

Sous la surface des lacs des Laurentides : des témoignages de la dernière période glaciaire

Benoit Faucher, Jean-Louis Courteau and Bernard Lauriol

Volume 146, Number 2, Fall 2022

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1091885ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1091885ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (print)

1929-3208 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Faucher, B., Courteau, J.-L. & Lauriol, B. (2022). Sous la surface des lacs des Laurentides : des témoignages de la dernière période glaciaire. *Le Naturaliste canadien*, 146(2), 19–25. <https://doi.org/10.7202/1091885ar>

Article abstract

Remarkable insoluble rock forms resulting from differential hydraulic erosion of Grenville marble have been discovered at the bottom of lakes in the Laurentian region (Québec, Canada). Some of these forms are several decimetres tall. Given the results of studies on the chemical dissolution rate of Canadian Shield marble, it is unlikely that these insoluble units were only released from the encasing marble during the Holocene. Instead, it is proposed that they likely result largely from differential hydraulic erosion caused by pockets of meltwater fed by the retreating Laurentide ice sheet. The authors also consider the possibility that the insoluble rocks were released from their marble matrix by running water well before the last deglaciation, and that this retreat of the ice would have been preceded by one or more subglacial lakes.

Sous la surface des lacs des Laurentides : des témoignages de la dernière période glaciaire

Benoit Faucher, Jean-Louis Courteau et Bernard Lauriol

Résumé

De remarquables formes rocheuses insolubles se dressent dans le fond de lacs creusés dans le marbre de Grenville de la région des Laurentides, au Québec (Canada). Elles atteignent une hauteur pouvant aller jusqu'à plusieurs décimètres. Selon les études sur les taux de dissolution du marbre du Bouclier canadien, il est improbable que celles-ci aient été mises en relief seulement pendant l'Holocène. Nous proposons qu'une érosion hydrique dans des poches d'eau alimentées par l'eau de fonte de la dernière calotte de glace des Laurentides soit à l'origine de la mise en relief de ces roches insolubles. Nous envisageons aussi la possibilité que les roches insolubles aient été dégagées de leur matrice de marbre par une eau courante bien avant la dernière déglaciation, et que celle-ci ait été précédée par un ou des lacs sous-glaciaires.

MOTS CLÉS : érosion sous-glaciaire, glaciation wisconsinienne, lac des Seize Îles, Laurentides, marbre de Grenville

Abstract

Remarkable insoluble rock forms resulting from differential hydraulic erosion of Grenville marble have been discovered at the bottom of lakes in the Laurentian region (Québec, Canada). Some of these forms are several decimetres tall. Given the results of studies on the chemical dissolution rate of Canadian Shield marble, it is unlikely that these insoluble units were only released from the encasing marble during the Holocene. Instead, it is proposed that they likely result largely from differential hydraulic erosion caused by pockets of meltwater fed by the retreating Laurentide ice sheet. The authors also consider the possibility that the insoluble rocks were released from their marble matrix by running water well before the last deglaciation, and that this retreat of the ice would have been preceded by one or more subglacial lakes.

KEYWORDS: Grenville marble, lac des Seize Îles, Laurentides, subglacial erosion, Wisconsin glaciation

Introduction

La découverte de formes spectaculaires d'érosion différentielle sur le substrat rocheux du fond de trois lacs de la région des Laurentides (Québec) par des plongeurs explorateurs est à l'origine de cette étude. Ces formes inusitées d'érosion différentielle ont été portées à notre attention par l'un des coauteurs (J.-L. C.) de cet article, qui est lui-même plongeur. En collaboration avec ses collègues, ce dernier a observé et photographié ces formes d'érosion, lesquelles occupent une position préférentielle dans le fond de ces lacs, soit dans le voisinage immédiat de la partie sud de leurs îles (Courteau, 2021).

Les formes d'érosion découvertes par les plongeurs n'ont été observées que dans les formations de marbres précambriens aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc (figure 1). Leur hauteur exceptionnelle ainsi que leur emplacement dans une région qui fut autrefois couverte de glace lors de la dernière glaciation nous ont emmenés à proposer un mécanisme d'érosion beaucoup plus efficace ou actif sur une période plus longue que celle observée en milieu subaérien, donc postglaciaire, et capable de produire une telle intensité érosive.

C'est ainsi que nous proposons que ces formes d'érosion différentielle résultent de l'action de l'eau de fonte, probablement par un écoulement turbulent sous pression, dans un environnement sous-glaciaire. En érodant le marbre, l'eau aurait épargné les inclusions de roches silicatées,

lesquelles exhibent une morphologie qui date de la période pendant laquelle elles se sont révélées, c'est-à-dire il y a un peu plus de 1 milliard d'années, lors de l'orogénèse de Grenville (Corriveau, 2013; Fensome et collab., 2014).

