

Record Number:

Author, Monographic: Jones, H. G.

Author Role:

Title, Monographic: L'échantillonnage des eaux lacustres sous couvert de glace : la représentativité des résultats et la nécessité de développer une méthodologie fiable

Translated Title:

Reprint Status:

Edition:

Author, Subsidiary:

Author Role:

Place of Publication: Québec

Publisher Name: INRS-Eau

Date of Publication: 1988

Original Publication Date: Mars 1988

Volume Identification:

Extent of Work: 22

Packaging Method: pages

Series Editor:

Series Editor Role:

Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche

Series Volume ID: 249

Location/URL:

ISBN: 2-89146-246-7

Notes: Rapport annuel 1987-1988

Abstract: 10.00\$

Call Number: R000249

Keywords: rapport/ ok/ dl

L'échantillonnage des eaux lacustres sous couvert de glace:
la représentativité des résultats et la nécessité
de développer une méthodologie fiable

H.G. Jones

INRS-Eau

Institut national de la recherche scientifique

2700, rue Einstein - C.P. 7500

Ste-Foy (Québec) - G1V 4C7

Rapport scientifique No 249

Mars 1988

Résumé

L'écoulement des eaux de fonte sous couvert de glace a été étudié au Lac Laflamme, Parc des Laurentides, Québec, au printemps de 1983. Deux méthodes de calcul ont été utilisées pour déterminer la charge totale des ions apportés sous la glace par des eaux de diverses origines. Ces deux méthodes de calcul basées sur i) le prélèvement direct des échantillons d'eau "in situ" sous le couvert de glace et; ii) l'estimation des apports terrestres et lacustres sous la glace à partir des données hydrologiques donnent lieu à des résultats différents. Il est suggéré que la différence de calcul entre les deux méthodes provienne du fait que la méthodologie de prélèvement peut introduire un biais dans le calcul par la méthode directe. La présence de trous de prélèvement dans la glace provoque un mélange des eaux sus-jacentes et sous-jacentes au couvert par des processus de turbulence et courants convectifs.

Introduction

La méthodologie la plus répandue pour l'échantillonnage des eaux lacustres en hiver sous couvert de glace consiste de forer des trous à travers le couvert jusqu'aux eaux sous-jacentes. Une bouteille de prélèvement, un tuyau de prélèvement ou un conduit attaché à une pompe est ainsi introduit dans les eaux sous-jacentes pour fin d'échantillonnage. Quoiqu'il existe des appareils conçus pour des projets d'échantillonnage spécialisé (Jones, 1985), un programme d'échantillonnage que nécessite plusieurs prélèvements spatiaux dépend surtout sur la méthodologie de forage des trous (Welch et Begmann, 1985; Gunn et Keller, 1986, English et al., 1987). Dans le programme du lac Laflamme, le bassin jaugé de l'Environnement Canada dans le parc des Laurentides, Québec,

cette méthodologie a été utilisé depuis 1981 pour l'échantillonnage régulier du lac en hiver (Papineau, 1987). De plus, la même méthodologie a été employé pour les études spéciales pendant la fonte printanière (Jones et al. 1984). Nous examinons ci-dessous les résultats d'une de ces études (fonte de 1983). Ceci, afin d'évaluer la fiabilité de cette méthodologie d'échantillonnage de fournir une image réelle de l'évolution des eaux lacustres sous la glace pendant la fonte.

Description du site d'étude

Le bassin du lac Laflamme, 47°19'N 71°07'W (figure 1) est situé dans le parc des Laurentides 80 km au Nord de Québec (47°19'N, 71°07'0). La région se caractérise par une zone forestière de sapinière à bouleau blanc sur une roche mère de gneiss charnokitique précambrien de la province de Grenville. La température moyenne annuelle est de 0,2°C (température minimale moyenne, janvier: -15°C; température maximale moyenne, juillet: 15°C). La période moyenne sans gel est courte (40 jours). Les vents dominants soufflent dans la direction ouest-est et les précipitations annuelles moyennes enregistrées depuis 1966 sont environ de 1 400 mm dont 34% en neige (Bernier et al., 1983; Plamondon, 1981). Le till et la moraine recouvrent la presque totalité du bassin sauf pour deux zones occupées par des tourbières à chaque extrémité du lac. Les versants du bassin ont une pente médiane de 8,7% (minimum 0%, maximum 30%).

Le lac (altitude 777 m) occupe une superficie de 0,061 km² dans un bassin de 0,684 km², le périmètre du lac est de 1,02 km et la profondeur moyenne est de 2,05 m (max. 5,3 m). Le réseau de drainage du lac est peu développé; les

nombreux petits ruisseaux qui alimentent la cuvette lacustre ont un régime intermittent sauf le ruisseau principal qui semble maintenir un écoulement permanent quoique peu perceptible en périodes de bas débit. La contribution de l'eau souterraine au débit global du lac est dominante durant la plus grande partie de l'année alors que le ruissellement de surface a une importance particulière en période de fonte printanière (Roberge, 1987). Le couvert de glace se forme vers le mi-novembre et le lac reste isolé de l'atmosphère jusqu'à la mi-mai. La plus grande partie du ruissellement en provenance de la fonte des neiges (mi-avril à mi-mai) s'écoule donc dans le bassin lacustre sous le couvert de glace. La structure de glace varie d'une année à l'autre selon les conditions météorologiques. Le couvert peut atteindre une épaisseur de 1 mètre avec des proportions variable de glace blanche et de glace noire selon l'année de l'étude.

