



BLOCS SOULEVÉS PAR LE FROID DANS LES SCHORRES DE LA BAIE DE JAMES, QUÉBEC

Jean-Claude DIONNE, Centre de Recherches forestières des Laurentides, Environnement Canada, C.P. 3800, Québec G1V 4C7.

Frost Heaved Boulders at the Surface of Salt Tidal Marshes, East Coast of James Bay, Québec. *In salt tidal marshes along the east coast of James Bay, erratic boulders buried in marine silty-clay and mud deposits are pushed upward to the surface of the marsh by periglacial processes. This is a result of the sorting processes related to frost-and-thaw cycles and to the formation of ice lenses under boulders which gradually push up boulders to the surface. As boulders reach the marsh surface, they form small mounds 10 to 30 cm high by 20 to 45 cm in diameter. At the end of the process, the marsh surface is covered by a boulder field having various degrees of boulder concentration depending upon the relative abundance of boulders previously buried in the mud or in the silty-clay deposits. This type of periglacial feature seems to be characteristic : 1, of cold regions without continuous permafrost but with a mean annual air temperature ranging from -4° to 2° C, and 2, of temperate regions characterized by cold winters (mean winter air temperature : -8°), with a thin snow cover.*

INTRODUCTION

Le soulèvement de cailloux par l'action du froid est un phénomène très fréquent dans les milieux péri-glaciaires et a été signalé à plusieurs occasions, entre autres par WYCKOFF (1918), TABER (1929, 1930), SCHMID (1955), VILBORG (1955), JACKSON (1966), TAKAGI (1965), et WASHBURN (1969). D'après WASHBURN (1973, p. 65), «*frost heaving is the predominantly upward movement of mineral soil during freezing*», et «*the general process of frost heaving is determined by the thermodynamics of the freezing process and the growth of ice lenses*».

Il convient toutefois de distinguer diverses formes de soulèvement par le froid : 1, le soulèvement de fragments anguleux détachés d'une surface rocheuse (WASHBURN, 1969; BOURNÉRIAS, 1972); 2, le soulèvement de cailloux morainiques qui est entre autres à l'origine de certains sols réticulés (WASHBURN, 1973); 3, le soulèvement de cailloux glaciels dans des formations limono-argileuses, marines ou lacustres. Cette dernière catégorie semble avoir été beaucoup moins bien étudiée que les deux autres. Plusieurs auteurs qui ont écrit au sujet du soulèvement de cailloux par le froid disent que le phénomène est bien connu, mais WASHBURN (1973, p. 65) reconnaît la rareté des travaux consacrés à la question. Il apparaît donc opportun de signaler le soulèvement actuel de blocs

glaciels dans un schorre de la côte est de la baie de James.

OBSERVATIONS¹

Les observations ont été faites en juillet 1973, dans un schorre de la partie sud de la baie du Canard-Mort (Dead Duck Bay), à une trentaine de kilomètres au sud de Fort-Georges, par $53^{\circ}33'$ de latitude nord et $78^{\circ}55'$ de longitude ouest (fig. 1). Le schorre est localisé à la partie supérieure du rivage, soit entre la limite des plus hautes mers de vive eau et celle des hautes mers de morte eau, et couvre une surface ayant un à deux kilomètres de longueur par 200 à 600 m de largeur. Sa surface est remarquablement plane et légèrement inclinée vers le sud avec une pente de 0,002%. Du point de vue sédimentologique et stratigraphique, il est composé d'une couche de vase récente ou subactuelle d'un brun grisâtre de 15 à 40 cm d'épaisseur reposant sur un dépôt d'argile marine, gris pâle d'épaisseur inconnue, mis en place antérieurement dans la mer de Tyrrell et reposant tantôt sur des dépôts gla-

1. Les observations rapportées ici ont été faites lors de travaux de reconnaissance (géomorphologie et cartographie des formations meubles), dans le cadre de l'*Étude écologique de la Baie-de-James*, commandée par Environnement-Canada et la Société de Développement de la Baie-James (SDBJ).

