

FENTES DE CRYOTURBATION TARDIGLACIAIRES DANS LA RÉGION DE QUÉBEC



Jean-Claude DIONNE, ministère de l'Environnement, Québec *

RÉSUMÉ Des fentes de cryoturbation, découvertes à une quinzaine de kilomètres au nord de Québec dans des formations meubles tardiglaciaires, sises entre 178 et 220 m et appartenant apparemment au complexe morainique d'Adrien-Robert (Saint-Narcisse), sont signalées pour la première fois. Hautes de 40 à 350 cm et larges de 5 à 50 cm, elles sont pour la plupart remplies de matériaux grossiers et se situent de 20 à 60 cm sous la surface du sol. Elles appartenaient à un réseau réticulé dont les unités avaient de 2 à 15 m de côté. Elles se seraient développées en bordure du front de l'inlandsis wisconsinien en retraite, au cours du stade d'Adrien-Robert, soit entre 12 000 et 11 500 ans B. P. La durée de formation des fentes aurait été de 200 à 400 ans, sous climat vraisemblablement humide plus ou moins continental; la température moyenne annuelle de l'air était sans doute inférieure à -5° C. Ces fentes seraient plus jeunes que celles que nous avons rencontrées au sud du Saint-Laurent, dans les formations du complexe morainique des Hautes-Terres appalachiennes, datées de 12 500 B. P. Nous ne possédons pas de preuve de l'existence d'un climat typiquement périglaciaire généralisé à tout le Québec méridional après le recul du front de l'inlandsis au-delà du 48° degré de latitude N., soit vers 10 000 ans B. P.

ABSTRACT *Late-Glacial ice-wedge casts north of Quebec City.* About 15 km. north of Quebec City, occurrence of ice-wedge casts in loose material considered as the eastern extension of the Adrien-Robert (St. Narcisse) moraine system, is reported for the first time. Forty one wedges were discovered in five localities at an altitude of 178 to 220 m. Their dimensions vary from 40 to 350 cm. in depth and 5 to 50 cm. in width; most of them are filled with coarse material and occurred at a depth varying from 20 to 60 cm. They are considered as casts of ancient ice-wedges belonging to tundra polygon networks; according to spacing of wedges, polygon sides probably reached 2 to 15 m. long. It is suggested that permafrost existed at the time of development of the ice-wedges, and was restricted to the margin of the ice sheet, probably during the Adrien-Robert Stage (12 000 to 11 500 years B. P.). Time involved for their formation is estimated at 200 to 400 years; climate conditions at that time are considered humid and more or less continental, with an annual mean air temperature lower than -5° C. These casts are considered younger than those discovered in the Appalachian Highland Front Moraine dated 12 500 years B. P. They do not represent a generalized periglacial climate over southern Quebec after the retreat of the Wisconsin ice sheet north of 48° lat., about 10 000 years B. P.

ZUSAMMENFASSUNG *Spätglaziale Spaltenfrostrisse nördlich der Stadt Quebec.* 15 km nördlich der Stadt Quebec entdeckte man Spaltenfrostrisse in losen spätglazialen Formationen in Höhen von 178 bis 220 m, die man für die östlichen Ausläufer des Adrien-Robert Moränenkomplexes hält. Sie sind 40-350 cm tief und 5-50 cm breit, meist mit grobem Geröll gefüllt, und befinden sich 20-60 cm unter der Erdoberfläche. Sie gehörten zu einem Polygonnetzwerk dessen Seiten 2-15 m betragen, und haben sich am Rande des zurückgehenden Inlandeises, im Laufe des Adrien-Robert Stadiums, d. h. zwischen dem Jahr 12 000 und 11 500 B. P., gebildet. Die Dauer der Formation der Risse wird auf 200-400 Jahre geschätzt und hat wahrscheinlich bei feuchtem kontinentalem Klima stattgefunden. Die jährlichen Durchschnittstemperaturen lagen unter -5° C. Diese Risse sind jünger als die im Süden des St-Lorenz Stromes gefundenen, die dem Moränenkomplex des Appalachenhochlandes angehören (12 500 B. P.). Sie lassen nicht auf ein generelles, periglaziales Klima im südlichen Quebec, nach dem Rückzug des Wisconsin Inlandeises nördlich des 48° Breitengrades um das Jahr 10 000 B. P., schliessen.

* Adresse privée : 2761, rue Valcourt, Québec 10, Québec.

INTRODUCTION

La présence de fentes en coin fossiles dans la région de Québec est connue depuis peu, les premières ayant été découvertes en 1969 (DIONNE, 1970a) dans des dépôts deltaïques et fluvio-glaciaires appartenant au complexe morainique des Hautes-Terres appalachiennes (GADD, 1964) situé à environ 25 km au sud de Lévis, à une altitude de 156 m. De nouvelles découvertes de fentes de cryoturbation fossiles ont été faites, en 1970, à une quinzaine de kilomètres au nord de Québec.

Si personne ne les a encore signalées, plusieurs d'entre elles ont été vues récemment par certains chercheurs, notamment G. TREMBLAY, P. LASALLE et A. CAILLEUX¹. Le caractère éphémère de ces structures apparaissant sur le front de coupes dégagées par l'exploitation industrielle du sable et du gravier, nous incite à les décrire brièvement et à proposer une interprétation paléoclimatique locale.

Malgré les données relativement nombreuses dont nous disposons sur les fentes fossiles du Québec méridional (DIONNE, 1969, 1970a ; GANGLOFF, 1970 ; POIRIER, 1970), leur inventaire demeure trop fragmentaire pour autoriser une interprétation valable à l'échelle de l'ensemble de ce vaste territoire. Certains (GANGLOFF, 1970) ont engagé une discussion audacieuse en se basant sur un très petit nombre de données et de faits, conférant à leur argumentation un caractère très spéculatif. DYLIK (1966, p. 241) rappelle que « la première tâche dans l'interprétation des fentes en coin fossiles consiste à éliminer des structures qui n'ont rien de commun avec le milieu périglaciaire ».

OBSERVATIONS DE TERRAIN

CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU

Les 41 fentes en coin fossiles ont été découvertes dans 10 sites répartis dans 5 localités comprises dans une aire ayant un rayon de 7 km environ, située à une quinzaine de kilomètres au nord de Québec, soit à l'O. de la base militaire de Valcartier, à l'extrémité S. du lac Saint-Charles, à l'E. de Notre-Dame-des-Laurentides, à l'extrémité S.O. du lac Beauport et à 5 km à l'O. de Stoneham (fig. 1).

1. Nous avons souhaité fonder nos observations à celles d'autres chercheurs ; certaines difficultés nous ont empêché d'arriver à cette fin. G. TREMBLAY et G. ROBITAILLE ont découvert des fentes près du lac Sergent, en 1968 ; mais à l'époque, peu d'indices sérieux permettaient d'affirmer qu'il s'agissait de véritables fentes de cryoturbation ; les auteurs n'ont jamais fait connaître par écrit leur découverte. De son côté, MACAR (1964, p. 96) a déjà signalé la présence de

Les fentes affectent des formations sableuses et graveleuses sises entre 178 et 220 m d'altitude, soit à la limite de la transgression marine post-glaciaire dans la région de Québec (ELSON, 1969), considérées par LASALLE (1970) comme faisant partie du complexe morainique d'Adrien-Robert (ou Saint-Narcisse), dans son extension présumée vers l'E. Quatre-vingt-cinq pour cent des fentes affectent des formations sableuses (sable fin à grossier) recouvrant et fossilisant des formations graveleuses (gravier petit à gros) d'origine vraisemblablement fluvio-glaciaire. Les formations sableuses sont stratifiées en lits horizontaux ou sub-horizontaux d'épaisseur variable ; elles sont caractérisées par des structures de courants, des microfailles et des turbations. Dans l'unité terminale supérieure, les lits sont plus ou moins horizontaux et contiennent peu de rides de courant et de stratifications entrecroisées, mais on y trouve des lits de limon sableux, ce qui a conduit LASALLE (1970) à l'interpréter comme un dépôt mis en place en milieu pré littoral marin.

À Notre-Dame-des-Laurentides, on rencontre la séquence stratigraphique suivante : en surface, une couche de 40 à 50 cm d'épaisseur, composée de sable moyen à grossier avec petit gravier et gros cailloux épars ; en dessous vient une unité atteignant entre 4 et 5 m d'épaisseur, composée de sable fin à moyen, stratifiée en couches horizontales d'épaisseurs variées ; à la base, une unité de plus de 10 m d'épaisseur, composée de sables fins et de limons gris stratifiés en lits minces évoquant une séquence varvée. On observe dans les sables et dans les limons des turbations. Celles affectant les limons sont visiblement dues à des glissements sous-aquatiques ; celles affectant les sables de l'unité supérieure sont peut-être d'origine périglaciaire mais pourraient être également dues à des différences de densité et à des glissements comme c'est le cas ailleurs au Québec (DIONNE, 1971). De nombreux blocs morainiques parsèment la surface du dépôt.

Au lac Saint-Charles, les formations sont assez complexes, sable et gravier formant des unités tantôt superposées, tantôt juxtaposées. En général, la séquence sableuse affectée par les fentes est coiffée d'une couche de sable grossier avec petit gravier et blocs ; il s'agit probablement de plages et de blocs

fentes de remplissage observées dans le delta de la Sainte-Anne, qu'il considère comme des crevasses de gel dans un pergélisol. Ces fentes minces diffèrent totalement de celles rapportées ici, et à notre avis, n'impliquent pas obligatoirement l'existence d'un pergélisol, mais d'un sol gelé annuellement ; elles ont donc une signification différente des premières avec lesquelles elles ne doivent pas être confondues.

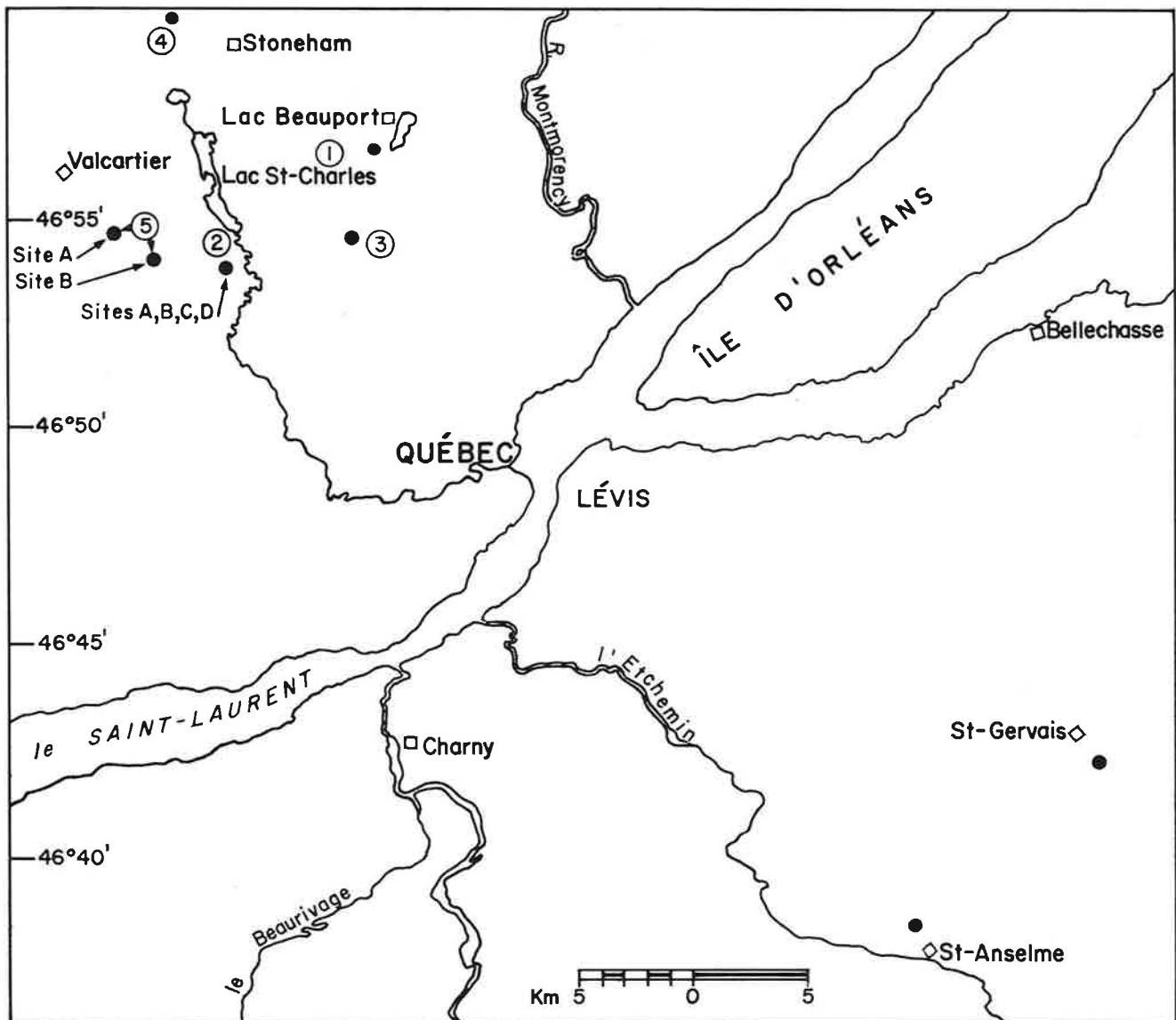


FIGURE 1. Localisation des sites où ont été observées les fentes en coin fossiles au nord de Québec : 1, lac Beauport ; 2, lac Saint-Charles ; 3, Notre-Dame-des-Laurentides ; 4, Stoneham ; 5, Valcartier.