Méthodologie

Trente et une (31) stations ont été identifiées pour forage sur la partie est du lac avant le commencement de la fonte (figure 2). Ces stations ont été choisi en fonction des tributaires principales, la bathymétrie du lac, et les voies d'écoulement préférentielles des eaux vers la décharge du lac. De plus, une station a été établie au centre du lac (37, figure 2). Un trou (20 ans) a été foré à chaque station au moyen d'une foreuse mécanique. Six (6) trous (1-6) ont été forés le 18-04, dix huit (18) trous (7-24), le 19-04, trois (3) trous (25-27) le 20-04, et quatre (4) (28-31) le 28-04. Le tableau 1 décrit les dates de forage, les caractéristiques du couvert de glace, les conditions météorologiques, et la profondeur d'eau a chaque station. Par la suite les eaux sous-jacent au couvert ont été échantillonnées à chaque station aux profondeurs de 0,5 m, 1 m, 2 m et 4 m et/ou fond au moyen d'une bouteille de prélèvement du

type Kemmerer. Les détails sur la préservation des échantillons et les analyses physico-chimiques (pH, conductivité, Na, K, Mg, Ca, Cl, NO₃, SO₄, PO₄) sont reproduits dans Jones et al. (1986).

Les apports totaux en eau dans le lac pendant la fonte ont été évaluées à partir des mesures hydrologiques journaliers, c'est-à-dire, les volumes d'eau évacués soit à la décharge du lac par voie de surface soit par les eaux d'écoulement souterrain, et le volume d'eau stocké dans le lac (Jones et al., 1987). Ces apports ont été par la suite redistribués le long des rives du lac, selon la provenance des eaux. Celles-ci sont les eaux souterraines, l'eau hypodermique (écoulement mixte de surface, effleurement de surface et horizons supérieurs du sol) l'eau des congères riveraines, l'eau de la fonte du couvert de glace et l'eau des précipitations déposées directement sur le couvert de glace. Cette méthode de calcul s'est avérée nécessaire afin de comparer les résultats de la qualité physico-chimique des eaux prélevées sous le couvert de glace avec celle des apports qui ont frayés un chemin sous le couvert de glace avant la date de prélèvement. Le temps d'écoulement des apports sous la glace a été calculé à partir des volumes journaliers des apports au moyen d'un modèle d'écoulement hydraulique (Jones et al., 1987).

Résultats et discussions

La figure 3 démontre des zones des eaux de diverses concentrations de Ca²⁺ sous-jacentes au couvert de glace dans la partie est du lac le 25-04-1983. Ces zones ont été reproduites à partir des isolignes des concentrations des eaux prélevées par la bouteille de Kemmerer à 0,5 m sous le couvert.

En tenant pour hypothèse que la concentration des eaux à cette profondeur du prélèvement représente la valeur moyenne des eaux entre 0 m et 0.5 m sous la glace (la bouteille de prélèvement est de 0.5 m de long), pour le jour d'échantillonnage on peut calculer la masse totale de Ca^{2+} (charge) dans cette tranche d'eau:

$$L(\text{Ca}^{2+}) = \sum_1^n [\text{Ca}^{2+}]_i \cdot S_i \cdot P_i \quad (1)$$

où:

$L(\text{Ca}^{2+})$ = charge totale de Ca^{2+} dans une partie est du lac, meq;

n = nombre de zones comprises dans la partie sous l'étude;

$[\text{Ca}^{2+}]_i$ = concentration de Ca^{2+} dans chaque zone, meq m^{-3} ;

S_i = superficie de la zone, m^2 ;

P_i = profondeur de la zone, 1 m;

Si on assume que les divers apports qui ont contribué a remplir une zone quelconque de cette partie du lac avant le 25-04 se limitant à la couche d'eau de 0 - 0.5 m sous la glace ($T^\circ\text{C} \approx 0 - 1^\circ\text{C}$) et, de plus, ne subissent aucune perte de Ca^{2+} pendant leurs progression et mélange sous le couvert, la charge totale de Ca^{2+} peut être aussi calculée par:

$$L(\text{Ca}^{2+}) = \sum_0^t [\text{Ca}^{2+}]_A [\text{V}]_A \quad (2)$$

soit:

$$\sum_0^t [\text{Ca}^{2+}]_A [\text{V}]_A = \sum_0^t [\text{Ca}^{2+}]_{st} [\text{V}]_{st} + \sum_0^t [\text{Ca}^{2+}]_{hy} [\text{V}]_{hy} + \sum_0^t [\text{Ca}]_g [\text{V}]_g$$

$$+ \Sigma_0^t [\text{Ca}^{2+}]_{\text{cr}} [\text{V}]_{\text{cr}} + \Sigma_0^t [\text{Ca}^{2+}]_{\text{p}} [\text{V}]_{\text{p}} \quad (3)$$

où:

$\Sigma_0^t [C]_A \cdot [V]_A$ est la somme des bilans ($[C] \cdot [V]$) de tous les apports dans la tranche d'eau (0 - 0.5 m) de la partie est du lac;

t = temps de renouvellement (jours) des eaux dans la tranche d'eau sous le couvert;