Région à l'étude

Les Laurentides, au nord des basses-terres du Saint-Laurent du Québec, offrent un paysage de collines séparées de vallées au fond comblé de sédiments glaciaires ou occupées par de nombreux lacs. Le sommet des collines culmine à des hauteurs de 250 à 300 m, tandis que la plus grande profondeur des lacs varie de -60 à -80 m d'après les cartes publiées notamment par le Conseil régional de l'environnement (CRE) des Laurentides. Les lacs situés de part et d'autre des vallées des rivières Gatineau et du Lièvre se trouvent parfois creusés

Benoit Faucher est scientifique du Quaternaire à la Commission géologique du Canada (Programme GEM-GéoNord, Ottawa) et enseigne la géographie au Département de géographie, environnement et géomatique de l'Université d'Ottawa (Ontario).

bfaucher@uottawa.ca.

Jean-Louis Courteau est auteur, artiste, coproducteur de documentaires vidéo et directeur du Centre d'interprétation des eaux laurentiennes à Lac-des-Seize-Îles (Québec).

Bernard Lauriol est professeur émérite de l'Université d'Ottawa (Ontario). Il a récemment publié deux ouvrages sur l'Outaouais et son passé géologique.

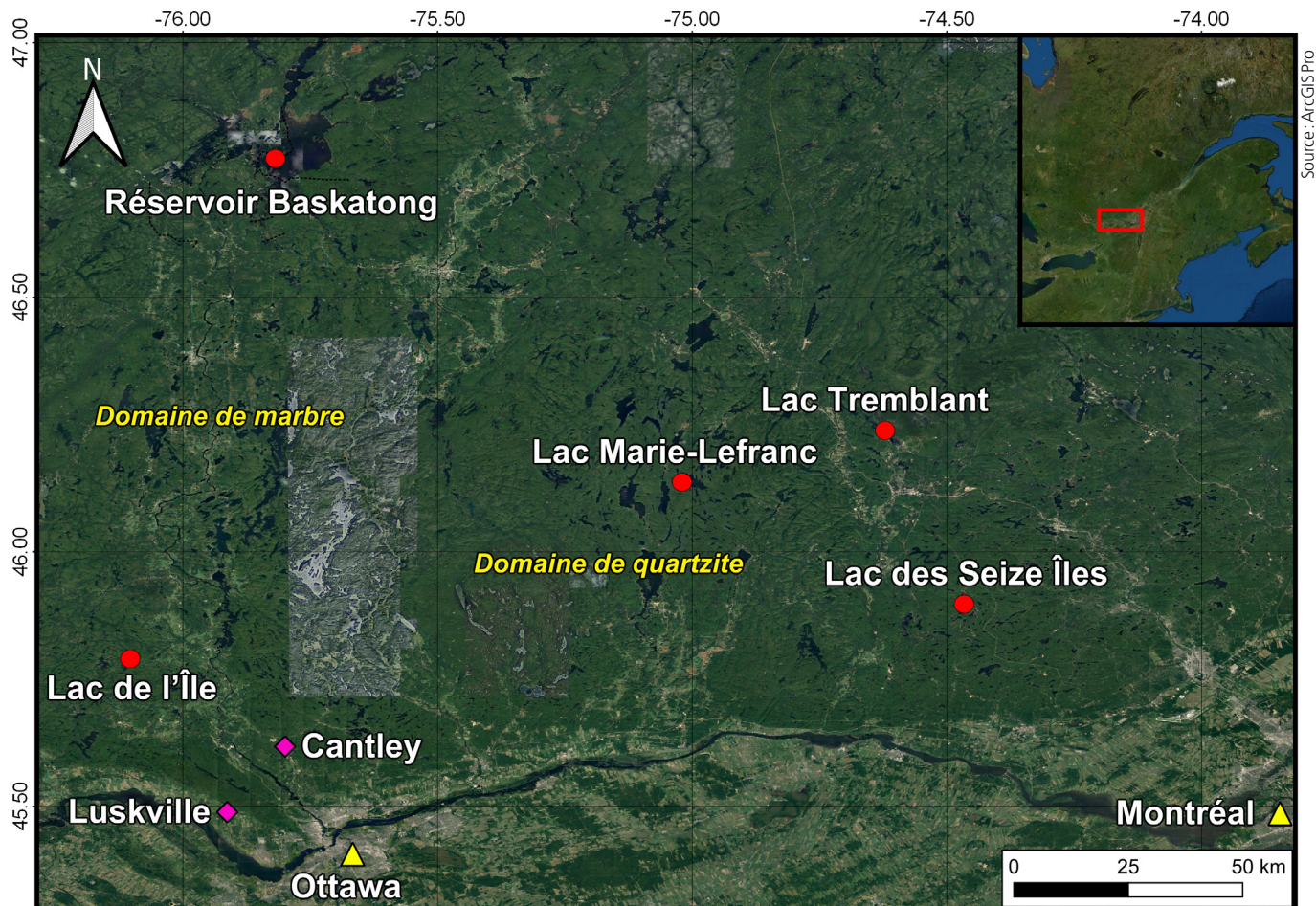


Figure 1. Carte de localisation des sites terrestres et des lacs étudiés dans les Laurentides et en Outaouais (Québec, Canada). Triangles jaunes = villes majeures; losanges roses = sites terrestres; cercles rouges = lacs (à noter que le réservoir du Baskatong y est inséré à seul titre de référence géographique). Les affleurements de marbre sont peu nombreux, mais présents dans le domaine de quartzite.

