

## Géliformes et sols cryiques dans le sud de l'Abitibi, Québec Geliformen und Frostböden im Süden der Abitibi, Québec

Jean-Louis Brown et Pierre Ganfloff

Volume 34, numéro 2, 1980

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1000394ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1000394ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Brown, J.-L. & Ganfloff, P. (1980). Géliformes et sols cryiques dans le sud de l'Abitibi, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 34(2), 137–158. <https://doi.org/10.7202/1000394ar>

Résumé de l'article

Des géliformes reliques et d'autres actuellement actives, observées sous forêt à près de 400 km au sud de la limite méridionale du pergélisol, ont fait l'objet d'une étude dans le sud de l'Abitibi (Québec). En plus de décrire ces phénomènes et de dégager leur signification paléoclimatique, les auteurs soulignent leurs effets sur la pédogénèse. Si dans le passé, au Québec méridional, les cryoturbations de paléoclimats périglaciaires ont contribué au façonnement secondaire des dépôts glaciaires (géliformes reliques), encore aujourd'hui, même hors de la zone de pergélisol, des cryoturbations continuent d'interférer avec des processus de la pédogénèse. Celle-ci tend à différencier le sol en horizons distincts; la cryoturbation, par le brassage qu'elle détermine, contribue à augmenter la variabilité du sol sur de courtes distances. La classification de ces sols cryoturbés, en l'absence de pergélisol, n'étant pas prévue dans le système canadien de classification des sols, il est suggéré d'ajouter un nouveau grand-groupe à l'ordre des sols cryosoliques ou de prévoir des sous-groupes intergrades cryoturbiques à l'intérieur des autres ordres concernés.

# GÉLIFORMES ET SOLS CRYIQUES DANS LE SUD DE L'ABITIBI, QUÉBEC

Jean-Louis BROWN et Pierre GANGLOFF, respectivement, Service de la recherche forestière, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Complexe scientifique Sainte-Foy, Québec G1P 3W8 (Extrait N° 11) et Département de géographie, université de Montréal, c.p. 6128, Montréal H3C 3J7.

**RÉSUMÉ** Des géliformes reliques et d'autres actuellement actives, observées sous forêt à près de 400 km au sud de la limite méridionale du pergélisol, ont fait l'objet d'une étude dans le sud de l'Abitibi (Québec). En plus de décrire ces phénomènes et de dégager leur signification paléoclimatique, les auteurs soulignent leurs effets sur la pédogénèse. Si dans le passé, au Québec méridional, les cryoturbations de paléoclimats périglaciaires ont contribué au façonnement secondaire des dépôts glaciaires (géliformes reliques), encore aujourd'hui, même hors de la zone de pergélisol, des cryoturbations continuent d'interférer avec des processus de la pédogénèse. Celle-ci tend à différencier le sol en horizons distincts; la cryoturbation, par le brassage qu'elle détermine, contribue à augmenter la variabilité du sol sur de courtes distances. La classification de ces sols cryoturbés, en l'absence de pergélisol, n'étant pas prévue dans le système canadien de classification des sols, il est suggéré d'ajouter un nouveau grand-groupe à l'ordre des sols cryosoliques ou de prévoir des sous-groupes intergrades cryoturbiques à l'intérieur des autres ordres concernés.

**ABSTRACT** Evidence of fossil as well as active patterned ground has been found in forested areas some 400 km south of the permafrost zone, in the southern part of Abitibi (Québec). This paper describes the occurrence of sorted and non sorted patterned ground and stresses the paleoclimatic and pedologic importance of this features. In late glacial time cryoturbation contributed to rework glacial deposits. At present time active cryoturbation is interfering with pedologic processes giving mixed horizons and a great variability of soils on a short distance. The Canadian System of Soil Classification (1978) does not include a category of cryoturbated soils in non permafrost regions. We suggest the creation of a new great group inside the cryosolic order or the introduction of an intergrade cryoturbic subgroup inside the other concerned orders.

**ZUSAMMENFASSUNG** *Geliformen und Frostböden im Süden der Abitibi, Québec.* Fossile und aktive Geliformen, die sich ungefähr 400 Km in Süden der südlichen Grenze des Dauerfrostbodens entwickelt haben, wurden in einer Forschungsarbeit im Süden der Abitibi, Québec, beobachtet. Die Autoren beschreiben ausser diesen Vorgängen und ihrer Bedeutung vom paleoklimatischen Standpunkt aus, auch deren Einfluss auf die Pedogenese. Wenn in der Vergangenheit im südlichen Québec die Kryoturbationen in der periglaziären Umwelt zur sekundären Bildung der glaziären Ablagerungen (fossile Geliformen) beigetragen haben, so auch heute noch; selbst ausserhalb der Dauerfrostboden Zone stören die Kryoturbationen die Vorgänge der Pedogenese welche dazu neigen den Boden in Horizonten zu gliedern. Ausserdem, durch das Verkneten das daraus erfolgt, tragen sie dazu bei, die Veränderungen des Bodens über kurze Strecken zu vermehren. Die Einstufung dieser Kryoturbationsböden, in Abwesenheit von Dauerfrostboden, ist im Kanadischen Klassifikationssystem der Böden (C C P 1978) nicht vorgesehen. Man schlägt deshalb vor, eine neue Gross-Gruppe innerhalb der Einordnung der kryologischen Böden zu schaffen.