Location map showing ice-wedge casts occurrence north of Quebec City.

glaciels. Les déformations sont fréquentes à divers niveaux. À de rares endroits, sur le versant nord du complexe sédimentaire formant de basses collines allongées et bosselées, l'on trouve des placages de till gris, compact, avec une orientation des cailloux allongés indiquant une poussée N.-S.

À Valcartier, les fentes observées dans la sablière Tremblay (site B) affectent des formations glacio-lacustres, alors que celles de la gravière des Boulevards de Québec (site A) sont dans du fluvio-glaciaire.

Au lac Saint-Joseph, les fentes se rencontrent dans de petites collines sableuses, bosselées, évoquant soit des kames, soit des dépôts mis en place au front du glacier. À certains endroits, on trouve en surface de minces placages de till. À Stoneham, les fentes affectent de petites collines composées de sable et gravier fluvio-glaciaires.

D'après les données disponibles, il paraît difficile d'affirmer avec conviction que ces dépôts complexes (du moins en partie) ont été mis en place au front

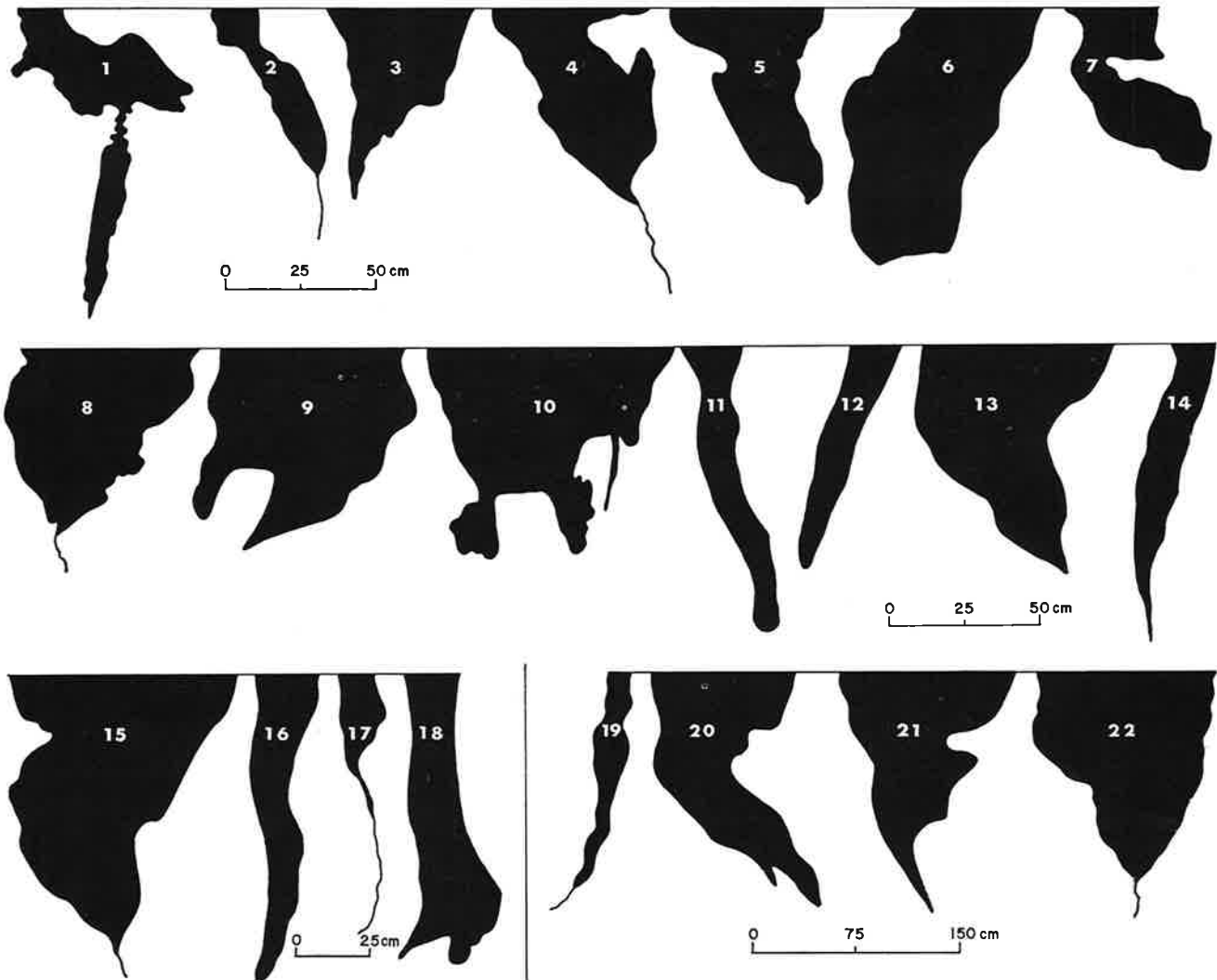


FIGURE 2. Coupes transversales de fentes de cryoturbation fossiles rencontrées au nord de Québec ; nos 1 à 10, site A, lac Saint-Charles ; nos 11 à 13, site C, lac Saint-Charles ; nos 14 et 15, site D, lac Saint-Charles ; nos 16 à 18, Notre-Dame-des-Laurentides ; nos 19 à 22, lac Beauport.

Cross sections of ice-wedge casts as seen in the field north of Quebec City.

de l'inlandsis léché par les eaux de la mer de Champlain. Les dépôts sablo-graveleux entre Valcartier et le lac Saint-Charles sont plaqués en contrebas du versant S. d'une grosse colline rocheuse recouverte de till. Il est permis de se demander s'il ne s'agit pas plutôt de dépôts juxtaglaciaires à la fois fluviaux et lacustres mis en place entre deux masses de glace près du front glaciaire, mais en deçà de ce dernier qui pouvait éventuellement, à l'époque, être déjà baigné par les eaux de la mer de Champlain. Le fragment dit morainique à l'extrémité sud du lac Saint-Charles correspondrait peut-être à un dépôt mis en place au

front d'une langue glaciaire ayant occupé la dépression du Saint-Charles, alors que l'inlandsis se trouvait légèrement au nord.

Quoi qu'il en soit, l'on peut admettre avec LASALLE (1970) que les dépôts affectés par les fentes en coin fossiles font parties d'un complexe sédimentaire marginal à un des fronts glaciaires de l'inlandsis wisconsinien en retraite.

CARACTÉRISTIQUES DES FENTES

La connaissance des principales caractéristiques des fentes en coin s'avère indispensable à une inter-

prétation valable, comme le soulignent à juste titre DOSTOVALOV et POPOV (1966, p. 105) : « *Shape and texture of ice-wedges reveal the environmental conditions on which their development depends.* » Il serait fastidieux de décrire chacune d'entre elles ; aussi, tenterons-nous de condenser la partie descriptive en faisant ressortir les caractères les plus significatifs de l'ensemble d'entre elles (voir aux légendes des photos et en annexe le détail de leur description).

1. *Morphométrie* — La majorité des fentes épouse la forme d'un coin effilé vers le bas et évasé vers le haut (fig. 8 à 12, et 17). Certaines coupes font voir des formes massives plus ou moins dissymétriques (fig. 2, et 18 à 21) qui rappellent étrangement les fentes décrites par BLACK (1965) pour le Wisconsin et par PÉWÉ *et al.* pour l'Alaska. Toutefois, l'aspect massif apparent des fentes de Québec résulte en majeure partie de l'obliquité des coupes transversales. Lorsqu'on les creuse, on constate qu'elles sont beaucoup plus étroites qu'en apparence et qu'elles se rapprochent de la forme classique des coins de glace. Il convient donc d'être prudent et de s'assurer de coupes transversales perpendiculaires à l'allongement en plan horizontal. La base des fentes est parfois arrondie (fig. 10), mais le plus souvent en pointe ; certaines se prolongent à la base par d'étroites fissures de 5 à 10 mm de largeur avec ou sans remplissage, mais habituellement avec coloration rouille due à l'oxydation des composés ferreux (fig. 9 et 13).

Les fentes sont en très grande majorité droites ou verticales et recoupent plus ou moins à angle droit les strates encaissantes horizontales ou subhorizontales. Quelques fentes cependant sont légèrement inclinées, voire entre 5° et 15° (fig. 11 et 16) ; d'autres présentent, en coupe verticale, un tracé faiblement sinueux et quelques-unes sont caractérisées par des étranglements (fig. 19).

La majorité des fentes s'évasent vers le haut et plusieurs disparaissent progressivement dans la couche superficielle ; dans d'autres cas, elles viennent buter contre l'horizon pédologique.

2. *Remplissage* — Les fentes sont pour la plupart remplies de sable grossier, de granules et de petit gravier. Quelques-unes contiennent également des cailloux épars de 2 à 15 cm de diamètre. Plus de 50% des fentes contiennent exclusivement du sable grossier, alors que les couches encaissantes sont en majeure partie composées de sable fin et moyen. Quelques fentes sont remplies de sable moyen, d'autres de gravier. Dans celles contenant des cailloux, ceux-ci sont concentrés principalement dans la moitié supérieure (fig. 8, 13 et 18). On remarque fréquemment que, dans la partie sommitale, les couches plongent vers le centre des fentes.

Dans la plupart des cas, le matériel de remplissage provient de l'horizon superficiel et des couches coïncidant avec le sommet des fentes. Quelques analyses granulométriques (fig. 3 à 5) indiquent la dimension et le triage des sédiments et permettent d'établir des comparaisons entre les matériaux de remplissage et ceux des couches encaissantes. D'une manière générale, on peut dire que le matériel des diverses couches encaissantes est assez bien trié ; celui de la couche superficielle est plus hétérogène et contient une fraction importante de granules, de petit gravier et de cailloux de plus de 2 cm ainsi que des blocs. Le matériel de remplissage des fentes est habituellement plus grossier, plus hétérogène et moins bien trié que celui des couches encaissantes. Un examen sommaire des grains permet d'affirmer qu'ils sont tous cristallins, qu'ils sont anguleux dans une proportion de 90% pour les sables grossiers et de plus de 95% pour les sables moyens et fins, qu'ils sont composés de 60 à 70% de quartz, de 15 à 25% des feldspath et de 10 à 15% de mica. Dans les sables fins, la proportion de mica peut atteindre 25%.

Dans les fentes contenant des cailloux allongés, la plupart d'entre ceux-ci sont fortement redressés voire même verticaux ; ce qui indique une chute par gravité et non un redressement *in situ* lié au froid, car les cailloux des couches encaissantes sont rarement redressés.

Le contact entre les fentes et les strates encaissantes est, en général, net et souvent souligné par une mince couche (quelques millimètres) oxydée (fig. 12, 13 et 21). Dans près de la moitié des cas, on trouve, au contact immédiat des fentes, des couches recourbées soit vers le haut, soit vers le bas. Quelquefois certaines couches plongent vers le bas d'un côté de la fente et sont recourbées vers le haut de l'autre. À quelques endroits, les couches encaissantes, au voisinage de la fente, sont fortement turbées, voire même plissées (fig 13). Aux sites A et D du lac Saint-Charles, les déformations abondent dans le premier mètre de sable et de limon sableux. Une partie de ces turbations pourrait être d'origine périglaciaire ; une autre partie serait vraisemblablement des structures liées à des surcharges et à des glissements en masse (DIONNE, 1971).

Dans les sablières de Valcartier, quelques fentes sont accompagnées de microfailles multiples, en particulier dans leur moitié inférieure (fig 15). Dans un cas, une faille affecte la fente elle-même. Ce type de fente rappelle étrangement les fentes fossiles de Pologne (DYLIK, 1966, pl. 6).

3. *Dimensions* — En comparaison des fentes du Wisconsin (BLACK, 1965), de l'Alaska (PÉWÉ *et al.*,

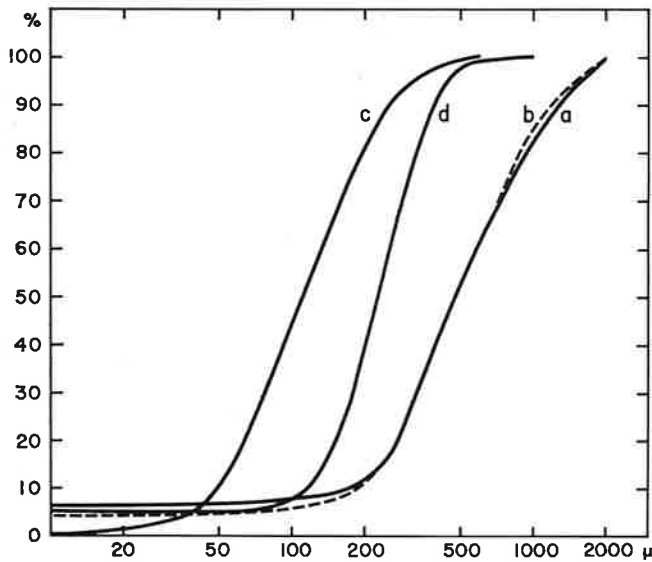


FIGURE 3. Courbes granulométriques des matériaux d'une fente en coin fossile (celle de la fig. 13) et des couches encaissantes du site A, au lac Saint-Charles : a, moitié inférieure de la fente ; b, couche sommitale ; c, couches encaissantes de la partie inférieure de la fente ; d, couche encaissante située à mi-hauteur de la fente.

