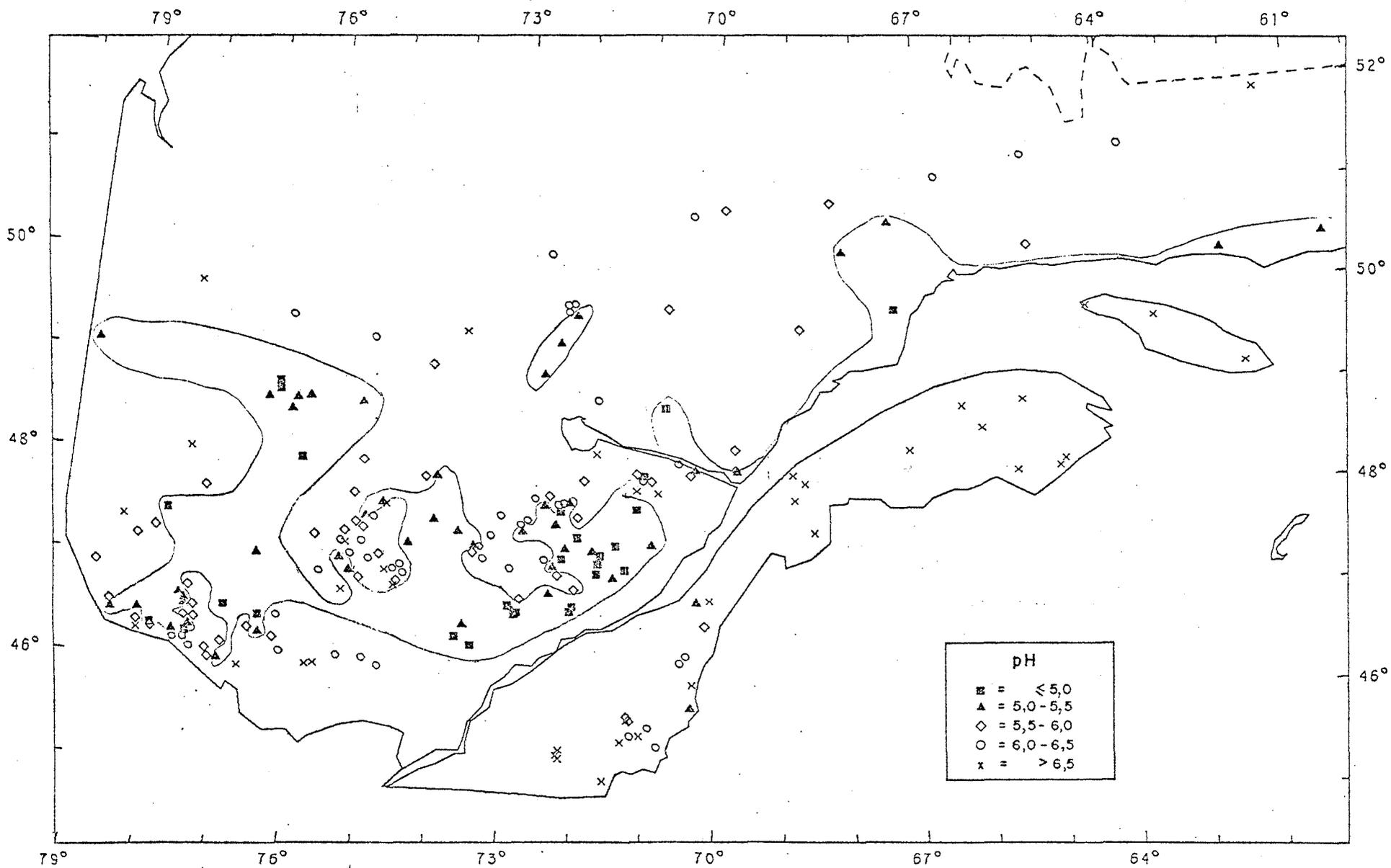


Figure 20 . Classification des lacs selon les valeurs du pH (été 1980). (moyenne pondérée)

Tirée de Bobée et al. (1982)

