

CHIMIE DES EAUX ULTRA-OLIGOTROPES DU LAC DU CRATERE DU NOUVEAU-QUÉBEC

Ouellet, M.¹, Pagé, P.², Bouchard, M.³, Bisson, M.⁴ et Delisle, C.³

¹ INRS-Eau, Université du Québec, Sainte-Foy, G1V 4C7

² Université du Québec, UQAM, Montréal, H3C 3P8

³ Université de Montréal, Montréal, H3C 3J7

⁴ Ministère de l'Environnement du Québec, G1V 4H2

ABSTRACT

New-Québec Crater located in the Arctic about 100 km inland south from the Hudson Strait, is a well preserved meteoritic impact structure which age is more than one million years. The total original geological depression is close to 500 m deep and its shape is nearly circular (3.3 x 3.5 km at the rim). The crest of the rim, dissected by 10 glacial and fluvial eroded valleys, varies in altitude from 500 to 657 m asl. At the 494-m level the structure is occupied by a cold monomictic lake (265 m deep) of 0.88 km² and wick surface area is 6.68 km². On the other hand, the catchement draining into the lake is only 2.7 km². The great purity of its water allows 1% of the surface incident light to reach the depth of 87 m and its mineralization of 57.3 ueq/L (4.4 umho/cm) is among the world softest. Although the ¹⁸O isotopic composition of the water column reflects the one of the regional precipitations (-15.87 ‰) most of its chemical constituents are all less abundant than those found in the precipitations and surface snow of the New-Québec Territories. Contamination of snow and precipitations by sea salts and by wind blow soil particules are complicating the chemical comparisons of these Arctic low mineralized water types. The factors controlling the existence of lacustrine waters softer than those of the regional precipitations are probably linked to the lost of ions through the sedimentation of the particulate phase within the water column.

INTRODUCTION

Le lac du Cratère du Nouveau-Québec (Fig.1; 61°17'N; 73°40'O) a fait l'objet d'études limnologiques préliminaires de la part de Martin et al. (1955) et de Delisle et al. (1984, 1986). La surface du plan d'eau (6.68 km²) occupe, à 494 m d'altitude, une profonde dépression circulaire d'origine météoritique ayant un diamètre moyen de 2.8 km (Tableau 1).

La berge s'élève brusquement d'un trait de la ligne de rivage, sans aucune terrasse, jusqu'à la ligne de crête du bassin versant avec un angle variant entre 30 et 40°. Celle-ci oscille selon la topographie entre des hauteurs variant de 56 à 163 m au-dessus de la surface du lac. La circonférence du plan d'eau est de 9.5 km, le volume du lac d'environ 0.88 km³ et sa profondeur maximale atteint 265 m. Le lac n'est alimenté que par les précipitations atmosphériques et ne possède pas d'exutoire de surface. Avec un

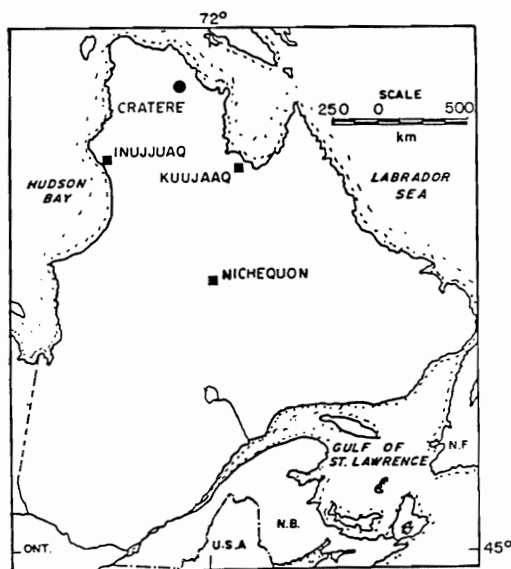


Figure 1. Localisation de sites étudiés.

Tableau 1: Caractéristiques morpho-limnologiques du lac du Cratère du Nouveau-Québec

Localisation (Ungava)	61°17'N; 73°40'O
Altitude du plan d'eau (m)	494
Altitude maximale de la ligne de crête (m)	657
Altitude minimale de la ligne de crête (m)	550
Hauteur de la rive (m)	56-163
Diamètre du cratère (km)	3.3-3.5
Épaisseur horizontale du rebord (m)	200-500
Pente moyenne interne (°)	30
Pente moyenne externe (°)	10
Diamètre moyen du lac (km)	2.8
Surface du lac (km ²)	6.68
Surface du bassin (km ²)	9.4
Circonférence du lac (km)	9.5
Développement de la ligne de rivage	1.03
Profondeur maximale (m)	265
Temps de renouvellement (année)	330
Volume du lac (km ³)	0.88
Profondeur moyenne (m)	145
Conductivité des eaux (µs/cm)	4.6
Transparence (m)	33
pH	5.9
Solides totaux (mg/l)	2.07

bilan hydrologique annuel net de 285 mm pour cette région du Québec, le temps théorique de renouvellement des eaux du lac est de l'ordre de 330 ans. Les eaux très faiblement minéralisées et excessivement transparentes semblent maintenir une température qui n'excède jamais 4°C. L'omble de Chevalier est la seule espèce de poissons habitant ces eaux ultra-oligotrophes.