Grain-size curves for an ice-wedge cast and host layers material (the one at fig. 13), site A, Lake St. Charles : a, lower section of wedge ; b, top layer ; c, host layers of lower section of wedge ; d, host layer located at mid-height of wedge.

1969) et du Groenland (CORTE, 1962), celles de la région au nord de Québec sont dans l'ensemble relativement petites. Les plus grandes atteignent 350 cm de profondeur (H), les plus petites 40 cm. La profondeur médiane est de 105 cm, avec un Q_1 de 80 cm et un Q_3 de 125 cm. Quarante-quatre pour cent des fentes ont entre 40 et 90 cm de profondeur, 44% entre 100 et 190 cm, et 12% entre 200 et 350 cm.

La largeur maximale des fentes varie de quelques centimètres pour les fentes minces à 90 cm pour la fente la plus large observée dans la sablière Tremblay (fig. 15) ; la grande largeur de cette dernière est attribuable à des affaissements latéraux parallèles à la fente centrale qui mesure seulement de 30 à 35 cm. Pour l'ensemble des 41 fentes, la largeur maximale moyenne donne une médiane de 25 cm, avec un Q_1 de 20 cm et un Q_3 de 30 cm ; 24,3% des fentes ont entre 5 et 15 cm de large, 24,3% entre 20 et 25 cm, 36,6% entre 30 et 35 cm et 14,6% entre 40 et 45 cm. Les fentes fines (quelques millimètres), prolongeant certaines fentes vers le bas, ne sont pas incluses dans ces données.

La largeur apparente de certaines fentes (fig. 14, et 18 à 21) excède la largeur réelle. Il importe de ne

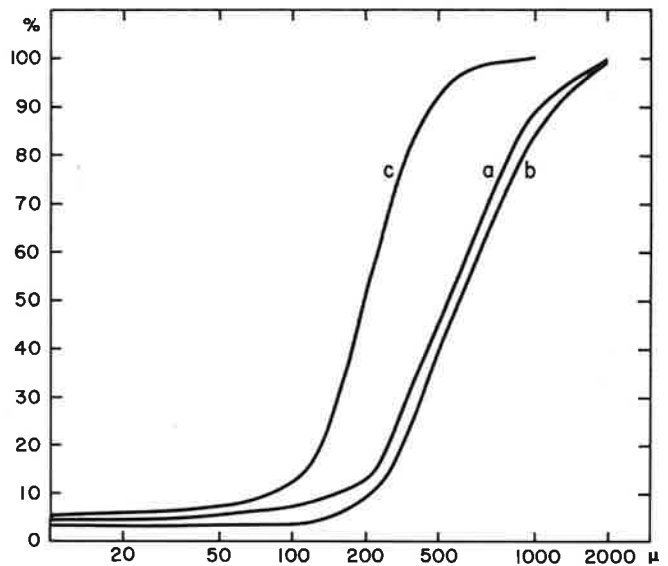


FIGURE 4. Courbes granulométriques des matériaux d'une fente en coin fossile (celle de la fig. 11) et des couches encaissantes du site A, au lac Saint-Charles : a, couche sommitale ; b, moitié inférieure de la fente ; c, couches encaissantes de la partie inférieure.

Grain-size curves for an ice-wedge cast and host material (the one at fig. 11), site A, Lake St. Charles : a, top layer ; b, lower section of wedge ; c, host layers of the lower section.

pas confondre les deux, car cela modifie le temps requis pour leur formation. La largeur apparente est indiquée entre parenthèse dans l'Annexe.

Bien que nous ayons fait reculer quelques fentes sur une distance de 30 à 50 cm afin de vérifier leur prolongement dans la troisième dimension, nous ne possédons aucune donnée sur la longueur.

Vu la nature des coupes pratiquées tantôt dans une direction, tantôt dans une autre, la distance séparant les fentes se révèle assez difficile à évaluer. Toutefois, au site A du lac Saint-Charles, 6 fentes apparaissant sur le front d'une coupe sont distantes les unes des autres de 8, 4,5, 2, 6 et 4,5 m. À la sablière Tremblay, à Valcartier, 3 fentes voisines sur une même coupe sont distantes de 4,5 et 6 m. Ces quelques valeurs renseignent sur les dimensions approximatives probables des polygones.

4. Profondeur des fentes par rapport à la surface —

La majorité des fentes fossiles débute sous l'horizon pédologique, soit à une profondeur de 30 à 50 cm ; quelques-unes débutent près de la surface, d'autres entre 50 et 60 cm, et une seule à 70 cm de profondeur. Dans un même site, les fentes débutent, en général, à

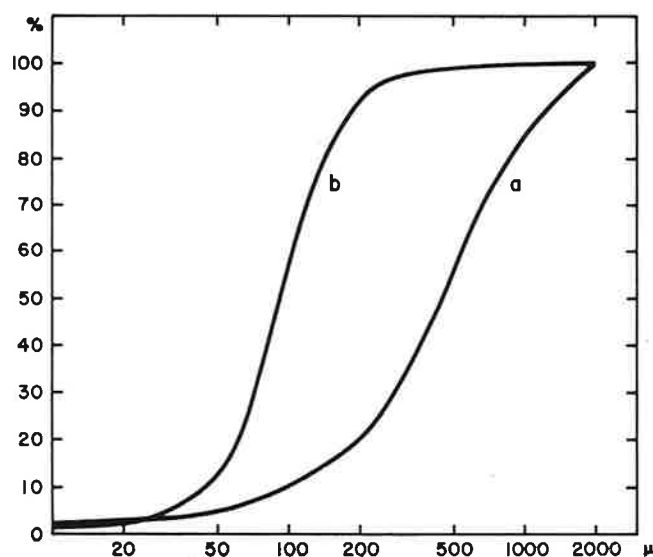


FIGURE 5. Courbes granulométriques des matériaux : a, d'une fente en coin fossile (celle de la fig. 14) ; et b, des couches encaissantes ; lac Saint-Charles.

Grain-size curves for : a, an ice-wedge cast ; and b, host layer material (the one at fig. 14) ; Lake St. Charles.

peu près au même niveau ; on constate parfois un écart d'environ 10 à 15 cm. Au total, 2,5% des fentes apparaissent à 20 cm de la surface ; 27,5% débutent à une profondeur comprise entre 30 et 40 cm, 60% à une profondeur entre 40 et 50 cm et 10% à une profondeur entre 50 et 70 cm.

5. *Les types de fentes fossiles* — En regard de leur forme et de leurs dimensions, l'on peut grouper les fentes de cryoturbation reliques de la région de Québec en cinq catégories : a) des fentes profondes, droites et relativement étroites, affectant des formations graveleuses et sableuses ; le rapport hauteur/largeur (H/L) est compris entre 5/1 et 4/1 (fig. 6 à 8, et 10) ; b) des fentes courtes et relativement larges affectant surtout des formations sableuses ; rapport H/L de 3/1 à 2/1 environ (fig. 12 et 17) ; c) des fentes étroites, profondes ou courtes, exclusives aux formations de sable fin à moyen, souvent accompagnées de microfailles ; rapport H/L supérieur à 6/1 (fig. 16) ; d) des fentes massives, en forme de poche, plus ou moins dissymétriques, généralement remplies de sable grossier avec une fraction de granules et de petit gravier dans la moitié supérieure ; rapport apparent H/L compris entre 1,5/1 et 1/1,5 ; ces fentes massives correspondent souvent à des coupes obliques (fig. 14, et 18 à 21) ; e) des fissures verticales ou inclinées, avec ou sans remplissage, généralement oxydées (fentes fines de CAILLEUX, 1970, et de MACAR, 1958), dont l'origine, à notre avis, n'est pas forcément liée à la présence d'un pergélisol et que nous ne décrivons pas ici, même si on les rencontre fréquemment dans les sites étudiés.

SIGNIFICATION PALÉOCLIMATIQUE

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Les fentes en coin fossiles constituent de précieux indicateurs paléoclimatiques et stratigraphiques (MOSKVITIN, 1940 ; BLACK, 1965 ; PÉWÉ, 1966a, 1966b ; DYLIK, 1966 ; DYLIK et MAARLEVELD, 1967). Il convient toutefois de distinguer trois grandes catégories de fentes : celles avec remplissage de glace, celles à remplissage initial de sable, et celles à remplissage initial de terre, car leur signification morpho-climatique diffère. Les premières se rencontrent dans des endroits humides ou enneigés l'hiver, les secondes dans des régions sèches, les deux se développant dans un pergélisol ; la troisième catégorie de fente se rencontre dans un sol gelé annuel. Ces trois types de fentes sont dues à l'action du froid qui implique au sol des mouvements de contraction.

Le mécanisme de la fissuration et de la formation des polygones avec coins de glace, défini d'abord par von BUNGE (1884), et ensuite par plusieurs auteurs dont LEFFINGWELL (1915 et 1919), BLACK (1963) et LACHENBRUCH (1962 et 1966), est aujourd'hui admis par la plupart des spécialistes ; la théorie de TABER (1943, p. 1524-1527) et de SCHENK (1966) ne rencontrant la faveur que de rares adeptes. Selon LACHENBRUCH (1962, p. 56), « *ice-wedge polygons evidently form in response to thermal tension set up in the frozen ground by its tendency to contract during the cold Arctic winter. The polygonal tension cracks, formed in winter, penetrate permafrost to depths on the order of 10 to 20 feet and are sealed by the freezing of water which enters when the surface thaws in early summer. The resulting vertical ice veins are zones of weakness subject to recurrent fracture and growth by repetition of the cycle in succeeding winters* ». D'après DOSTOVALOV et POPOV (1966, p. 102), les conditions requises pour la formation dans le sol de coins de glace sont les suivantes : « a) *Temperature fissures must penetrate into permafrost. b) Filling and cementation of fissures by ice must be possible. c) Frost cracking and cementation of rock by ice must recur periodically in the same places. d) The rock must be a sufficiently large solid mass. e) Processes of thawing must not be stronger than the processes of freezing.* »

Parmi les fentes sans lentilles de glace, il importe de distinguer deux catégories de formes. Les premières, appelées *sand wedges*, ont été décrites entre autres par PÉWÉ (1959), qui les a observées dans l'Antarctique, dans la région de McMurdo caractérisée par un climat très rigoureux et très sec ayant une température moyenne annuelle de l'air de -17° C. Ces fentes, dues à la contraction thermique provoquée par l'onde de froid, sont comblées par du sable soufflé

par le vent et aussi quelquefois dans la partie supérieure par des matériaux plus hétérogènes ayant glissé de la couche de mollisol. Les secondes, appelées *ground fissures*, *soil wedges* ou *ground veins*, ont été décrites par les chercheurs soviétiques (PATALAIEV, 1955 ; DANIVOLA, 1956 ; BOBOV, 1960), qui les ont observées dans des régions relativement sèches de la Sibérie caractérisées par des hivers très rigoureux, une couverture neigeuse mince et des baisses subites et très fortes de températures (plus de 20 degrés), qui permettent la formation de fissures de 1,5 à 2 m de profondeur. Le remplissage s'effectuerait au printemps par les eaux de ruissellement. Ce type de fente se développerait principalement dans la couche de mollisol (POPOV, 1969 ; DOSTOVALOV, 1960), et d'après DANILOVA (1964, p. 94) : « *It occurs under conditions basically similar to those under which ice wedges are formed.* » Les explications offertes par les chercheurs soviétiques ne permettent pas de conclure positivement qu'il s'agit bien d'un type de fente différent de ceux décrits par les Européens et les Nord-Américains.

Des fissures de froid (*frost cracks*), avec ou sans remplissage de glace, peuvent se former dans des régions sans permagel, en autant que la température s'abaisse rapidement d'au moins 20° et que la couverture neigeuse soit très mince ou absente. WASHBURN *et al.* (1963) rapportent la formation de telles fissures à Hanover (New Hampshire), région qui connaît une moyenne annuelle de 6,6°, une moyenne de janvier de -8,1° et un minimum absolu de -39,7°, et dont le climat est considéré comme « *a middle-latitude, humid continental climate with warm summers* » (p. 175).

Des fissures du même genre ont été signalées dans des régions tempérées (BERTOUILLE, 1964) ou plus froides, mais sans pergélisol (HOPKINS et KARLSTROM, 1955, p. 139 ; THORARINSSON, 1964 ; SVENSSON, 1967), et dans des régions avec pergélisol (SVENSSON, 1963 ; RAPP et RUDEBERG, 1964 ; SEPPÄLÄ, 1966). Ce type de fissures étroites, avec ou sans remplissage de glace annuelle, se forme présentement dans le Québec méridional². Bien que liées au froid, elles ne peuvent servir de preuve directe de l'existence d'un pergélisol continu ou discontinu : elles sont caractéristiques d'un gel annuel du sol, d'un hiver froid avec des baisses rapides importantes de température et d'une couverture neigeuse très mince ou absente. Elles commenceraient à se former par contraction thermique par des températures inférieures à -8° ; le froid cessant, elles se referment mais peuvent être réouvertes durant plusieurs années. Dans les endroits propices, certaines fentes peuvent être remplies par des apports éoliens ou nivéo-éoliens.

