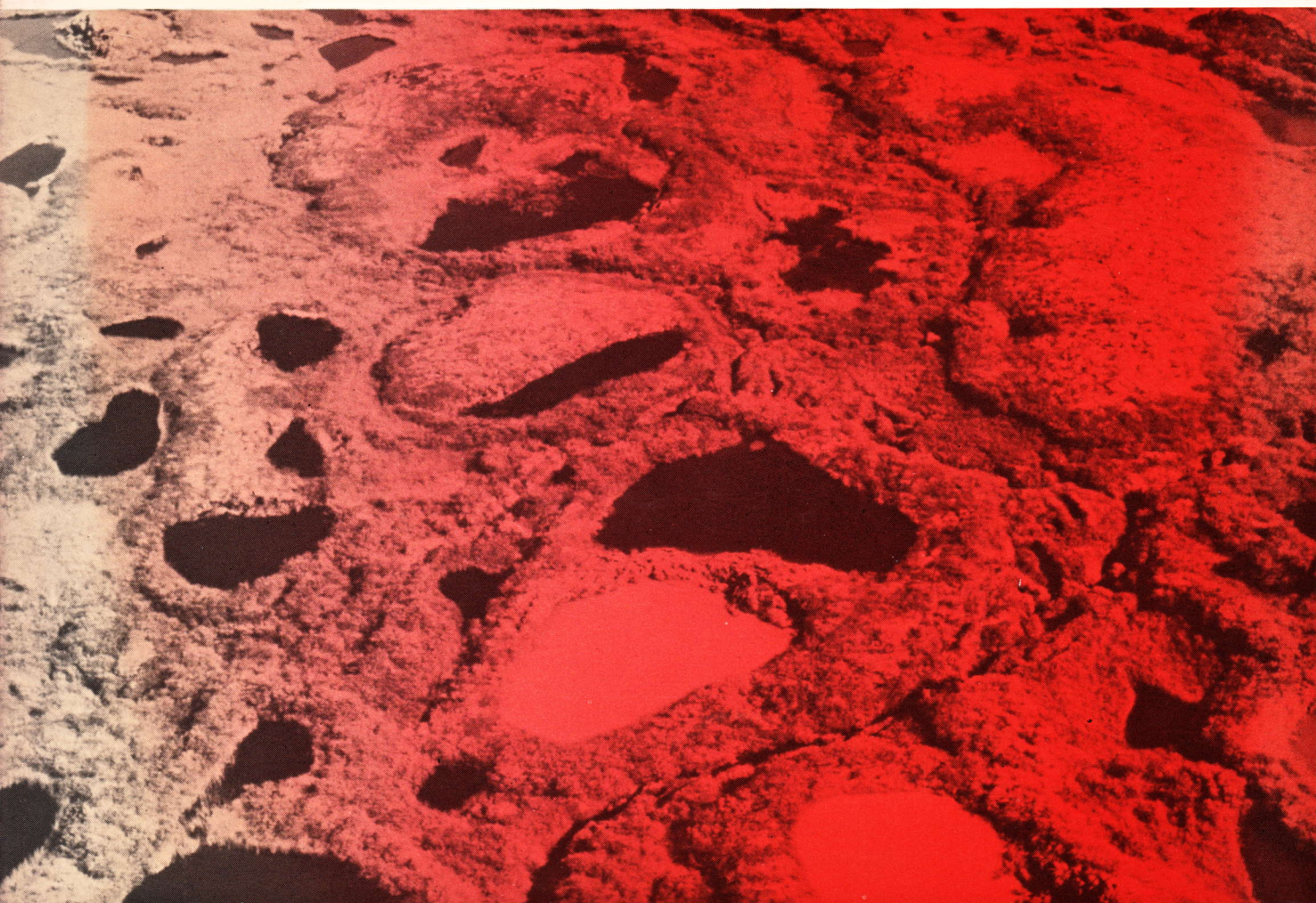


1978 - Vol. XXXII - N° 3

GÉOGRAPHIE PHYSIQUE ET QUATERNAIRE



Les Presses de l'Université de Montréal



Essai

DISSOLUTION ET PRÉCIPITATION DES CARBONATES EN RELATION AVEC LE GEL PRINCIPALEMENT AU QUÉBEC: ESSAI DE MISE AU POINT

Camille EK, Département de géographie, université de Montréal, c.p. 6128, Montréal, Québec H3C 3J7.