## INTRODUCTION

Sous forêt, de nombreux profils pédologiques résultent de la combinaison de deux ou plusieurs familles de processus antagonistes. Alors que les phénomènes à dominante biochimique commandent la différenciation de la roche-mère en horizons, des actions mécaniques viennent périodiquement perturber ces horizons, enfouissant des lambeaux de litière ou d'humus et amenant en surface des matériaux meubles souvent peu ou pas différenciés pédogénétiquement.

Ce brassage est principalement déterminé aux latitudes méridionales par le déracinement des arbres, par le vent, à la suite des épidémies, des feux ou des tornades; il fait partie tout naturellement du dynamisme même des forêts, où les arbres passés maturité cèdent leur place en se cassant ou en se renversant. Bien que ponctuel et discontinu dans le temps, ce processus, à l'échelle du millénaire, finit par affecter la plus grande partie du sol. Il rend compte de l'extrême variabilité, sur de courtes distances, des profils pédologiques (BROWN, 1977).

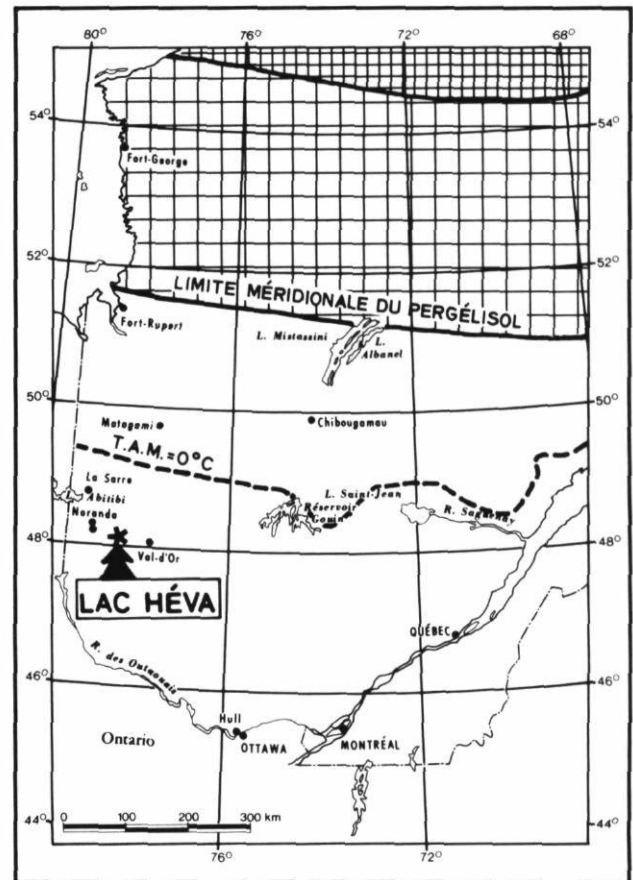
Sous forêt boréale, le processus du renversement n'est pas le seul en action. Des observations faites en Abitibi, au site HÉVA, montrent, en effet, que pour des conditions édaphiques données, des processus cryogéniques jouent aussi un rôle sur la pédogénèse; rôle qui semble avoir été sous-évalué, du moins pour certains sols situés au sud de la limite méridionale du pergélisol.

La présente contribution signale la présence de géliformes dans une partie du Québec méridional où elles étaient inconnues, explique leur présence et leur genèse actuelle au sud de la zone de pergélisol, étudie et souligne l'importance de ces phénomènes sur la pédogénèse et la variabilité de certains sols forestiers. Elle tente également de situer ces sols dans *Le système canadien de classification des sols* (Commission canadienne de pédologie, 1978).

### LE SITE HÉVA : SON CADRE MORPHOCLIMATIQUE

À 6 km au sud du village de Cadillac, soit à 48°10' de latitude, le site HÉVA (fig. 1a) se caractérise par la présence, sous forêt, de formes périglaciaires, les unes reliques, d'autres actuelles.

Leur présence à une latitude aussi basse peut surprendre. Le site, à 390 km de la limite méridionale du pergélisol discontinu (R.J.E. BROWN, 1974), appartient au domaine de la sapinière à bouleau blanc (GRANDTNER, 1966) même si, sur l'une des stations étudiées, pousse une pessière dont le domaine climacique commence à quelques dizaines de kilomètres plus au nord (fig. 1b). Cette particularité biogéographique s'éclaire à la lumière des données météorologiques de la station



ZONE DE PERGÉLISOL DISCONTINU (BROWN 1974)


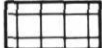
-  Sous-zone de pergélisol discontinu et étendu
-  Sous-zone de pergélisol discontinu et épars
- ISOTHERME DE 0°C (Température annuelle moyenne) (WILSON 1971)

FIGURE 1a. Localisation du site HÉVA, par rapport à la zone de pergélisol discontinu et la limite méridionale du pergélisol (R.J.E. BROWN, 1974).

*Location of HÉVA site in relation to the southern limit of discontinuous permafrost zone (R.J.E. BROWN, 1974).*

la plus proche: CADILLAC. Avec des températures moyennes annuelles de l'air de 1,9°C et des précipitations totales de 862 mm, le point ombrothermique de la station se place dans la partie la moins humide de la sapinière à bouleau blanc, non loin d'une aire commune à celle-ci et à la pessière (RICHARD, 1978). De plus, l'implantation de l'épinette noire y a été favorisée par des feux dont les traces se retrouvent encore dans le sol.