2. Le phénomène et ses résultats seront abordés ultérieurement.

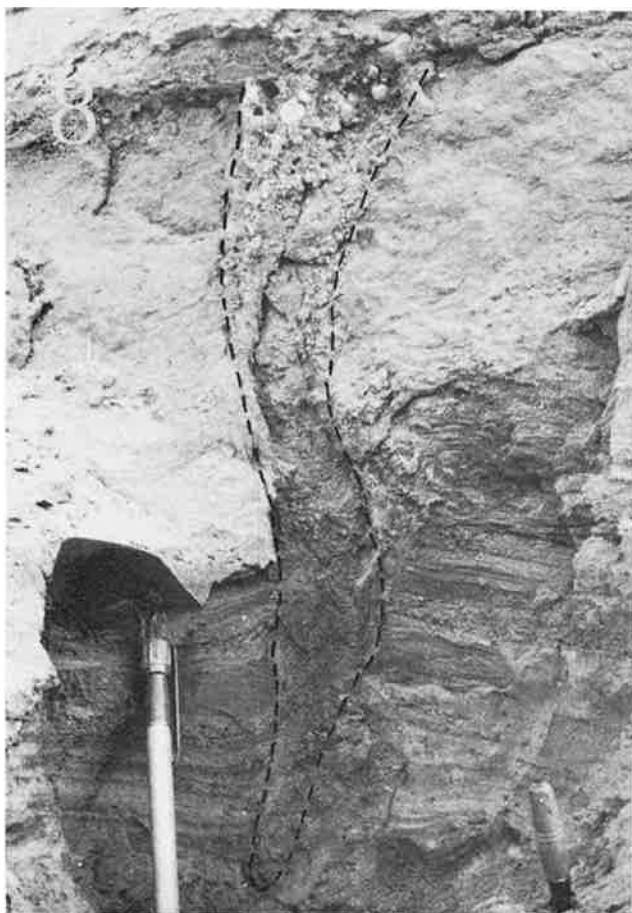
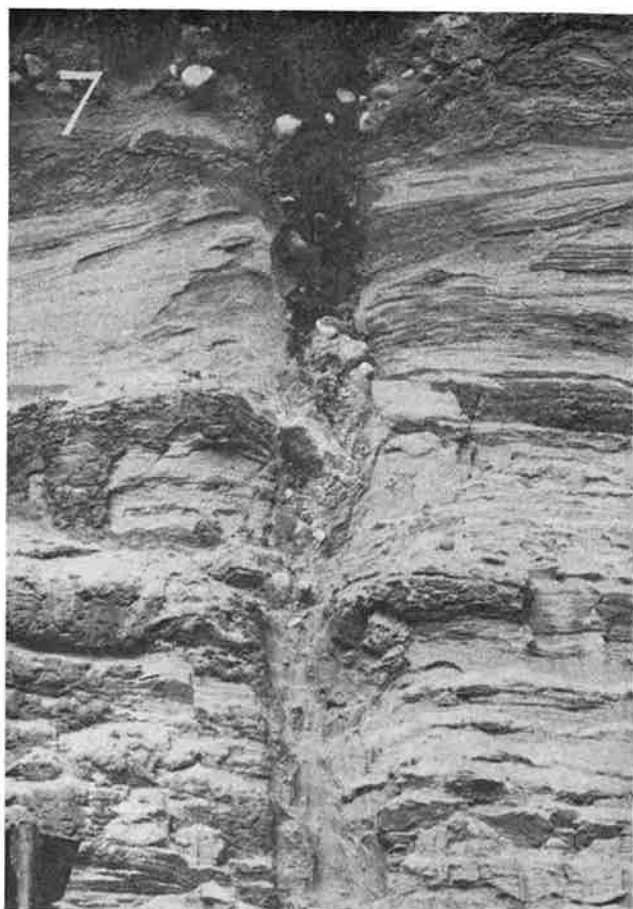
Les fentes en coin actives avec remplissage de glace ou de sable éolien caractérisent les régions à pergélisol dont la plus haute température moyenne annuelle de l'air est inférieure à -5°. Pour DYLIK et MAARLEVELD (1967, p. 17), « *ice fissures imply the presence of permafrost or in other words, a highest mean annual temperature of -2°. More over, it is significative of a thin cover of snow during at least a part of the winter and a cold climate with abrupt falls of temperature* ».

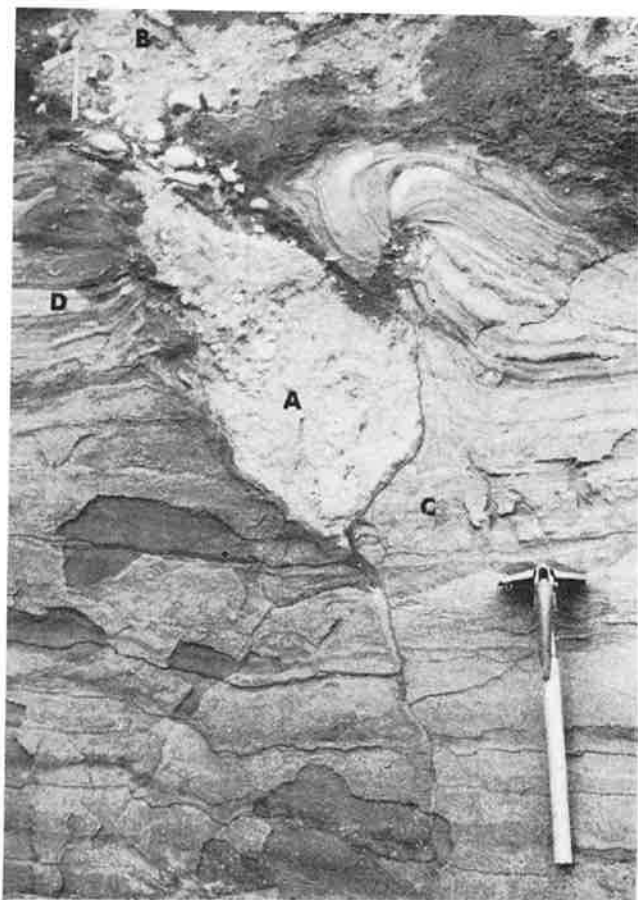
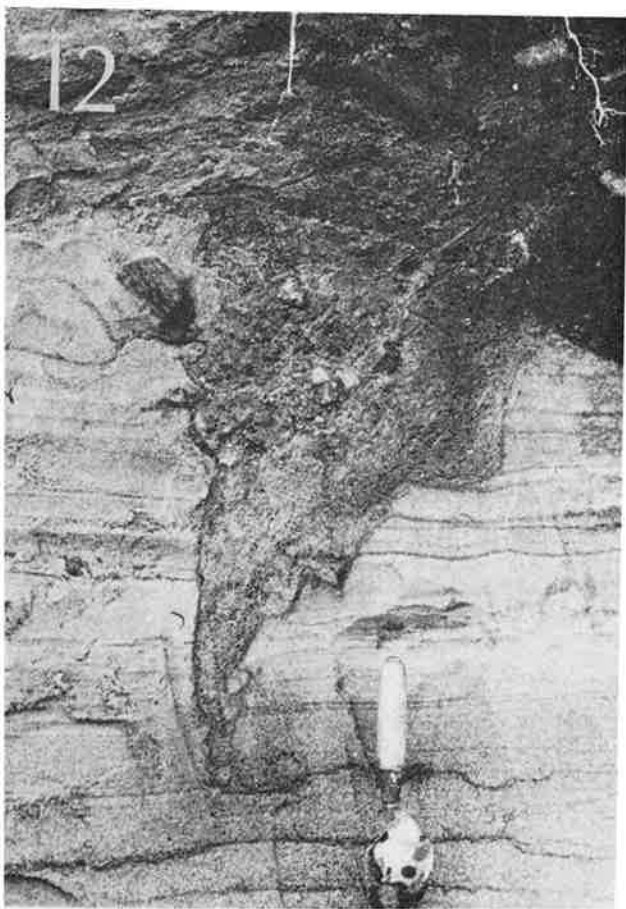
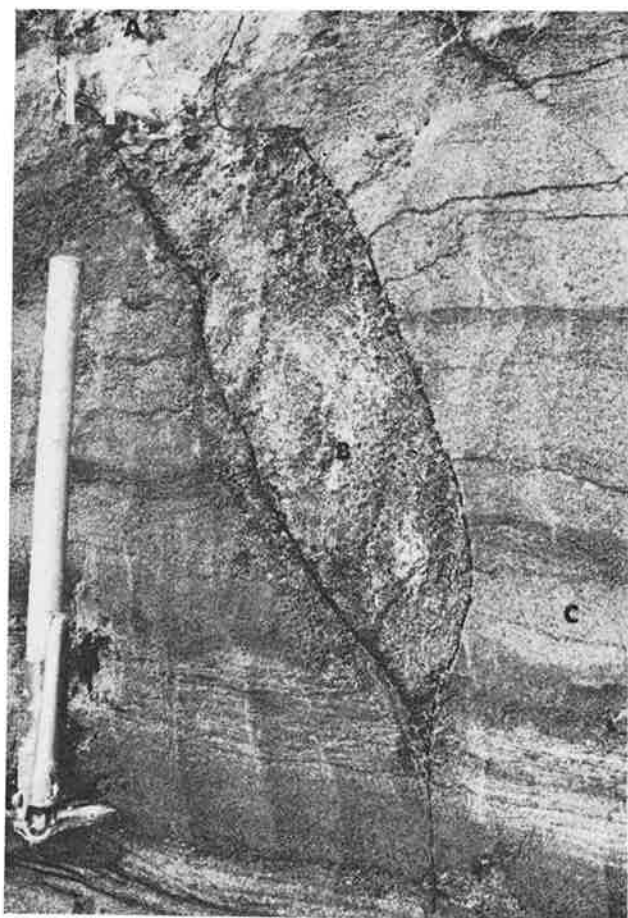
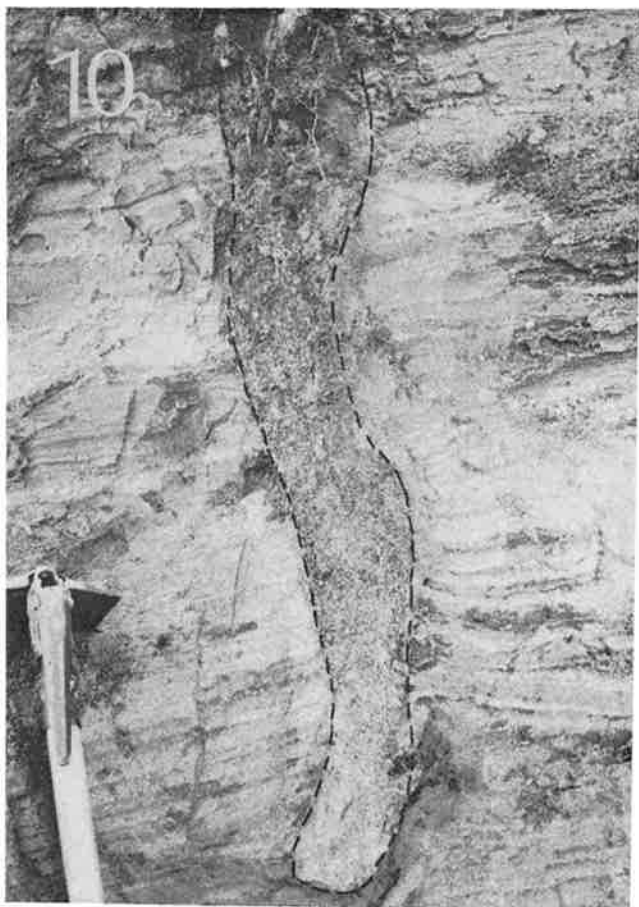
Les fentes actives de l'Alaska rapportées par BLACK (1963), PÉWÉ (1966a, 1966b), PÉWÉ *et al.* (1969), sont localisées dans des zones à climat rigoureux relativement humide et à pergélisol continu ayant une température en surface inférieure à -15°, alors que la température moyenne annuelle de l'air est de -6° à -12°, et celle de janvier inférieure à -22°. L'épaisseur de la couche de mollisol dans cette région varie entre 15 et 125 cm (BLACK, 1963). Les fentes en coin inactives de l'Alaska se rencontrent dans une zone à pergélisol discontinu ayant une température annuelle moyenne de l'air de -3° à -8° (BLACK, 1963 ; PÉWÉ *et al.*, 1969).