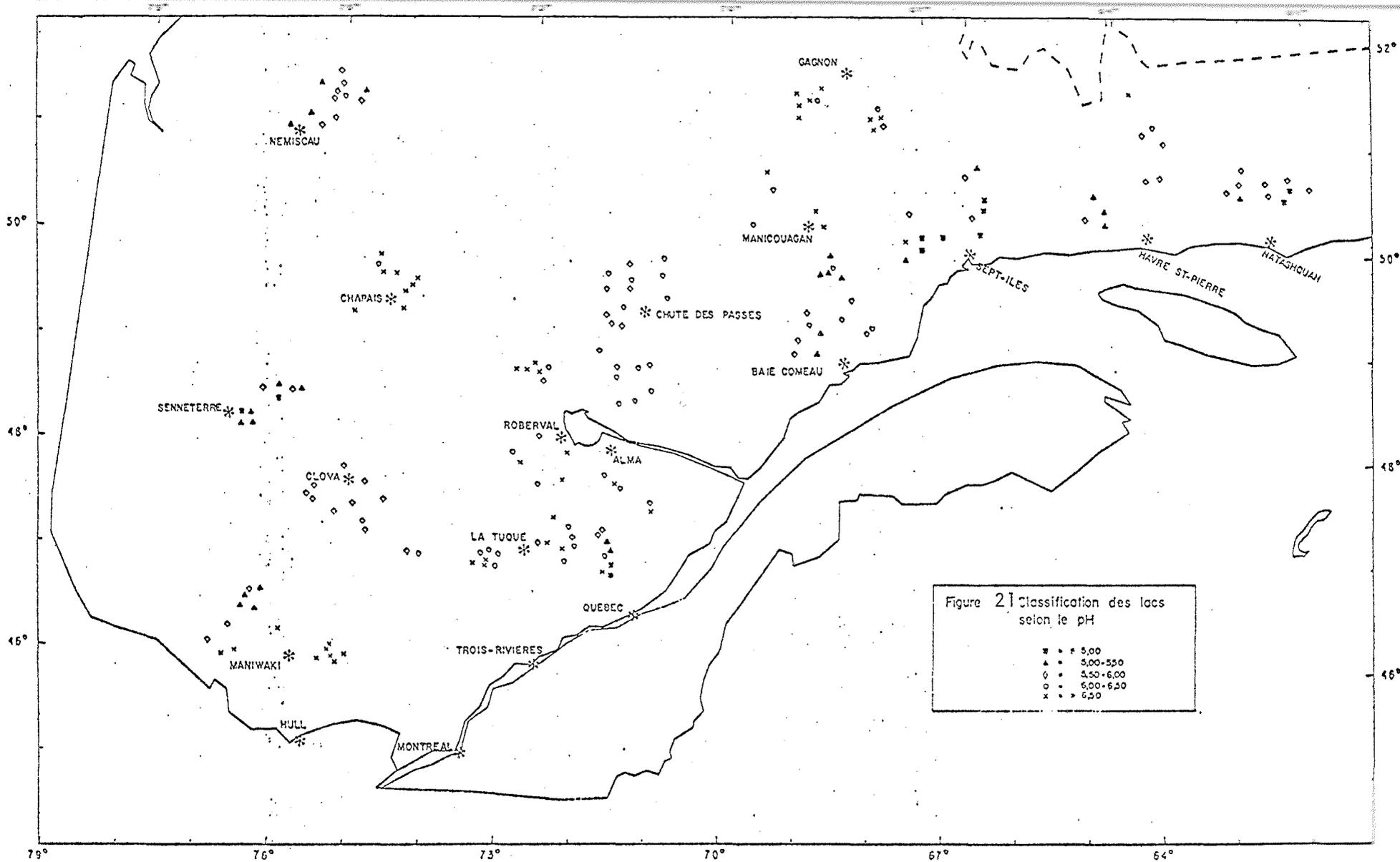


Figure 21 Classification des lacs
selon le pH

- ≤ 5,00
- ▲ 5,00-5,50
- ◇ 5,50-6,00
- 6,00-6,50
- × ≥ 6,50

Echantillon intégré (6 m)
Tirée de Langlois et al. (1982)

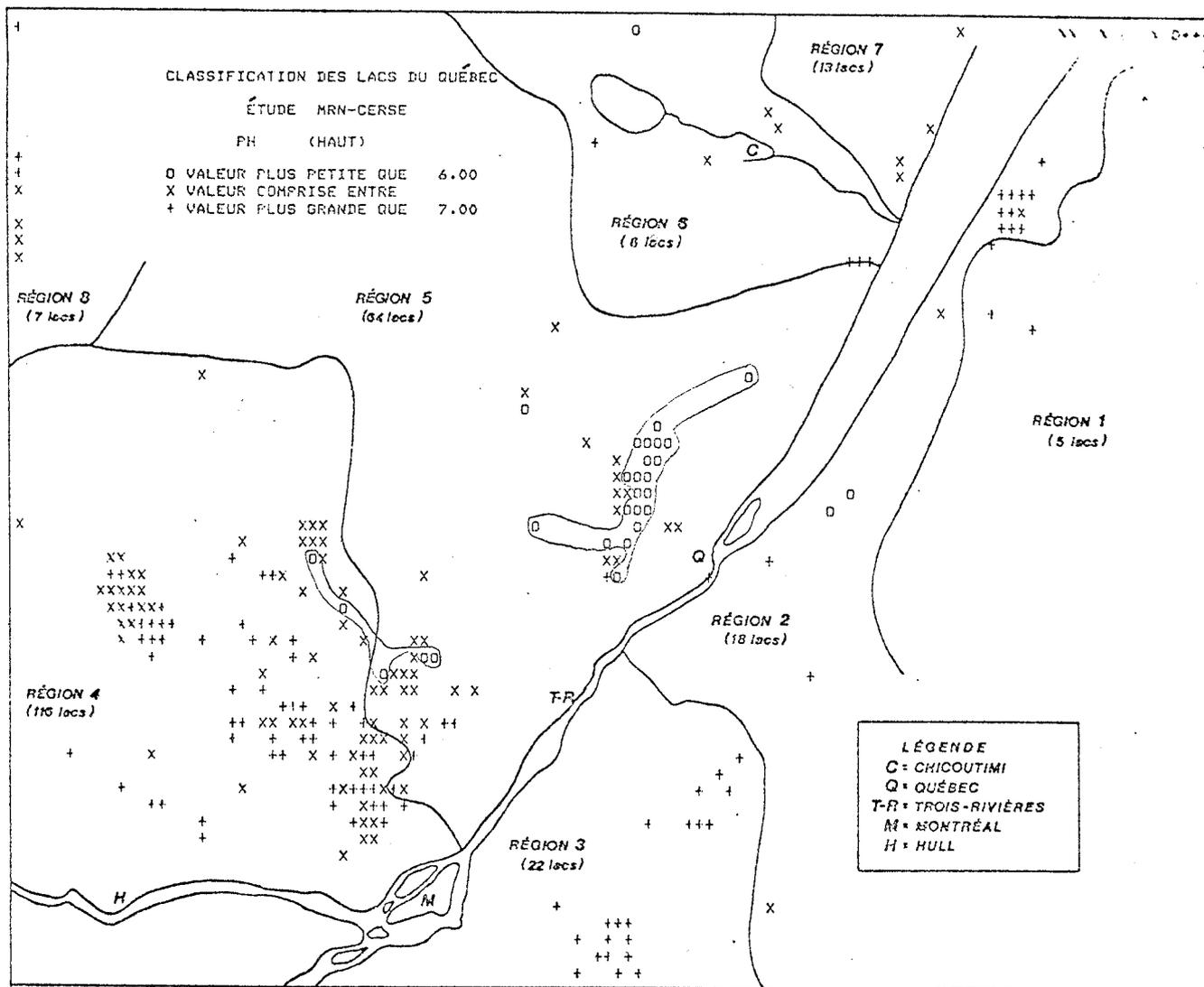


Figure 22

Représentation cartographique des lacs suivant que le pH en surface est plus petit que 6,0 (O), plus grand que 7,0 (+) ou compris entre les deux valeurs (X).