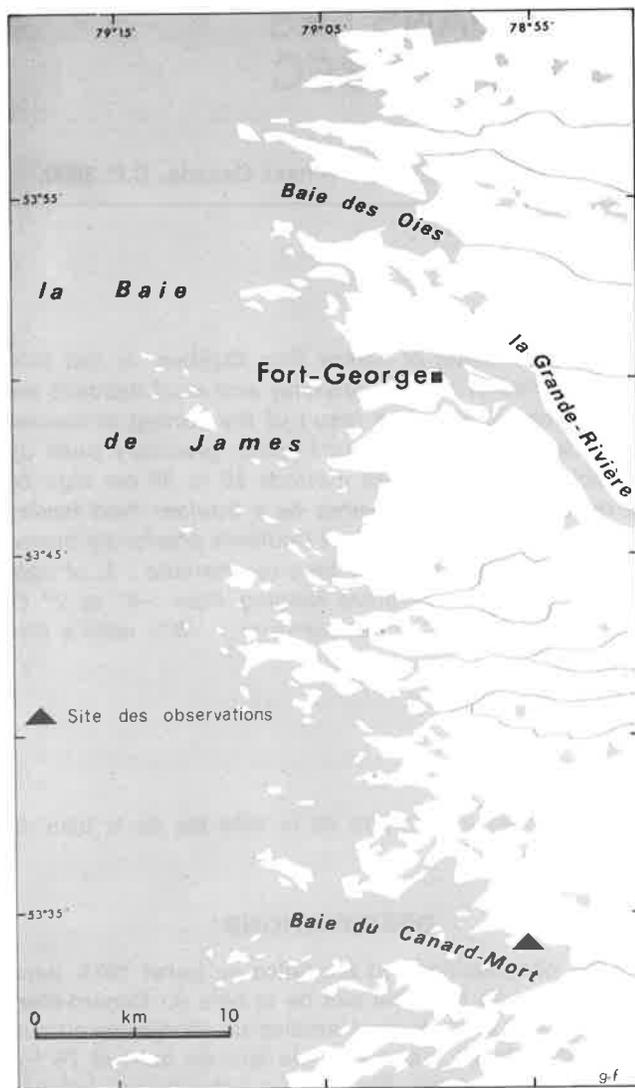


FIGURE 1. Carte de localisation, côte est de la baie de James, Québec.

Location map, east coast of James Bay, Québec.

ciaires (drumelins), tantôt directement sur le socle rocheux. La surface vaseuse est en majeure partie colonisée par *Hippuris tetrphylla*, une espèce assez répandue dans les schorres de la baie de James avec *Carex paleacea*, *Eleocharis palustris* et *E. smallii*. De nombreux blocs cristallins reposent à la surface du schorre.

Dans cette partie de la baie de James, le littoral est très découpé. Il comprend une multitude de bas îlots rocheux correspondant à des affleurements du socle archéen composé de granite et de granitogneiss (EADE, 1966), et des dépôts glaciaires, notamment des drumelins (LEE et al., 1960) partiellement érodés et remaniés par les agents marins. En raison des

nombreuses îles, des écueils et des faibles profondeurs des zones littorales et pré-littorales, l'énergie des vagues à la côte est relativement faible. L'amplitude de la marée est inférieure à 2 mètres.

Du point de vue climatique, cette zone fait partie du Québec subarctique avec une température moyenne annuelle de l'air de $-3,2^{\circ}\text{C}$ à Fort-Georges, avec des maxima de $34,4^{\circ}$ en juillet et des minima de $-48,3^{\circ}$ en janvier; six mois ont une moyenne inférieure à 0° , soit une moyenne de -14° . Une couverture de glace recouvre le rivage de novembre à juin. Il tombe, en moyenne, 607 mm de précipitations totales par année, incluant 2290 mm de neige. Les vents dominants soufflent de l'ouest avec variantes du N.O. et du S.O. En l'absence de données pour la région de Fort-Georges sur l'abondance des cycles gel-dégel, et sur la nature et la valeur des soulèvements qui en résultent, on peut penser, en s'appuyant sur les observations faites à Schefferville (ANDREWS, 1963; BARR, 1964; GRAY, 1966), où la température moyenne annuelle de l'air est de $-4,3^{\circ}$, qu'il y a au moins un ou deux cycles gel-dégel annuels significatifs dans la région de Fort-Georges.

En été, la surface du schorre à *Hippuris tetrphylla* fait voir de petits monticules terreux de forme circulaire de 10 à 30 cm de hauteur par 20 à 45 cm de diamètre. Plusieurs monticules sont entièrement terreux en surface (fig. 2 et 3), alors que d'autres laissent voir des blocs perçant l'enveloppe minérale (fig. 4 et 5). On observe aussi des blocs ceinturés d'un bourrelet terreux indiquant un degré d'évolution plus avancé et correspondant au résidu de l'enveloppe recouvrant jadis le bloc. Les monticules terreux contiennent toujours des cailloux et sont fréquemment dépourvus de tapis végétal. Une tranchée pratiquée au droit d'un monticule a révélé la présence d'une lentille de glace résiduelle à faible profondeur sous le bloc.