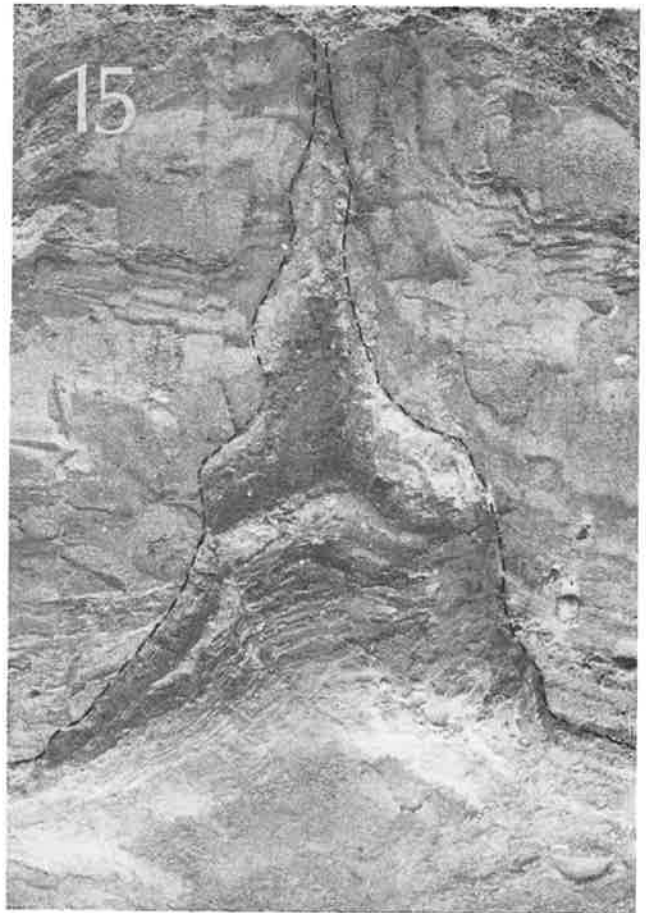
LES FENTES EN COIN DE QUÉBEC

Compte tenu de leurs caractéristiques (remplissage, dimensions, morphométrie, netteté des contacts, couches plongeant vers le bas à l'intérieur des fentes, cailloux redressés, lits recourbés vers le haut ou vers le bas près des parois, présence de microfailles, etc.), les fentes en coin de la région au nord de Québec correspondraient à d'anciens coins de glace de polygones de toundra et non à des fentes du genre *sand wedge* (PÉWÉ, 1959), ou du genre *soil wedges* (PATALAIEV, 1955 ; DANILOVA, 1956 ; BOBOV, 1960), et n'auraient rien de commun avec les fissures de froid annuelles (*frost cracks*) de WASHBURN *et al.* (1963). Elles se seraient formées dans un pergélisol continu ou discontinu. Leur remplissage, actuellement observable, consécutif au réchauffement du climat, aurait résulté de la chute de matériel provenant de la couche de mollisol et des couches encaissantes et possiblement aussi d'apports liés au ruissellement ou à l'infiltration. La nature du remplissage et la netteté des contacts laissent penser que les coins de glace ont fondu avant la disparition complète du pergélisol. Les données du terrain permettent d'affirmer qu'elles appartenaient à des réseaux polygonaux dont certains pouvaient atteindre entre 2 et 15 m de diamètre.

D'après LACHENBRUCH (1962, p. 6), « *ice wedges occur in permafrost, the top of which lies beneath a seasonally thawed layer, 8 inches to 3 or more feet thick* » ; la profondeur à laquelle on trouve les fentes







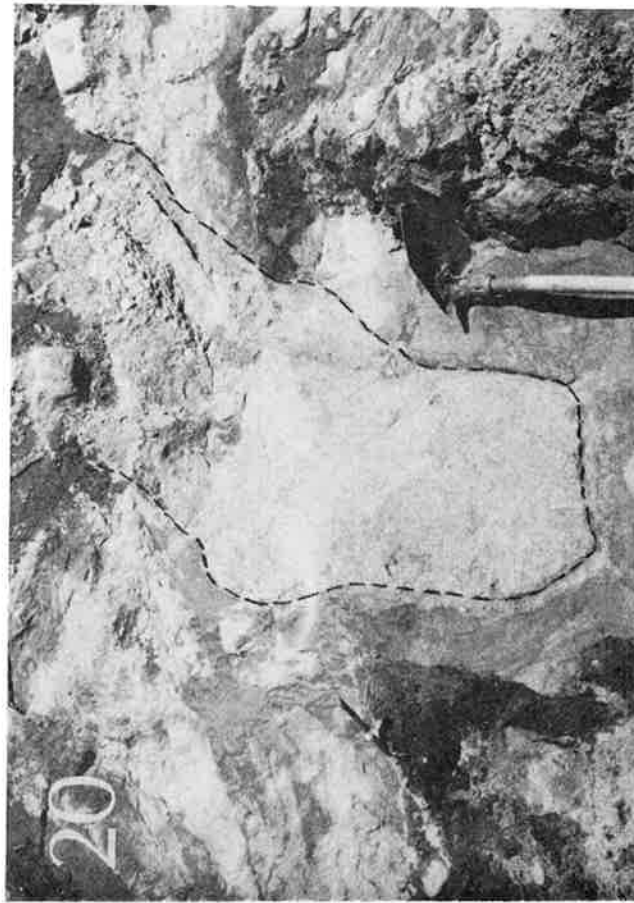
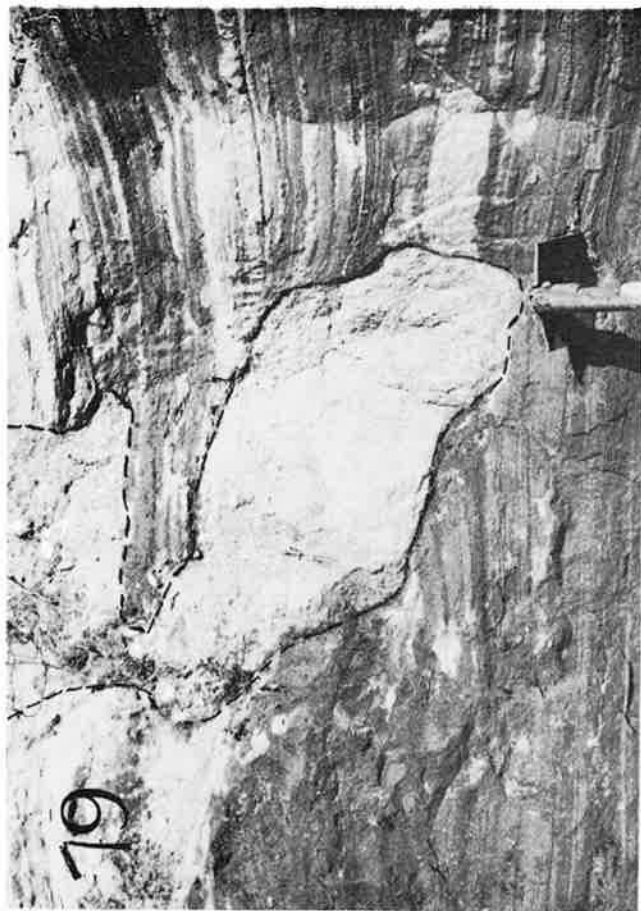


FIGURE 6. Fente en coin dans des graviers fluvio-glaciaires, profonde, verticale et relativement étroite; remplissage central composé de sable grossier, de granules et de petits graviers passant à des cailloux moyens à gros sur les côtés; plusieurs cailloux redressés; sur le côté gauche, les couches sont recourbées vers le haut; elle apparaît sous l'horizon pédologique vers 30 cm de profondeur; dimensions de 200 cm de hauteur sur 45 cm de largeur; site B, lac Saint-Charles. (Les photos sont de l'auteur, 1970.)

Ice-wedge cast in fluvio-glacial gravel; deep, vertical and relatively narrow wedge filled with coarse sand and small gravel in the central part, and with small to coarse gravel on both sides; most elongated stones are in a vertical position; upturned layers on the left side; top of wedge at 30 cm. below the surface; dimensions: 200 cm. (height) by 45 cm. (width); site B, Lake St. Charles. (Author's photos, 1970.)

FIGURE 7. Fente profonde et relativement étroite avec remplissage de gravier et de sable dans la partie supérieure, et de sable grossier dans la partie inférieure, recoupant des lits horizontaux de sable moyen à grossier; cailloux provenant de la couche superficielle; lits recourbés vers le bas au contact de la fente; disposition de la fente dans l'horizon pédologique, soit vers 20 cm de la surface; dimensions de 350 cm (H) sur 40 cm (L) dans la partie évasée au sommet; site A, Valcartier.

Deep and relatively narrow wedge filled with coarse sand and gravel cutting through stratified medium to coarse sand; slightly downturned strata near the wedge sides; gravel coming from the top layer; top of wedge cast at 20 cm below the surface; dimensions: 350 cm. (H) by 40 cm. (L) in the upper part; site A, Valcartier.

FIGURE 8. Fente en coin typique à remplissage plus grossier que le matériel des couches encaissantes; petits graviers provenant de la couche superficielle; strates recourbées vers le haut du côté gauche, et vers le bas du côté droit; la fente vient buter sous l'horizon pédologique à 35 cm de la surface; dimensions de 110 cm (H) sur 20 cm (L); Notre-Dame-des-Laurentides.

Typical ice-wedge cast filled with coarse sand and small gravel cutting through horizontally stratified fine to coarse sand; slightly upturned strata on the left side and downturned strata on the right side; top of wedge at 35 cm. below the surface; dimensions: 110 cm. (H) by 20 cm. (L); Notre-Dame-des-Laurentides.

FIGURE 9. Petite fente en coin double, courte et relativement large à la partie du haut; sable grossier, granules et petits graviers; la partie inférieure comprend une fente mince (1 à 5 cm) à remplissage de sable oxydé dans la partie sommitale; elle recoupe des lits horizontaux de sable fin et grossier avec fraction de petits graviers, et vient buter contre la couche superficielle à 40 cm de la surface; dimensions de 110 cm (H) sur 30 cm (L); Notre-Dame-des-Laurentides.

Small ice-wedge cast composed of two parts; in the upper section, short and wide wedge filled with coarse sand and small gravel; in the lower, deep and thin oxidized fissure (2-5 cm) filled with medium sand; wedge cutting through layers of fine to coarse sand with scattered gravel; top of

wedge at a depth of 40 cm. below the surface; dimensions: 110 cm. (H) by 30 cm. (L); Notre-Dame-des-Laurentides.

FIGURE 10. Moyenne fente à remplissage de sable moyen et grossier avec quelques cailloux redressés; elle recoupe des lits subhorizontaux de sable fin à moyen; base arrondie; elle vient mourir à 30 cm de la surface; du côté droit, les strates sont légèrement inclinées vers le bas; dimensions de 125 cm (H) sur 25 cm (L); site C, lac Saint-Charles.

Ice-wedge cast of medium size; filling made of medium to coarse sand and a few small pebbles; wedge cutting through subhorizontally stratified fine to medium sand; rounded shape of the wedge base, and the slightly downturned strata on the right side; top of wedge at 30 cm. below the surface; dimensions: 125 cm. (H) by 25 cm. (L); site C, Lake St. Charles.

FIGURE 11. Moyenne fente à remplissage de sable moyen à grossier avec petits graviers dans la partie supérieure; légèrement inclinée (environ 10°), recoupant des lits subhorizontaux de sable moyen à fin, et se prolongeant vers le bas par une fissure étroite oxydée (à peine visible sur la photo); coupe horizontale légèrement oblique; la fente vient mourir à environ 35 cm de la surface; dimensions de 110 cm (profondeur totale) ou de 85 cm (partie principale), sur 20 cm (largeur réelle); site A, lac Saint-Charles.

Medium-sized ice-wedge cast filled with medium to coarse sand and a fraction of small gravel in the upper part; slightly inclined (about 10°) and cutting through subhorizontal layers of medium to fine sand; the wedge is prolonged at its base by a thin oxidized fissure; top at 35 cm. below the surface; cross section slightly oblique; dimensions: 110 cm. (H. max.) and 85 (H. main wedge), by 20 cm. (true width); site A, Lake St. Charles.

FIGURE 12. Fente courte et massive remplie de sable grossier, de granules et de petits graviers dans la partie supérieure, recoupant des lits horizontaux de sable moyen à fin; contact net souligné par une mince couche oxydée; elle se termine à 50 cm de la surface; coupe transversale légèrement oblique; dimensions de 60 cm (H) sur 20 cm (largeur réelle); site A, lac Saint-Charles.

Shallow and wide ice-wedge cast filled with coarse sand and small gravel in the upper section; cast cutting through horizontally stratified fine-medium sand; sharp contacts underlined by a thin oxidized layer; top of wedge at 50 cm. below the surface; dimensions: 60 cm. (H) by 20 cm. (true width); site A, Lake St. Charles.

FIGURE 13. Fente massive remplie de sable grossier et de petits graviers recoupant des lits de sable fin et moyen; la fente principale se prolonge vers le bas par une fente mince oxydée et sinueuse, de 75 cm de profondeur et de 5 à 10 mm de largeur, avec remplissage de sable; strates recourbées vers le haut et plissées en crochet du côté droit; coupe transversale légèrement oblique apparaissant à 35 cm de la surface; dimensions de 105 cm (H de la fente principale) et 75 cm (fissure) sur 40 cm (largeur réelle); site A, lac Saint-Charles.

Massive ice-wedge cast filled with coarse sand and small gravel, cutting through subhorizontal layers of stratified fine and medium sand; a thin oxidized and sinuous crack appears

at the base of main wedge ; folded strata at the upper right side ; cross section slightly oblique ; top of wedge at 35 cm. below the surface ; dimensions : 105 cm. (H of main wedge) and 75 cm. (crack), by 40 cm. (true width) ; site A, Lake St. Charles.

FIGURE 14. Fente massive remplie de sable grossier, de granules et de petits graviers dans la partie supérieure, recoupant des lits de sable fin ; strates redressées vers le haut du côté gauche, et vers le bas du côté droit ; la fente apparaît à 50 cm de la surface ; coupe transversale légèrement oblique ; dimensions de 150 cm (H) sur 40 cm (largeur réelle) ; lac Beauport.

Massive ice-wedge cast filled with coarse sand and small gravel in the upper section, cutting through stratified layers of fine sand ; upturned strata on the left side, downturned on the right side ; cross section slightly oblique ; top of wedge at 50 cm. below the surface ; dimensions : 150 cm. (H) by 40 cm. (true width) ; Lake Beauport.