RÉSUMÉ Les descriptions de formes de dissolution importantes dans les calcaires et dolomies sont jusqu'ici relativement rares au Québec. Par contre, des phénomènes de précipitation sont décrits en de nombreux endroits, et plusieurs études ont déjà été consacrées, en particulier, aux concrétions de carbonate de calcium qui s'observent dans les sédiments quaternaires. Les travaux — et surtout les plus récents — relatifs à ces précipitations sont passés en revue, et les hypothèses génétiques des divers auteurs sont résumées et discutées, en particulier en ce qui concerne l'influence des basses températures (autour de 0°C). Certaines des concrétions se sont assurément formées à proximité immédiate d'un pergélisol; d'autres sont postérieures à tout pergélisol; mais toutes sont de climat frais ou froid. En ce qui concerne la nature des interventions biologiques dans le concrétionnement du carbonate de calcium à ces basses températures, certains des auteurs cités considèrent qu'elle est directe; elle pourrait cependant être indirecte et s'exercer par l'intermédiaire de l'influence des micro-organismes sur les conditions physico-chimiques du milieu.

INTRODUCTION : LE PROBLÈME

Le rôle de la température et de ses variations dans la dissolution et la précipitation des carbonates est extrêmement complexe et peut s'envisager sous des angles divers. La température a tout d'abord une influence physique directe sur les équilibres chimiques. Ainsi, le coefficient de dissolution du gaz carbonique dans l'eau vaut à 18°C la moitié de sa valeur à 0°C (ROQUES, 1962; EK, 1973); le produit de solubilité de la calcite diminue légèrement lorsque la température augmente (ROQUES, 1964, p. 327)¹. En fait, tous les paramètres de la disso-

ABSTRACT *Dissolution and precipitation of carbonates in relation with frost; a review of the literature, mostly from Québec.* Papers on the description of major dissolution forms in limestone are relatively rare in Québec. On the other hand, precipitation phenomena are often described, particularly calcium carbonate concretions in Quaternary sediments. The author reviews mostly recent work related to this type of precipitation, discusses and summarizes the different hypotheses by various researchers, in particular those concerned with the effect of low temperatures (~0°C). A certain number of concretions have certainly been formed near a permafrost, others are posterior to any permafrost, but all concretions belong to a cool or a cold climate. A few of the authors cited consider the nature of biological effects on the formation of calcium carbonate concretions as being direct. The influence could also be indirect, and interfere on the physico-chemical conditions of the environment only with the help of micro-organisms.

lution (constantes de dissociation, etc.) varient avec la température. Celle-ci a une autre influence: son effet sur les vitesses de réaction, qui doublent à peu près chaque fois que la température augmente de 10°C. C'est donc aux environs de 0°C que les vitesses de dissolution et de précipitation sont les plus faibles à cet égard. Le gel de l'eau est en effet une autre influence de la température: il met pratiquement un terme absolu aux réactions qui nous occupent.

Outre ses effets directs sur les équilibres et sur les réactions, la température a un rôle indirect important: elle influence les phénomènes biologiques qui, à leur tour, modifient les conditions chimiques du milieu (dégagement — ou absorption — de gaz carbonique par les êtres vivants, actions dénitrifiantes, etc.). De façon gé-

1. On pourrait faire remarquer que le produit de solubilité de la calcite augmente avec la température dans une eau totalement dépourvue de CO₂, mais ce cas n'a jamais été observé dans la nature.

nérale, des températures élevées sont favorables à la production biologique de gaz carbonique et de radicaux acides divers.

C'est à CORBEL (1957, 1961) que revient le mérite d'avoir montré les conséquences géomorphologiques du caractère favorable, à certains égards, des basses températures sur la dissolution des carbonates. Il a mis l'accent sur l'augmentation du coefficient de dissolution du gaz carbonique dans l'eau lorsque la température baisse, il en a tiré des conclusions géomorphologiques et, après avoir parcouru plusieurs pays d'Europe septentrionale, il a fait aussi une étude sommaire des karsts de l'Est canadien (CORBEL, 1958); ce travail a fait l'objet de commentaires critiques circonstanciés par BÉLAND (1959). Le Canada est certes un endroit de prédilection pour l'étude du rôle du gel sur la dissolution et la précipitation du calcaire. Parmi les roches sédimentaires qui entourent le Bouclier canadien, les calcaires sont présents en bien des places sous des climats divers, de l'Arctique, où ils couvrent quelque 300 000 km², au sud du Saint-Laurent, et des Rocheuses à Terre-Neuve.

Au Québec en particulier, les travaux récents sur des phénomènes de dissolution et de précipitation des carbonates portent aussi bien sur la mer d'Hudson que sur les basses terres du Saint-Laurent. Le présent travail est un essai de mise au point des connaissances actuelles sur ces problèmes dans le Québec et les régions immédiatement voisines; quelques points de repère ont cependant été occasionnellement pris ailleurs au Canada, afin d'éclairer les phénomènes étudiés.