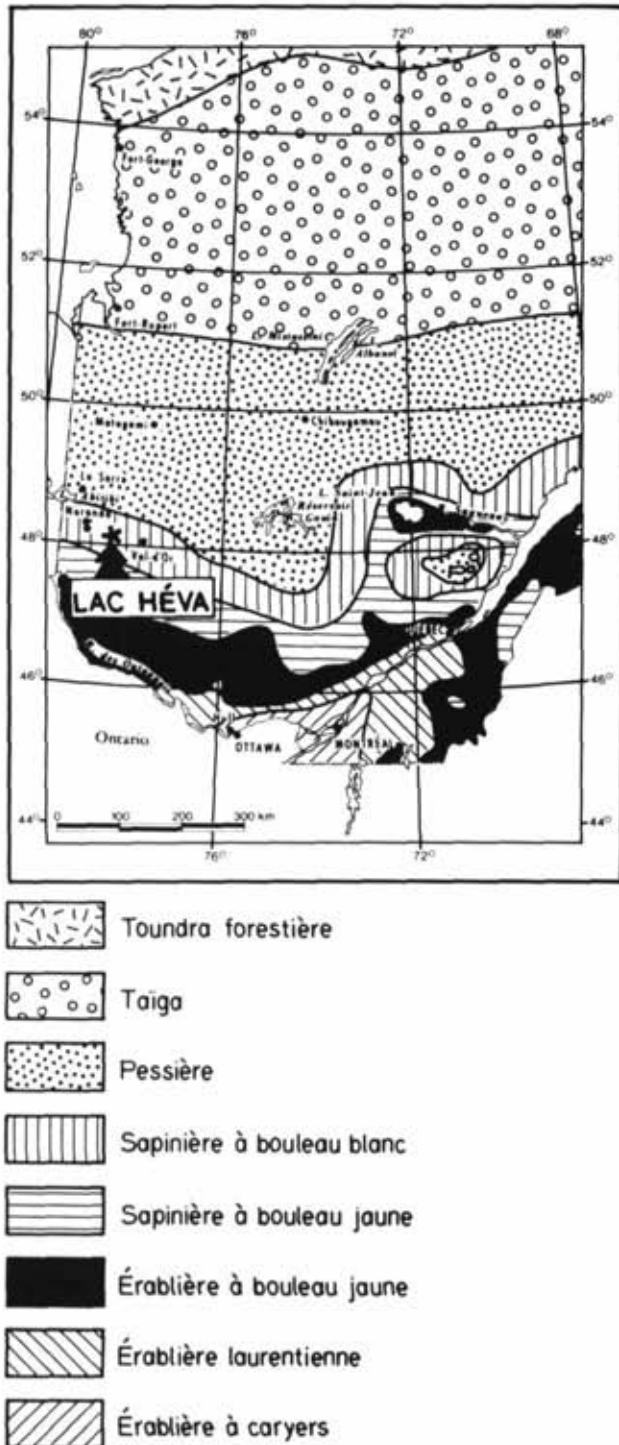


FIGURE 1b. Localisation du site HÉVA, par rapport aux principales unités de végétation du Québec (GRANDTNER, 1966; RICHARD, 1978).

Location of HÉVA site in relation to the main vegetational units of Québec (GRANDTNER, 1966; RICHARD, 1978).

Le climat, de type continental, est marqué par des hivers rigoureux, secs et longs et des étés courts, chauds et plus humides. L'amplitude thermique annuelle atteint 32,8°C. La moyenne de janvier, le mois le plus froid, descend à -15,3°C alors que celle de juillet, le mois le plus chaud, s'élève à 17,5°C (tabl. I). Les températures moyennes d'avril et de novembre sont particulièrement significatives. Durant ces mois, la couverture de neige au sol est mince ou inexistante, ce qui permet au gel de pénétrer davantage en profondeur. De plus, les cycles gélivaux sont fréquents et particulièrement actifs sur le sol comme le suggèrent, par exemple, pour le mois de novembre, la température journalière moyenne (-2,1°C) et les moyennes des minima journaliers (-5,6°C) alors que les maxima journaliers atteignent 1,3°C.

Le relief est modeste et développé dans le socle précambrien; il est formé de basses collines et d'amples dépressions. Le substratum rocheux n'affleure qu'au droit des collines surbaissées; ailleurs, il est recouvert de dépôts meubles quaternaires. L'agencement des dépôts meubles et des géliformes est schématisé sur la figure 2. Au sommet des collines, les affleurements rocheux supportent des lithosols; les versants sont tapissés de till remanié à matrice sablo-limoneuse; dans ce faciès les processus cryergiques ont façonné des géliformes à triage; en contre-bas, dans le fond des cuvettes dominant des dépôts limono-argileux mis en place dans le lac proglaciaire Barlow-Ojibouai. Des ostioles dont la dynamique interfère avec la pédogénèse s'y développent, sous la forêt actuelle. Les points bas des dépressions sont colonisés par des tourbières à sphaigne où l'on peut observer des thufurs.

Les sols développés dans ces milieux sont imparfaitement connus. Une reconnaissance autour du lac HÉVA révèle leur extrême diversité attribuable tant aux héritages morphologiques du Quaternaire qu'à la morphogénèse actuelle.

## MÉTHODES

Deux stations, distantes de 3 km et sensiblement à la même altitude (320 et 335 m), ont été choisies pour étudier les rapports entre les microformes de type périglaciaire et la pédogénèse. La station HÉVA I se prête particulièrement bien à l'observation des géliformes à triage. La station HÉVA II, à trois kilomètres au nord, présente sur une cinquantaines de mètres, la toposéquence complète schématisée par la figure 2.