Tirée de Legendre et al. (1982)

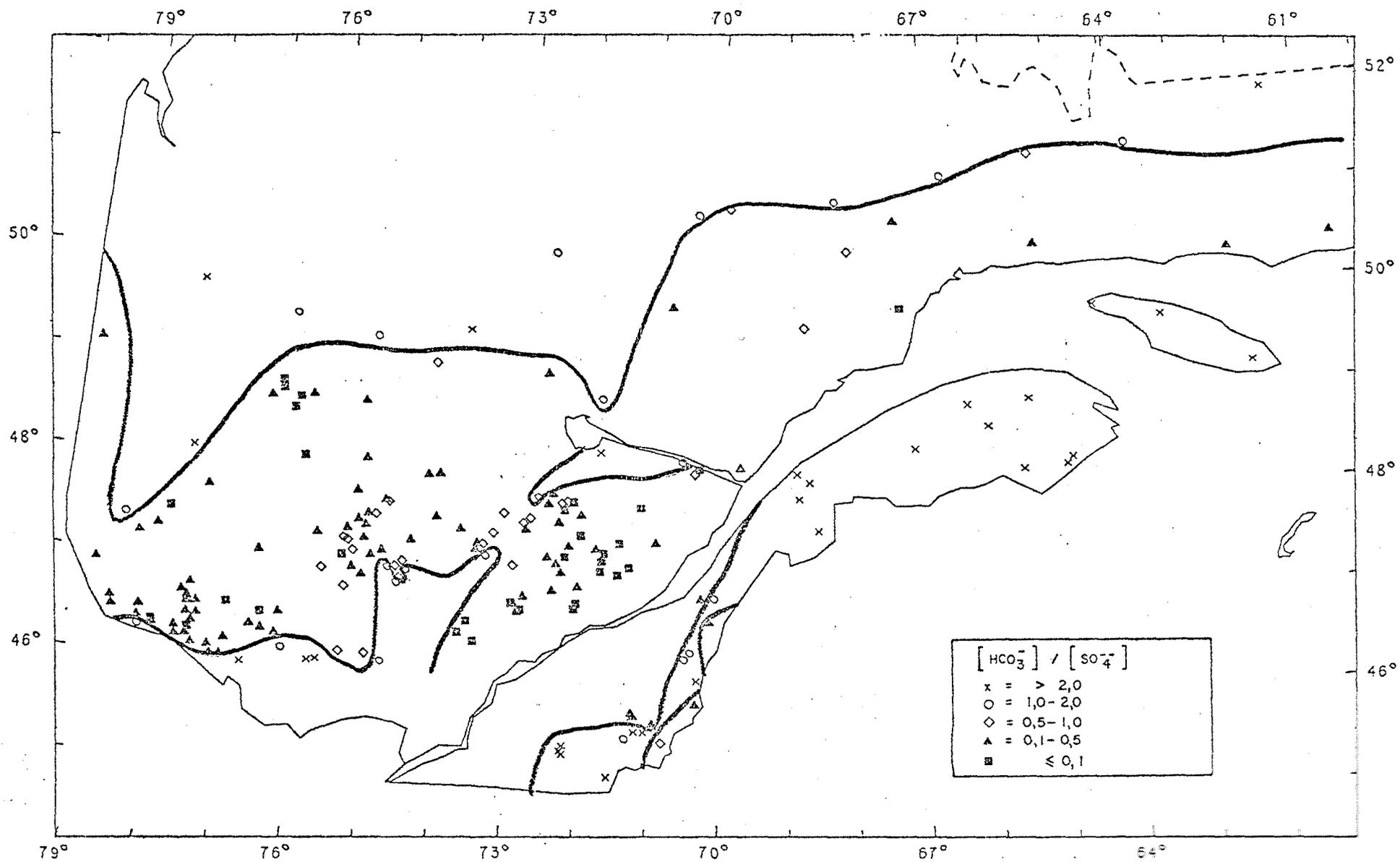


Figure 23 . Classification des lacs selon le rapport bicarbonates sur sulfates (été 1980).
Tirée de Bobée et al. (1982)