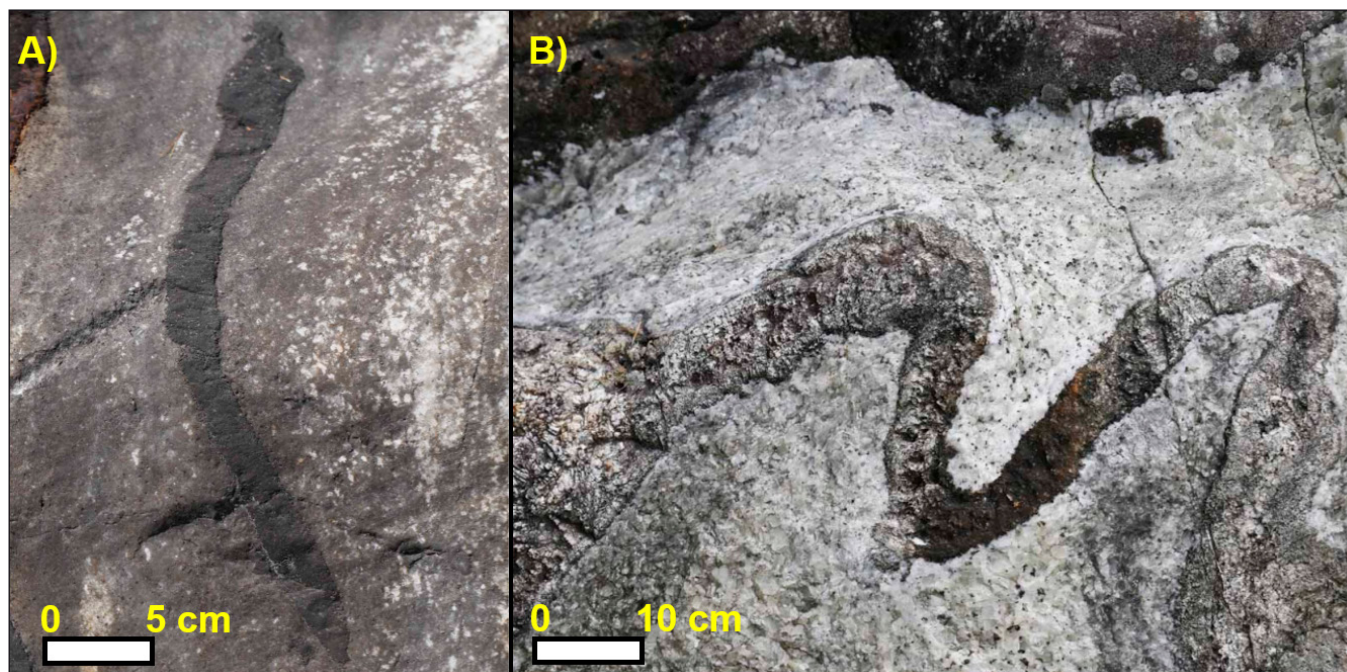
dans le marbre précambrien, qui est une roche plus sensible à l'érosion que le gneiss et la syénite, deux roches communes des Laurentides (Hogarth, 1962).

En s'éloignant des vallées de la Lièvre et de la Gatineau, le marbre devient plus rare (Hogarth, 1962). Néanmoins, il en existe des affleurements souvent modestes et dispersés, à l'ouest, jusqu'à la vallée de la rivière Noire et à l'est, jusqu'à la vallée de la rivière du Nord. Rappelons que le marbre de Grenville provient du métamorphisme du calcaire accumulé sur les rivages de l'océan Moravia il y a environ 1 milliard d'années (Fensome et collab., 2014). Le calcaire fut intégré dans les racines de l'immense chaîne de Grenville, laquelle fut par la suite érodée, ramenant à la surface un calcaire métamorphisé riche en inclusions de roches silicatées (Dresser et Denis, 1946).

L'inclusion des roches silicatées dans le marbre résulte de lits, de veines, et de dykes riches en silice qui ont été brisés, retournés et écrasés durant le métamorphisme du calcaire. Leurs fragments apparaissent de nos jours discontinus, rectilignes, mais aussi parfois plissés et même contorsionnés (figure 2). Le plus souvent cependant, le matériel silicaté diffus dans le calcaire s'est aggloméré pour former des

agrégats qui, lorsque dégagés du marbre, forment des blocs pouvant atteindre plusieurs décimètres de diamètre. Il s'est produit aussi durant l'orogénèse de Grenville de nombreuses explosions souterraines engendrées par des vapeurs dégagées par le magma. Elles ont laissé en héritage des roches brisées ou pyroclastes aux contours anguleux (Lauriol et Bertrand, 2017).