Devant la multiplicité des facteurs de la dissolution, la présente mise au point a été essentiellement limitée à l'influence du gel, particulièrement intéressante à étudier au Québec. Il est évident qu'on ne peut pour autant négliger les nombreux autres facteurs des phénomènes étudiés: précipitations, débits, facteurs lithologiques, etc. En particulier, les travaux recensés nous obligeront à prendre en considération l'influence possible des phénomènes biologiques aux environs de 0°C.

LA DISSOLUTION

Des phénomènes de dissolution des calcaires et des dolomies s'observent en de nombreux endroits au Québec. La dissolution s'exprime directement par les ciselures de la surface de la roche que sont les lapiés et par le développement des cavités souterraines. Des lapiés s'observent, par exemple, sous forme de rigoles mineures dans la région de la Matapédia en Gaspésie, mais aussi sous forme de lapiés de diaclases dans le Grenville au nord d'Ottawa et dans les dolomies du lac Mistassini, etc. FRASER et HENNOCH (1959) et BIRD

(1963) en ont signalé dans l'archipel arctique, donc bien au nord du Québec.

Quant aux cavités karstiques du Québec, on trouvera une longue liste des travaux qui leur ont été consacrés dans la remarquable bibliographie de BEAUPRÉ et CARPENTIER (1976). Enfin, des pertes de rivières actuellement fonctionnelles ont été signalées dans la baie d'Ungava, sur l'île d'Akpatok par COX (1932, cité par BIRD, 1963).

Certes, tous ces phénomènes peuvent provenir d'actions de dissolution anciennes; ils ne prouvent pas qu'elle est actuelle; dans leur majorité, toutefois, ils sont presque certainement postglaciaires.

En ce qui concerne la situation actuelle, des analyses encore inédites d'air et d'eau dans la région du lac Mistassini (lat. 51°N) montrent que l'air du sol et des fissures de lapiés est susceptible de fournir à l'eau, en été du moins, une quantité de gaz carbonique capable de provoquer une dissolution non négligeable, sans être spectaculaire (C. Ek et M. Bouchard, inédit).

Si la dissolution est présente à peu près partout où affleurent des roches carbonatées, il est clair cependant qu'elle n'est en général pas très intense, surtout dans les régions les plus septentrionales. C'est la conclusion de BIRD (1963) à sa synthèse *Limestone terrains in southern Arctic Canada*: «*nowhere does karst in the accepted sense of the term develop*». L'extrême-nord du Québec même est un peu moins bien placé pour ce type d'observation, vu la relative rareté des calcaires en place. Et, malgré les nombreuses observations de Bird sur la dissolution, minime et très superficielle, on s'étonne qu'il se rallie à l'opinion de J. Corbel et écrive: «*The saturation equilibrium of carbon dioxide increases with decreased temperature so that at 0°C it is twice as great as at 25°C. Consequently, chemical weathering is greater in polar areas than in the tropics*». Ceci consiste à reprendre à son compte la conclusion erronée de J. Corbel; la quantité de CO₂ dans l'eau double en effet, à pression égale de CO₂ dans l'air surincombant. Or la pression de CO₂ dans l'air, et en particulier dans l'air du sol, des fissures et des cavités, diminue dans les régions froides du fait de la diminution de la végétation. Le raisonnement est donc incorrect. De plus, la quantité d'eau en contact avec le calcaire est beaucoup plus variable que le coefficient de dissolution du CO₂, et la quantité d'eau joue dès lors dans les variations climatiques de la dissolution un rôle beaucoup plus important.

Dans le sud du Québec, la dissolution est assez importante. On sait que le Saint-Laurent apporte à la mer 45 t/km² par an de matières dissoutes, ce qui représente 99% de sa charge totale, tandis que les bassins de la mer d'Hudson fournissent 11 t/km², ce qui constitue seulement 57% de la charge totale (MORISAWA,

1968). Évidemment, la comparaison est caduque du fait que les affleurements de calcaire représentent une plus grande fraction du territoire du bassin du Saint-Laurent. Les données chiffrées sont assez rares en cette matière.

En conclusion, les données quantitatives sur la dissolution sont jusqu'ici assez rares, et il est encore impossible d'établir les liens précis entre la dissolution et le gel, aussi bien en ce qui concerne les phénomènes anciens que pour l'époque actuelle. Il n'en est heureusement pas de même, on va le voir, en ce qui concerne la précipitation.

LA PRÉCIPITATION

1. LES PREMIERS TRAVAUX

Une partie des carbonates dissous sont emportés par les cours d'eau jusqu'à la mer. Une autre partie se réprécipite sur le continent sous forme de concrétions très diverses. Les aspects de ces précipitations varient surtout suivant que la réprécipitation du carbonate se fait à la surface du sol, dans un cours d'eau, au sein des sédiments ou d'un complexe pédologique, ou dans des cavités souterraines, etc.