$[C]_{\text{st}}$ et $[V]_{\text{st}}$ sont respectivement la concentration moyenne et le volume des apports des eaux souterraines, meq m^{-3} et m^3 ;

$[C]_{\text{hy}}$ et $[V]_{\text{hy}}$ sont la concentration moyenne volumétrique et le volume respectivement des apports de ruissellement hypodermique, meq m^{-3} et m^3 ;

$[C]_{\text{g}}$ et $[V]_{\text{g}}$ sont la concentration moyenne volumétrique et le volume respectivement des apports en provenance du couvert de glace noire, meq m^{-3} et m^3 ;

$[C]_{\text{cr}}$ et $[V]_{\text{cr}}$ sont la concentration moyenne volumétrique et le volume respectivement des apports directs en provenance des congères de la rive du lac, meq m^{-3} et m^3 ;

$[C]_{\text{p}}$ et $[V]_{\text{p}}$ sont la concentration moyenne volumétrique et volume respectivement des apports de la pluie (ou fonte de neige) sur le couvert de glace qui réussi a pénétrer le couvert, meq m^{-3} et m^3 .

Comme hypothèse de base pour fin de calcul initial nous avons considéré que la majeure partie de toute fonte en provenance de la glace blanche et de la pluie

a été tenue à l'écart des eaux sous-jacentes au couvert de glace pendant les jours précédents la date d'échantillonnage (23-04 - 25-04).

Le tableau 2 reproduit la charge de Ca^{2+} [$\text{L}(\text{Ca}^{2+})$] pour la zone de l'extrême est du lac calculée à partir des équations 1, 2 et 3. Le tableau reproduit aussi la charge de SO_4^{2-} [$\text{L}(\text{SO}_4^{2-})$] ce qui a été calculé par la même méthode. Dans les deux cas on peut noter que le calcul de la charge ionique (Ca^{2+} ou SO_4^{2-}) de la tranche d'eau basé sur les apports (équations 2 et 3) résulte en une charge totale beaucoup plus élevée que celle calculée à partir des mesures sur le terrain (équation 1).

Il existe trois phénomènes possibles pour expliquer cette anomalie. En premier lieu le forage original des trous de prélèvement aurait permis l'infiltration des eaux diluées du slush (mélange d'eau et de neige) de surface et la formation d'une couche stable des eaux de faibles teneurs en ions sous la glace. Deuxièmement, l'apport totale et/ou la redistribution réelle des eaux dans la partie est du lac sont différentes des apports estimés (équation 3). Troisièmement, que la charge totale ionique observée n'est effectivement qu'un artefact de la méthodologie, c'est-à-dire, une tranche apparente de concentration faible due aux techniques de prélèvement des eaux.

Le tableau 1 démontre, qu'en effet, la première date de forage des trous (18.04) était le dernier jour de deux jours pluvieux. Il y avait, de plus, des zones de slush partout sur la surface du lac le 18.04 et le 19.04. La pression hydrostatique du lac avant et pendant ces jours de forage a été donc, positive, et les eaux du lac cherchaient à envahir le couvert pendant la forage. Nous croyons ainsi qu'à court terme (18-04 à 19-04) l'infiltration des eaux pendant

le forage a été minime. En ce qui concerne la deuxième possibilité, la surestimation et/ou maldistribution des apports, il faudrait souligner que les apports ont été calculés soit à partir des données hydrologiques faibles, soit, à partir du modèle de fonte SNOW-17 (Anderson, 1973). Ce dernier modèle génère des simulations de fonte ayant très peu de marge d'erreur au bassin du lac Laflamme (Roberge, 1987). Il nous reste donc, la troisième possibilité c'est-à-dire l'influence des trous sur le transfert des eaux sus-jacentes vers les eaux sous-jacentes du couvert pendant des périodes de plusieurs jours.

Adams et Allen (1987) ont observé l'infiltration des eaux à travers les trous de surface du lac Colour, Territoire du Nord Ouest, pendant que la pression hydrostatique du lac a été négative. La pression hydrostatique du lac Laflamme étant positive pour cette période de la fin d'avril et première semaine de mai (4-14 cms), nous avons jugé au départ que le mélange des eaux sous-jacentes avec l'eau sur le couvert de glace avait été minimal. Nous n'avons pu trouver dans la littérature des publications rapportant spécifiquement des données sur l'infiltration des eaux sus-jacentes vers les eaux sous-jacentes du couvert en période de pression hydrostatique positive. Allen (1986) décrit une méthodologie de forage des trous qui comprend l'installation des colliers en plastique pour prévenir le drainage des eaux de la surface du couvert à travers les trous. Il n'est pas claire toutefois, si cette mesure n'est nécessaire qu'en période de pression hydrostatique négative. Par contre, Adams (1986) reproduit une figure de l'évolution de la conductivité des eaux sous-jacentes au couvert de glace du lac Plastique, Ontario, pendant un hiver relativement chaud et pluvieux. Cet auteur attribue des baisses périodiques de conductivité dans les eaux sous-jacentes à la glace, à l'infiltration des eaux de pluie et de fonte de neige à travers le couvert. La figure 4 démontre que ces baisses de

conductivité ont lieu pendant des périodes de pression hydrostatique positive et négative.