Ce n'est qu'après la déglaciation, survenue dans la région d'étude vers 12 000 années avant le présent (Dalton et collab., 2020; Prichonnet, 1977) que la différence de dureté entre le marbre et les roches silicatées qu'il contient va s'exprimer sous l'effet des processus de météorisation, soit la gélifraction, le ruissellement et la pédogenèse. Des observations faites dans la vallée de la Gatineau ont permis d'estimer à 10 cm la tranche moyenne de marbre érodée par ces processus depuis 10 000 ans, mais seulement là où celui-ci a été exposé aux intempéries (Lauriol et Prévost, 1994; Prévost, 1991). Là où une couverture de limon, de sable, ou de gravier glaciaires et fluvioglaciaires recouvre le marbre, l'érosion différentielle ne s'est alors fait sentir que très faiblement (souvent moins de 1 cm) (Lauriol et Prévost, 1994).



Photos: B. Lauriol

Figure 2. Deux affleurements de marbre voisins (A et B) exhibant une roche silicatée érodée par le passage du glacier et qui, par la suite, ont été recouverts par du gravier et du sable qui en ont assuré la préservation. Carrière de Cantley (Québec). Voir la figure 1 pour l'emplacement du site.

L'érosion sous la surface des lacs

Dans les Laurentides, suivant nos observations, les roches silicatées mises en relief par la météorisation du marbre de Grenville n'affleurent que sur une hauteur moyenne de 5 à 10 cm sur les rives rocheuses actuelles des lacs. Il en est de même sous l'eau, selon les mesures faites par Jean-Louis Courteau et ses collègues au cours de centaines d'heures de plongée. C'est pourquoi les formes d'érosion très localisées aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc constituent une curiosité géologique. Elles méritent d'être étudiées, car elles n'ont jamais été décrites ailleurs dans d'autres lacs encaissés dans le marbre du Bouclier canadien. En effet, dans chacun de ces lacs, des roches silicatées sont dégagées de leur matrice de marbre sur une hauteur remarquable de plusieurs décimètres. Elles présentent des morphologies variées; les plus communes sont les roches plissées tandis que les plus spectaculaires sont celles qui reposent sur un pilier de marbre (ce qui évoque des cheminées de fée), ou encore celles qui ressemblent à des troncs d'arbres brisés et submergés dans les marais (figure 3). Dans chacun des lacs, les roches silicatées dégagées de leur matrice de marbre ont été observées de -5 à -30 m de profondeur. Il n'est pas impossible qu'il y en ait aussi à de plus grandes profondeurs, mais l'eau froide, l'obscurité et surtout les obligations de décompression rendent la plongée plus hasardeuse.

L'emplacement géographique où ces roches insolubles ont été trouvées est le même dans les trois lacs étudiés, soit au sud de bosses rocheuses d'une hauteur de quelques mètres au-dessus de l'eau. Ces bosses sont partiellement constituées de marbre, et contiennent du gneiss. À leur périphérie, il n'est pas rare d'y apercevoir des accumulations de galets bien

arrondis d'origine fluvio-glaciaire. Au lac des Seize Îles, ces accumulations forment ce qu'on nomme un moulin de kame; il s'agit d'une preuve d'un écoulement d'eau sous-glaciaire violent. De plus, des blocs erratiques (à moins qu'il s'agisse de *drop stones*, c'est-à-dire de blocs rocheux délestés par des glaces flottantes) reposent ici et là sur des affleurements rocheux sous-aquatiques.

Le pH de l'eau des lacs étudiés se situe entre 6 et 7, ce qui correspond à une eau peu agressive. Cela est attribuable aux sols carbonatés qui tamponnent l'acidité de l'eau de pluie, des ruisseaux et des nappes phréatiques qui alimentent les lacs. Nos mesures physicochimiques (pH, conductivité et température) effectuées en surface en plusieurs points au cours des saisons 2018 et 2019, et en profondeur jusqu'à -30 m dans le lac des Seize Îles, n'indiquent pas une eau d'une acidité anormale pouvant rendre compte d'une dissolution élevée dans ce lac et localisée (au sud d'îlots rocheux). Il en est probablement de même dans les lacs Tremblant et Marie-Lefranc, et ce fut sans doute aussi le cas depuis le retrait du dernier inlandsis.