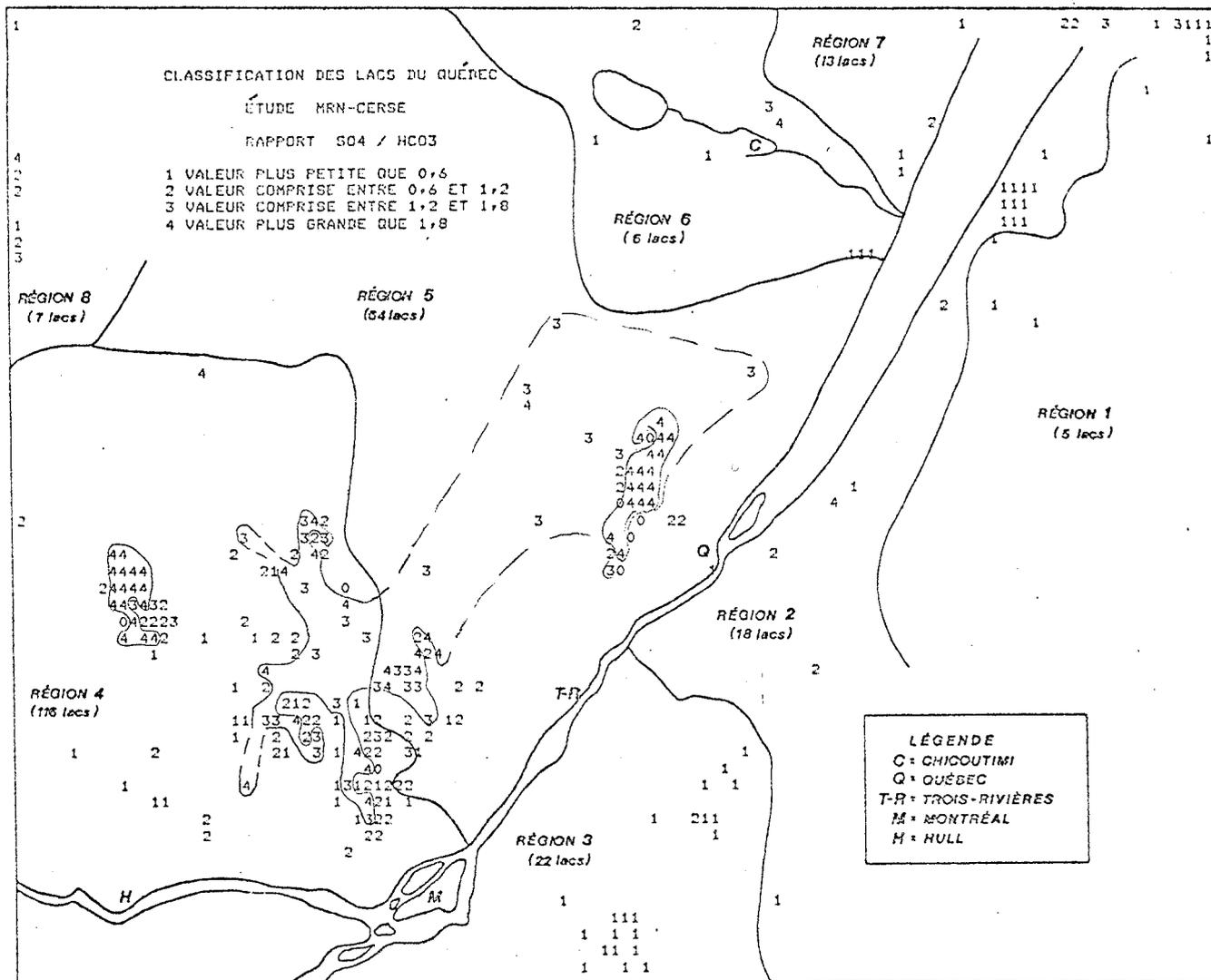


Figure 24 Carte des lacs selon des classe établies d'après le rapport sulfate (meq/l) sur bicarbonate (meq/l).

Tirée de Legendre et al. (1980)

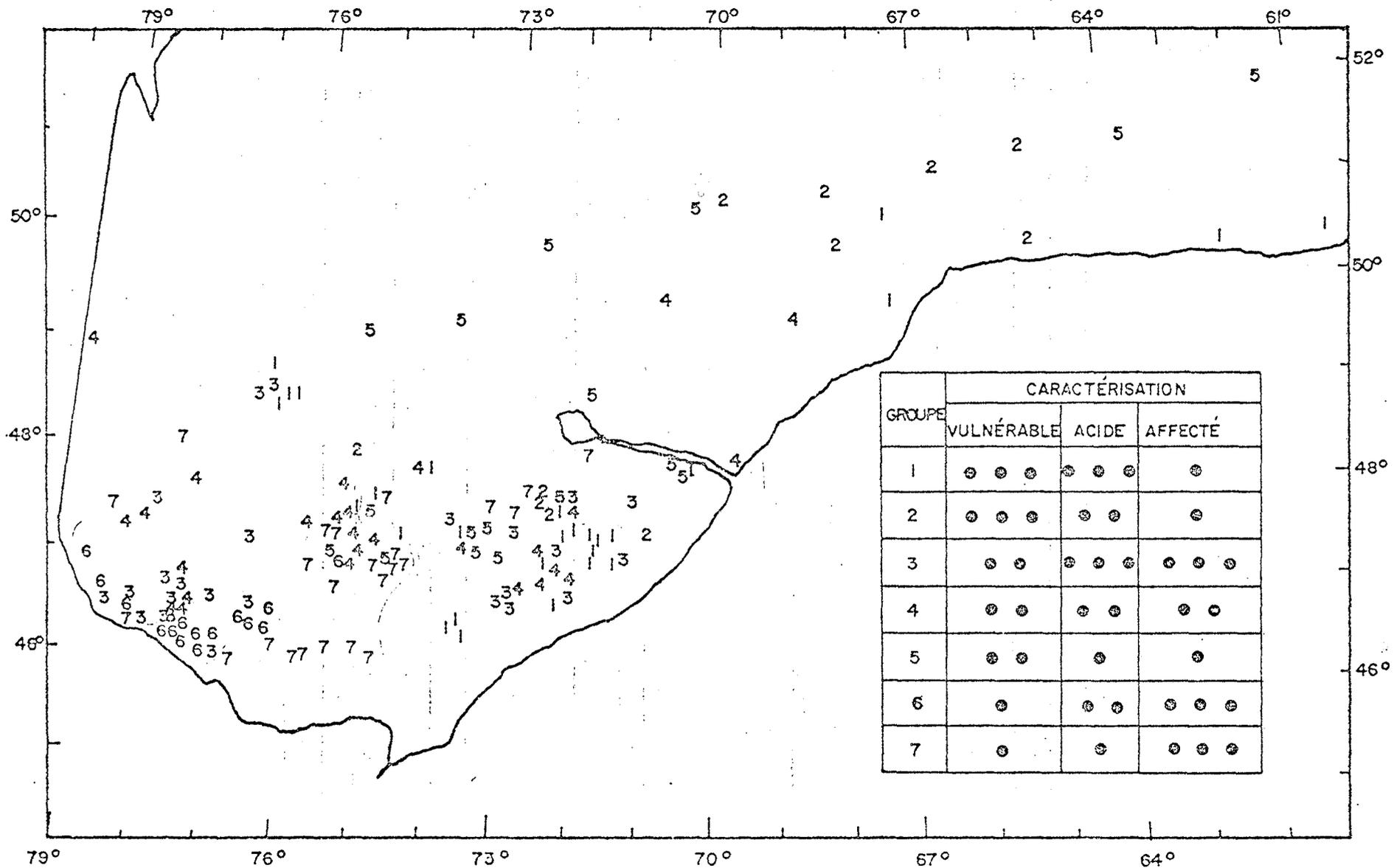


Figure 25 Répartition des groupes de lacs du bouclier déterminés par analyse multivariée, selon leur sensibilité et leur niveau d'acidification.