FIGURE 15. Grande fente dans des sables fins à moyens glacio-lacustres ; partie centrale remplie de sable grossier et de petits graviers ; partie sommitale, très évasée, obstruée par un bouchon de sable fin stratifié correspondant à des couches affaissées massivement, le tout affecté d'une faille oblique ; couches encaissantes dans la partie inférieure affectées de nombreuses microfailles ; structure apparaissant à 45 cm de la surface, semblable à celle des fentes de la Po'ogne (DYLIK) ; dimensions de 220 cm (H) sur 90 cm de large dans la partie supérieure et 35-40 cm dans la partie centrale : site B, Valcartier.

Large ice-wedge cast in glaciolacustrine fine to medium sands ; central part filled with coarse sand and small gravel ; upper section closed by massive collapsed and faulted layers of fine sand ; numerous small faults in the strata of the lower section ; top at 45 cm. below the surface ; this type of wedge is similar to those reported from Poland (DYLIK) ; dimensions : 220 cm. (H) by 90 cm. wide in the upper part and 35-40 cm. for central part of wedge ; site B, Valcartier.

FIGURE 16. Fente mince et profonde, légèrement oblique, remplie de sable moyen et fin dans la partie supérieure et de sable fin oxydé dans la partie inférieure, recoupant des couches de sable moyen à fin ; dans la partie supérieure, couches recourbées vers le bas ; fissure de gel appartenant probablement à un réseau secondaire ; compte tenu de sa largeur, elle n'aurait été réouverte qu'une ou deux fois ; sise à 60 cm de la surface ; dimensions de 85 cm (H) sur 8 cm (L) ; lac Beauport.

Thin and deep frost crack filled with medium and fine sand in the upper part and with fine oxidized sand in the lower part, cutting through horizontally stratified medium to fine sand ; downturned strata in the upper section ; wedge belonging to a secondary polygonal network ; the crack has been open once or twice only before melting of permafrost ; top at 60 cm. below the surface ; dimensions : 85 cm. (H) by 8 cm. (L) ; Lake Beauport.

FIGURE 17. Fente courte et large remplie de sable grossier et de petits graviers, recoupant des lits de sable moyen à

fin ; petit bloc de 35 cm obstruant l'ouverture ; couches recourbées vers le bas ; structure apparaissant à 60 cm de la surface ; dimensions de 60 cm (H) sur 35 cm (L) ; site B, Valcartier.

Shallow and wide ice-wedge cast filled with coarse sand, small gravel and a few pebbles, cutting through stratified fine to medium sand ; small boulder partly filled the aperture ; downturned strata ; top of structure at 60 cm below the surface ; dimensions : 60 cm. (H) by 35 cm. (L) ; site B, Valcartier.

FIGURE 18. Fente massive remplie de sable grossier et de gravier petit à moyen dans la partie supérieure, se prolongeant vers le bas par une étroite fissure, et recoupant des lits déformés de sable fin et moyen ; du côté gauche, couches fortement inclinées ; sommet de la structure à 40 cm de la surface ; coupe transversale légèrement oblique ; dimensions de 80 cm (H) sur 40 cm (largeur réelle) ; site D, lac Saint-Charles.

Massive ice-wedge cast filled with coarse sand and small to medium gravel in the upper section, cutting through stratified and deformed layers of fine to medium sand ; main wedge ending downward by a narrow fissure filled with oxidized sand ; nearly vertical layers on left side and strongly dipping layers on right side ; top of structure at 40 cm. below the surface ; dimensions : 80 cm. (H) by 40 cm. (true width) ; site D, Lake St. Charles.

FIGURE 19. Partie inférieure d'une fente massive étranglée vers le haut par des couches de sable fin, recoupant des lits de sable moyen, fin et très fin ; inclinée dans la partie inférieure, et verticale dans la moitié supérieure ; remplissage de sable grossier, de granules et de petits graviers ; coupe transversale légèrement oblique ; structure à 40 cm de la surface ; dimensions de 120 cm (H) sur 30 cm (largeur réelle) ; site A, lac Saint-Charles.

Lower half of a massive ice-wedge cast filled with coarse sand and gravel, cutting through layers of medium, fine and very fine sand ; this part is inclined but the top portion is vertical ; cross section slightly oblique ; top at 40 cm. below the surface ; dimensions : 120 cm. (H) by 30 cm. (true width) ; site A, Lake St. Charles.

FIGURE 20. Fente massive en forme de poche, remplie de sable grossier avec gravier dans la partie supérieure, recoupant des lits de sable fin ; couches recourbées vers le haut du côté gauche ; coupe transversale oblique ; sommet de la fente à 40 cm de la surface ; dimensions de 120 cm (H) sur 30 cm (largeur réelle) ; site A, lac Saint-Charles.

Massive ice-wedge cast filled with coarse sand and gravel in the upper section, cutting through stratified fine sand ; upturned layers on the left side ; cross section slightly oblique ; top of wedge at 40 cm. below the surface ; site A, Lake St. Charles.

FIGURE 21. Fente massive remplie de sable grossier et moyen avec gravier dans la partie supérieure, recoupant des lits horizontaux de sable fin et moyen ; contact souligné par une mince couche oxydée ; coupe transversale oblique ; sommet à 40 cm de la surface ; dimensions de 85 cm (H) sur 30 cm (largeur réelle) ; site A, lac Saint-Charles. —>

fossiles indique donc l'épaisseur du mollisol. Dans la région de Québec, l'épaisseur de la couche de mollisol était probablement comprise entre 20 et 60 cm ; la valeur moyenne de 40 cm nous paraît fort réaliste, si l'on considère que 90% des fentes débutent à une profondeur comprise entre 20 et 50 cm ; ces données concordent avec celles d'autres régions. D'après BLACK (1963), dans le nord de l'Alaska où les fentes sont actives, l'épaisseur du mollisol dans la zone de pergélisol continu est de 15 à 125 cm. BORNS (1965) estime de son côté que la couche de mollisol au droit des fentes fossiles de la Nouvelle-Écosse n'excédait pas 60 cm.

Dans l'état actuel de nos connaissances et en comparaison des fentes actives de l'Alaska, il paraît raisonnable de penser que la température moyenne annuelle de l'air, à l'époque de la formation des fentes de Québec, était inférieure à -5° , alors que la température moyenne annuelle actuelle à Québec est de $5,6^{\circ}$, malgré un long hiver caractérisé par quatre mois ayant une moyenne inférieure à 0° , un mois de janvier ayant une température moyenne de $-10,6^{\circ}$ et une température minimale moyenne de $-14,6^{\circ}$, et connaissant des coups de froid intense abaissant cette température jusqu'à -37° . Les conditions climatiques qui ont prévalu durant la période de formation des fentes en coin étaient certes beaucoup plus sévères et devaient ressembler à celles qui prévalent aujourd'hui dans le centre de l'Alaska et dans certaines régions de l'Arctique. On peut penser qu'un climat plutôt continental que maritime, à la fois très vigoureux et vraisemblablement humide existait alors.

La largeur des fentes fossiles indique l'épaisseur des coins de glace qui les remplissaient. L'accroissement annuel des coins de glace généralement admis est de l'ordre de 0,3 à 1 mm par année. D'après les observations de BLACK et BERG (1963 et 1966, p. 126), les *sand wedges* et les fentes composites (sable et glace) de l'Arctique auraient un taux de croissance compris entre 0,3 et 5 mm. Une fente de 50 à 100 cm de large prendrait environ 1 000 ans pour se former. BLACK (1963, p. 263) indique que 2 mm par année est une valeur moyenne pratique d'accroissement pour les fentes actives du nord de l'Alaska. LEFFINGWELL (1919, p. 211) fournit une valeur moyenne de 5 mm par an.

Massive ice-wedge cast filled with coarse to medium sand and gravel in the upper part, cutting through stratified fine and medium sand ; contact is underlined by a thin oxidized layer ; cross section slightly oblique ; top at 40 cm. below the surface ; dimensions : 85 cm. (H), by 30 cm. (true width) ; site A, Lake St. Charles.

Si l'on considère que la largeur réelle des fentes de la région de Québec n'excède pas 45 cm, qu'il y en a 85% qui ont moins de 35 cm, on est fondé de croire que la période froide qui a permis leur formation a été relativement courte : quelques centaines d'années, vraisemblablement 200 à 400 ans, en assumant que la plupart d'entre elles se sont réouvertes régulièrement chaque année.

DATATION DES ÉVÉNEMENTS

Les fentes fossiles de la région au nord de Québec sont localisées dans une zone bien délimitée et dans des formations meubles considérées par LASALLE (1970) comme le prolongement vers l'E. du complexe morainique d'Adrien-Robert (ou de Saint-Narcisse). Cette moraine frontale, qui marque un arrêt ou une légère récurrence de l'inlandsis wisconsinien en retraite, est considérée comme contemporaine de la mer de Champlain (GADD, 1971, *verbatim*). Elle date d'au moins 11 500 ans B.P. (9 500 av. J.-C.) et plus probablement de 12 000 ans B.P. (10 000 av. J.-C.) environ.

Divers indices permettent de croire que les fentes en coin se sont développées au front de l'inlandsis durant le stade d'Adrien-Robert. Il s'agirait donc d'une zone périglaciaire au sens strict, caractérisée par un pergélisol continu ou discontinu.

Jusqu'à présent, aucune fente fossile indiscutable n'a encore été rapportée au nord de cette zone, bien que certains disent en avoir vu à quelques endroits dans la région du Saguenay/Lac-Saint-Jean³. La structure en coin de la région de Saint-Nazaire rapportée par TREMBLAY (1971, p. 124), présente beaucoup d'analogie avec certaines fentes en coin de la région de Québec, mais il demeure difficile d'affirmer qu'elle correspond vraiment au remplissage consécutif à la fonte d'un coin de glace. Les travaux de cartographie des formations meubles de ce vaste territoire que nous avons effectués entre 1967 et 1970, ne nous ont pas permis de découvrir de fentes en coin fossiles ni de cryoturbations. Il existe bien à quelques endroits des formes qui s'apparentent aux fentes en coin, mais qui à notre avis n'en sont pas (DIONNE, 1970b) ; les plus ressemblantes demeurent des cas extrêmement douteux. Quant aux turbations (injections, involutions, plis, etc.), très abondantes dans toute cette région, elles ne seraient pas dues à des processus périglaciaires (DIONNE, 1971). Dans ces conditions, on est porté à croire, du moins pour l'instant, qu'après le stade d'Adrien-Robert, le climat n'a pas permis dans la région la formation de fentes de cryoturbation ; ce qui n'implique nullement l'absen-

3. Notamment G. TREMBLAY et L. HARDY.

ce du froid, mais plutôt l'absence d'un climat suffisamment rigoureux pour engendrer un pergélisol.

Au S. de la zone Valcartier/lac Saint-Charles/lac Beauport, il existe de nombreuses fentes fossiles localisées dans une bande de terrain correspondant au complexe morainique des Hautes-Terres appalachiennes (DIONNE, 1966a, 1966b, 1967, 1969, 1970a). La répartition des fentes au sud du Saint-Laurent nous a amené à suggérer qu'elles s'étaient probablement formées au cours du stade de Saint-Antonin, daté d'environ 12 500 ans B. P. (10 500 av. J.-C.). Jusqu'à présent, aucune fente fossile authentique n'aurait été découverte dans la zone comprise entre ces deux dépôts de front glaciaire. Les deux fentes observées par GANGLOFF (1970) dans les Laurentides au nord de Montréal ont été découvertes dans des dépôts appartenant apparemment à la moraine d'Adrien-Robert. Elles pourraient donc être contemporaines de celles de la région de Québec, même si l'auteur, s'appuyant sur d'autres découvertes beaucoup moins sûres, suggère un âge plus récent et postule un retour possible du froid dans la région après le recul des glaciers.

La répartition des fentes fossiles actuellement connues dans le sud du Québec constitue un indice sérieux plaçant en faveur de conditions froides liées à la présence du front glaciaire plutôt qu'à un retour du froid⁴ postérieur à la déglaciation. Si une période froide permettant l'installation d'un pergélisol avait existé depuis le recul des glaciers au N. de 48° de latitude au Québec, soit vers 10 000 ans B. P. (PREST, 1969, 1970), on devrait normalement trouver des traces d'un tel événement. Or, d'une part, les fentes fossiles découvertes jusqu'à maintenant sont exclusives aux deux marges glaciaires précitées; de l'autre, les séquences polliniques connues ne fournissent aucun indice sérieux permettant de croire à l'existence d'un pergélisol généralisé à tout le sud du Québec (POTZGER, 1953; TERASMAE, 1960; TERASMAE et LASALLE, 1968; LASALLE, 1966; DAVIS, 1967). De plus, les seules fentes fossiles connues dans l'Est de l'Amérique du Nord, se rencontrent dans des conditions analogues à celles du Québec. D'après BURNS (1965, p. 1225), « *the stratified drift containing the ice-wedge casts is associated with the dissipation of the ice sheet of Cary age* ».