Trois tranchées principales ont été ouvertes, l'une dans la première station, deux dans la seconde. Les coupes, longues de 3 à 4,50 m, étaient suffisamment profondes pour exposer environ 30 cm de l'horizon C des sols. Le profil de la surface du sol ainsi que le contour des principaux horizons ont été levés en se servant

TABLEAU I  
Sommaire climatique (°C)<sup>1</sup>

	Cadillac	Val-d'Or	Moyenne
T° moyenne annuelle de l'air	1,9	1,4	MT
	7,5	6,8	MX
	- 3,7	- 3,9	MN
T° moyenne mensuelle et minima absolu			
janvier	-15,3	-16,5	MT
	- 9,5	-11,1	MX
	-21,2	-21,9	MN
	-45,6	-43,9	MA
juillet	17,5	17,5	MT
	23,4	23,4	MX
	11,0	11,4	MN
	0,0	1,7	MA
avril	0,9	0,7	MT
	6,6	6,1	MX
	- 4,8	- 4,7	MN
	-25,6	-25,0	MA
novembre	- 2,1	- 3,4	MT
	1,3	0,2	MX
	- 5,6	- 7,0	MN
	-27,8	-28,9	MA
Date de la première gelée <sup>2</sup>	26 août	—	
Date de la dernière gelée <sup>2</sup>	15 juin	—	
Précipitation totale annuelle	862 mm	877 mm	
Précipitation en neige	2494 mm	2819 mm	

<sup>1</sup> VILLENEUVE (1967); données originales en °F

<sup>2</sup> Probabilité de 50%, selon Can. Min. Transp. (ANONYME, 1968)

MT : Température moyenne

MX : Moyenne des maxima journaliers

MN : Moyenne des minima journaliers

MA : Température minimum absolue

de mesures prises tous les 10 cm sur une ligne de base horizontale. Ces coupes très élaborées ont été complétées par des tranchées plus courtes, creusées dans la station sur sédiments lacustres limono-argileux, et par des observations inédites effectuées par l'un des auteurs quelques années auparavant.

Des échantillons ont été prélevés à des fins d'analyse pour la classification du sol. La granulométrie de la fraction inférieure à 2 mm a été déterminée, après destruction de la M. O. par le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, par la méthode de l'hydromètre. L'extraction du Fe et de l'Al libres a été faite au pyrophosphate de sodium (McKEAGUE, 1967) et la teneur en matière organique (M.O.) a été déterminée par voie d'oxydation humide (WALKLEY et BLACK 1934). Pour ces analyses, on a suivi les protocoles suggérés dans le Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols (McKEAGUE 1977). Les sols sont classi-

fiés selon Le Système Canadien de Classification des Sols (Commission canadienne de pédologie, 1978).

### MORPHOGÉNÈSE ET PÉDOGÉNÈSE D'UN CHAMP DE GÉLIFORMES À TRIAGE

La station HÉVA I se localise sur un till de fond, dans une bande de terrain maintenue artificiellement déboisée, car elle se trouve sous une ligne de l'Hydro-Québec. Les géliformes se concentrent sur un replat; il collecte les eaux des terrains à pente faible qui le bordent. Cependant, la station se draine assez bien, grâce au réseau de polygones de pierres qui forme un drain naturel.

Les géliformes à triage couvrent une surface d'une centaine de mètres de longueur et se poursuivent sous la forêt adjacente. Leurs blocs ont une lithologie variée comprenant des quartzites et des roches volcaniques; ils sont visiblement issus du till sous-jacent.

Les cailloux étant couverts de lichens, on peut en déduire que les géliformes ne sont plus actives, bien que le déboisement ait ravivé la morsure du froid qui fait éclater des pierres (fig. 8b).

#### 1) LES CARACTÉRISTIQUES DES GÉLIFORMES

Les géliformes présentent des figures géométriques irrégulières; on peut en distinguer trois types.

a) Des trainées de cailloux : larges de 2,50 m à 3 m, elles apparaissent sur les pentes faibles. Les blocs mesurent entre 45 cm à 1 m de longueur; en règle générale, les plus gros sont concentrés sur la marge, et les plus petits dans le centre des trainées de cailloux. Lorsqu'il y a des cailloux plats, ils ne sont pas redressés comme dans les polygones de pierres avoisinants.

b) Des nids de pierres (fig. 8a) : ils sont toujours en légère dépression par rapport aux aires voisines où affleure le till de fond. Un exemple de ces nids, long de 1,70 m et large de 1 m, est illustré par la figure 3a. Les gros blocs, de 25 cm à 95 cm de grand axe sont rejetés en périphérie. À l'intérieur, les galets et blocs ont subi un classement extrêmement poussé. C'est ainsi qu'au cœur du nid se localise une tache de galets de 3 cm à 13 cm de long mais dont plus de 50% des éléments se situent dans la classe de 3 à 5 cm (fig. 3b). Le tri des galets est, en réalité, encore plus poussé que ne le laisse entrevoir la figure 3 puisque, en effectuant les comptages granulométriques, nous nous sommes aperçus que les éléments les plus petits se concentraient à la base et les plus grands au sommet de l'aire triée. Ce fait pourrait s'expliquer par un effet de tamisage, les petits cailloux filtrant, par gravité, à travers les vides entre les fractions plus grossières. Mais ce tamisage, s'il a existé, n'a joué qu'un rôle secondaire: le triage des galets et blocs s'est opéré aussi bien latéralement que verticalement.