Limno-physique

Selon la classification d'Hutchinson et de Löffler (1954), fondée sur le comportement thermique annuel des lacs, cette masse d'eau, recouverte de glace durant près de 11 mois, est de type monomictique froid et est caractéristique des régions polaires et des hautes altitudes. Même avec une grande profondeur d'eau, pendant la période d'absence de couverture de glace, sous l'effet des vents, l'ensemble de la masse d'eau se mélange et ne laisse voir aucune stratification thermique ou chimique de grande importance (Tableau 2). Le développement de la ligne de rivage (Wetzel, 1983) est très près de l'unité (1.03), c'est à dire décrivant un cercle presque parfait. Cette caractéristique morpho-limnologique est souvent spécifique des lacs d'origine volcanique, météoritique et de kettles périglaciaires. Le centre géométrique de la surface du lac ne correspond pas exactement avec le point le plus profond (265 m). Celui-ci se retrouve à environ 500 m plus au NNO (Fig.2) et cette anomalie laisse à penser que le transport glaciaire aurait façonné de manière importante la morphologie du fond de Figure 2. Carte bathymétrique du lac du Cratère.

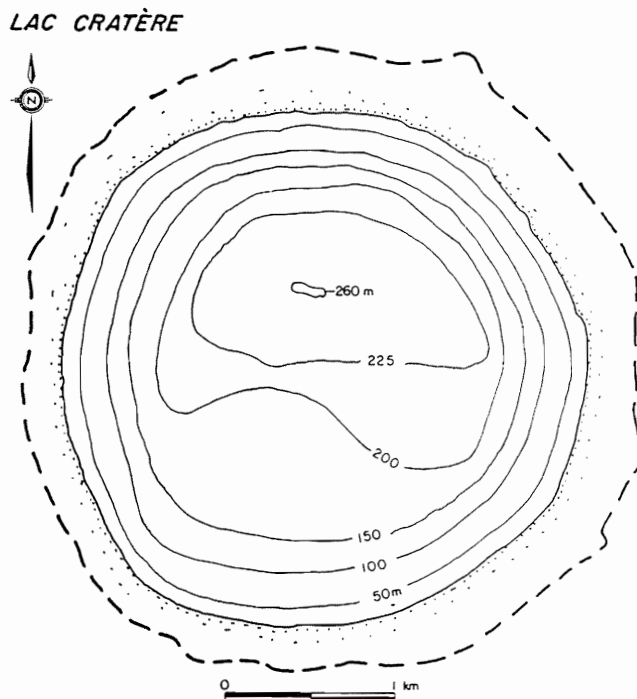


Tableau 2: Physico-chimie des eaux du lac du Cratère pour le 20 août 1988.

Profondeur	$\delta^{18}O$ ‰	Temp. °C	Cond. µmho/cm	Salinité mg/l	pH	Alk. CaCO ₃	DIC	DOC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	mg/l	
S	-19.3	—	4.6	2.96	5.8	0.6	0.5	≤ 0.2	0.31	≤ 0.02		
R	-17.0	—	6.0	3.17	5.8	0.7	0.4	1.4	≤ 0.02	≤ 0.02		
0	-17.1	—	4.1	1.59	5.9	0.4	0.3	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
10	-17.3	2.8	4.7	2.32	6.1	1.0	0.4	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
20	-17.2	2.5	4.9	2.91	5.9	1.0	0.4	0.4	≤ 0.02	≤ 0.02		
30	-17.2	2.5	5.0	2.20	6.1	0.9	0.4	0.4	≤ 0.02	≤ 0.02		
40	-17.3	2.5	4.4	1.95	6.0	0.7	0.3	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
50	-17.1	2.5	5.4	2.42	5.8	0.4	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
60	-17.3	2.6	4.6	2.18	6.0	0.8	- 0.3	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
80	-17.2	2.6	4.6	2.18	6.0	0.8	0.3	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
100	-17.3	2.5	4.6	2.03	6.0	0.7	0.3	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
120	-17.3	2.5	4.3	1.59	5.9	0.4	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
130	-17.2	2.5	4.1	1.81	6.0	0.5	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
140	-17.2	2.5	4.2	1.83	6.0	0.6	0.3	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
160	-17.4	2.5	4.3	1.93	6.0	0.6	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
170	-17.2	2.6	4.2	2.18	6.0	0.8	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
180	-17.2	2.6	4.0	2.00	6.0	0.7	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
200	-17.1	2.8	4.5	2.40	6.0	0.9	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
220	-17.0	3.0	4.7	2.18	6.0	0.8	0.3	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
240	-17.1	3.0	4.4	1.83	6.0	0.6	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	≤ 0.02		
250	-17.2	3.0	5.0	2.86	5.9	0.5	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.02	0.32		
255	-17.2	3.0	5.8	2.32	5.5	1.0	≤ 0.2	0.6	≤ 0.02	≤ 0.02		
D.L.	0.1	0.1	0.5	—	—	0.1	0.2	0.2	0.02	0.02		