Par ailleurs, dans la slikke adjacente au schorre, on a observé d'autres phénomènes d'injection d'argile vers le haut, tels que des «volcans de boue» miniatures et des filons d'argile formant des réseaux polygonaux à la surface de la vase (DIONNE, 1975b).

INTERPRÉTATION

Les petits monticules terreux à la surface du schorre de la baie du Canard-Mort résultent du soulèvement gélival de cailloux erratiques enfouis dans ou sous la couche de vase. Lorsque la surface du schorre est exposée au froid, principalement à l'automne, il se produit des phénomènes de soulèvement différentiel. Les blocs enfouis dans la vase sont alors peu à peu éjectés vers le haut, d'une part par les processus liés au gel-dégel qui tendent à effectuer un certain triage des éléments fins et grossiers (HÖGGBOM, 1910; MORA-



FIGURE 2. Monticules terreux dans un schorre à *Hippuris tetraphylla* de la baie du Canard-Mort, côte est de la baie de James. Les blocs soulevés par le froid n'ont pas encore percé l'enveloppe vaseuse superficielle.

Earth-mounds in a Hippuris tetraphylla salt tidal marsh, Dead Duck Bay, east coast of James Bay. The heaved boulders are not yet visible.

FIGURE 3. Monticule terreux éventré permettant de voir un bloc soulevé par les processus gélivaux dans un schorre à *Carex* de la baie du Canard-Mort.

An open earth-mound showing a boulder heaved by periglacial processes in a Carex salt tidal marsh, Dead Duck Bay.

WETZ, 1932; CZEPPE, 1959; CORTE, 1966), d'autre part par la formation sous les blocs de petites lentilles de glace de ségrégation qui concourent à la migration des blocs vers la surface du schorre. Le phénomène rappelle le type particulier de buttes gazonnées que nous avons déjà signalé pour la rive sud du Saint-Laurent (DIONNE, 1966).

En général, la pression exercée par les blocs dans la matrice fine limono-argileuse permet une certaine concentration d'eau sous les blocs. En raison des



FIGURES 4 et 5. Blocs soulevés par le froid dans un schorre à *Hippuris tetraphylla* de la baie du Canard-Mort.

Boulders heaved by periglacial processes in a Hippuris tetraphylla salt tidal marsh, Dead Duck Bay.



différences de conductibilité thermique du matériel — le limon et l'argile gèlent à une température inférieure à celle du matériel grossier et des cailloux (CAILLEUX et TAYLOR, 1954; CZEPPE, 1959; CORTE, 1966) — il se forme des lentilles de glace sous les blocs qui les poussent peu à peu vers la surface (BESKOW, 1930; TABER, 1918, 1929, 1930, 1943; SCHMID, 1955; KRETSCHMER, 1958; KAPLAR, 1965, 1970). Les blocs ainsi soulevés ne retournent pas à leur position originale après la fonte, soit parce que les matériaux encaissants, dans certaines conditions, dégèlent plus vite et viennent combler le vide laissé par la fonte de la lentille de glace sous le bloc (HAMBERG, 1915; VILBORG, 1955), soit parce qu'il y a soutirage par l'eau de fusion de particules fines qui viennent combler les vides laissés par la fusion des lentilles de glace.

D'après HOLMQUIST (1898, p. 418), des lentilles de glace peuvent se former dans l'argile à des températures de -4° à -5° , et d'après TERZAGHI (1952), il s'en forme par des températures atteignant jusqu'à

-15°. TSYTOVICH (1959, p. 111-112) soutient de son côté qu'à -10°, il y a dans les formations argileuses meubles de 15 à 20% d'eau non gelée. La formation de lentilles de glace de ségrégation sous les blocs se révèle un phénomène assez répandu dans les régions où la température moyenne des mois d'hiver est inférieure à -10°.

Selon INGLIS (1965), le mécanisme du soulèvement des blocs ne serait pas lié à la formation de lentilles de glace sous ces derniers, mais résulterait plutôt de pressions exercées latéralement sur les blocs par le matériel fin encaissant qui, en raison de sa teneur en eau, prend de l'expansion en gelant.

Par ailleurs, le gel et le dégel du sol engendrent des pressions différentielles qui s'exercent dans toutes les directions mais se traduisent uniquement par un mouvement vertical ou horizontal (EAKIN, 1916), de sorte que les éléments grossiers sont poussés vers le haut.