Dans l'Est du Canada, plusieurs chercheurs ont depuis longtemps été attirés surtout par des concrétions carbonatées se présentant actuellement au sein des sédiments quaternaires.

Nous ne remonterons pas plus loin que 1923, date de la publication du travail de KINDLE. En effet, cette étude, peu volumineuse en elle-même (40 p.), comporte une bibliographie de plus de deux cents titres.

Pour Kindle, toutes les concrétions qu'il a examinées sont épigénétiques (postérieures à la sédimentation). Il distingue diverses formes, au sujet desquelles il cite une observation de ARMS (1891): «*each bed has a form of concretion peculiar to itself. You would never, for instance, find a circular disk and a cylindrical claystone imbedded together*».

Les deux auteurs sont en fait d'accord pour lier les formes des concrétions aux caractères du sédiment dans lequel elles se sont développées, et au mode de circulation de l'eau dans le sédiment. Pour expliquer des formes très parfaites, KINDLE (1923, p. 618) fait appel à une matrice homogène et résistant peu à la croissance des concrétions. Il explique des formes irrégulières par de légères différences de résistance à leur croissance dans des directions diverses (p. 623). Il signale l'absence de concrétions là où le drainage est important (p. 624). Certaines concrétions ont des formes très irrégulières, sans symétrie, une surface rugueuse (les *marlekor*); il relie ces caractères à la nature hétérogène et relativement grossière des sédiments encais-

sants (p. 627). En ce qui concerne les facteurs favorables à la genèse des concrétions observées, il observe que les concrétions sont particulièrement abondantes là où deux rivières confluent: les variations de température, dit-il, entraînent des variations de la teneur en CO₂ favorables à des alternances de dissolution et de précipitation. Il ajoute que les *marlekor* sont plus abondantes près de la surface, là où les variations de température sont plus grandes et où, dit-il, il gèle et dégèle six mois par an, tandis que l'évaporation et la percolation alternent durant les six autres mois (p. 627). Les influences organiques sont aussi discutées, et particulièrement le fait que certains organismes accumulent certaines matières minérales qui sont libérées à leur mort, et la relation entre racines et rhizoconcrétions.

Un autre travail d'un grand intérêt est celui de TARR (1935). Ses observations portent sur les dépôts champplainiens de la vallée du Connecticut. L'auteur propose les précisions suivantes quant aux conditions de la genèse des concrétions: a) l'apport du calcaire a pu être d'origine mécanique, chimique et organique; b) le concrétionnement est en partie nettement épigénétique, mais en partie aussi pénécotemporain de la sédimentation; c) la mise en solution du carbonate de calcium s'est probablement effectuée en eau froide, riche en CO₂, et le réchauffement progressif a amené la précipitation du calcaire par évaporation du CO₂; d) ultérieurement, après que la formation ait été attaquée par l'érosion et que l'eau du sol y ait circulé, une nouvelle période de concrétionnement a eu lieu, surtout sur une des faces.

Tel était, sommairement résumé, l'état des connaissances vers 1935. Dans l'Est du Canada, il ne nous semble pas y avoir eu d'autres travaux sur les concrétions intrasédimentaires et sur leurs relations avec le gel durant plusieurs décennies.

2. LES RECHERCHES RÉCENTES

Durant les dernières années, la précipitation du calcaire en relation avec le gel a été étudiée dans des situations extrêmement variées au Canada. BIRD (1963) signale dans l'Arctique une dissolution sous-nivale donnant naissance à des réprécipitations à la face inférieure de plaquettes calcaires éclatées par le gel. Pissart a recueilli sur l'île du Prince-Patrick (T.N.-O.) des cailloux roulés présentant des cristallisations calcaires à leur face inférieure, semblables à celles qu'a décrites en France CAILLEUX (1965). Nous avons observé au nord de Hull des concrétions sous-glaciaires (F. Bauer en avait décrit dans les Alpes en 1961). Mais l'essentiel des travaux à signaler dans le domaine de la précipitation en relation avec le gel dans l'Est canadien concerne les concrétions observées au sein des sédiments meubles de la fin du Quaternaire.

Peut-être est-il bon de rappeler que, dans les régions à substratum calcaire ayant subi des glaciations, la moraine de fond, généralement calcaire, présente deux maxima de teneur en carbonates: l'un dans les matériaux grossiers, l'autre dans la fraction fine (moins de 75 μ ; travaux de DREIMANIS, 1961, dans le sud de l'Ontario). La fraction de 1 à 10 μ comporte fréquemment 10 à 30% de calcaire: c'est le «calcaire actif» des pédologues.