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous avons de bonnes raisons de croire qu'en dehors de

4. Nous entendons par là un froid suffisamment rigoureux pour permettre la formation d'un pergélisol et conséquemment de fentes en coin et de lentilles de glace; ces formes actives se rencontrent de nos jours dans des régions ayant une température moyenne annuelle de l'air inférieure à — 5°.

variations de quelques degrés (DEEVEY et FLINT, 1957), il n'y aurait pas eu de retour important du froid après le départ des glaciers, du moins que des conditions suffisamment froides n'ont pu permettre l'installation du pergélisol et la formation de fentes en coin aussi importantes que celles de la région de Québec. Les fentes en coin fossiles de la région au nord de Québec se seraient formées en bordure du front glaciaire au cours du stade d'Adrien-Robert, il y a au moins 11 500 ans et plus probablement 12 000 ans, soit au cours du *Dryas* moyen, alors que les fentes appartenant au complexe morainique des Hautes-Terres appalachiennes se seraient formées lors du stade de Saint-Antonin, vers 12 500 ans B. P. (10 500 av. J.-C.) ou davantage. Le pergélisol existant était vraisemblablement limité à une zone relativement étroite à la périphérie du front glaciaire et pouvait être discontinu, comme c'est le cas dans certaines régions arctiques.

Si les dépôts de la région de Valcartier/lac Saint-Charles, interprétés par LASALLE (1970) comme la continuité vers l'est de la moraine d'Adrien-Robert, appartiennent réellement à ce complexe morainique, la date de plus ou moins 12 000 ans pour la période de formation des fentes paraît très vraisemblable. Si, au contraire, ces dépôts se rattachent de préférence à la moraine de Drummondville dont on trouve des fragments à la pointe Saint-Nicholas, à Saint-Augustin et à Cap-Rouge, soit à une dizaine de kilomètres seulement, la période de formation des fentes pourrait être légèrement plus ancienne.

CONCLUSION

Les fentes de cryoturbation fossiles découvertes dans la région immédiatement au nord de Québec impliquent la présence d'un pergélisol. Occupées jadis par des coins de glace, ces fentes appartenaient à un réseau polygonal dont les éléments pouvaient avoir entre 2 et 15 m de diamètre. Elles se seraient développées à la marge du front glaciaire, probablement au cours du stade glaciaire d'Adrien-Robert, il y a environ 12 000 ans B. P. (10 000 av. J.-C.). La période de formation aurait duré entre 200 et 400 ans environ. Le climat devait être plus ou moins continental et relativement humide; la température moyenne annuelle de l'air était probablement inférieure à — 5°.

Les fentes fossiles constituant de précieux indicateurs paléoclimatiques, il paraît impératif que des recherches systématiques soient entreprises afin de connaître la répartition réelle dans le Québec méridional des structures périglaciaires reliques ayant une signification paléoclimatique définie. Des études palynologiques accompagnées de datations au C_{14} permettraient de préciser les faits. Dans l'état actuel de

nos connaissances, la répartition des fentes fossiles suggère la présence d'un pergélisol continu ou discontinu limité à la zone périphérique des divers fronts glaciaires marquant de courts arrêts ou de légères récurrences au cours du retrait de la calotte wisconsinienne. Avant de proposer des interprétations, il importe de distinguer entre les vraies fentes et les fausses, certaines structures sédimentaires ressemblant à celles produites par la fonte de coins de glace des polygones de toundra et à leur remplissage subséquent (JOHNSSON, 1959).

À notre avis, il faut éviter de confondre des phénomènes qui se produisent en milieu froid, mais qui ne nécessitent pas des conditions aussi rigoureuses que celles nécessaires à la formation d'un pergélisol et de polygones de toundra. Les régions ayant une température moyenne de -2° sont indiscutablement des régions froides, mais il ne s'y forme pas actuellement de pergélisol ni de fentes en coin avec remplissage de glace, même si certaines formes de terrains réticulés (*patterned ground*) s'y développent.

Pour l'instant, nous ne possédons aucune preuve ni d'indices très sérieux permettant d'affirmer l'existence d'un climat typiquement périglaciaire généralisé à tout le Québec méridional après le recul du front de l'inlandsis au-delà de 48° de latitude N., soit vers 10 000 ans B. P. (8 000 av. J.-C.)⁵.

BIBLIOGRAPHIE

- BERTOUILLE, H. (1964) : « Étude d'un réseau actuel de fentes de gel », C. R. somm. Soc. géol. France, fasc. 4, p. 137-139, 1 fig.
- BLACK, R. F. (1963) : « Les coins de glace et le gel permanent dans le nord de l'Alaska », *Ann. Géogr.*, n° 391, p. 257-271, 3 fig., 2 pl. h.-t.
- (1965) : « Ice-Wedge Casts of Wisconsin », *Wisc. Acad. Sc. Arts and Letters*, vol. 54, p. 189-222, 17 fig.
- et BERG, T. E. (1963) : « Hydrothermal Regimen of Patterned Ground, Victoria Land, Antarctica », *Inter. Ass. Sc. Hydrol. Snow and Ice Comm.*, publ. n° 61, p. 121-127.
- (1966) : « Patterned Ground in Antarctica », dans *Proc. Permafrost Intern. Conf.*, Perdue University, Lafayette, 1963, Washington, Nat. Acad. Sc. and Nat. Res. Council., publ. n° 1287, p. 121-128, 5 fig.
- BOBOV, M. N. (1960) : *Souremiennoye obrazovaniya gruntovykh jil i mielkopoliagonalnogo reliefa na Leno-Vilujskom* (Present Development of Ground Veins and Small Polygonal Pattern in the Area between River Lena and Viluj), Trudy Inst. Mierzlot. im. Obrucheva, t. 14.
5. Nous remercions très sincèrement MM. A. CAILLEUX et G. TREMBLAY de l'Université Laval pour les remarques judicieuses faites lors de la lecture du manuscrit.
- BUNGE, A. von (1884) : « Naturhistorische Beobachtungen und Fahrten im Lena-Delta », *Bull. Imp. Akad. nauk SSSR* (Saint-Petersbourg), vol. 29.
- CAILLEUX, A. (1970) : « Dénomination descriptive et génétique des fentes de cryoturbation », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 24, n° 3, p. 310-313.
- CORTE, A. E. (1962) : *Relationship between Four Ground Patterns, Structure of Active Layer, and Type and Distribution of Ice in the Permafrost*, U. S. Army, Cold Regions Res. and Engineers, Lab. Res., Rept. n° 88, 79 p.
- DANILOVA, N. S. (1956) : *Gruntovyie jily ikh proiskojdeniye* (Soil Wedges and their Origin), Acad. Sc. U. S. S. R., Obruchev Inst. Permafrost Studies, vol. 3, 229 p. (Traduction anglaise : Nat. Res. Council. Canada, Techn. Transl. n° 1088, p. 90-99, 4 fig., 1964).
- DAVIS, M. B. (1967) : « Late-Glacial Climate in Northern United States : A Comparison of New England and the Great Lakes Region », dans CUSHING, E. J. et WRIGHT, H. E., éd., *Quaternary Paleocology*, New Haven et Londres, Yale University Press, p. 11-43, 8 fig.
- DEEVEY, E. S. et FLINT, R. F. (1957) : « Postglacial Hypsithermal Interval », *Science*, vol. 125, p. 182-184.
- DIONNE, J.-C. (1966a) : « Fentes en coin fossiles dans le Québec méridional », C. R. Acad. Sc. (Paris), t. 262, p. 24-27, 1 fig.
- (1966b) : « Formes de cryoturbation fossiles dans le sud-est du Québec », *Cah. Géogr. Qué.*, n° 19, p. 89-100, 10 fig.
- (1967) : « Fentes de gel fossiles dans le comté de l'Islet », *Cah. Géogr. Qué.*, n° 22, p. 96-100, 2 fig.
- (1969) : « Nouvelles observations de fentes de gel fossiles sur la côte sud du Saint-Laurent », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 23, n° 3, p. 307-316, 7 fig.
- (1970a) : « Fentes en coin fossiles dans la région de Québec », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 24, n° 3, p. 313-318, 7 fig.
- (1970b) : « Structures sédimentaires dans du fluvio-glaciaire, Lac-Saint-Jean, Québec », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 24, n° 3, p. 255-263, 7 fig.
- (1971) : « Contorted Structures in Unconsolidated Quaternary Deposits, Lake Saint-Jean and Saguenay Regions, Quebec », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 25, n° 1, p. 5-33, 31 fig.
- DOSTOVALOV, B. N. (1960) : « Zakonomiernosti razvitya tetragonalnykh sistem i gruntovykh jil v dispersnykh porodakh » (Tetragonal Systems of Ice- and Soil Veins and Loose Rocks), dans MARKOV, K. K. et POPOV, A. I., éd., *Periglacial Phenomena on the Territory of the U. S. S. R.*, Moscou.
- et POPOV, A. I. (1966) : « Polygonal Systems of Ice-Wedges and Conditions of their Development », dans *Proc. Permafrost Intern. Conf.*, Perdue University, Lafayette, 1963, Washington, Nat. Acad. Sc. and Nat. Res. Council., publ. n° 1287, p. 102-105, 4 fig.

- DYLIK, J. (1966) : « Problems of Ice-Wedge Structures and Frost-Fissure Polygons », *Biul. Perygl.*, n° 15, p. 241-291, 10 fig., 10 pl. h.-t.
- et MAARLEVELD, G. C. (1967) : « Frost Cracks, Frost Fissures and Related Polygons », *Mededel. Geol. Stichting*, vol. 18, p. 7-22, 7 fig.
- ELSON, J. A. (1969) : « Late Quaternary Marine Submergence of Quebec », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 23, n° 3, p. 247-258, 3 fig.
- GADD, N. R. (1964) : « Moraines in the Appalachian Region of Quebec », *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 75, n° 12, p. 1249-1254, 1 fig.
- GANGLOFF, P. (1970) : « Structures de gélisols reliques dans la région de Montréal », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 24, n° 3, p. 241-253, 7 fig.
- HOPKINS, D. M. et KARLSTROM, T. N. V. *et al.* (1955) : « Permafrost and Ground Water in Alaska », *U. S. Geol. Surv.*, Prof. Pap. 264-F, p. 113-146, 11 fig.
- JOHNSSON, G. (1959) : « True and False Ice Wedges in Southern Sweden », *Geogr. Ann.* (Stockholm), vol. 41, n° 1, p. 15-33, 33 fig.
- LACHENBRUCH, A. H. (1962) : *Mechanics of Thermal Contraction Cracks and Ice-Wedge Polygons in Permafrost*, Geol. Soc. Amer., Spec. Pap. n° 70, 69 p., 13 fig., 2 pl. h.-t.
- (1966) : « Contraction Theory of Ice-Wedge Polygons : A Qualitative Discussion » dans *Proc. Permafrost Intern. Conf.*, Perdue Univ., Lafayette, 1963, Washington, Nat. Acad. Sc. and Nat. Res. Council., publ. n° 1287, p. 63-71, 7 fig.
- LASALLE, P. (1966) : « Late Quaternary Vegetation and Glacial History in the St. Lawrence Lowlands, Canada », *Leidse Geol. Mededel.*, vol. 38, p. 91-128, 16 fig., 22 pl. h.-t.
- (1970) : « Notes on the St. Narcisse Morainic System North of Quebec City », *Can. Jour. Earth Sc.*, vol. 7, n° 2, p. 516-521, 6 fig.
- LEFFINGWELL, E. K. (1915) : « Ground-Ice Wedges : The Dominant Form of Ground-Ice in the North Coast of Alaska », *Jour. Geol.*, vol. 23, n° 7, p. 635-654, 23 fig.
- (1919) : *The Canning River Region, Northern Alaska*, U. S. Geol. Surv., Prof. Pap. n° 109, 251 p., 33 fig., 35 pl. h.-t.
- MACAR, P. (1964) : « Observations sur les dépôts quaternaires de la région de Beaupré St-Féréol », *Cah. Géogr. Qué.*, n° 15, p. 95-98, 1 fig.
- et LECKWIJCK, W. van (1958) : « Les fentes à remplissage de la région liégeoise », *Ann. Soc. géol. Belgique*, t. 81, B, p. 359-407, 12 fig., 3 pl.
- MOSKOVITIN, A. I. (1940) : « Ledyanye klin'ya-klinovidnye treshchiny i ikh stratigraphicheskoe znachenie » (Ice Wedges, Wedge-Shaped Fissures and their Stratigraphic Significances), *BMOIP*, Nov. Ser., Otdel. Geol, vol. 18, n° 2.
- PATALEIEV, A. V. (1955) : *Morozobojnvitrieschchny v grun-takh* (Frost Fissures in Ground), Priroda.
- PÉWÉ, T. L. (1959) : « Sand-Wedge Polygons (Tesselations) in The McMurdo Sound Region, Antarctica ; A Progress Report », *Amer. Journ. Sc.*, vol. 257, n° 8, p. 545-552, 3 fig.
- (1962) : « Ice Wedges in Permafrost, Lower Yukon River Area near Galena, Alaska », *Biul. Perygl.*, n° 11, p. 65-76, 6 fig., 1 phot. h.-t.
- (1966a) : « Paleoclimatic Significance of Fossil Ice-Wedges », *Biul. Perygl.*, n° 15, p. 65-73, 2 fig. 2 pl.
- (1966b) : « Ice-Wedges in Alaska ; Classification, Distribution, and Climatic Significance », dans *Proc. Permafrost Intern. Conf.*, Perdue University, Lafayette, 1963, Washington, Nat. Acad. Sc. and Nat. Res. Council., publ. n° 1287, p. 76-81, 6 fig.
- CHURCH, R. E. et ANDRESEN, M. J. (1969) : *Origin and Paleoclimatic Significance of Large-Scale Patterned Ground in the Donnelly Dome Area, Alaska*, Geol. Soc. Amer., Sp. Pap. n° 103, 87 p., 25 fig., 9 pl.
- POIRIER, J. (1970) : « Fente de gel fossile aux Îles-de-la-Madeleine, Québec », *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 24, n° 3, p. 319-320, 2 fig.
- POPOV, A. I. (1959) : *Periglacialnyie i drugye zonalnyie merzlotnyie yavleniya ; sovremennyye i drevnyie* (Periglacial and other Zonal Phenomena ; Recent and Fossil), Vestnik Moskovskogo Univ. ser. Geol. and Geogr.
- POTZGER, J. E. (1953) : « Nineteen Bogs from Southern Quebec », *Can. Journ. Bot.*, vol. 31, p. 383-401, 8 fig.
- PREST, V. K. (1969) : *Retreat of the Wisconsin and Recent Ice in North America*, Geol. Surv. Canada, carte n° 1257-A.
- (1970) : « Quaternary Geology of Canada », dans *Geology and Economic Minerals of Canada*, Ottawa, Dept. Mines, Energy and Resources, Econ. Geol. Rept. n° 1, 5^e éd., p. 696-764, 15 fig., 17 pl.
- RAPP, A. et RUDBERG, S. (1964) : « Studies on Periglacial Phenomena in Scandinavia 1960-1963 », *Biul. Perygl.*, n° 14, p. 75-89, 1 fig., 1 pl. h.-t.
- SCHENK, E. (1966) : « The Origin of Ice Wedges », dans *Proc. Intern. Permafrost Conf.*, Perdue University, Lafayette, 1963, Washington, Nat. Acad., Sc. and Nat. Res. Council., publ. n° 1287, p. 82-87, 3 fig.
- SEPPALA, M. (1966) : *Recent Ice-Wedge polygons in Eastern Enontekiö, Northernmost Finland*, Publ. Inst. Geogr., Univ. Turkuensis, n° 42.
- SVENSSON, H. (1963) : *Tundra Polygons*, Lund Stud. Geogr., Ser. A. (Phys. Geogr.), n° 29.
- (1967) : *Jordskalven vid hallandsasen i februari 1966*, Geol. För. Forh., vol. 89, n° 2, p. 151-180, 13 fig.