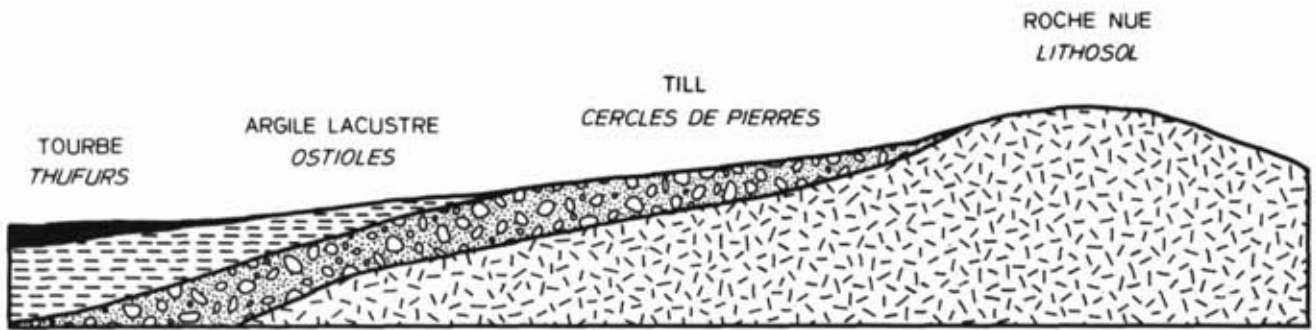


FIGURE 2. Lac HÉVA : toposéquence schématisée.

Sketch of a catena at lake HÉVA.

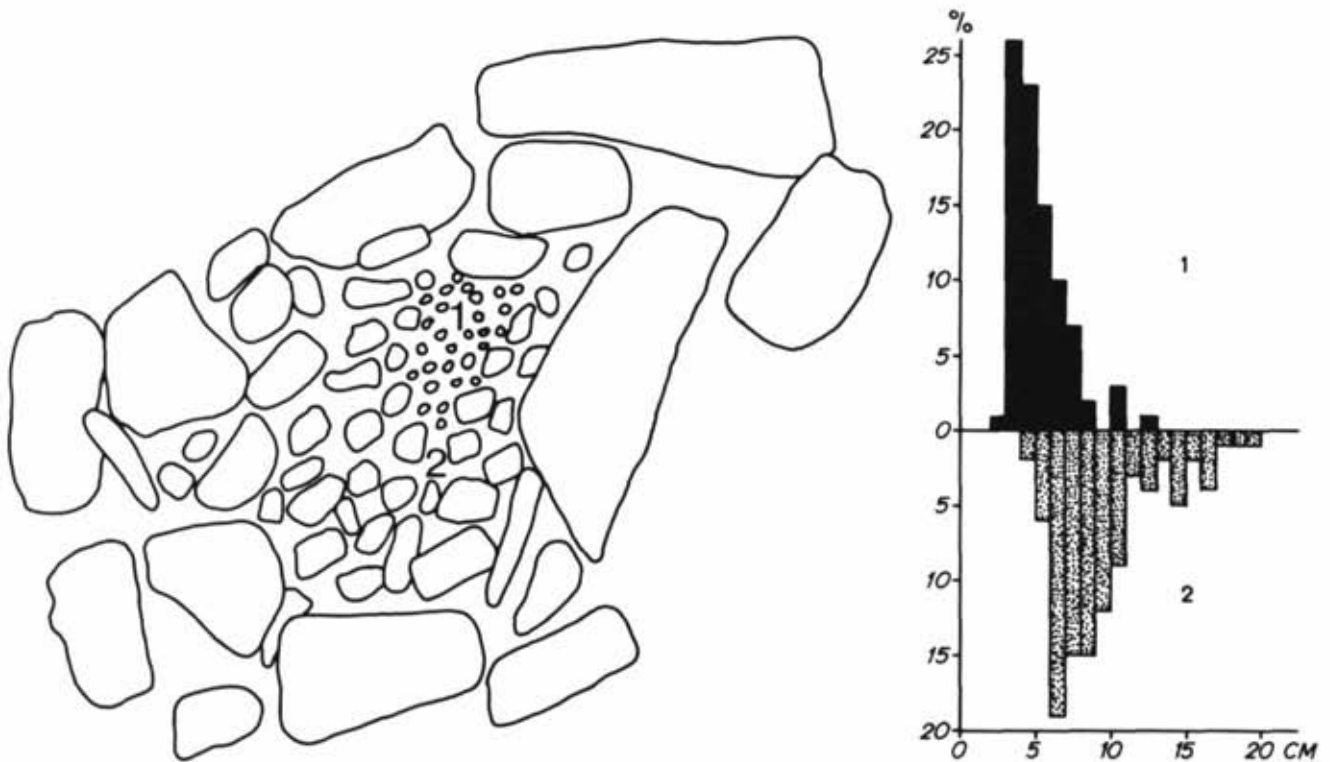


FIGURE 3. Classement des pierres d'un nid de pierres: a) vue en plan schématisée b) Histogramme illustrant le classement.

Sorted pebbles and boulders forming a stone nest: a) schematic ground-plan b) sorting of coarse material at location 1 and 2 of figure 3a.