Tirée de Bobée et al. (1982)

Tableau 5

Classification des lacs du bouclier adapté
de Bobée et al. (1982)

Groupe	Paramètres	Régions
CS 1 CM 1	1 AL 1 pH 1	Parc des Laurentides Parc National de la Mauricie Haut bassin de la Nottaway
	2 AL 2 pH 2	Côte Nord Nord ouest Parc des Laurentides
CS 2 CM 2	3 AL 1 pH 1	Vallée du Saint-Maurice Moyen-haut Outaouais
	4 AL 2 pH 2	Comté Saguenay Sud ouest Parc Laurentides Haute Gatineau Haut Outaouais
	5 AL 3 pH 3	Arrière Côte Nord Région 06 Moyen Saint-Maurice
CS 3 CM 3	6 Su 3 AL 2	Moyen Outaouais (à cheval sur 46 ^e)
	7 AL 3 pH 3	Moitié Est région 04 Bande nord Parc Laurentides (enclave calcaire ?)

où AL = alcalinité
Su = sulfates
CS = conductivité
CM = calcium + magnésium

1 = faible
3 = fort

+ forte contribution à la formation du groupe
 ++ très forte contribution à la formation du groupe

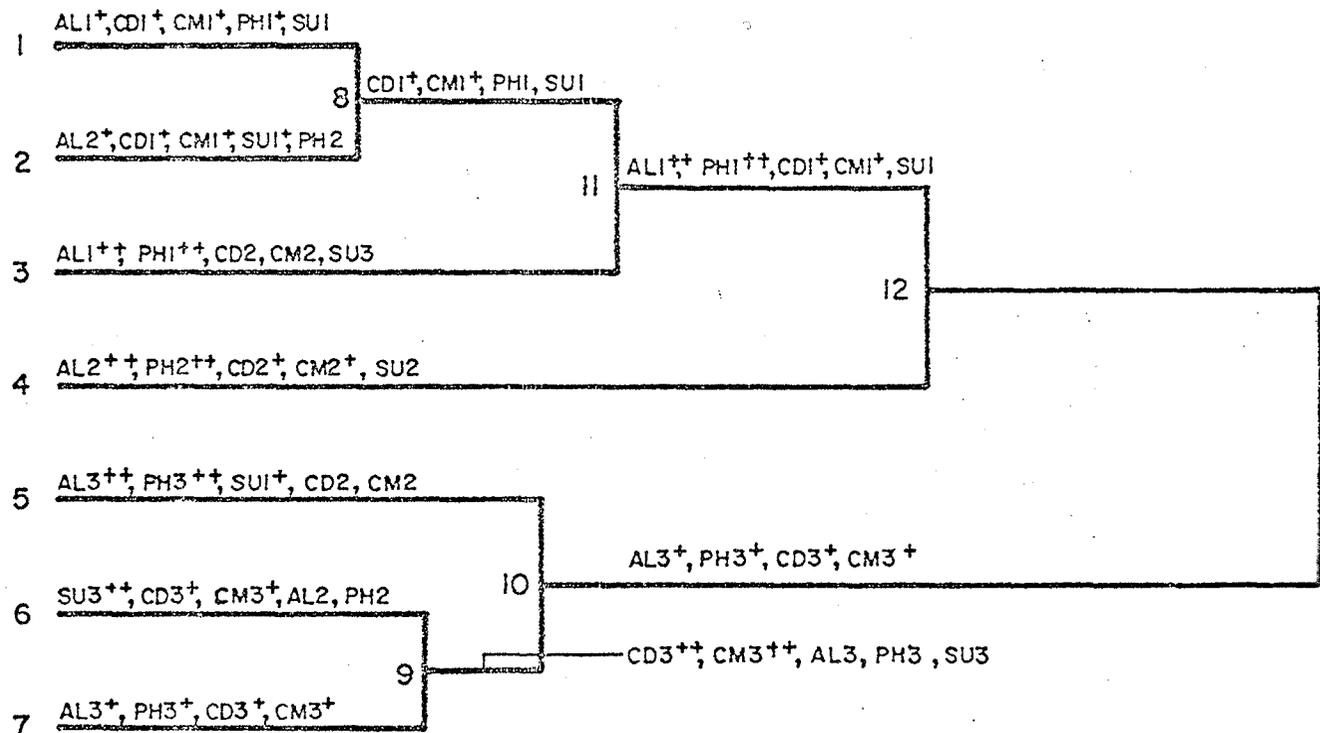
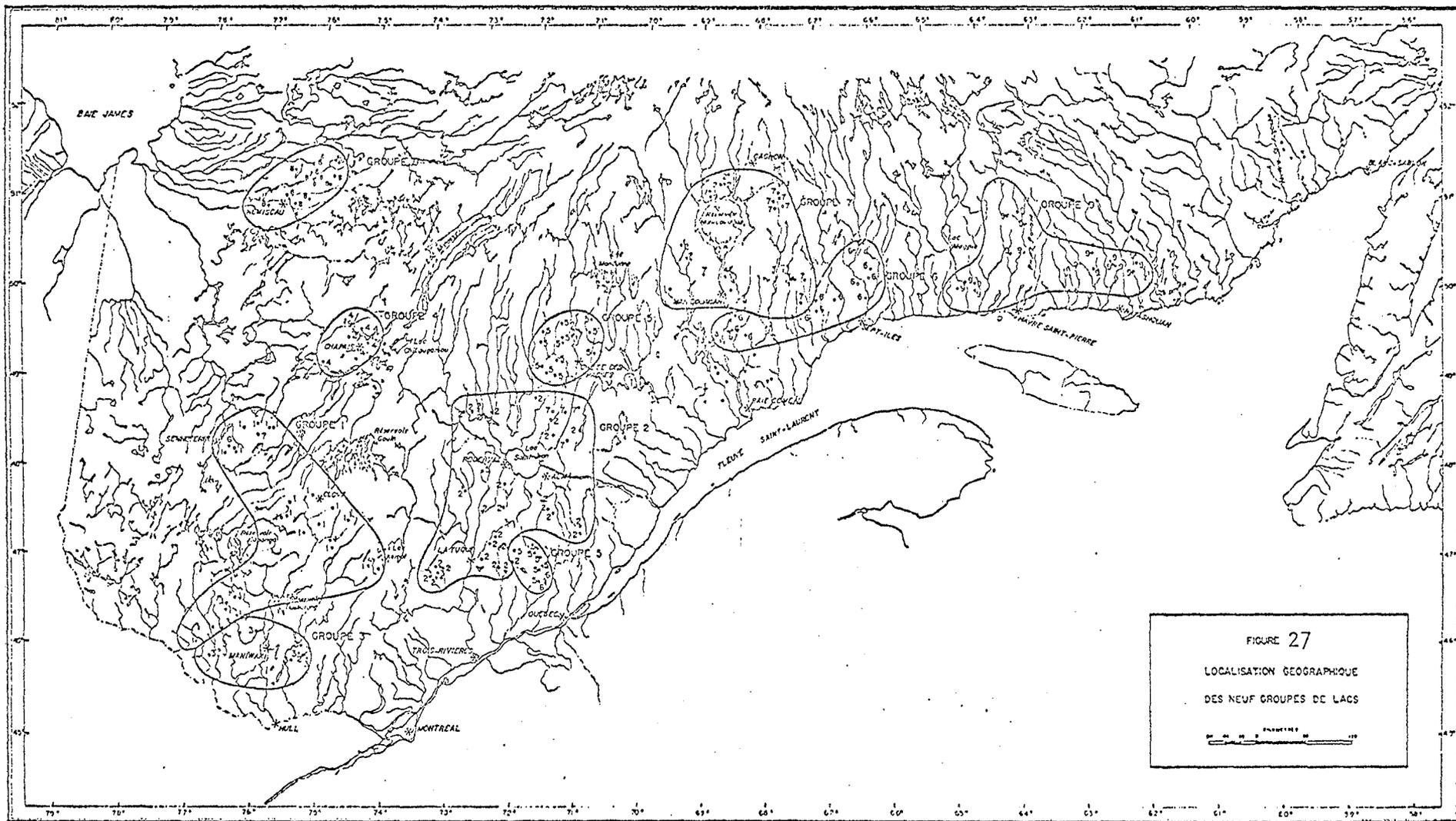