S = Neige; R = Ruissellement; D.L. = Limite de détection

Tableau 2 (suite)

Profondeur	Cl	SO ₄	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Σ ⁺	Σ ⁻	μeq/L	
												ng/l	μeq/L
S	0.7	≤ 0.5	0.6	0.4	0.1	≤ 0.1	0.03	≤ 0.01	0.04	66	32 (49)*		
R	0.3	≤ 0.5	0.4	0.4	0.4	0.2	0.03	≤ 0.01	0.09	77	33 (65)		
0	0.4	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	29	19 (29)		
10	0.5	≤ 0.5	0.3	0.1	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	26	34 (20)		
20	0.6	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	40 (36)		
30	0.5	≤ 0.5	0.3	0.1	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	26	32 (16)		
40	0.4	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	29	25 (10)		
50	0.6	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	30	37 (15)		
60	0.5	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	29	30 (2)		
80	0.5	≤ 0.5	0.3	0.3	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	30 (2)		
100	0.5	≤ 0.5	0.3	0.1	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	27	30 (7)		
120	0.4	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	29	19 (30)		
130	0.5	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	24 (13)		
140	0.4	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	29	23 (16)		
160	0.5	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	26 (8)		
170	0.5	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	30 (2)		
180	0.4	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	37 (17)		
200	0.6	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.02	29	35 (13)		
220	0.5	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	30 (2)		
240	0.4	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.03	29	23 (16)		
250	0.4	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.04	34	39 (10)		
255	0.3	≤ 0.5	0.3	0.2	0.2	≤ 0.1	≤ 0.01	≤ 0.01	0.07	35	28 (16)		
D.L.	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	—	—	—	

* Coefficient de variation de l'équilibre chimique

L'échantillonnage des eaux du 20 août révèle (Tableau 2) une température qui augmente légèrement à mesure que la profondeur progresse (2.8°C à 3.0°C). Cette structure thermique est reliée au phénomène d'une plus grande densité de l'eau à 4°C et, implique ici que le mélange des eaux, suite à l'inversion thermique hivernale, n'était pas encore entier depuis la fonte du couvert de glace du 8 août. La très grande transparence de ces eaux est exceptionnelle et est du même ordre de grandeur que celle datant de la période de pré-eutrophisation du lac Tahoe (Goldman, 1988). Cette transparence semble n'être excédée que par celle des lacs Masyuko, Japon (41.6 m) et Crater, Orégon (40 m). Il faut noter, qu'à de telles profondeurs l'erreur de la lecture de la profondeur du disque de Secchi (20 cm) peut être considérable. Selon nos informations, cette transparence de 33 m n'a pas d'équivalence sur l'ensemble du territoire québécois. Celle-ci est d'environ deux fois plus élevée que celle du lac Supérieur qui est le plus transparent des Grands Lacs américano-canadiens (Bukata et al., 1988). A cette profondeur de 33 m, 12% de l'intensité lumineuse de surface persiste encore (Fig. 3).

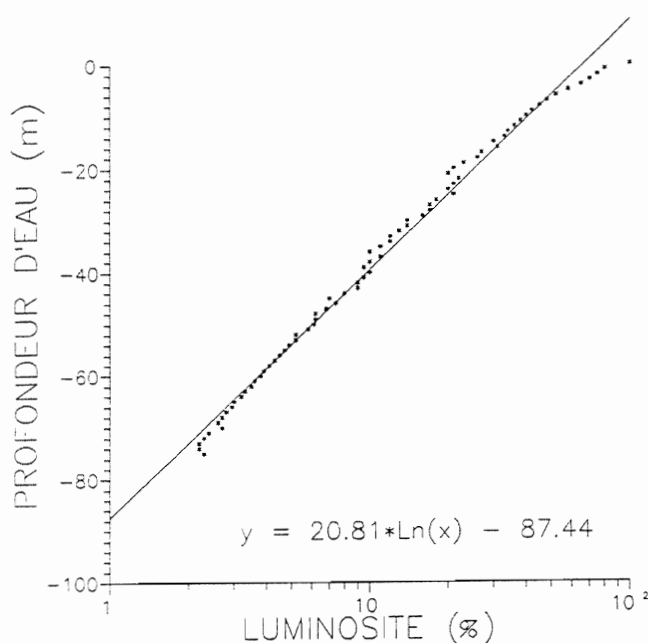


Figure 3. Distribution relative de la luminosité incidente de surface en fonction de la profondeur des eaux du lac de Cratère.