Dans le schorre à *Hippuris tetraphylla*, la migration des blocs vers la surface est évidente; on observe tous les stades de progression à partir du simple boursofflement de la surface vaseuse jusqu'à l'éjection complète du bloc.

Toutefois, il est impossible de préciser la vitesse du soulèvement. Combien de temps un bloc prend-il pour parvenir à la surface? En l'absence d'observations précises, on ne peut qu'avancer des valeurs hypothétiques en comparaison des rares données obtenues ailleurs. MORAWETZ (1932, p. 39) signale des soulèvements de l'ordre de 4 à 7 mm pour des cailloux de la taille d'une noisette à la suite de 3 ou 4 cycles gel-dégel, en milieu alpin. CZEPE (1959) mentionne de son côté des déplacements annuels de l'ordre de 5 cm pour des pieux enfoncés à 35 cm dans le sol, au Spitsberg, alors que GILKEY (1917) signale un soulèvement de 7 cm pour des piliers de béton aux États-Unis. À Schefferville, les soulèvements enregistrés sont de l'ordre de 12 à 25 mm (BARR, 1964; GRAY, 1966). On peut penser alors que dans les schorres de la baie de James, les blocs migrent vers la surface au rythme de plusieurs millimètres à quelques centimètres par année suivant la dimension des lentilles de glace qui se forment en-dessous. En admettant que les blocs se trouvent au départ à la surface du dépôt d'argile marine, soit sous une couche de vase de 15 à 40 cm d'épaisseur et que la valeur du soulèvement est de l'ordre de 3 à 4 cm par année, un bloc mettrait entre 5 et 10 ans pour parvenir à la surface; ce qui paraît vraisemblable dans le cas des schorres de la baie de James.

L'enfouissement des blocs erratiques dans la vase semble dater d'une période antérieure à l'actuelle, période au cours de laquelle la sédimentation vaseuse aurait été abondante. Il se pourrait aussi que les blocs

proviennent à la fois du dépôt argileux sous-jacent, ou de la surface marquant le passage entre l'argile marine et la couche de vase; il s'agirait donc d'un phénomène relativement superficiel.

L'origine glacielle des blocs ne fait aucun doute, les estrans sableux, vaseux et argileux ainsi que les schorres de la côte est de la baie de James étant littéralement couverts de cailloux (DIONNE, 1974). Compte tenu de la faible énergie des vagues et des courants sur une côte aussi découpée et à écueils rocheux abondants, seules les glaces flottantes peuvent rendre compte de la présence de ces milliers de cailloux dans la zone intertidale. La grande concentration de cailloux à la surface des estrans (slikkes et schorres) ne signifie pas nécessairement que tous ces cailloux résultent d'apports glaciels récents; il faut, à la lumière des observations faites dans les schorres, penser qu'une partie de ces cailloux abandonnés depuis longtemps dans ce milieu de sédimentation marine est parvenue à la surface de la vase par migration verticale sous les effets du froid. Il y aurait donc lieu désormais de considérer aussi cette origine possible pour expliquer certains champs de blocs à la surface de terrasses marines exondées.

SIGNIFICATION MORPHO-CLIMATIQUE

L'éjection de blocs vers la surface dans des formations meubles limono-argileuses se rencontre principalement dans les régions froides², notamment dans les régions subarctiques caractérisées par l'abondance des cycles gel-dégel. Dans les régions plus froides et à pergélisol continu, il existe bien entendu des soulèvements par les agents froids conduisant à la formation des sols réticulés. Il semble cependant que l'éjection de blocs isolés dans des formations marines ou lacustres limono-argileuses soit un phénomène relativement rare si l'on en juge d'après la littérature consacrée au sujet (WASHBURN, 1973, p. 65).

Dans les régions tempérées à hiver rigoureux, l'éjection de blocs par le froid est un phénomène assez fréquent. Il se manifeste au Québec méridional à la surface des terrasses marines du Saint-Laurent (DIONNE, 1966), dans des régions ayant une température moyenne annuelle de l'air de 3° à 4°. Les agriculteurs connaissent bien le phénomène pour avoir à épier leurs champs après les labours; ils disent que les blocs «poussent». Les hivers rigoureux du Québec méridional offrent des conditions favorables à la mise

2. Il convient de mentionner ici qu'il peut se produire certains phénomènes de migration vers la surface dans d'autres milieux climatiques, notamment dans les régions désertiques où il existe des alternances de périodes humides et sèches (COOKE, 1970, p. 571-573).