Figure 26 Hiérarchie du classement et caractérisation des lacs du bouclier.

Tirée de Bobée et al. (1982)



Tirée de Langlois et al. (1982)

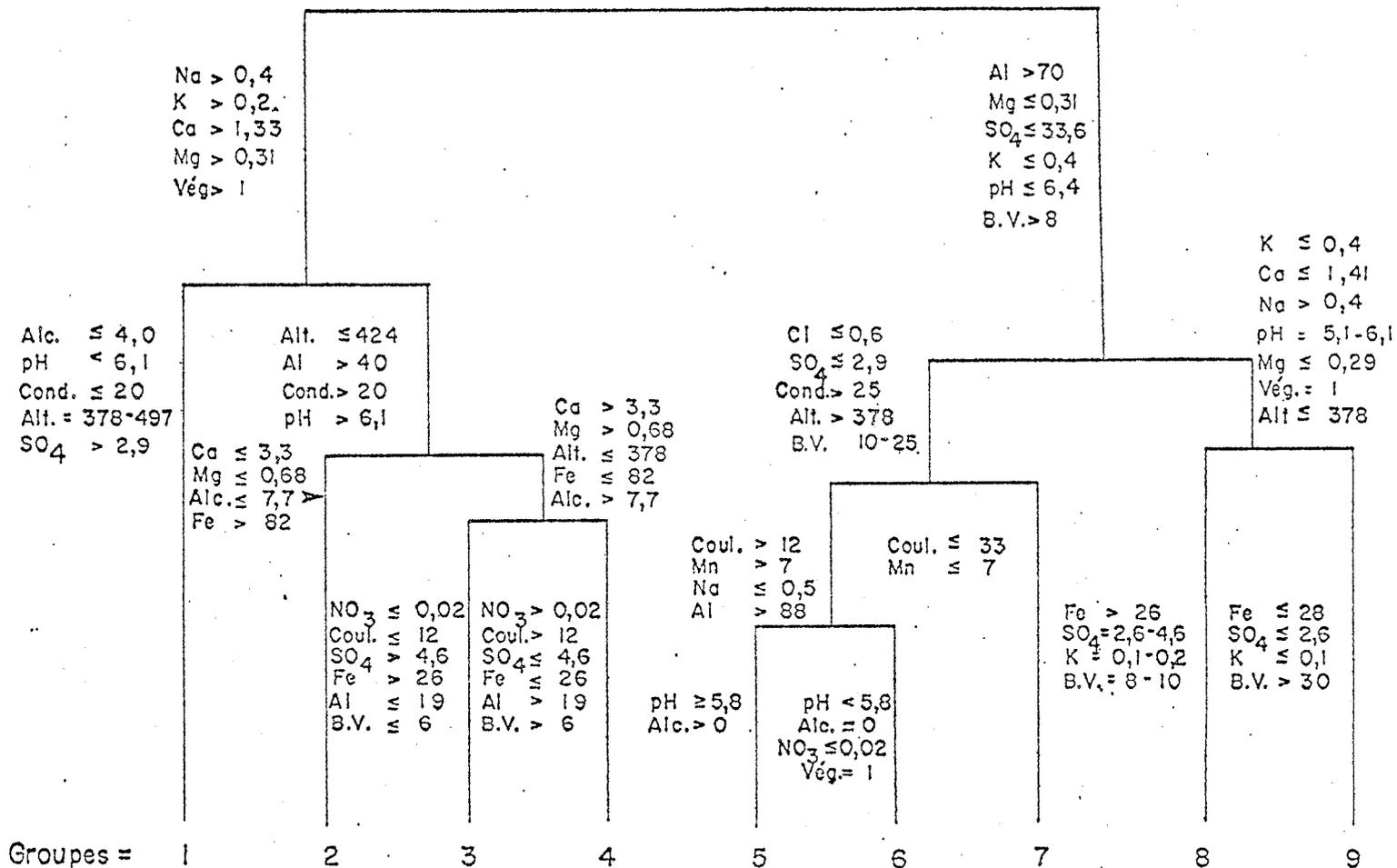


Figure 28 · Dendrogramme réduit et clef d'interprétation des groupes

Tirée de Langlois et al. (1982)

Tableau 6 : Composition physico-chimique des lacs du Québec: moyenne et intervalle de confiance (à 95%) de la moyenne en (%) par région hydrographique