Dreimanis attribue le minimum intermédiaire, dans la fraction sableuse, à la trituration par les grains de quartz. On peut se demander si la fraction fine n'est pas aussi en partie de reprécipitation: la fraction «sableuse» de la partie calcaire du dépôt a pu être aisément dissoute et une recristallisation expliquerait bien, nous semble-t-il, les courbes granulométriques présentées par DREIMANIS (1961), ce qui pourrait se vérifier par l'examen microscopique des fractions fines.

GADD (1971) a décrit des concrétions calcaires dans les sédiments varvés du lac Deschaillons (basses terres du Saint-Laurent, rive sud). Ces concrétions discoïdes, pouvant atteindre 23 cm de diamètre, sont localisées dans les couches claires (d'été) des varves. D'après ses observations de terrain, Gadd attribue l'induration des concrétions à la mise en affleurement des varves (p. ex. par l'incision d'un ravin ou par l'érosion des berges d'un cours d'eau): la face exposée se desséchant, les carbonates se concentrent dans les couches les plus poreuses par évaporation de l'eau du sol; la suite de l'assèchement provoque des fentes verticales et, le long de ces fentes, la percolation de l'eau de surface exerce au contraire une action dissolvante, attaquant le long des plans de fissure, les plaques de carbonates, émoussant leurs bords et les arrondissant en forme de disques.

Des concrétions discoïdes dans un sédiment glaciolacustre ont été étudiées aussi par CAILLEUX et DIONNE (1972; voir aussi DIONNE et CAILLEUX, 1972). Ceux-ci leur attribuent une tout autre origine. Comme les concrétions observées par ces auteurs sont faillées et nettement consolidées (ou reconsolidées) après fracturation, ils en déduisent que: 1) les concrétions faillées étaient déjà cohérentes au moment des fractures, sans quoi elles se seraient déformées (ce qui est le cas de quelques-unes); 2) que le sédiment encaissant était alors au moins partiellement consolidé lui aussi par le gel, sans quoi les concrétions auraient basculé dans le sédiment sans se briser; ce sédiment est actuellement meuble. Les auteurs attribuent les failles à la fusion de masses de glace dans le sol (glace de ségrégation ou glace morte) et la précipitation du calcaire, qui a eu lieu avant et après ces failles, s'est donc faite en milieu froid; la dissolution du calcaire est attribuée

«aux eaux de fonte, riches en CO₂»². Si nous croyons devoir maintenir nos réserves sur la richesse en CO₂ des eaux de fonte, il n'en est pas moins clair, d'après les très belles observations de Cailleux et Dionne, que les concrétions qu'ils ont étudiées ont dû se former à une température très proche de 0°C, comme le soulignent ces auteurs. En 1974, GANGLOFF décrit des concrétions calcaires épigénétiques dans les argiles clampilniennes de Châteauguay. Elles résultent du lessivage d'un bourrelet morainique à matrice calcaire fossilisé par ces argiles, et, enfouies jusqu'à 5 m de profondeur, elles témoigneraient de la présence d'un pergélisol tardiglaciaire.

D'autres concrétions calcaires sont décrites en 1975 par CAILLEUX: ce sont celles de la plage de Poste-de-la-Baleine, dans la mer d'Hudson. L'auteur fait une étude statistique des cinq formes observées (concrétions bombées, sphériques, plates, à boursouffures, en pustules). La congélation, entraînant les concentrations des solutions, est invoquée comme origine de ces concrétions. L'auteur ajoute cependant que certains arguments militent en faveur de l'intervention de micro-organismes: l'existence d'un nombre limité (5) de formes principales et l'absence ou la rareté de formes de transition; l'existence de concrétions à boursouffures rappelant certaines dragées algaires et de pustules évoquant des morphologies biologiques; mais tous ces arguments ne sont, comme le souligne Cailleux lui-même, que des comparaisons, et l'observation rapportée de bactéries vivantes dans une des concrétions n'est pas non plus une preuve qu'elles ont contribué à sa croissance; Cailleux rappelle aussi l'intervention de *Bacillus cereus* dans les dendrites de manganeuse (BILLY et CAILLEUX, 1969).

En 1975 paraît un article de HILLAIRE-MARCEL, BOUTRAY (de) et CAILLEUX sur les concrétions calcaires dans les argiles quaternaires du Québec. Cette publication comporte une typologie détaillée des concrétions et une très intéressante comparaison des formes observées dans les dépôts lacustres et dans les dépôts marins. Les auteurs notent que tous les sédiments étudiés ont pu, après leur dépôt, être gelés à un moment ou à un autre. Dans leurs conclusions, les auteurs ne rejettent pas l'action du gel mais, reprenant les arguments de CAILLEUX (1975: voir ci-dessus), y trouvent les présomptions d'une intervention biologique. Plus con-