À partir de ces considérations il paraît plus possible qu'il y ait un transfert et un mélange des eaux de pluie et de fonte de neige de la surface de la glace vers les eaux sous-jacentes par des trous (soient forés ou produits naturellement) et ceci, même en période de pression hydrostatique positive. Ce processus de mélange pourrait dépendre des phénomènes hydrologiques tel que la génération de turbulence autour des trous par le mouvement des courants d'eaux sous-jacents (Arisz, 1987) où des phénomènes météorologiques. Ces derniers seraient les courants induits dans les trous par le mouvement de la glace vers des nouveaux états d'équilibre causés par l'arrivée de pluie sur le couvert, l'existence des courants verticaux et convectifs dû au réchauffement solaire de la glace et des eaux autour des trous (Petrov et Sutyrin, 1985), et la turbulence des eaux (mêlées avec la neige) de surface par le vent. De plus, il n'est pas exclu que la méthodologie des prélèvements soit aussi en cause. En effet, le déplacement des eaux de surface dans le trou par l'insertion de la bouteille de prélèvement pendant l'échantillonnage aura pu constituer une partie des eaux diluées obtenues par cette méthode.

Ces processus donneraient lieu à des eaux sous-jacentes localisées autour des trous ayant des concentrations peu représentatives des eaux ailleurs sous le couvert (Figure 5). Présentement il n'est pas possible de démontrer sans équivoque que cet état de chose existe au lac Laflamme au printemps. Il est probable, de plus, que l'envergure du phénomène varie d'année en année avec les caractéristiques physiques de la glace. Il semble oportun de rappeler que cette méthodologie a été utilisée déjà pour ce genre d'échantillonnage sans biais

apparent (Welch et Bergmann, 1985). Ces auteurs ont foré des trous dans la glace des lacs de l'Arctique (les lacs Sejjuvack) afin de suivre la progression des ajouts de Rhodamine B dans les eaux sous-jacentes du couvert. Ils ont prélevé les échantillons d'eau à travers des trous d'environ 10 cms de diamètre. Ces lacs se trouvent dans une région où il y a très peu de couverture de neige sur la glace et à des températures de l'air voisines de -25°C pendant l'échantillonnage. Les conditions de fonte au lac Laflamme en 1983 présentent des caractéristiques bien différentes. Dans le cas du lac Laflamme, une couche d'eau en provenance de la pluie et de la fonte du couvert de neige sur la glace a inondé le couvert de glace avant et après le forage des trous. Ces eaux auraient pu s'infiltrer dans les trous d'échantillonnage et biaiser l'image de l'évolution spatiale et temporelle de la qualité de l'eau.

Conclusion

Les calculs de la charge ionique des eaux sous-jacentes à la glace du lac Laflamme par la méthode directe (prélèvement "in situ") et la méthode indirecte (apports hydrologiques dans le lac), ne se concordent pas. Il est suggéré que la différence de calcul entre les deux méthodes provient du fait que la méthodologie de prélèvement des eaux peut introduire un biais dans le calcul par la méthode directe. Ce biais serait le résultat d'un mélange des eaux diluées en provenance de la surface de glace (pluie, fonte) avec celles des eaux sous-jacentes. Une méthodologie fiable de prélèvement des eaux lacustres est indispensable pour la validation des modèles d'écoulement des eaux printanières sous le couvert de glace. Il faudrait, donc apporter une attention particulière à ce sujet pendant la mise en place des programmes d'échantillonnage printaniers.

RÉFÉRENCES

- Adams, W.P. (1986). Illustrations of effects of ice in the distribution of major ions in lakes. Proceedings of the Eastern Snow Conference, 43th Annual Meeting, Hanover, NH, June 5-6, 233-236.
- Adams, W.P. and Allen, C. (1987). Aspects of the chemistry of ice, notably snow, on lakes. In: Seasonal Snowcovers: Physics, Chemistry, Hydrology. Eds. H.G. Jones and W.J. Orville-Thomas. D. Reidel Publishing Company. NATO-ASI Series V, 211: 393-466.
- Allen, C. (1986). Spatial distribution of meltwater in an ice covered lake. Proceedings of the Eastern Snow Conference, 43th Annual Meeting, Hanover, NH, June 5-6, 228-232.
- Anderson, E.A. (1973). National Weather Service River Forecast System (NWSRFS). Snow accumulation and ablation model. N.O.A.A. Tech. Mem., NWS Hydro-17, U.S. Dept. of Commerce, 217 p.
- Arisz, H., 1987. Flow resistance due to partial ice cover - A laboratory simulation study. Student publication, Eastern Snow Conference, 1987.
- Bernier, P., Padilla, F., Dessureault, M., Gélinas, P.J., Azzaria, L.M. et Goulet, S. (1983). Étude hydrogéologique et hydrogéographique du bassin versant du lac Laflamme en 1982. Rapport préparé pour Environnement Canada, Département de géologie, Université Laval, Québec, 238 p.

English, M.C., Semkin, R.G., Jeffries, D.S., Hazlett, P.M. and Foster, N.W. (1987). Methodology for investigation of snowmelt hydrology and chemistry within an undisturbed Canadian Shield watershed. In: Seasonal Snowcovers: Physics, Chemistry, Hydrology. Eds. H.G. Jones and W.J. Orville-Thomas. Reidel Publishing Company, NATO-ASI Series, 211: 467-499.

Gunn, J.M. et Keller, W. (1986). Effects of acidic meltwater on chemical conditions at nearshore spawning sites. *Water, Air and Soil Pollution*, 31: 545-552.