Un comportement semblable a été décrit par Beeton (1958) pour les eaux du lac Huron. D'autre part, la pénétration de la lumière atteint exceptionnellement encore 1% à 87 m de profondeur. Avec une atténuation moyenne de la radiation incidente de 1.10%/m, ces eaux se classent parmi les plus transparentes au monde. Cette caractéristique est le reflet de la faible teneur en matière organique dissoute ainsi que du peu d'abondance des particules organiques et inorganiques en suspension dans ces eaux ultra-oligotrophiques.

Limno-chimie-isotopique

A l'instar des mesures thermiques et des analyses chimiques, les compositions isotopiques de la tranche d'eau varient peu. Elles ont été mesurées selon la pratique habituelle, c'est-à-dire équilibration de l'eau avec un CO₂ de composition isotopique connue et détermination de la composition du CO₂ équilibré. Les corrections nécessaires ont été

apportées pour rendre les résultats conformes à l'étalon international Vienna-SMOW. La précision analytique atteint ± 0.1 ‰, et la reproductibilité est de ± 0.2 ‰. La valeur moyenne des $\text{SNOW}^{18\text{O}}$ se situe à -17.2 ± 0.2 ‰ et les résultats de l'échantillonnage (Tableau 2) ne montrent aucune particularité sur un profil orthograde. Cependant cette valeur moyenne s'écarte significativement de la valeur suggérée (-19 ‰) par les isolignes de $^{18\text{O}}$ des précipitations (Yurtsever, 1975), calculées par l'Organisation Mondiale de Météorologie (OMM-WHO) et tracées pour les deux hémisphères. Un échantillon de neige résiduelle, prélevé sur le pourtour intérieur du bassin versant, a livré une composition isotopique de -19.3 ‰. Bien que l'échantillonnage de la neige ait été fait en été, il est peu vraisemblable que celle-ci ne reflète que la pluie tombée récemment. Malgré la possibilité d'échange isotopique solide-liquide, ou de cristallisation de la phase liquide, la neige conserve en grande partie son signal isotopique originel, soit celui de la précipitation en saison froide. Compte-tenu de l'effet de saisonnalité sur les compositions isotopiques (les compositions isotopiques de l'été sont enrichies par rapport à celles de l'hiver), et en supposant que cette neige représente un échantillon moyen homogénéisé des précipitations solides (du moins pour une partie de la saison froide), la valeur moyenne annuelle devrait être supérieure à celle des neiges. Elle devrait vraisemblablement se situer au voisinage de -17 ‰. Par conséquent, l'eau du lac représente fort probablement un échantillonnage homogène des précipitations annuelles, et la cuvette agit à ce titre comme pluviomètre naturel. La composition moyenne du lac se rapprocherait aussi en première approximation de la valeur des précipitations sur une base multiannuelle, le temps de résidence de l'eau, dans les conditions hydrologiques du site, atteignant plusieurs centaines d'années. Une mesure de la composition isotopiques de l'hydrogène (^2H) permettrait d'aller plus loin dans l'interprétation en évaluant l'importance de l'évaporation dans le bilan hydrologique.

La superficie (2.72 km^2) du bassin versant se drainant vers le lac du Cratère est très réduite par rapport à sa surface du lac (6.68 km^2). De plus, il ne possède aucun exutoire visible qui le relie au réseau de drainage de surface. Puisque la région connaît un bilan positif dans ses précipitations (285 mm : excès des précipitations sur l'évaporation en surface libre), le bilan hydrologique du lac devrait donc aussi être positif. Il est cependant difficile à calculer puisque plusieurs paramètres sont actuellement grossièrement connus.