L'érosion du marbre par l'eau des glaciers

Une érosion du marbre dans des cavités sous-glaciaires au sud d'obstacles rocheux (c'est-à-dire en position d'abri par rapport à un écoulement glaciaire venant du nord) offre une explication possible pour rendre compte du déchaussement exceptionnel des roches silicatées au sud d'obstacles rocheux. Ils ont joué le rôle de bouclier. En effet lors de la dernière déglaciation, la fonte de l'inlandsis s'est accompagnée d'un écoulement d'eau duquel le volume fut de plusieurs millions de mètres cubes. Une partie de l'écoulement s'est produite

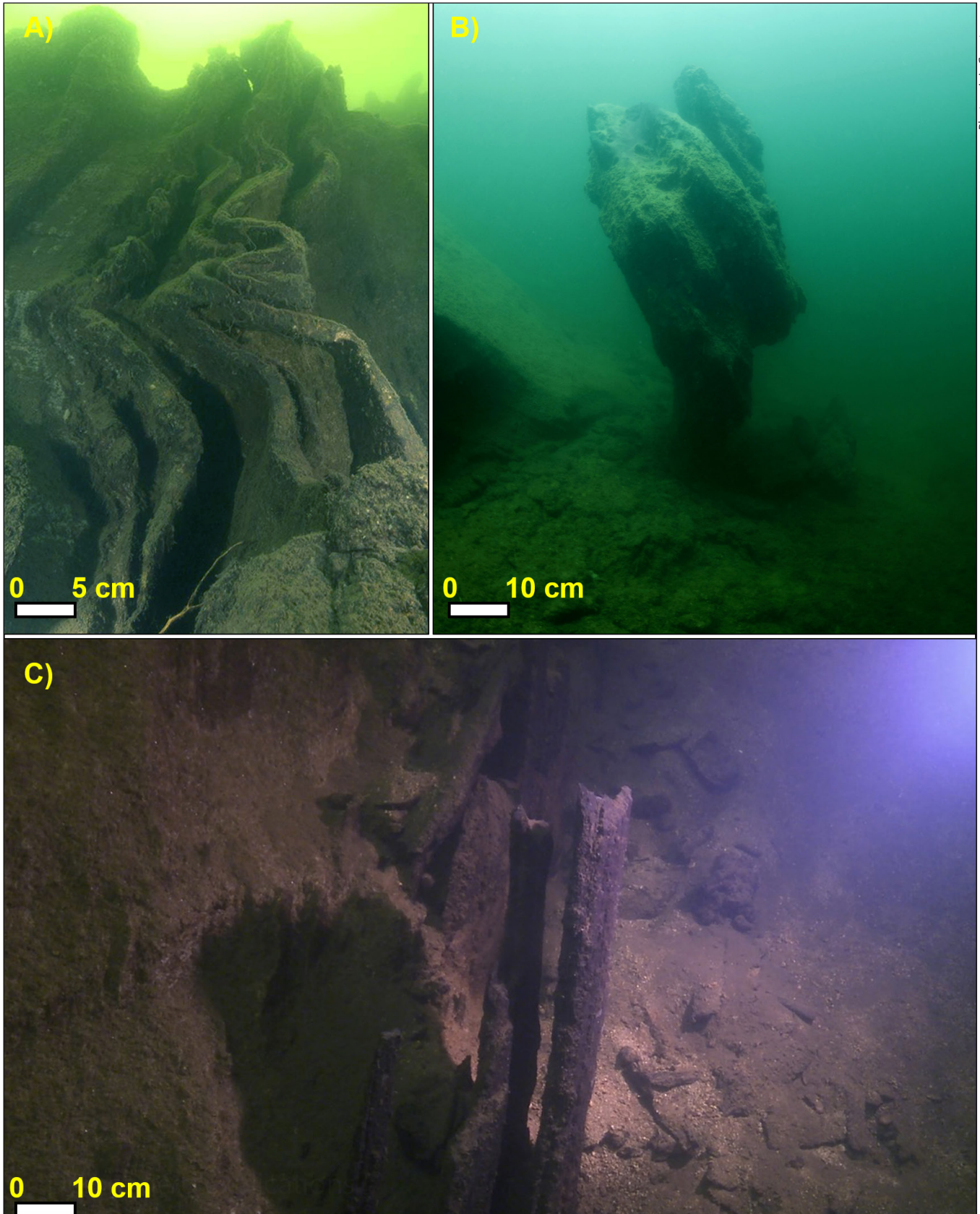


Figure 3. Formes spectaculaires d'érosion différentielle sur le substrat rocheux du fond de 3 lacs des Laurentides. A) formation plissée; B) roche insoluble reposant sur un pilier de marbre; C) roches insolubles verticalement dénudées de leur matrice de marbre.

sous les glaciers, et notamment dans le fond des vallées comme en témoignent les dépôts fluvio-glaciaires qui les remplissent en partie.

Dans la région à l'ouest de la rivière du Nord, l'écoulement de la glace et de l'eau s'est toujours fait du nord vers le sud (Prichonnet, 1977). Bien que cela ne soit pas documenté, il est probable que cet écoulement s'est accompagné de la formation de cavités sous-glaciaires (voir la figure 1 dans Livingstone et collab. [2022] pour un croquis illustrant ce phénomène). Elles résultaient du décollement du glacier à l'aval de lobes rocheux particulièrement résistants à l'érosion, phénomène bien connu dans les glaciers alpins où l'on parle de cavitation par une eau turbulente chargée de limon et de sable. Cette eau érode les parois rocheuses de façon très efficace (Lliboutry, 1968). Dans les Laurentides, l'érosion fluvio-glaciaire dans des cavités sous-glaciaires aurait attaqué le marbre plus sensible à l'érosion que les roches silicatées, insolubles et dures, qu'il contient. Le phénomène a possiblement été d'une plus grande extension géographique que ce que nous observons de nos jours, mais une phase d'érosion glaciaire postérieure en aurait détruit les évidences.