Jones, H.G., Charette, J.Y., Leclerc, M., Nantel, A., Roberge, J. et Boudreault, P. (1987). Acidification épisodique des eaux du lac Laflamme: synthèse des données physico-chimiques et hydrologiques des fontes printanières 1983-1988. INRS-Eau, rapport scientifique no 246. Pour Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Région de Québec, 35 p. plus 4 annexes.

Jones, H.G., Sochanska, W., Charette, J.Y. et Stein, J. (1986). Aspect qualitatif du développement au bassin du lac Laflamme d'un modèle d'impact des précipitations acides - Phase de la fonte printanière de 1985. INRS-Eau pour Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Région de Québec, 142 p.

Jones, R. (1985). A method of collecting waters samples from immediately below an ice cover. *Hydrobiologia*, 128: 229-232.

Jones, H.G., Sochanska, W., Gauthier, J.M., Bougie, R. et Charette, J.Y. (1984). Développement d'une méthodologie d'étude sur les facteurs contrôlant la qualité des eaux de fonte et des eaux de ruissellement printanier au lac Laflamme, Québec. INRS, rapport scientifique no 165, 145 p., 7 annexes. Pour la Direction des eaux intérieures, Environnement Canada, Région du Québec.

Papineau, M. (1987). Effects of acid precipitation on a boreal forest-ecosystem ion budgets and changes in water chemistry for the Laflamme Lake watershed. Environnement Canada, Conservation and Protection, Inland Waters and Lands Branch, Quebec region, 108 p., 1 annexe, 1p.

Plamondon, A.P., 1981. Étude hydrologique du bassin du Lac Laflamme, forêt Montmorency, Québec, en relation avec le programme d'étude d'impact des pluies acides sur l'environnement forestier. Rapport effectué pour Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Région de Québec, 239 p.

Petrov, M.P. and Sutyrin, G.G. (1985). Daily course of convection under ice in a lake. Meteorologiyai Gidrologiya, 1: 91-98.

Roberge, J. (1987). Hydrologie de la fonte nivale dans un environnement forestier boréal. Thèse de doctorat, Faculté de foresterie, Université Laval, 81 p.

Welch, H.E. and Bergmann, M.A. (1985).

Water circulation in small arctic lakes in winter. Can. J. Fish. Aquatic
Sci., 42: 506-520.

Tableau 1: Forage* des trous d'échantillonnage au lac Laflamme avant la fonte des neiges.

PRINTEMPS 1983

STATION	DATE DE FORAGE	ÉPAISSEUR DE GLACE** m	CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES	PROFONDEUR DES EAUX*** m
1	18-04	0,76	0,4°C, pluie / neige	1,25
2	18-04	0,76	0,4°C, pluie / neige	0,79
3	18-04	0,76	0,4°C, pluie / neige	1,37
4	18-04	0,76	0,4°C, pluie / neige	0,92
5	18-04	0,76	0,4°C, pluie / neige	1,25
6	18-04	0,76	0,4°C, pluie / neige	2,90
7	19-04	0,76	2,6°C,	1,98
8	19-04	0,76	2,6°C,	1,58
9	19-04	0,76	2,6°C,	2,42
10	19-04	0,76	2,6°C,	2,01
11	19-04	0,76	2,6°C,	1,37
12	19-04	0,76	2,6°C,	1,37
13	19-04	0,76	2,6°C,	2,75
14	19-04	0,76	2,6°C,	2,44
15	19-04	0,76	2,6°C,	0,81
16	19-04	0,76	2,6°C,	0,46
17	19-04	0,76	2,6°C,	0,36
18	19-04	0,76	2,6°C,	1,02
19	19-04	0,76	2,6°C,	0,16
20	19-04	0,76	2,6°C,	0,79
21	19-04	0,76	2,6°C,	0,79
22	19-04	0,76	2,6°C,	0,96
23	19-04	0,76	2,6°C,	1,27
24	19-04	0,76	2,6°C,	3,61
25	20-04	0,76	1,0°C,	1,88
26	20-04	0,76	1,0°C,	3,61
27	20-04	0,76	1,0°C,	4,23
28	28-04	0,61	7,2°C,	0,86
29	28-04	0,69	7,2°C,	1,34
30	28-04	0,69	7,2°C,	3,42
31	28-04	0,69	7,2°C,	3,58
Centre(37)	15-03	-	7,0°C,	-

* Foreuse mécanique, mèche 20 ans.

** 4-5 cm de slush (trous 1-5, 7-11, 15-21), 8-9 cm de slush (trous 6, 12-14, 22-31).

*** Sous la glace.

Tableau 2: Charge totale de Ca^{2+} et de SO_4^{2-} (meq) pour la zone de l'extrême est du lac (Figure 3, 1,0 - 0,5 m) calculée à partir de i) tous les rapports en eau dans la zone du 23-04 à 25-04, 1983 et ii) des prélèvements des échantillons intégrés d'eau du 0 - 0,5 m le 25-04, 1983.