TABER, S. (1943) : « Perennially Frozen Ground in Alaska ; Its Origin and History », *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 54, n° 10, p. 1433-1548, 13 fig., 22 pl. h.-t.

TERASMAE, J. (1960) : « A Palynological Study of Post-Glacial Deposits in the St. Lawrence Lowlands », *Geol. Surv. Canada, Bull.* n° 56, p. 1-22, 15 fig.

— et LASALLE, P. (1968) : « Notes on Late-Glacial Palynology and Geochronology at St. Hilaire, Quebec », *Can. Journ. Earth Sc.*, vol. 5, n° 2, p. 249-257, 4 fig.

THORARINSSON, S. (1964) : « Additional Notes on Patterned Ground in Iceland with a Particular Reference to Ice-Wedge Polygons », *Biul. Perygl.*, n° 14, p. 327-336, 5 fig., 9 pl. h.-t.

TREMBLAY, G. (1971) : *Géologie et géomorphologie quaternaire à l'est du Lac Saint-Jean, Québec, Canada*, Paris, Fac. Sc., thèse doct. non publ., 360 p., 48 fig., 96 phot., 11 cartes.

WASHBURN, A. L., SMITH, D. D. et GODDARD, R. H. (1963) : « Frost Cracking in a Middle-Latitude Climate », *Biul. Perygl.*, n° 12, p. 175-189, 3 fig., 4 pl. h.-t.

ANNEXE

Description des fentes en coin de la région de Québec

LAC BEAUPORT

46° 56' 50" lat. N. et 71° 17' 55" long. O. ; alt. 220 m.

1. *Profondeur, 150 cm ; largeur, 40 (60) cm.*
Voir la légende de la fig. 14.
- 2-3. Dimensions respectives : profondeur, 130 et 120 cm ; largeur, 35 et 20 cm.
Deux fentes moyennes, l'une verticale, l'autre légèrement oblique, recoupant des lits de sable fin et moyen (quelques lits recourbés vers le haut et le bas dans la moitié supérieure) et apparaissant sous une couche de sable caillouteux avec blocs, épaisse de 50 cm, sont remplies de sable grossier, de granules et de petits graviers dans leur partie supérieure ; elles sont voisines l'une de l'autre, et ont des axes orientés dans des directions divergentes (fragments du système polygonal) ; contact net entre les fentes et les couches encaissantes.
- 4-5. Dimensions respectives : profondeur, 85 et 75 cm ; largeur, 8 et 5 cm.
Pour la première, voir la légende de la fig. 16 ; la seconde est étroite, verticale, et possède les mêmes caractères que la précédente.

LAC SAINT-CHARLES

Site A : 46° 53' 57" lat. N. et 71° 22' 30" long. O. ; alt. 182 m.

6. *Profondeur, 110 cm ; largeur, 20 cm.*
Voir la légende de la fig. 11.
7. *Profondeur, 180 cm ; largeur, 40 (50) cm.*
Voir la légende de la fig. 13.
8. *Profondeur, 60 cm ; largeur, 20 cm.*
Voir la légende de la fig. 12.
9. *Profondeur, 210 cm ; largeur, 30 cm.*
Fente complexe formée de deux unités séparées par un étranglement formé par des lits de limon turbés : dans la partie inférieure, fente profonde et relativement étroite de 110 cm (H) sur 30 cm (L) ; dans la partie supérieure, poche de sable de 100 cm (H) sur 100-125 cm (L), de forme irrégulière ; remplissage de sable grossier et moyen avec petits cailloux, recoupant des lits horizontaux de sable fin, moyen et de limon sableux ; présence de strates recourbées vers le haut au contact des parois ; turbations à différents niveaux ; la fente débute vers 40 cm de la surface.
10. *Profondeur, 85 cm ; largeur, 30 (65) cm.*
Voir la légende de la fig. 21.
11. *Profondeur, 85 cm ; largeur, 20 (100) cm.*
Unité complexe formée par la rencontre de trois fentes, dont deux de 50 cm (H) sur 20 cm (L), et une de 50 cm (H) sur 10 cm (L) ; remplie de sable grossier et de quelques petits graviers dans la moitié supérieure et de quelques plongeant vers le bas dans la partie supérieure à l'intérieur de la fente, recoupant des lits horizontaux de sable fin à moyen ; contact assez net souligné par une mince couche oxydée ; la fente débute à 40-45 cm de la surface.
12. *Profondeur, 80 cm ; largeur, 30 (40) cm.*
Fente courte et large remplie de sable grossier, avec de petits graviers dans la moitié supérieure et un caillou de 15 cm, recoupant des lits de sable fin ; quelques lits recourbés vers le haut au contact de la fente ; contrastes nets entre la fente et les couches encaissantes ; à 40 cm de la surface.
13. *Profondeur, 120 cm ; largeur, 30 (45) cm.*
Voir la légende de la fig. 19.
14. *Profondeur, 85 cm ; largeur, 30 cm.*
Fente courte et large remplie de sable grossier et de quelques cailloux, recoupant des lits de sable fin ; dans la moitié supérieure, couches encaissantes recourbées vers le bas d'un côté, vers le haut de l'autre.
15. *Profondeur, 110 cm ; largeur, 30 (90) cm.*
Fente massive remplie de petits graviers, de granules et de sable grossier, recoupant des lits de sable fins ; les couches plongent vers le bas dans la moitié supérieure ; quelques cailloux redressés ; couches encaissantes recourbées vers le bas dans la moitié inférieure ; partie inférieure de la fente bouchée par un noyau de

sable fin avec stratification verticale (bloc affaissé) ; à 40 cm de la surface.

16. *Profondeur, 120 cm ; largeur, 30 (50) cm.*
Voir la légende de la fig. 20.
17. *Profondeur, 50 cm ; largeur, 35 (130) cm.*
Fente massive (?) remplie de sable grossier, de granules et de petits graviers, recoupant des lits de sable fin ; strates déformées d'un côté ; à 35-40 cm de la surface.
18. *Profondeur, 80 cm ; largeur, 35 (260) cm.*
Fente massive (?) remplie de sable grossier, de granules, de petits graviers et de cailloux de 5 cm redressés ; couches encaissantes composées de sable fin ; à 35-40 cm de la surface.

Site B : 46° 53' 53" lat. N. et 71° 22' 55" long. O. ;
alt. 178-180 m.

19. *Profondeur, 200 cm ; largeur, 45 cm.*
Voir la légende de la fig. 6.
20. *Profondeur, 110 cm ; largeur, 25 cm.*
Fente remplie de sable grossier et de granules avec quelques cailloux, recoupant des lits de gravier moyen à gros à stratification peu nette ; cailloux redressés au voisinage des parois de la fente ; contacts peu nets ; à 30-35 cm de la surface.

Site C : 46° 53' 59" lat. N. et 71° 22' 57" long. O. ;
alt. 190 m.

21. *Profondeur, 125 cm ; largeur, 25 cm.*
Voir la légende de la fig. 10.
22. *Profondeur, 100 cm ; largeur, 25 cm.*
Fente remplie de sable grossier avec de petits graviers, recoupant des lits de sable fin et moyen ; fente légèrement oblique (10°), à 30-35 cm de la surface.
23. *Profondeur, 135 cm ; largeur, 25 cm.*
Fente légèrement oblique (15°), remplie de sable moyen et grossier avec de petits graviers dans la moitié supérieure, se terminant en pointe très effilée, et recoupant des lits de sable fin et moyen ; à 30 cm de la surface.
24. *Profondeur, 80 cm ; largeur, 30 (45) cm.*
Fente massive remplie de sable moyen, recoupant des strates de sable fin ; contact peu net avec les couches encaissantes ; à 35-40 cm de la surface.

Site D : 46° 54' 00" lat. N. et 71° 23' 00" long. O. ;
alt. 186 m.

25. *Profondeur, 75 cm ; largeur, 15 cm.*
Fente remplie de sable grossier avec de petits graviers dans la moitié supérieure, recoupant des lits de sable fin à moyen ; dans la partie supérieure, les couches plongent vers le bas, ainsi que quelques couches de la partie encaissante ; à 50-55 cm de la surface.
26. *Profondeur, 80 cm ; largeur, 40 (50) cm.*
Voir la légende de la fig. 18.

NOTRE-DAME-DES-LAURENTIDES

46° 54' 47" lat. N. et 71° 17' 50" long. O. ; alt. 193 m.

27-28. *Dimensions respectives : profondeur, 105 et 110 cm ; largeur, 20 et 20 cm.*

Voir la légende de la fig. 8 ; les éléments de la description valent aussi pour l'autre fente.

29-30. *Dimensions respectives : profondeur, 110 et 40 cm ; largeur, 30 et 10 cm.*

Voir la légende de la fig. 9, pour la plus profonde qui se prolonge vers le bas par une étroite fissure oxydée ; elle est remplie de sable grossier et de petits graviers, l'autre de sable moyen ; les autres éléments de la description valent pour l'autre fente.

STONEHAM

46° 59' 55" lat. N. et 71° 24' 30" long. O. ;
alt. 210 m.

31-32-33. *Dimensions respectives : profondeur, 90, 100 et 120 cm ; largeur, 10 cm pour chacune d'elles.*

Petites fentes étroites, remplies de sable grossier et moyen, recoupant des lits de sable moyen et grossier, de granules et de graviers ; l'une d'elle est légèrement oblique (10°) et coupe des lits inclinés en sens inverse ; à 50 cm de la surface.

VALCARTIER

Site A, gravière « Les Boulevards de Québec » :

46° 44' 50" lat. N. et 71° 26' 18" long. O. ; alt. 200 m.

34. *Profondeur, 350 cm ; largeur, 40 cm.*

Voir la légende de la fig. 7.

35. *Profondeur, 200 cm ; largeur, 30 cm.*

Fente profonde remplie de sable grossier et de petits graviers dans la partie supérieure ; présence de microfailles dans les couches encaissantes ; à 30-35 cm de la surface.

Site B, gravière « Tremblay » :

46° 54' 10" lat. N. et 71° 24' 35" long. O. ; alt. 190 m.

36. *Profondeur, 220 cm ; largeur, 90 cm.*

Voir la légende de la fig. 15.

37. *Profondeur, 190 cm ; largeur, 15 cm.*

Fente profonde et étroite remplie de sable moyen avec un peu de petits graviers dans la partie supérieure, recoupant des lits de sable fin et moyen ; de chaque côté de la fente, les couches plongent vers le bas ; des microfailles affectent les strates encaissantes inférieures ; petites turbations ; fente distante de la précédente d'environ 4-5 m ; à 45-50 cm de la surface.

38. *Profondeur, 90 cm ; largeur, 10 cm.*

Fente étroite remplie de sable grossier et de granules, recoupant des lits de sable fin, moyen et grossier, à 60-70 cm de la surface.

39. *Profondeur, 75 cm ; largeur, 15 cm.*

Fente étroite remplie de sable moyen et grossier recoupant des lits de sable fin ; quelques lits recourbés vers le bas au contact de la fente ; à 50 cm de la surface.

40. *Profondeur, 60 cm ; largeur, 35 cm.*

Voir la légende de la fig. 17.