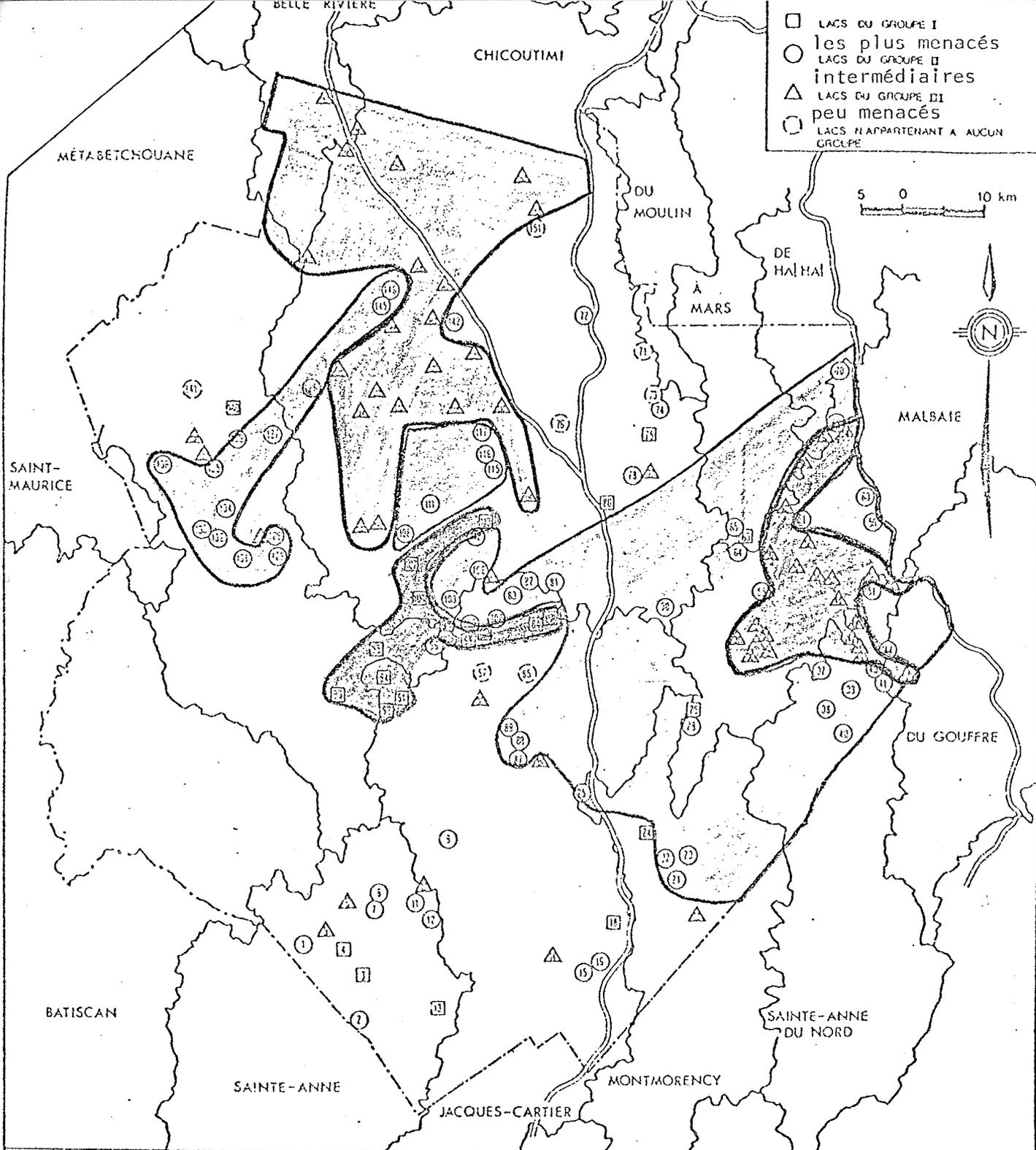
Région hydrographique	Nombre de lacs	Conductivité ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Ca ⁺⁺ (μeqL^{-1})	Mg ⁺⁺ (μeqL^{-1})	Na ⁺ (μeqL^{-1})	K ⁺ (μeqL^{-1})	SO ₄ ⁻⁻ (μeqL^{-1})	Cl ⁻ (μeqL^{-1})	HCO ₃ ⁻ (μeqL^{-1})	H ⁺ (μeqL^{-1})	Al (μgL^{-1})	Mn (μgL^{-1})
01 et 02	19	71 ($\pm 34\%$)	610 ($\pm 40\%$)	132 ($\pm 38\%$)	44 ($\pm 45\%$)	8 ($\pm 25\%$)	101 ($\pm 18\%$)	32 ($\pm 31\%$)	603 ($\pm 43\%$)	0,7 ($\pm 111\%$)	75 ($\pm 65\%$)	15 ($\pm 53\%$)
03	11	57 ($\pm 35\%$)	326 ($\pm 44\%$)	150 ($\pm 29\%$)	81 ($\pm 51\%$)	22 ($\pm 32\%$)	109 ($\pm 11\%$)	88 ($\pm 81\%$)	282 ($\pm 47\%$)	0,5 ($\pm 90\%$)	80 ($\pm 318\%$) [2]	163 ($\pm 156\%$)
04	74	32 ($\pm 16\%$) [71]	194 ($\pm 25\%$)	63 ($\pm 10\%$)	36 ($\pm 14\%$)	19 ($\pm 11\%$)	135 ($\pm 4\%$)	11 ($\pm 9\%$)	91 ($\pm 56\%$) [71]	2,8 ($\pm 32\%$) [71]	65 ($\pm 18\%$) [68]	15 ($\pm 53\%$) [12]
05	50	20 ($\pm 5\%$) [49]	97 ($\pm 8\%$)	42 ($\pm 10\%$)	22 ($\pm 14\%$)	8 ($\pm 13\%$)	101 ($\pm 5\%$)	9 ($\pm 11\%$)	27 ($\pm 41\%$)	11,6 ($\pm 59\%$) [49]	126 ($\pm 214\%$) [45]	23 ($\pm 30\%$) [20]
06	29	31 ($\pm 32\%$) [25]	167 ($\pm 37\%$)	52 ($\pm 29\%$)	28 ($\pm 18\%$)	11 ($\pm 45\%$)	79 ($\pm 6\%$)	15 ($\pm 60\%$) [12]	118 ($\pm 122\%$) [12]	6,9 ($\pm 78\%$) [25]	158 ($\pm 23\%$) [20]	13 ($\pm 100\%$) [9]
07	32	12 ($\pm 25\%$) [13]	69 ($\pm 17\%$)	28 ($\pm 14\%$)	26 ($\pm 23\%$)	9 ($\pm 33\%$)	65 ($\pm 9\%$)	22 ($\pm 36\%$) [21]	33 ($\pm 58\%$) [16]	4,4 ($\pm 68\%$) [18]	143 ($\pm 40\%$) [13]	14 ($\pm 50\%$) [15]
08	14	28 ($\pm 54\%$)	128 ($\pm 36\%$)	62 ($\pm 45\%$)	39 ($\pm 23\%$)	16 ($\pm 44\%$)	90 ($\pm 12\%$)	12 ($\pm 33\%$)	69 ($\pm 93\%$)	8,9 ($\pm 106\%$)	166 ($\pm 56\%$) [11]	15 ($\pm 60\%$) [9]
10	22	-	100 ($\pm 41\%$)	59 ($\pm 36\%$)	31 ($\pm 16\%$)	18 ($\pm 11\%$)	33 ($\pm 12\%$)	13 ($\pm 8\%$)	190 ($\pm 29\%$)	0,9 ($\pm 60\%$)	-	-