Charge totale dans la zone 0 - 0,5 m, meq				
	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	SO_4^{2-}
Apports i)			Échantillons "in situ" ii	
Eaux souterraines*	56	33,6		
Eaux hypodermiques**	397,1	453,8		
Congères de rive	0,1	0,6		
Glace noire du lac	0	0		
TOTAL	453,2	488,0	119,5	250,1

* Écoulement de base;

** Y comprises les eaux des divers horizons du sol (l'écoulement de base exclut) et eaux de surface;

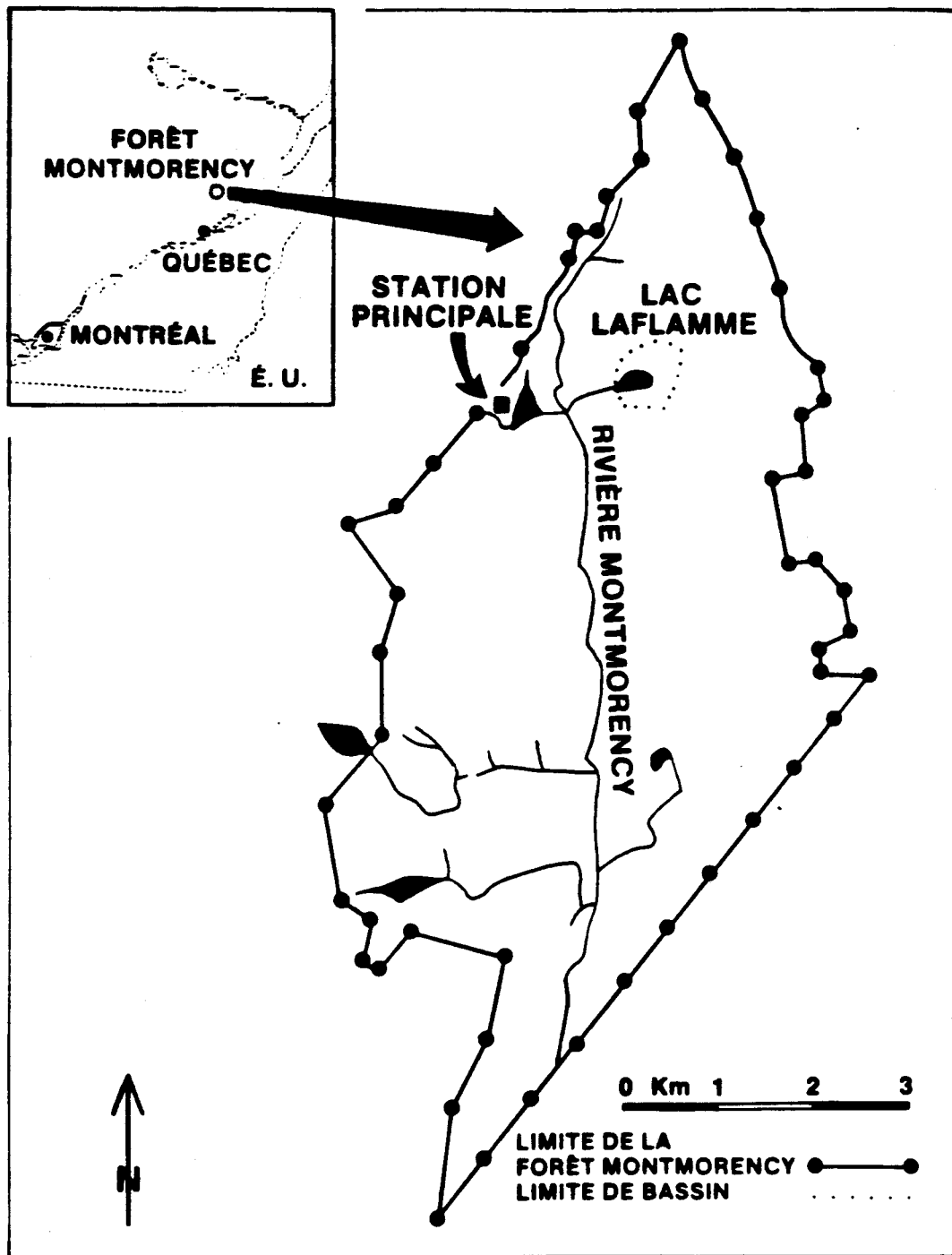


Figure 1: Localisation de la Forêt Montmorency

LAC LAFLAMME

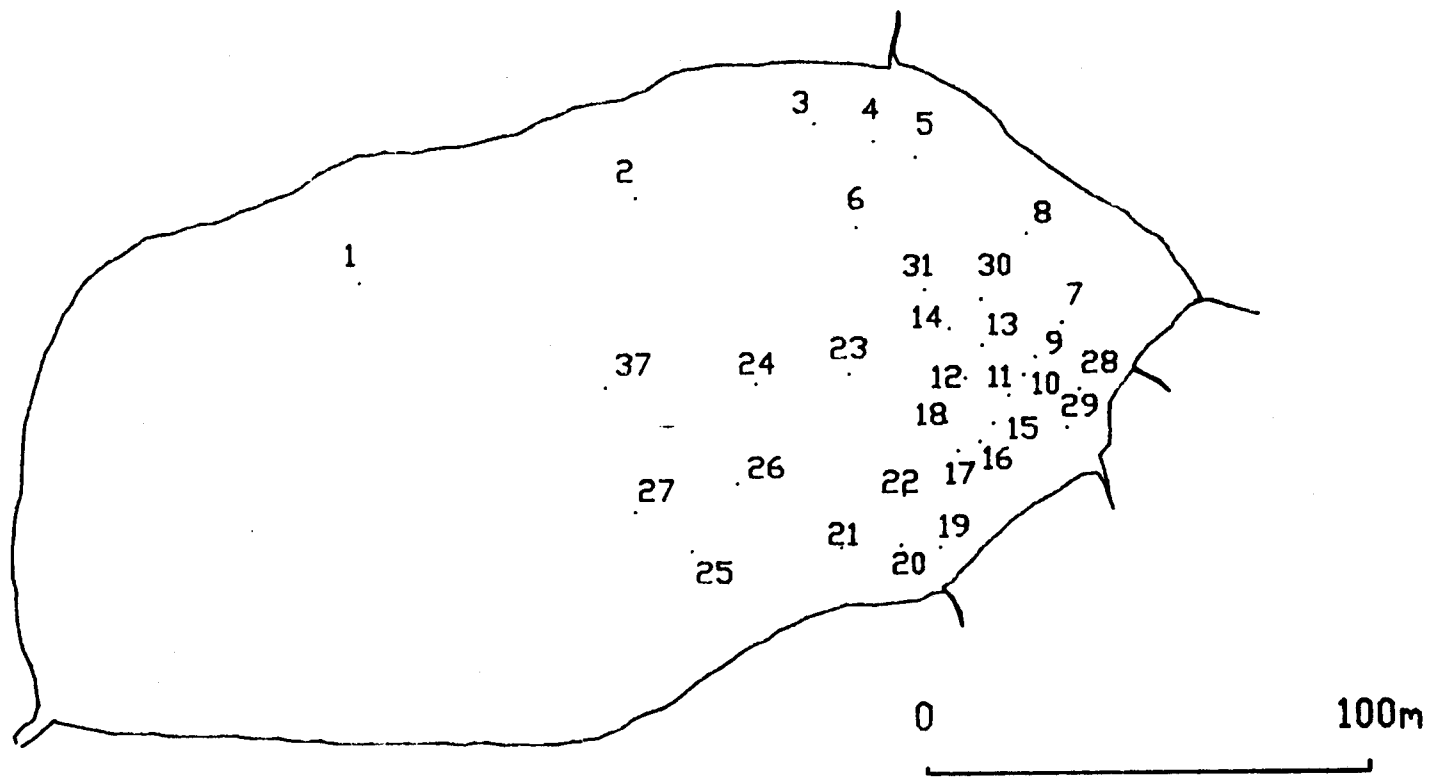


Figure 2: Localisation des trous de prélèvement dans le couvert de glace, Lac Laflamme, printemps 1983.