Entre cette aire de galets homométriques et la ceinture de gros blocs se dispose une zone intermédiaire dont les éléments, plus grands, atteignent 4 à 20 cm de grand axe et dont l'histogramme des longueurs, avec un mode de 6 à 7 cm, indique ici encore un classement poussé.

c) Les cercles de pierres : ils appartiennent tous au type flottant à cellules terreuses. Des bordures de blocs larges de 1 à 3 m et pénétrant en coin sur 1 m dans la moraine entourent des cellules de till légèrement

bombées, dépassant couramment 3 m de diamètre. Aucune matrice interstitielle n'existe entre les blocs; lorsque ceux-ci comprennent en leur sein des dalles, elles sont redressées de 60 à 90°.

Une tranchée à travers l'une de ces géliformes à triage (fig. 4a) en révèle la constitution. Sauf exception, la cellule centrale, morainique, est dépourvue de tout bloc; les quelques galets présents sont dispersés dans la matrice sablo-limoneuse et présentent un triage très poussé : 60% des galets comptés ont de 2 à 5 cm de

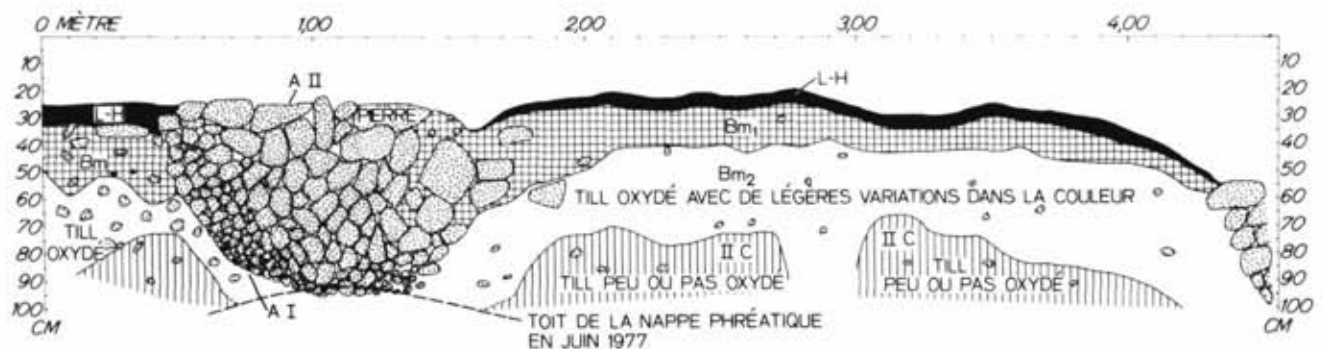
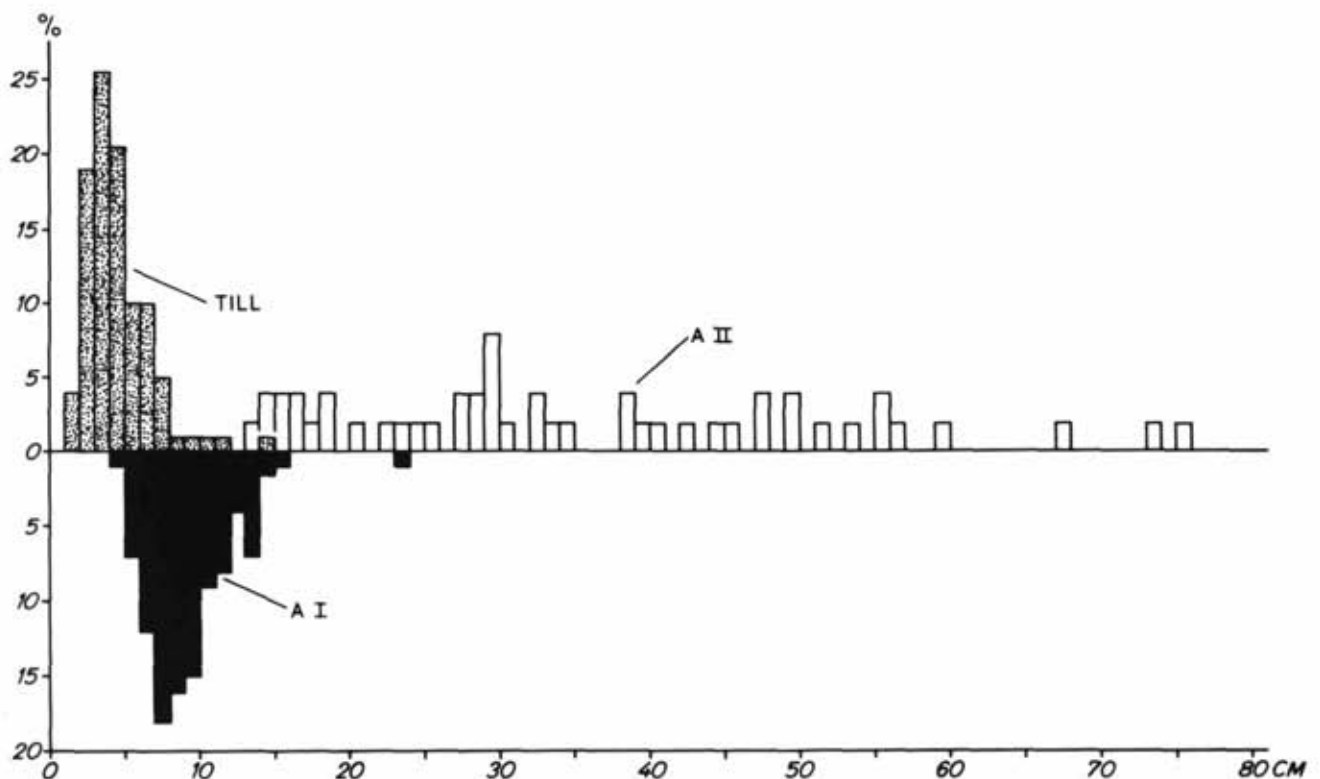