2. Nous avons rappelé plus haut que l'augmentation du coefficient de dissolution lorsque la température baisse n'implique pas forcément une augmentation de la teneur de l'eau en CO₂. Nous avons montré jadis d'autre part (EK et PISSART, 1965), par voie expérimentale, que le gel de l'eau est à l'origine de précipitations, mais ne donne guère, dans les conditions de laboratoire, d'effets dissolvants au dégel; enfin, sur le terrain (EK, 1964, 1966), nous avons montré que l'eau de fonte des glaciers est peu riche en CO₂.

vaincants en ce sens sont les deux arguments supplémentaires suivants: d'abord, une datation isotopique donne à une concrétion un âge de 8230 ans qui la rend contemporaine (ou pénécotemporaine) des dépôts de la mer de Tyrrell dans lesquels elle se trouve; ensuite, une analyse du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ montre un fractionnement isotopique plus grand que dans les carbonates de précipitation physico-chimique.

En 1975 aussi paraît un article de GANGLOFF sur des concrétions observées au sud-ouest de Montréal dans des dépôts de la mer de Champlain. Gangloff montre que les nodules calcaires observés proviennent du lessivage d'un matériel partiellement calcaire par des eaux phréatiques après le retrait de la mer; les concrétions sont donc épigénétiques. Elles ne peuvent être contemporaines d'un pergélisol car le dernier pergélisol connu est antérieur à la mer de Champlain³.

Nous pensons quant à nous que même en l'absence d'un pergélisol, ou simplement d'un gel intégral du matériel concerné, un refroidissement accompagné du gel d'une partie de l'eau peut très bien expliquer la précipitation du calcaire: le gel partiel entraîne une concentration des carbonates dans les eaux résiduelles; si cette concentration dépasse la limite de saturation, le concrétionnement s'ensuit normalement.

CONCLUSIONS

La revue de la littérature montre à l'évidence que si les phénomènes de dissolution du calcaire existent dans l'Est du Canada, et jusque dans l'Arctique, ils n'y sont cependant pas très spectaculaires. Au Québec, en particulier, aussi bien les phénomènes anciens que les phénomènes actuels, en surface surtout, apparaissent jusqu'ici peu intenses par rapport à d'autres régions, et ceci est évidemment en relation avec les conditions de la morphogénèse quaternaire: la couverture de glaciers, le rabotage de la surface par ceux-ci, le peu de temps dont a disposé l'eau courante pour exercer son action, la couverture d'une grande partie des régions favorables à une éventuelle karstification par les dépôts de la mer de Champlain...

En somme, les circonstances ont pu être favorables avant la dernière invasion glaciaire, mais on ne peut guère avoir d'espoir d'en retrouver des effets que sous terre, et jusqu'ici les découvertes sont peu nombreuses à cet égard (peut-être à cause de l'obstruction des cavités). Et, depuis la fin de la dernière invasion glaciaire, les conditions n'ont pu être favorables que dans deux circonstances géologiquement très brèves: d'abord au moment même de la fusion de l'inlandsis, qui a dû

fournir une eau de surface extrêmement abondante; ensuite, lorsque la végétation a été assez abondante et active pour fournir de grandes quantités de dioxyde de carbone à l'air du sol, et par là aux eaux de ruissellement et d'infiltration.

Mais tout ceci est loin de diminuer l'intérêt et l'importance des recherches sur la dissolution. En effet, si celle-ci est souvent modeste, elle paraît cependant omniprésente grâce aux manifestations de son corollaire, la précipitation.

Dans la région étudiée, on a en effet observé, comme nous l'avons rapporté plus haut, des concrétions sous-glaciaires, des concrétions paraissant s'être formées à proximité immédiate d'un pergélisol, des concrétions aussi qui semblent postérieures à tout pergélisol; on a signalé des concrétions dans des sédiments marins et d'autres dans des dépôts continentaux. Toutes ces variétés ont un trait commun: c'est d'être, sous un faible volume, présentes sur des étendues assez grandes, parfois très grandes. Il y a donc eu assurément, à plusieurs moments — sinon en permanence — depuis le début de la dernière déglaciation, des périodes où du calcaire dissous s'est précipité, le plus souvent sous forme de nodules de dimensions modestes, mais très nombreux.

Un autre trait général de ces concrétions est que, dans l'ensemble, et vu l'évidence paléo-climatique, elles sont de climat frais ou froid, et beaucoup ne peuvent dater que de périodes où le gel était fréquent. Nous avons déjà dit pourquoi ce fait ne nous étonne pas. Il confirme des idées et des observations publiées par CAILLEUX en 1964 et 1965 en particulier et des expérimentations de la même époque (EK et PISSART, 1965).