LAC LAFLAMME - Ca (0.1ppm) 25/04/83

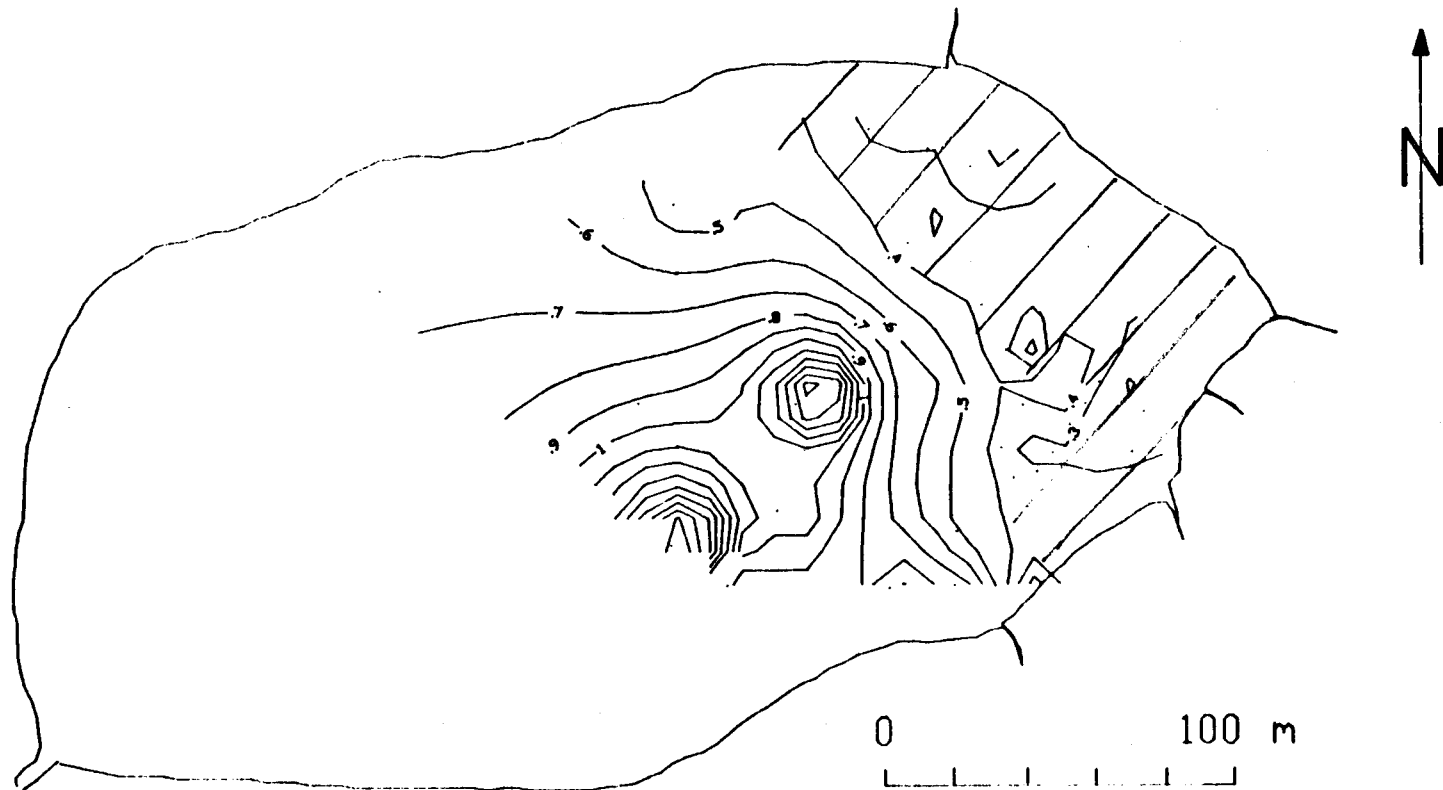


Figure 3: Isolignes de concentrations, ppm, de Ca^{2+} dans les eaux (0-0.5 m), sous-jacentes au couvert de glace, Lac Laflamme, 25.04.83. La partie est du lac (zone