Le lac est entouré du réseau hydrographique de la haute rivière Vachon. Le lac Laflamme au Nord-Nord-Ouest est drainé vers l'Est, puis vers le Sud, et enfin vers la rivière Vachon. Au Sud, le lac Rouxell est aussi drainé vers la rivière Vachon. Ces lacs sont peu profonds (10 m environ) et sont de type monomictique froid, c'est-à-dire complètement brassés pendant la courte saison estivale. Afin de déterminer si leur composition isotopique est compatible avec l'hypothèse d'un drainage souterrain du lac du Cratère par le réseau de faille régional, ces lacs ont été échantillonnés. La composition isotopique du lac Rouxell atteint -19.1 ‰, soit une valeur qui est déterminée par l'apport d'eau de fonte du couvert nival et qui se rapproche en effet de celle de la neige échantillonnée au Cratère. Cependant, la composition isotopiques du lac Laflamme (-18.7 ‰) est légèrement enrichie (de deux fois la reproductibilité analytique) par rapport au lac précédent, bien que les deux systèmes lacustres soient situés dans un contexte climatique identique. Cet enrichissement pourrait être dû à une arrivée d'eau du lac du Cratère ($^{18\text{O}}$: -17.2 ‰) mélangée aux eaux de surface. Ceci aurait pour effet d'augmenter la valeur de $^{18\text{O}}$ résultant du mélange. Un calcul sommaire à partir de l'équation de mélange simple indiquerait une proportion voisine de 20% d'eau provenant du Cratère, et 80% d'eau météorique, donnant ainsi une composition intermédiaire de -18.7 ‰. L'écoulement par le plan de faille majeur d'orientation Nord-Sud et joignant le lac Laflamme au lac du Cratère se ferait en position sub ou intra-permafrost, selon un faible gradient hydraulique (1 m sur 5 km) et maintiendrait ainsi le niveau d'eau en équilibre hydrostatique.

Limno-chimie

Pour plusieurs paramètres chimiques, tels les différentes formes de carbone et d'azote, les sulfates, le Mg, le Fe et le Mn, les teneurs sont sous ou près des limites de détections des méthodes analytiques utilisées (Ouellet et al., 1989). Avec une salinité (solides dissous) moyenne de seulement 2.63 mg/L ($62 \mu\text{eq/L}$) ce type d'eau, très faiblement minéralisé, est rare sur l'ensemble du territoire québécois (Duthie et Ostrofsky, 1974;

Ostrofsky, 1974; Richard, 1982; Langlois et al., 1983; Potvin et Grimard, 1983; Ouellet et Jones, 1988). Ces eaux sont aussi beaucoup moins riches en ions que celles étudiées dans la région du Nord-Ouest ontarien par Armstrong et Schindler (1971) et d'environ 50 fois moindre que la moyenne mondiale (Wetzel, 1975). La minéralisation de ces eaux lacustres est même plus de 10 fois moindre que la moyenne des lacs de la région boréale du Québec (Langlois et al., 1983). Par contre, elle se rapproche sensiblement (50%) de celle de certains lacs (8) de la Toundra québécoise (Potvin et Grimard, 1983). Cette constatation laisse donc sous-entendre que de si faibles minéralisations lacustres sont plus fréquentes dans la région arctique du Québec. Cette tendance est aussi supportée par des observations limno-chimiques effectuées (Pagé et al., non publiées) dans la région immédiate de lac du Cratère.

Tableau 3. Physico-chimie comparative des eaux du lac du Cratère

Tableau 3. Physico-chimie comparative des eaux du lac du Cratère

Paramètre	Martin 1955	Delisle et al. 1984	Ouellet et al. 1988 (N=20)	Pagé et al. 1985 (N=90)
Température (°C)	3 - 4	2.4 - 2.5	2.5 - 3.0	2.5 - 3.0
Transparence (m)	35.0	18	33	—
Conductivité (µS/cm)	—	2	4.9	—
Solides dissous (mg/l)	—	—	2.63	2.13 ¹
pH	6.5 - 6.6	6.07 - 6.19	—	6.1
Alcalinité (mg/l)	1.20	0.32 - 0.60	—	—
Dureté (mg/l)	1.70	—	—	—
Cl ⁻ (mg/l)	—	—	< 0.2	—
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	—	—	< 0.2	—
N ₂ (mg/l)	0.83	—	—	—
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	—	—	< 0.02	—
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	0.02	—	< 0.02	< 0.02
Cl (mg/l)	0.00	—	0.47	0.47
SO ₄ (mg/l)	0.7	—	< 0.5	0.27
Na (mg/l)	0.30	0.2	0.30	0.32
K (mg/l)	< 0.02	0.15	0.19	0.15
Ca (mg/l)	< 1.00	0.15 - 0.30	0.20	0.16
Mg (mg/l)	< 0.1	0.066	< 0.1	0.065
Fe (mg/l)	< 0.04	0.002 - 0.023	< 0.01	—
Mn (mg/l)	—	< 0.005	< 0.01	—
Al (mg/l)	1.60	—	0.028	—
P-total (mg/l)	< 0.001	—	—	—
Σ Cation (µeq/l)	—	30.8	29.2	31.3 ¹
Σ Anion (µeq/l)	—	—	28.1	30.7