Note: 1 - Le chiffre apparaissant entre crochets représente le nombre de mesures utilisées dans le calcul de la moyenne quand ce dernier est inférieur au nombre de lacs échantillonnés.

2 - HCO₃⁻ représente les valeurs d'alcalinité.

3 - Pour la région 10, on n'a pas considéré les données des deux lacs acides (pH < 5,0).

Tiré de Bobée et al. (1982)



1	23	47	69	92	114	136
2	24	48	70	93	115	137
3	25	49	71	94	116	138
4	26	50	72	95	117	139
5	27	51	73	96	118	140
6	28	52	74	97	119	141
7	29	53	75	98	120	142
8	30	54	76	99	121	143
9	31	55	77	100	122	144
10	32	56	78	101	123	145
11	33	57	79	102	124	146
12	34	58	80	103	125	147
13	35	59	81	104	126	148
14	36	60	82	105	127	149
15	37	61	83	106	128	150
16	38	62	84	107	129	151
17	39	63	85	108	130	152
18	40	64	86	109	131	153
19	41	65	87	110	132	154
20	42	66	88	111	133	155
21	43	67	89	112	134	156
22	44	68	90	113	135	157
	45	69	91			158
	46	70				

FIG. 29 LOCALISATION DES LACS ÉCHANTILLONNÉS DANS LE PARC DES LAURENTIDES

Tirée de Richard (1982)

ANNEXE 1PLAN DE TRAVAILOBJECTIFS DU RESEAULe phénomène des précipitations acidesEvocation sommaire des effetsParamètres de qualité pertinents

- sensibilité
- acidification
- acidité

Les eaux de surface au QuébecInformations disponiblesEtat de qualité actuel, niveaux de sensibilitéLes effets des précipitations acides au QuébecInventaire des régions affectéesInventaire des régions sensiblesInventaire des régions acidesSynthèse de l'information

Critères de conception du réseau

Délimitation de la région à étudier

Densités relatives de stations par sous-région

Critères de sélection de sites

- Lignes directrices, contraintes
- Variables discriminantes, de classification

Aspects statistiques

Qualité de l'information disponible

- Séries spatiales
- Séries temporelles
 - moyennes, modes, médianes
 - variances, coefficients de variations
 - intervalles, quantités

Techniques de détection de tendances

- Tests sur les données brutes
- Tests sur les données traitées
 - tests paramétriques
 - tests non paramétriques
- Autres techniques de détection
- Paramètres statistiques associés aux techniques de détection de tendance

Choix des niveaux de détection, de précision et de signification, par paramètres ou groupes de paramètres

- Implications sur les paramètres statistiques
 - échantillonnage simple
 - échantillonnage stratifié
- Implications sur le nombre de stations
- Implications sur la fréquence d'échantillonnage
 - sites individuels
 - groupes de sites par classes
- Compromis possibles

Décision finale: fréquence globale d'échantillonnage

Conception finale du réseau

ANNEXE 2

SOURCES D'INFORMATION

Ministère de l'Environnement du Québec

- Service Qualité des eaux: Paul Potvin
 - Réseau-Lacs

 - Yvon Richard
 - Parc des Laurentides

 - Yves Grimard
 - Portneuf
 - Québec en entier, S. 50e

 - Michel Goulet
 - Réseau-Rivières

Environnement Canada

- Eaux intérieures: Harry Sloterdijk
 - Relevés de Qualité

 - Etude no 118
 - Québec Sud du 50e

 - Jean-Yves Charette
 - "Inventaire" bouclier
 - Parc de la Mauricie

 - Madeleine Papineau
 - Lac Laflamme

- Service de la faune: Jean-Luc Desgranges
 - Sud du Québec (cote 94)

- MLCP: Jacques Talbot
 - Sauterelle, bouclier S. 50e

- Pêches et Océans: Yvan Vigneault
 - Bouclier, Sud 52e
 - Rivière à Saumon

- INRS-Eau: Marius Lachance
 - Rouyn Noranda (cote 32-418)
 - Québec en entier, S. 50e
 - Ruisseau des Eaux-Volées

- Autres: Claude Delisle
 - Nord-Ouest (cote 81-363)
 - Claudette Journaux-D.
 - Rouyn Noranda (cote 364)

ANNEXE 2

Sources des données existantes en 1980

Institutions	Nombre de lacs	Année d'inventaire	Paramètres	Localisation
Ministère des Richesses naturelles (Québec)	465	1971-1978	pH, alcalinité, conductivité, Ca ⁺⁺	Tous les bassins hydrographiques
Ministère du Tourisme, Chasse et Pêche	413	1977-1978	pH, conductivité	Bassins hydrographiques 01, 02, 04, 05, 06, 08
Ministère du Tourisme, Chasse et pêche	157	1954-1966	pH	Bassins hydrographiques 02, 03, 04, 05, 06, 08
Parcs Canada	50	1970-1974	pH, conductivité, dureté, alcalinité	Parc de la Mauricie
Ministère des mines et des Elevés techniques (Canada)	10	1955-1960	pH	Bassins hydrographiques 03, 05
Ministère de la Chasse et des Pêcheries	47	1938-1941	pH	Parc des Laurentides
Société d'énergie de la Baie-James	? 540 échant.	1973-1975	pH, conductivité, Ca ⁺⁺ , HCO ₃ ⁻	Bassins hydrographiques 08, 09, 10

Tiré de Environnement Canada (1981)