FIGURE 4. a) Coupe I montrant le classement des pierres et les principaux horizons du sol à l'intérieur d'un réseau de polygones avec triage b) Histogramme illustrant le classement des blocs et des galets.

a) Cross-section I. Note the distribution of pebbles and the main soil horizons inside a sorted circle b) Sorting of pebbles and boulders at three locations of cross-section Ia.



long alors que seulement 5% des éléments sont supérieurs à 8 cm (fig. 4b). De toute évidence, un tel classement ne provient pas du dépôt glaciaire primitif mais résulte du départ, par migration sous les effets des cycles gélivaux, des fractions plus grossières qui se concentrent dans les ceintures de blocs. Mais là encore se distinguent deux ensembles granulométriques: une couche de galets de taille moyenne (A I) réunit les éléments de 4 à 16 cm de grand axe. Elle est recouverte par les blocs (A II) de 15 à 80 cm de longueur,

pour lesquels l'échelle arithmétique des histogrammes (fig. 4b) ne permet pas, compte tenu de leur taille, de faire apparaître un triage.

On remarque aussi sur cette même coupe un tri latéral des pierres avec un gradient allant des plus grosses à droite vers les plus petites situées sur le côté gauche du cordon. La concentration de galets à cet endroit peut résulter d'une remontée de ceux-ci situés normalement à plus grandes profondeurs ou même à la base du cordon pierreuse, ces galets ayant été entraînés à la

suite d'une remontée de matériaux fins, lors de la formation de la petite cellule située à gauche de ce cordon. En effet, cette cellule terreuse, dont on n'aperçoit qu'une partie (fig. 4a), mesure à peine un mètre dans sa plus grande largeur, soit à sa base, et contrairement à sa voisine, renferme d'abondants petits galets. Ces derniers pouvaient être déjà présents dans le matériel injecté ou, encore, avoir été empruntés en partie à la base du cordon pierreux. De plus, à cette occasion, le cordon pierreux peut même avoir subi une légère rotation, occasionnée par la remontée des pierres du côté gauche et par un affaissement des pierres du côté droit, comme le suggère la disposition de celles-ci sur cette même figure. La formation de la mini-cellule serait postérieure à celle de la cellule principale, car contrairement à cette dernière, les alternances de gel et de dégel n'ont pas eu le temps de produire une ségrégation aussi complète des pierres.

On ne peut qu'être frappé par la similitude des histogrammes de la figure 3b et de la partie gauche de la figure 4b; elle souligne deux faits importants: 1) à partir du till, le triage périglaciaire des galets et blocs s'ordonne autour de trois modes granulométriques: 3 à 5 cm de long, 6 à 8 cm et les gros blocs. 2) Ces mécanismes de classement périglaciaire sont indépendants de la forme finale puisque les mêmes résultats s'observent aussi bien dans les cercles que dans les nids de pierres. Pour le façonnement des cercles de pierres, par exemple, le mécanisme de triage est un processus nécessaire, mais non pas suffisant; il doit se combiner à d'autres phénomènes, comme la fissuration des matériaux morainiques selon des réseaux polygonaux où ira se concentrer la fraction grossière et, vraisemblablement, le gonflement de la partie centrale des cellules terreuses; un tel bombement lié à un brassage des matériaux morainiques s'est d'ailleurs produit à une période récente comme l'atteste l'étude pédologique.

## 2) LE SOL

Dans la cellule morainique de la géliforme à triage, s'observe de haut en bas le profil pédologique suivant (fig. 4a et 10c).

a) Une couche d'humus (L-H) de 3 à 5 cm d'épaisseur, sous une strate de graminées.

b) Un premier horizon Bm de couleur brune (10YR 5/3,5h), mesurant 5 à 25 cm d'épaisseur qui tranche sur l'horizon qui le suit par sa couleur plus foncée et plus uniforme. Il présente une texture située à la limite entre le loam sableux et le sable loameux avec 75% de sable, 20% de limon et seulement 5% d'argile (tabl. II). Il est de plus parsemé de galets triés (fig. 4b). La teneur en Fe et Al libres n'y atteint que 0,34% (tabl. III), ce qui est bien en-dessous du seuil de 0,6% requis pour classer cet horizon parmi les B podzoliques. Alors même que sa

TABLEAU II

*Granulométrie des principaux horizons d'une cellule d'un champ de géliformes à triage sur till (HÉVA I)*

Localisation en abscisse sur la coupe I	Horizon	Texture	%		
			Argile <2 $\mu$ m	Limon 2-50 $\mu$ m	Sable >50 $\mu$
2,50 m	Bm <sub>1</sub>	Sable loameux	5	20	75
2,50 m	Bm <sub>2</sub>	Loam sableux	9	27	64
2,50 m	II Cg	Loam limoneux	10	66	24

texture filtrante en facilite le lessivage et que son pH (pH CaCl<sub>2</sub> = 4,5) et son environnement climatique (T.A.M. = 1,9°C et P. = 862 mm) sont très favorables à la podzolisation, cet horizon bien égoutté demeure très peu podzolisé; c'est pourquoi nous l'avons classé Bm.