La recherche des conditions et des processus de ces phénomènes est en progrès très rapide au Québec. Les travaux de Cailleux et Dionne, de Boutray (de) et Hillaire-Marcel et de Gangloff en témoignent; l'emploi des méthodes isotopiques annonce des résultats concrets dans un proche avenir (voir entre autres les recherches de BERNER, 1968 et EHLIN, 1973).

Nous ne pouvons nous dérober ici au problème des rapports du concrétionnement avec l'activité biologique: trop de travaux récents y font allusion. Ces relations sont elles aussi éclairées sous un jour nouveau par les études des rapports isotopiques (voir EHLIN, 1974). Il y a un lien étroit entre la production organique d'acides — et en particulier la production de CO_2 — et la dissolution des carbonates. Nous l'avons écrit nous-même à plusieurs reprises. Mais plusieurs articles récents mettent les formes mêmes des concrétions en relation directe avec des êtres vivants. Sur ce point, les conclusions d'un travail de DEVÈZE et DUBOUL-RAZAVET (1957) nous paraissent devoir être rappelées:

3. GANGLOFF (1970, 1973) a d'autre part signalé aussi des précipitations d'oxydes de fer dans des matériaux tardiglaciaires ou périglaciaires du Québec.

il ne faut ni sous-estimer ni exagérer ni déformer le rôle des bactéries et du monde vivant en général: la vie influence les conditions physico-chimiques du milieu, et ce sont le plus souvent celles-ci qui jouent ensuite le rôle direct essentiel dans la dissolution et la précipitation des carbonates.

(Manuscrit déposé le 13 juillet 1977)

BIBLIOGRAPHIE

A. Concernant le Québec et les régions voisines

- ARMS, J. M. (1891): Clay concretions of the Connecticut River, *Can. Rec. Sci.*, vol. 4, p. 237-241.
- ARMS-SHELDON, J. M. (1900): *Concretions from the Champlain clays of the Connecticut Valley*, Boston, Cambridge Univ. Press, 45 p.
- BEAUPRÉ, M. et CARPENTIER, R. (1976): *Les karsts et les cavernes du Québec: bibliographie*, Soc. qué. de spéléol., Coll. Documents, 77 p.
- BÉLAND, J. (1959): Au sujet des karsts de l'Est canadien (commentaires de l'article de Jean Corbel sur ce sujet), *Cah. Géogr. Qué.*, vol. 5, p. 129-131.
- BIRD, J. B. (1963): Limestone terrains in southern Arctic Canada, *Proc. Permafrost Int. Conf. Purdue*, p. 115-121.
- CAILLEUX, A. (1975): Concrétions calcaires sur les plages de Poste-de-la-Baleine, Nouveau-Québec, *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 29, p. 159-160.
- CAILLEUX, A. et DIONNE, J.-C. (1972): Concrétions calcaires quaternaires dans le parc des Laurentides, *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 26, p. 361-379.
- CORBEL, J. (1958): Les karsts de l'Est canadien, *Cah. Géogr. Qué.*, vol. 4, p. 193-216.
- COX, I. H. (1932): The physical geography of Akpatok Island, in Clutterbuck H., *Geogr. Journ.*, vol. 80, p. 224-227.
- DIONNE, J.-C. et CAILLEUX, A. (1972): Faulted calcareous concretions in Pleistocene sediments, *Journ. Geol.*, vol. 80, p. 744-748.
- DREIMANIS, A. (1961): Tills of Southern Ontario, p. 80-96, in: *Soils in Canada*, Roy. Soc. Can., Spec. publ. n° 3, Univ. of Toronto Press, 240 p.
- FRASER, J. K. et HENNOCH, W.E.S. (1959): *Notes on the glaciation of King William Island and Adelaïde Peninsula, N.W.T.*, Geogr. Branch Paper 22.
- GADD, N. R. (1971): *Pleistocene Geology of the central St. Lawrence Lowland*, Geol. Surv. Can., Memoir 359, 153 p.
- GANGLOFF, P. (1970): Structures de gélisols reliques dans la région de Montréal, *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 24, p. 241-253.
- (1973): Le milieu morphoclimatique tardiglaciaire dans la région de Montréal, *Cah. Géogr. Qué.*, vol. 17, p. 415-448.
- (1974): Les concrétions calcaires des argiles champlainiennes de Châteauguay, *Ann. ACFAS*, vol. 41, p. 116.
- (1975): Les dépôts pléistocènes et la genèse des concrétions calcaires au sud-ouest de Montréal, Québec, *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 29, p. 133-146.
- HILLAIRE-MARCEL, C., PRICHONNET, G. et de BOUTRAY, B. (1974): Les faciès du Pléistocène marin dans les collines d'Oka, Québec, *Nat. Can.*, vol. 101, n° 2.
- HILLAIRE-MARCEL, C., de BOUTRAY, B. et CAILLEUX, A. (1975): Les concrétions calcaires dans les argiles quaternaires lacustres et marines du Québec, *Colloque sur les croûtes calcaires, Strasbourg*, p. 23-30.
- KINDLE, E. M. (1923): Range and distribution of certain types of Canadian Pleistocene concretions, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 34, p. 609-648.
- TARR, W. A. (1935): Concretions in the Champlain formation of the Connecticut River Valley, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 46, p. 1493-1534.