en marche du processus de rejet vers le haut, d'autant plus qu'en général les champs, balayés par le vent, sont souvent non recouverts d'une couche de neige protectrice. Le froid pénètre de 25 à 60 cm dans le sol, et peut donc exercer son action au droit des blocs perdus dans une gangue limono-argileuse. C'est probablement au Québec subarctique qu'existent les conditions les plus favorables au développement de ce type de phénomène périglaciaire. Il serait caractéristique soit des régions ayant une température moyenne annuelle de l'air de -4° à 2° , soit des régions plus tempérées mais à hivers rigoureux (moyenne des mois d'hiver — décembre à mars — de l'ordre de -8° , avec des minima pouvant atteindre -36°), et à faible couverture nivale. Rappelons cependant que l'inventaire de la répartition géographique du phénomène demeure trop sommaire pour autoriser une interprétation rigoureuse.

CONCLUSION

Il semble que jusqu'à maintenant le phénomène du soulèvement de blocs à la surface de dépôts limono-argileux ait peu retenu l'attention des chercheurs, bien qu'il soit d'observation courante dans plusieurs régions des moyennes latitudes. Il serait souhaitable qu'une plus grande attention soit accordée au sujet, afin de préciser la signification climatique du phénomène qui pourrait probablement servir de critère permettant de délimiter d'une façon plus précise les diverses zones périglaciaires actuelles et anciennes du Québec.

(Texte déposé le 13 janvier 1975)

RÉFÉRENCES

- ANDREWS, J.T. (1963) : «The Analysis of Frost-Heave Data Collected by B.R.J. HAYWOOD from Schefferville, Labrador-Ungava», *Can. Geogr.*, vol. 7, n° 4, p. 163-173, 8 fig.
- BARR, W. (1964) : «Studies in Frost-Heave and Frost Penetration at Schefferville, 1963-1969» *McGill Sub-Arctic Res. Pap.*, n° 19, p. 79-85, 3 fig.
- BESKOW, G. (1930) : «Erdfließen und Strukturböden der Hochgebirge im Licht der Frosthebung», *Geol. Fören. Förh.*, vol. 52, n° 4, p. 622-638, 11 fig.
- BOURNERIAS, M. (1972) : «Pyramides rocheuses d'éjection en milieu périglaciaire, Puvirnituk, Nouveau-Québec», *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 26, n° 2, p. 214-219, 9 fig.
- CAILLEUX, A. et TAYLOR, G. (1954) : *Cryopédologie (étude des sols gelés)*, Paris, Hermann, 218 p., 94 fig., 12 pl. h.t.
- COOKE, R.U. (1970) : «Stone Pavements in Deserts», *Ann. Ass. Amer. Geogr.*, vol. 60, n° 3, p. 560-577, 14 fig.
- CORTE, A. (1966) : «Particule Sorting by Repeated Freezing and Thawing», *Biul. Peryglacj.*, n° 15, p. 175-240, 48 fig., 23 pl. h.-t.
- CZEPPE, Z. (1959) : «Remarks on Frost-Heave», *Czasopismo Geogr.*, vol. 30, p. 195-202.
- DIONNE, J.-C. (1966) : «Un type particulier de buttes gazonnées», *Rev. Géomorph. Dyn.*, vol. 16, n° 3, p. 97-100, 7 fig.
- DIONNE, J.-C. (1974) : «Le glacier de la région du Chissibi, Baie-de-James, Québec subarctique», Québec, *Colloque intern. Action géol. Glaces flottantes*, Résumés p. 19-21.
- DIONNE, J.-C. (1975a) : «Le glacier de la région de La Grande, Baie-de-James, Québec», *Rev. Géogr. Montr.*, vol. 29, n° 4 (à paraître).
- DIONNE, J.-C. (1975b) : «Injection Features in a Mud Tidal Flat, James Bay, Quebec», *Can. Journ. Earth Sc.* (à paraître).
- EADE, K.E. (1966) : *Fort George River and Kaniapiskau River (West half) Map-Areas, New Quebec*, Geol. Surv. Can., Mem. n° 339, 84 p., 4 fig., 11 pl.
- EAKIN, H.M. (1916) : *The Yukon-Koyutak Region, Alaska*, U.S. Geol. Surv., Bull. n° 631, 88 p., 2 fig., 10 pl. h.-t.
- GILKEY, H.J. (1917) : «Freezing Ground Acts Like Hydraulic Jack», *Eng. News-Record*, vol. 79, n° 8, p. 360-361, 2 fig.
- GRAY, J.T. (1966) : «Frost-Heave Studies at Knob Lake 1964-65», *McGill Sub-arctic Res. Pap.*, n° 21, p. 108-128, 8 fig.
- HAMBERG, A. (1915) : «Zur Kenntnis der Vorgänge im Erdboden beim Gefrieren und Auftauen sowie Bemerkungen über die erste Kristallisation des Eises in Wasser», *Geol. Fören. Förh.*, vol. 37, p. 583-619.
- HÖGGBOM, B. (1910) : «Einige Illustrationen zu den geologischen Wirkungen des Frostes auf Spitsbergen», *Bull. Geol. Inst., Uppsala Univ.*, vol. 9, n° 17-18, p. 41-59, 8 fig.
- HOLMQUIST, P.J. (1898) : «Ueber mechanische Störungen und chemische Umsetzungen in dem Bänderthon Schwedens», *Bull. Geol. Inst. Uppsala Univ.*, vol. 3, n° 6, p. 412-432.
- INGLIS, D.R. (1965) : «Particle Sorting and Stone Migration by Freezing and Thawing», *Science*, vol. 148, n° 3677, p. 1616-1617, 2 fig.
- JACKSON, K.A. (1966) : «Frost-Heave in Soils», *Journ. Appl. Phys.*, vol. 37, n° 2, p. 848-852.
- KAPLAR, C.W. (1965) : «Stone Migration by Freezing Soil», *Science*, vol. 149, n° 3691, p. 1520-1521, 1 fig.
- KAPLAR, C.W. (1970) : «Phenomenon and Mechanism of Frost Heaving», *Highway Res. Record*, n° 304, p. 1-13, 13 fig.
- KRETSCHMER, G. (1958) : «Die Ursache für Eisschichtenbildung in Böden», *Wisen. Zeisch. Friedrich-Schiller Univ. Jena, Math. Natur. Reihe*, vol. 7, n° 2-3, p. 273-277.
- LEE, H.A., EADE, K.E. et HEYWOOD, W.W. (1960) : *Surficial Geology, Sakami Lake (Fort George — Great Whale Area), New Quebec*, Geol. Surv. Can., map 52-1959.