¹ = incluant 0.7 mg/L d'alcalinité

Une comparaison (Tableau 3) des différentes sources d'informations physico-chimiques (Martin, 1955; Delisle et al., 1984; Ouellet et al., non publiée; Pagé et al. non publiée), des eaux du lac du Cratère nous donne une meilleure perception de la grande pureté de celles-ci ainsi qu'une bonne concordance entre la majorité des paramètres étudiés. Les plus fortes valeurs rapportées par Martin (1955) pour le pH, l'alcalinité, le calcium et l'aluminium, ainsi que la concentration de 0 mg/L de chlore, sont probablement attribuables à la méthode analytique ou encore à des erreurs de transcription. Il serait très hasardeux d'attribuer ces variations aux effets des précipitations acides des trois dernières décennies. Selon ce scénario, les sulfates auraient dû démontrer une augmentation considérable. Bien au contraire, dans la présente situation, ceux-ci laissent voir une diminution de 0.7 à 0.27 mg/L au cours de la période de 1955 à 1988. Des tendances temporelles inverses de ces sulfates ainsi que pour l'aluminium, deux paramètres limno-chimiques souvent utilisés comme indicateurs d'acidification des eaux (Harvey et al., 1981), auraient augmenté la possibilité du scénario d'acidification de ces eaux extrêmement sensibles à ce phénomène. Des apports atmosphériques en sulfates (11.9 µeq/L), en H⁺ (1.6 µeq/L) et en bicarbonates (11.6 µeq/L) très semblables à ceux du système lacustre,

Tableau 4: Physico-chimie comparative d'eaux faiblement minéralisées du Québec

	LAC		PLUIE		NEIGES	
	CHÂTEAU DUMAS ¹	QUEBEC ¹	KULUJUK ²	NEYCHUKUN ²	INDUJUK ³	CRATIÉRE ⁴
Latitude (°N)	61° 17'	61°	58° 12'	58° 12'	58° 36'	61° 17'
Longitude (°O)	73° 41'	73°	79° 54'	78° 15'	78° 15'	77° 41'
Altitude (m)	494	—	—	—	10	600
pH	5.9	—	5.0	4.9	—	5.8
Précipitation (cm)	38	100 (6)	76	40	20	38
Conductivité (micro/cm)	4.5	42 (5)	10.9	8.0	—	4.6
Ca (µeq/l)	10	17	—	4.2	10.8	6.5
K (µeq/l)	5	6.0	—	1.1	5.8	10.5
Mg (µeq/l)	≤ 8	7.4	53.4	1.1	3.2	4.9
Na (µeq/l)	13.1	17.6	37.4	12.6	19.0	28.3
Fe (µeq/l)	≤ 3	—	—	—	0.2	1.1
Mn (µeq/l)	5	—	—	—	0.2	<0.4
Al (µeq/l)	2.8	11.5 (1)	—	—	—	4.4
Cl (µeq/l)	14	11.9	42.3	11.6	—	27.6
SO ₄ (µeq/l)	≤ 10	11.2	26	19.6	—	8.5

¹ = Langlois et al., 1983 (N=180); ² = Cansap, 1981; ³ = Delisle et al., 1984; ⁴ = Pagé, non publiées.

démontrent l'absence d'influx atmosphérique acide. Selon le modèle prévisionnel de Thompson et Bennett (1980) une augmentation des sulfates dans les précipitations par un facteur de 5 serait susceptible d'acidifier rapidement les lacs de cette région. Il en est sensiblement de même pour le modèle de Hesslein (1979). Une réduction du pH de 0.7 unité se solderait par la perte d'alcalinité des lacs de la région ayant une composition chimique similaire à celles du lac du Cratère. Pour ce qui concerne plus spécifiquement l'acidification de ce dernier, d'une part, il est peu probable que les apports atmosphériques acidifiants augmentent significativement au cours des prochaines décennies et, d'autre part, la période de renouvellement des eaux de 330 ans serait susceptible de donner peu d'emprise à cette possibilité.

La composition chimique des eaux du lac du Cratère se rapproche beaucoup plus de celles des précipitations et de quelques rares lacs très faiblement minéralisés du Québec (Tableau 4). Elle est considérablement plus faible que la moyenne des lacs du Québec méridional (Langlois et al., 1983) et même légèrement inférieure aux teneurs des précipitations du nord québécois (CANSAP, 1981; Delisle et al., 1984). Nos résultats isotopiques de l'oxygène ainsi que chimiques confirment le fait que les eaux occupant la cuvette du cratère sont en très grande partie d'origine atmosphérique et que la solubilisation de substances minérales du substrat géologique semble des plus négligeables. Ces deux facteurs, avec l'absence de couvert végétal sur le bassin versant, sont largement responsables de la pureté exceptionnelle des eaux du lac.