B. Concernant, de façon générale, le problème traité et les questions connexes

- BAUER, F. (1961): (Dépôts calcaires sous-glaciaires), *Zeitsch. Gletscherk. Glazialgeol.*, 4, n° 3, p. 215-225.
- BERNER, R. A. (1968): Rate of concretion growth, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 32, p. 477-483.
- BILLY, C. et CAILLEUX, A. (1969): Dendrites de manganèse et bactéries, *Sciences-Progress-Découverte*, n° 2413, p. 381-385.
- CAILLEUX, A. (1964): Genèse possible de dépôts chimiques par congélation, *C. R. somm. Soc. Géol. de France*, p. 11-12.
- (1965): Quaternary secondary chemical deposition in France, *Geol. Soc. Amer.*, Spec. Pap. 84, p. 125-139.
- (1969): Ein Beitrag zu Krumbein: über der Einfluss der Mikroflora auf die exogene Dynamik (Verwitterung und Krustenbildung), *Geol. Rundschau*, Band 58, p. 363-365.
- CORBEL, J. (1957): Les karsts du Nord-Ouest de l'Europe, *Inst. des Études rhodaniennes de l'univ. de Lyon (Mémoires et documents)*, vol. 12, p. 1-541.
- (1961): Sur la dissolution du calcaire, *Rev. Géogr. de l'Est*, vol. 4, p. 363-365.
- DEVÈZE, L. et DUBOUL-RAZAVET, C. (1957): Considérations sur la précipitation du calcium dans le milieu marin, *Rev. Inst. Fr. Pétr.*, n° 12, p. 493-500.
- EHLIN, P. O. (1973): Radiocarbon dating of a carbonate concretion, *Geologiska Föreningens i Stokholm Förhandlingar*, vol. 95, p. 398-399.
- (1974): Distribution of carbon isotopes and manganese in some carbonate concretions, *Geologiska Föreningens i Stokholm Förhandlingar*, vol. 96, p. 129-131.
- EK, C. (1964): Note sur les eaux de fonte des glaciers de la Haute-Maurienne. Leur action sur les carbonates, *Rev. belge Géogr.*, t. 88, p. 127-156.
- (1966): Faible agressivité des eaux de fonte des glaciers: l'exemple de la Marmolada (Dolomites), *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 89, p. 177-188.
- (1973): La dissolution du carbonate de calcium, *Bull. Soc. Géogr. Liège*, n° 9, p. 55-87.

- EK, C. et PISSART, A. (1965): Dépôt de carbonate de calcium par congélation et teneur en bicarbonate des eaux résiduelles, *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 260, p. 929-932.
- KRIVAN, P. (1958): Tundrerscheinungen mit Eislinsen in Ungarn, *Földt Közl.*, vol. 88, p. 201-209.
- LEFÈVRE, M., LAPORTE, G. et BAUER, J. (1964): Sur les micro-organismes envahissant les peintures rupestres de la grotte de Lascaux, *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 258, p. 5116-5118.
- MORISAWA, M. (1968): *Streams, their dynamics and morphology*, New York — Toronto, McGraw-Hill, 175 p.
- RISK, M. J. (1976): Bioerosion of carbonates.
- ROQUES, H. (1962): Considérations théoriques sur la chimie des carbonates, *Ann. Spéol.*, vol. 17, p. 11-41.
- (1964): Contribution à l'étude statique et cinétique des systèmes gaz carbonique-eau-carbonates, *Ann. Spéol.*, vol. 19, p. 255-484.
- SCHOELLER, H. (1941): L'influence du climat sur la composition chimique des eaux souterraines vadoses, *Bull. Soc. Géol. France*, t. 11, p. 267-289.
- WILLIAMS, J. (1949): Chemical weathering at low temperatures, *Geogr. Review*, p. 129-135.

SOMMAIRE

Formes et phénomènes périglaciaires en Jamésie, Québec subarctique
JEAN-CLAUDE DIONNE

Discussion d'un karst dans le gypse d'Hillsborough, Nouveau-Brunswick
JACQUES SCHROEDER et SAMUEL ARSENEAULT

Gélifraction des roches humides : approche mathématique
HORACE BERTOUILLE

ESSAI

Dissolution et précipitation des carbonates en relation avec le gel :
essai de mise au point

CAMILLE EK

NOTE

COMPTES RENDUS