De fait, l'hypothèse de roches érodées dans des cavités sous-glaciaires puis détruites par le passage de la glace est supportée par la présence de blocs erratiques portant des marques d'érosion par l'eau. Ils ont été trouvés dans deux sites des collines des Laurentides. Le premier site est au lac de l'Île, dans la vallée de la Gatineau. Ce lac ne possède qu'une seule île dont la superficie est proche d'un hectare. Constituée de marbre et de gneiss, l'île s'élève à une dizaine de mètres au-dessus de la surface du lac. Sous l'eau, à 5 m de profondeur, entre l'île et la rive sud du lac, un bloc de plus de 1 m de diamètre présente des traces de dissolution, mais les blocs les plus remarquables sont ceux de plus de 1 m³ exhumés d'un till très limoneux à l'occasion de la construction d'une résidence, située à 20 m au-dessus de la surface du lac et à 300 m de sa rive. L'un d'entre eux n'est constitué que de marbre (figure 4) et un deuxième d'un mélange de roches silicatées et de marbre. À cela s'ajoutent de plus petits blocs. Leur forme générale, tout comme le détail de leur surface, témoigne d'une sculpture par l'écoulement de l'eau avant que l'érosion glaciaire ne les arrache au plancher rocheux. Tout comme aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc, les accumulations glaciaires et fluvio-glaciaires abondent dans les environs immédiats du lac, lequel est dominé par des collines de gneiss et de quelques affleurements de marbre.

Un autre bloc erratique de marbre montrant une évidence d'érosion par l'eau se situe à l'entrée de la municipalité de Luskville, dans la vallée de l'Outaouais, 30 km à l'ouest d'Ottawa. Ce bloc a été exhumé de l'argile de la mer de Champlain lors de la construction d'une résidence. Ses parois montrent au moins 2 coups de gouge de grande dimension (20 à 30 cm), ce qui laisse supposer un courant d'eau très violent. Un petit bloc de roche silicatée, soutenu par une courte colonne de marbre, lui donne l'allure d'un dragon (figure 5).



Photo : J.-L. Courteau

Figure 4. Bloc erratique de marbre, situé au lac de l'Île, montrant des signes d'érosion par l'eau sous-glaciaire. Le bloc est formé d'un pic de 110 cm de hauteur se dressant sur un ancien plancher rocheux.



Photo : B. Lauriol

Figure 5. Bloc erratique de marbre avec une protubérance formée par un bloc de roche silicatée (Luskville, Québec). Le cercle blanc a été ajouté par les propriétaires du terrain.

Discussion

Les blocs erratiques du lac de l'Île et de Luskville montrent que les formes d'érosion différentielle sur le substrat rocheux sont une curiosité géologique qui se rencontre au-delà du secteur formé par les lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc. Dans l'état actuel des connaissances, nous proposons qu'elles s'expliquent par la formation de poches d'eau dans des cavités résultant du décollement de la glace à l'interface de l'inlandsis et de son substratum rocheux. Mais ont-elles existé un siècle? Un ou plusieurs millénaires? Pour l'instant, ces questions sont sans réponses définitives.

Nos observations permettent d'imaginer néanmoins un processus qui se serait déroulé sous la surface de l'inlandsis laurentidien qui a recouvert le nord-est de l'Amérique lors du dernier épisode glaciaire. Le processus aurait été quelque peu différent de celui décrit dans la carrière de Cantley (Sharpe et Leduc, 2018; Sharpe et Shaw, 1989). Ce site, localisé à 20 km au nord de Gatineau, a d'abord connu une phase d'érosion

glaciaire, et une phase d'érosion par un écoulement d'eau sous-glaciaire laminaire (Jean Veillette, communication personnelle). La phase glaciaire a arasé les blocs silicatés inclus dans le marbre, tandis que la phase hydrique les a légèrement déchaussés pour former des queues-de-rat de plusieurs mètres de long. La couche de sable et de gravier qui les a recouverts les a préservés de la météorisation jusqu'à leur exhumation moderne par l'activité humaine (Fulton et collab., 1987). Dans les lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc, le contexte a été différent. Les unités rocheuses ont pris forme dans des poches d'eau formées par cavitation et ont été protégées de la météorisation par l'eau des lacs qui a succédé au retrait de la glace de l'inlandsis.