Des teneurs sensiblement plus élevées en Na, Cl et SO_4 dans les précipitations de Kuujuaq (CANSAP, 1981) et d'Inujuaq (Delisle et al., 1984), relativement à celles de la région du cratère, semblent découler des effets d'aérosols d'origine marine. Ce transport atmosphérique ainsi que l'influence lithologique du substrat sont plus faiblement évidents, dans le bassin versant du lac du Cratère. La salinité légèrement plus grande de la neige (Tableau 2, S; CID, NH_4-N , Cl, Na, Fe, Al) et des eaux de ruissellement du bassin (Tableau 2, R; CID, COD, Na, Ca, Mg, Fe, Al) par rapport à celle du lac, est fort probablement reliée aux aérosols marins et aux particules géologiques et biologiques prises en charge par les eaux au cours de la période de fonte.

Curieusement selon nos observations, il appert que les concentrations des apports ioniques (110 $\mu eq/L$) vers le lac sont plus élevés de 77% que les teneurs moyennes (62 $\mu eq/L$) de la masse d'eau lacustre. Il n'y a pas d'évidence à l'effet que ce surplus puisse découler d'augmentations récemment induites directement ou indirectement par les conséquences de l'acidification des précipitations et des sols de cette région. Théoriquement à long terme, les concentrations des sels dissous des eaux du lac devraient au moins être égales à celles des apports. De plus, le facteur d'évaporation (25%) des précipitations devrait aussi contribuer à maintenir une plus grande minéralisation des eaux du lac par rapport à celle des précipitations et du ruissellement. Une explication plausible pourrait être associée à une faible minéralisation des ions assimilés par les divers processus de la production biologique et aux effets d'adsorption électrochimique sur les surfaces des particules sédimentaires. A long terme, ces processus de sédimentation contribueraient par l'effet de piégeage à maintenir une plus faible teneur ionique dans les eaux lacustres relativement à celles des apports. Par contre, nous ne possédons pas d'information sur l'effet possible de dilution de cet excès de minéralisation par les précipitations incidentes à la surface du lac. Nos résultats d'analyses géochimiques (Tableau 5) de la phase soluble des sédiments de fond (265 m) supportent cette hypothèse. Nous constatons que les ions majeurs (Ca, Mg, K, Na) sont de 2 000 à 150 000 fois plus abondants dans le réservoir sédimentaire que dans celui de la phase aquatique. Dans un tel système si peu minéralisé, le recyclage des nutriments organiques et inorganiques pourrait être le facteur dominant de la limitation de la production biologique de l'ensemble de la masse d'eau.

Tableau 5. Géochimie de la phase soluble des sédiments de fond du lac du Cratère

PARAMÈTRE	PROFONDEUR (cm)	
	0 - 2	6 - 8
Ag	0.6	0.6
Al	1.75 x 10 ⁴	1.7 x 10 ⁴
B	< 4	< 4
Ba	130	105
Be	< 2	< 2
C	2 x 10 ⁴	10 x 10 ⁴
Ca	1 100	900
Cd	< 0.2	< 0.2
Ce	154	177
Co	10	8
Cr	33	34
Cu	29	37
Eu	1.3	1.6
Fe	2.16 x 10 ⁴	1.92 x 10 ⁴
K	6 600	5 200
La	83	105
Li	2	2
Mg	1.02 x 10 ⁴	0.94 x 10 ⁴
Mn	318	283
Mo	< 3	< 3
Na	700	600
Ni	21	20
P	656	178
Pb	16	18
Sc	3	3
Sm	10	13
Sr	9	7
Th	31	36
V	34	32
Y	13	16
Zn	82	75

CONCLUSION

Le lac du Cratère possède plusieurs caractéristiques physiques et chimiques relativement rares qui lui confèrent un intérêt limnologique particulier. Même si les eaux du lac sont extrêmement peu minéralisées, donc très sensibles aux processus d'acidification, les teneurs négligeables en sulfates et en ions [H⁺] observées, tant dans les apports que dans les eaux, nous permettent d'affirmer que cette région de l'Arctique québécois ne subit pas encore les effets néfastes des précipitations acides.

Il semblerait exister un déséquilibre entre les charges des apports en sels dissous des eaux de ruissellement relativement à celles des eaux du lac qui demeurent anormalement moins minéralisées. Ce phénomène pourrait découler de pertes permanentes vers les sédiments de substances chimiques qui ne sont pas compensées par les charges des apports allochtones. La faible variation du niveau hydrostatique du plan d'eau serait maintenue par un drainage souterrain de la cuvette qui s'effectuerait préférentiellement le long des failles du réseau régional.