- MORAWETZ, S.O. (1932) : «Beobachtungen an Schutthalden, Schuttkegeln und Schutflecken», *Zeitsch. f. Geomorph.*, vol. 7, p. 25-43.
- SCHMID, J. (1955) : *Der Bodenfrost als morphologischen Faktor*, Heidelberg, Alfred Hüthing Verlag, 144 p.
- TABER, S. (1918) : «Ice Forming in Clay Soils Will Lift Surface Weights», *Eng. News-Record*, vol. 80, n° 6, p. 262-263, 1 fig.
- TABER, S. (1929) : «Frost Heaving», *Journ. Geol.*, vol. 37, n° 5, p. 428-461, 21 fig.
- TABER, S. (1930) : «The Mechanics of Frost Heaving», *Journ. Geol.*, vol. 38, n° 4, p. 303-317, 5 fig.
- TABER, S. (1943) : «Perennially Frozen Ground in Alaska», *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 54, n° 12, p. 1433-1548, 13 fig., 22 pl. h.-t.
- TAKAGI, S. (1965) : *Principles of Frost Heaving*, U.S. Army, CRREL, Res. Rept., n° 140.
- TERZAGHI, K. (1952) : «Permafrost», *Boston Soc. Civil Eng. Journ.*, vol. 39, p. 1-50.
- TSYTOVICH, N.A. et al. (1959) : *O fizicheskikh yavleniyakh i protsessakh v promerzayushchikh, merzlykh i protaivayushchikh gruntakh*, Moskava, Akad. Nauk SSSR, Inst. Merlotovedeniya, 459 p.
- VILBORG, L. (1955) : «The Uplift of Stones by Frost», *Geogr. Ann.*, vol. 37, p. 164-169.
- WASHBURN, A.L. (1969) : *Weathering, Frost Action, and Patterned Ground in the Mesters Vig District, Northeast Greenland*, *Medd. Grond.*, vol. 176, n° 4, 303 p., 118 fig.
- WASHBURN, A.L. (1973) : *Periglacial Processes and Environments*, Londres, Arnold, 320 p., 145 fig.
- WYCKOFF, L.B. (1918) : «Some Observations on Effect of Frost in Raising Weights», *Eng. News-Record*, vol. 80, n° 13, p. 627-628, 1 fig.