Finalement, est-ce que l'hydrologie des cavités évoquée par Davison et collab. (2019) dans la zone marginale du sud-ouest de l'inlandsis du Groenland constitue aujourd'hui un analogue à ce que nous observons dans les Laurentides? À cet endroit, des cavités immergées en aval d'obstacles rocheux sont reliées entre elles par un réseau hydrographique de quelques centaines de kilomètres en arrière du front glaciaire. En fut-il de même dans les Laurentides? La très grande abondance des sédiments et des marques d'érosion fluvio-glaciaires dans le fond des vallées permet de se poser la question.

Conclusion

Les observations rapportées par les plongeurs nous ont conduits à émettre l'hypothèse que les roches silicatées dégagées de leur matrice de marbre sont des témoignages de l'existence passée d'une érosion associée à un processus de cavitation sous-glaciaire. Cependant, quelques autres observations laissent entrevoir une histoire plus complexe. Pensons au fait que des sédiments fluvio-glaciaires recouvrent des argiles au lac des Seize Îles, et surtout à ce que le site du lac de l'Île révèle: une destruction de piliers de marbre par l'érosion glaciaire puis un charriage sur quelques centaines de mètres en même temps que celui des argiles silteuses qui leur servent aujourd'hui de matrice. Est-il envisageable que le processus de cavitation ait précédé la formation d'un lac dans lequel se seraient déposées des argiles et qu'un écoulement glaciaire et fluvio-glaciaire (à la suite de la fonte finale de la glace) ait érodé le fond des lacs ou parfois déposé des sédiments?

De fait, les travaux de Montgomery et Korup (2011) suggèrent que des formes sculptées par l'eau peuvent survivre à des épisodes glaciaires, surtout si elles sont recouvertes de sédiments. Cette même explication est prise en compte par Lajeunesse (2014). Ils démontrent que plusieurs vallées dans l'est de l'Amérique du Nord ont conservé des traces d'érosion fluviale en dépit du fait qu'elles ont été recouvertes postérieurement par les dépôts glaciaires de l'inlandsis laurentidien. Cela s'apparente à ce que nous avons observé au fond de lacs des Laurentides: des formes d'érosion hydrique ont survécu au passage du dernier écoulement glaciaire.

La question qui demeure est donc celle de savoir si les formes d'érosion observées aux lacs des Seize Îles, Tremblant et Marie-Lefranc sont imputables à une érosion hydrique

subaérienne ayant précédé la dernière glaciation (ou même celles antérieures) ou bien à une érosion hydrique sous-glaciaire. Faute d'éléments de datation absolue, les deux hypothèses se défendent. Néanmoins, compte tenu du fait que le contexte géomorphologique des formes d'érosion décrites par Lajeunesse (2014) est différent de celui que nous avons observé, il est probable qu'une seule et même explication ne convienne pas. Dans un cas, l'érosion hydrique aurait été subaérienne; dans l'autre, elle aurait été sous-glaciaire. Les formes d'érosion de la première ont été préservées par des sédiments glaciaires remplissant des vallées profondes. Les formes d'érosion de la seconde ont été créées et préservées dans un contexte glaciaire en aval d'obstacles rocheux qui aujourd'hui forment des îlots dans trois lacs des Laurentides. Ces formes constituent des curiosités géologiques qui méritent d'être préservées de toute destruction.

Remerciements

Les auteurs remercient la municipalité de Lac-des-Seize-Îles pour le soutien financier en provenance des FDT (Fonds de développement des territoires) apporté à Jean-Louis Courteau dans le cadre de l'élaboration et de l'opération du Centre d'interprétation des eaux laurentiennes (CIEL). Les auteurs remercient Jean Veillette pour la lecture du manuscrit et pour ses notes personnelles. Ils remercient aussi les propriétaires riverains qui ont accepté de collaborer à l'investigation des lacs. Les auteurs aimeraient aussi remercier Henri Lessard (blogue Géo-Outaouais) d'avoir partagé ses connaissances et des photos. Finalement, ils remercient Martin Lavoie, rédacteur en chef adjoint, Patrick Lajeunesse, rédacteur adjoint et un réviseur anonyme pour leurs commentaires scientifiques, de même que les nombreux membres de l'équipe du *Naturaliste canadien* pour leur contribution au travail d'édition de cet article. ◀