REFERENCES

- ARMSTRONG, F.A.J. et SCHINDLER, D.W. 1971.
Preliminary chemical characterization of waters in the experimental Lakes area, North Western Ontario. *J. Fish. Res. Board. Can.* 28: 171-187.
- BEETON, A.M. 1958.
Relationship between Secchi disk readings and light penetration in Lake Huron. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 87(1957): 73-79.
- BOBÉE, B.; GRIMARD, Y.; LACHANCE, M. et TESSIER, A. 1982.
Nature et étendue de l'acidification des lacs du Québec, INRS-Eau, rapport scientifique no 140, ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux, rapport PA-1, 243 p., 3 annexes.
- BUKATO, R.P.; JEROME, J.H. et BRUTON, J.E. 1988.
Relationships among Secchi disk depth, beam attenuation coefficient, and irradiance attenuation coefficient for Great Lakes waters. *J. Great. Lakes Res.* 14(3): 347-355.
- DELISLE, C.E., BOUCHARD, M.A. et ANDRÉ, P. 1984.
Les précipitations acides et leurs effets au nord du 55e parallèle du Québec. Rapport d'étape présenté à la Fondation canadienne Donner. Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal, 134 p.
- DELISLE, C.E., BOUCHARD, M.A. et ANDRÉ, P. 1984.
Les précipitations acides et leurs effets au nord du 55e parallèle du Québec. Collection Environnement et Géologie, Université de Montréal, Montréal, Vol. 2, 280 p.
- DUTHIE, H.C. et OSTROFSHY, M.L. 1974.
Plankton, Chemistry and Physics of lakes in the Churchill Fall region of Labrador. *J. Fish. Res. Board Can.* 31: 1105-1117.
- GOLDMAN, C.R. 1988.
Primary production, nutrients and transparency during the early onset of eutrophication in ultra-oligotrophic Lake Tahoe, California, Nevada. *Limnol. Oceanogr.* 33(6 part 1): 1321-1333.
- HARVEY, H.H.; PIERCE, R.C.; DILLON, P.J.; KRAMER, J.R. et WHELPDALE, D.M. 1981.
Acidification in the Canadian aquatic environment. Scientific Criteria for assessing the effects of acidic deposition on aquatic ecosystems. Publication NRCC No 18475, 369 p.
- HESSELEIN. 1979.
Lake acidification potential in the Alberta oil sands environmental research program study area. Alberta Oil Sands Environmental Research Program, Unpublish report, HY 22, 36 p.
- HUTCHINSON, G.E. et LOFFLER, H. 1956.
The thermal classification of lakes. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 42: 84-88.
- LANGLOIS, C., VIGNEAULT, Y., DÉSILETS, L., NADEAU, A. et LACHANCE, M. (1983).
Evaluation des effets de l'acidification sur la physico-chimie et la biologie des lacs du Bouclier canadien (Québec). Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques No. 1213, Pêches et Océans Canada, Québec, 129 pp.
- MARTIN, N.V., ROUSSEAU, J. et RAYMOND, M. 1955.
Limnological and biological observations in the Regions of the Ungava or Chubb, Province of Quebec. *J. Fish. Res. Bd. Canada.* 12(4): 487-498.

- OSTROFSKY, M.L. 1974.
Primary productivity of four shield lakes in the James Bay drainage basins of Québec.
Sheppard and Powell Consultants Limited for Société d'Énergie de la Baie James.
- OUELLET, M., DICKMAN, M., BISSON, M. et PAGÉ, P. 1989.
Physico-chemical characteristics and origin of hypersaline meromictic Lake Garrow in
the Canadian High Arctic. *Hydrobiologia* 172: 215-234.
- OUELLET, M. et JONES, H.G. 1988.
Some physico-chemical aspects of Lake Saint-John, Québec, Canada. *Verh. Internat.
Verein. Limnol.*, 23: 961-967.
- OUELLET, M. et JONES, H.G. 1983.
Paleolimnological evidence for the long-range atmospheric transport of acidic
pollutants and heavy metals into the province of Québec, Eastern Canada. *Can. J.
Earth Sc.*, 20(1): 23-36.
- POTVIN, P. et GRIMARD, Y. 1983.
Étude de la qualité du milieu aquatique de 67 lacs à la sauvagine de la région de
Schefferville, Québec. Ministère de l'Environnement du Québec, Québec, *Envirodaq* 8400
74, 134 pp.
- RICHARD, Y. 1982.
Relations entre le niveau d'acidité de 155 lacs du Parc des Laurentides et
l'évaluation de leurs statistiques de Pêche au cours des dernières années. Document
de travail no 82.05. Ministère de l'Environnement du Québec, Québec, 115 p.
- THOMPSON, M.E. et BENNET, E.B. 1980.
Variation in the degree of acidification of rivers waters observed in Atlantic Canada.
Proc. OECD-EPA Symposium on lake protection and restorations, Portland, Maine, 19 p.
- WETZEL, R.G. 1983.
Limnology. 2nd ed., W.B. Saunders Co., Toronto. 743 p.
- YURTSEVER, Y. 1975.
World wide survey of stable isotopes in precipitations. Report section: Isotope
hydrologie. Int. Atomic Energy Agency, Vienna, 40 pp.