hachée) représente la superficie pour le calcul de la charge totale de Ca^{2+} (tableau 2).

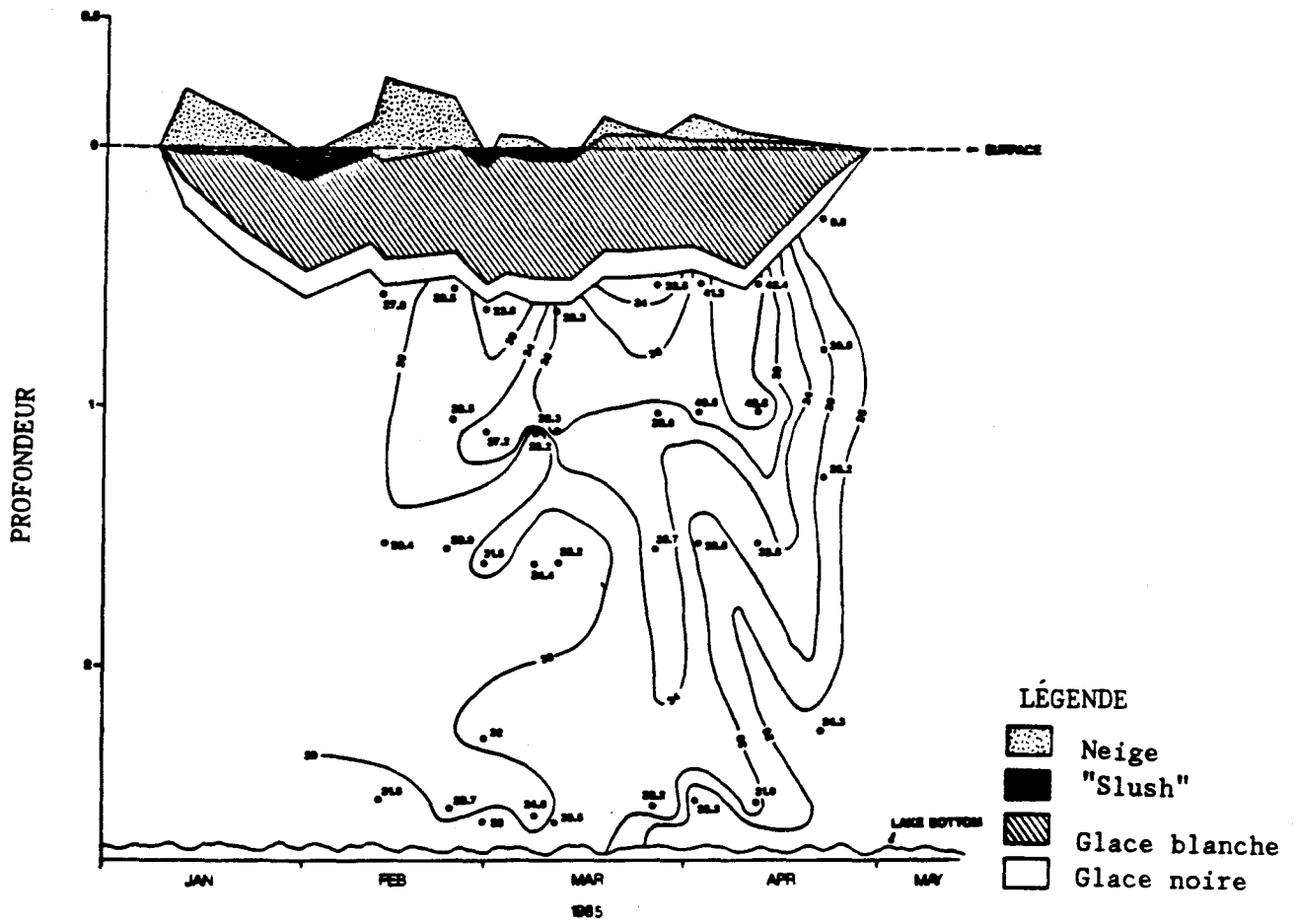


Figure 4: Couvert de glace et physico-chimie des eaux lacustres, Plastic Lake, Ontario 1985*

*Tiré d'Adams, 1986