Références

- CORRIVEAU, L., 2013. Architecture de la ceinture métasédimentaire centrale au Québec, province de Grenville: un exemple de l'analyse de terrains de métamorphisme élevé. Commission géologique du Canada, Ottawa, Bulletin 586, 264 p. <https://doi.org/10.4095/226449>.
- COURTEAU, J.L., 2021. Seize îles. Éditions XYZ, Montréal, 182 p.
- DALTON, A.S., M. MARGOLD, C.R. STOKES, L. TARASOV, A.S. DYKE, R.S. ADAMS, S. ALLARD, H.E. ARENDS, N. ATKINSON, J.W. ATTIG et COLLAB., 2020. An updated radiocarbon-based ice margin chronology for the last deglaciation of the North American Ice Sheet Complex. *Quaternary Science Reviews*, 234, Article 106223. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106223>.
- DAVISON, B.J., A.J. SOLE, S.J. LIVINGSTONE, T.R. COWTON et P.W. NIENOW, 2019. The influence of hydrology on the dynamics of land-terminating sectors of the Greenland Ice Sheet. *Frontiers in Earth Science*, 7 (10), 24 p. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00010>.
- DRESSER, J.A. et T.C. DENIS, 1946. La géologie de Québec, géologie descriptive. Ministère des Mines, Québec, Rapport géologique, 20 (2), 647 p. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/EXAMINE/RG020II/RG020II.pdf>.
- FENSOME, R., G. WILLIAMS, A. ACHAB, J. CLAGUE, D. CORRIGAN, J. MONGER et G. NOWLAN, 2014. Quatre milliards d'années d'histoire. Fédération canadienne des sciences de la Terre. Éditions MultiMondes, Québec, 408 p.

- FULTON, R.J., H.M. FRENCH et P. RICHARD, 1987. Le Quaternaire de l'Outaouais et la description des excursions locales, XII^e Congrès de l'INQUA, Ottawa, Commission géologique du Canada, 31 juillet au 9 août 1987, p. 127-130.
- HOGARTH, D.D., 1962. A guide to the geology of the Gatineau-Lievre District. *The Canadian Field-Naturalist*, 76 (1): 1-55.
- LAJEUNESSE, P., 2014. Buried preglacial fluvial gorges and valleys preserved through Quaternary glaciations beneath the eastern Laurentide Ice Sheet. *Geological Society of America Bulletin*, 126 (3-4): 447-458. <https://doi.org/10.1130/B30911.1>.
- LAURIOL, B. et C. PRÉVOST, 1994. Variabilité de l'érosion actuelle et holocène : le cas des marbres de Grenville en Outaouais québécois. *Géographie physique et Quaternaire*, 48 (3): 297-304. <https://doi.org/10.7202/033010ar>.
- LAURIOL, B. et P. BERTRAND, 2017. Au-delà du paysage : des Laurentides aux basses-terres du Saint-Laurent. Éditions Vents d'Ouest, Gatineau (Québec), 160 p.
- LIVINGSTONE, S.J., Y. Li, A. RUTISHAUSER et COLLAB., 2022. Subglacial lakes and their changing role in a warming climate. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3: 106–124. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00246-9>.
- LLIBOUTRY, L., 1968. General theory of subglacial cavitation and sliding of temperate glaciers. *Journal of Glaciology*, 7: 21–58. <https://doi.org/10.3189/S0022143000020396>.
- MONTGOMERY, D.R. et O. KORUP, 2011. Preservation of inner gorges through repeated Alpine glaciations. *Nature Geoscience*, 4: 62-67. <https://doi.org/10.1038/ngeo1030>.
- PRÉVOST, C.L., 1991. Processus et intensité actuelle et holocène de l'érosion du marbre de Grenville, région de Gatineau-Lièvre, Québec. Thèse de maîtrise, Université d'Ottawa, Ottawa, 278 p. <https://ruor.uottawa.ca/handle/10393/7853>.
- PRICHONNET, G., 1977. La déglaciation de la vallée du Saint-Laurent et l'invasion marine contemporaine. *Géographie physique et Quaternaire*, 31 (3-4): 323-345. <https://doi.org/10.7202/1000281ar>.
- RICHARDSON, K. et P.A. CARLING, 2005. A typology of sculpted forms in open bedrock channels. *Geological Society of America Special Paper*, 392: 108 p. <https://doi.org/10.1130/SPE392>.
- SHARPE, D.R. et G. LEDUC, 2018. Bedrock erosion landforms, Cantley, Québec. Excursion, CANQUA-AMQUA. 12 p. <https://www.cantley1889.ca/images/Sharpe%20Field%20Guide%20Cantley%20Quarry%2018.pdf>.
- SHARPE, D.R. et J. SHAW, 1989. Erosion of bedrock by subglacial meltwater, Cantley, Québec. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 1011-1020. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101%3C1011:EOBB SM%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101%3C1011:EOBB SM%3E2.3.CO;2).



Gervais Comeau, Conseiller en placement

gervais.comeau@iagestionprivee.ca · gervaiscomeau.com

iagestionprivee.ca

EN ACTION

POUR LA FAUNE EN DANGER



Grâce à la générosité de nos donateurs et aux contributions des chasseurs, des pêcheurs et des piégeurs, la Fondation de la faune soutient des projets de protection et de restauration d'habitats des espèces menacées et vulnérables du Québec.



Fondation
de la faune
du Québec

› **Faites un don:** www.fondationdelafaune.qc.ca




Yvan Bedard
PHOTONATURE
Ph.D. Prof. émérite
Neuville, Qc
Canada G0A 2R0
1-418-561-7046

yvan_bedard@hotmail.com
PHOTOS-LICENCES-COURS-CONSEILS
<http://yvanbedardphotonature.com>