Est-ce un brassage du sol qui contrecarre le processus de lessivage, empêchant ainsi les horizons Ae et B de se développer ou faut-il incriminer la couverture végétale de graminées qui fournirait un humus peu favorable à la podzolisation? En fait, l'horizon humifère ne peut, à lui seul, rendre compte de l'absence d'horizons Ae ou Aeb, car le couvert de graminées est récent et résulte de la destruction, sous la ligne de l'Hydro-Québec, de la végétation forestière normalement acidifiante.

c) Un second horizon Bm, d'une trentaine de centimètres d'épaisseur moyenne, présente un pH identique (4,5) à celui du Bm supérieur et une texture un peu plus fine (loam sableux) avec 64% de sable, 27% de limon et 9% d'argile (tabl. II). Il s'en distingue aussi par trois autres caractères: une baisse de teneur en matière organique qui tombe, de 1,23% dans l'horizon supérieur, à 0,32%, une diminution des teneurs en Al et Fe libres qui n'atteignent plus ici que 0,22% (tabl. III) ainsi qu'une couleur plus pâle où se distinguent, par endroits, des variations de teintes.

d) Sous ces deux Bm apparaît un horizon discontinu (II C), très peu ou pas oxydé, de couleur grise (5Y 5/1h) et de texture plus fine (loam limoneux avec seulement 24% de sable, 66% de limon et 10% d'argile). Paradoxalement, il est plus riche en matière organique: on y observe des macrorestes de végétaux, une teneur en matière organique colloïdale de 2,02% et des grains de charbon de bois (4 × 3 mm). Au centre de la cellule, une colonne de till plus oxydée partage cet horizon en deux parties, leur conférant l'aspect de deux coins repoussés vers le haut. Un phénomène semblable



TABLEAU III

Caractéristiques chimiques des principaux horizons du sol  
d'une cellule d'un champ de géliformes à triage sur till  
(HÉVA I)

Localisation en abscisse sur la coupe I	Horizon	pH (0,01 M CaCl <sub>2</sub> )	% C organique	% M.O.	% Pyrophosphate		
					Al	Fe	Al + Fe
2,50 m	Bm <sub>1</sub>	4,5	0,72	1,23	0,19	0,15	0,34
2,50 m	Bm <sub>2</sub>	4,5	0,18	0,32	0,08	0,14	0,22
2,50 m	IICg	4,6	1,17	2,02	0,12	0,09	0,21

s'observe à l'extérieur du cercle de pierres (fig. 4a, partie gauche) où un autre coin de matériel non-oxydé, à texture de loam limoneux, repousse vers le haut la zone de till sablo-limoneux oxydé. La disposition d'ensemble est visiblement liée à la genèse du cercle de pierres; commandée par des processus cryogéniques, elle pourrait être antérieure à la pédogénèse; celle-ci a pu être guidée par la suite par les différences texturales. Mais un brassage récent a continué de se faire, comme l'indiquent l'enfouissement à 1 m de profondeur, dans le till, de débris végétaux et surtout certaines variations de teintes observées dans l'horizon Bm<sub>2</sub>. Plutôt qu'à un renversement d'arbre dont nous ne voyons aucune trace dans la coupe, ce brassage récent pourrait lui-même résulter des cycles gélivaux. Cette hypothèse est d'autant plus vraisemblable qu'une nappe phréatique a été observée, en juin 1977, au moment de l'ouverture de la tranchée, à une profondeur de 72 cm dans le cercle de blocs et à 105 cm dans la cellule morainique. Or le gel hivernal peut descendre en-dessous de ces niveaux. Nous verrons qu'il commande, dans la station HÉVA II, la formation d'ostioles qui périodiquement, sous forêt ouverte, trouvent le tapis d'humus et de litière et font affleurer des tâches grisâtres d'argile et de limon lacustres.

Au total, la station HÉVA I montre une double action des processus périglaciaires sur les sols:

1) des processus périglaciaires anciens: ils ont déterminé le réarrangement de la moraine de fond initiale en un champ de géliformes à triage présentement inactives.

Cette morphogénèse a elle-même une double conséquence, passive, sur les sols: à partir d'un dépôt quaternaire homogène — le diamicton glaciaire — elle a préparé une roche mère hétérogène, cloisonnée par des réseaux de blocs descendant jusqu'à 1 m, soit la profondeur qui intéresse précisément la pédogénèse. Par ailleurs, elle a modifié le drainage du sol: les traînées minérales, les nids et cercles de pierres représen-

tent des zones d'infiltration rapide; les sols, en surface, sont donc rapidement égouttés.

Cet assèchement superficiel du terrain a pu entraîner, très tôt, la stabilisation des cercles de pierres. On sait que ceux-ci ne se développent qu'en terrain humide. Même dans des milieux périglaciaires actuels comme l'Alaska (DENNY, 1952) ou l'Ungava (observations personnelles) de nombreuses géliformes à triage, malgré la présence du pergélisol, sont inactives, à cause d'une nappe phréatique trop basse. Dans le cas à l'étude, une partie de l'eau stagne à la base des concentrations de blocs où, à l'abri de l'évapotranspiration, elle détermine, par infiltration latérale dans le till, une forte humidité vers 1 m de profondeur. Cette humidité explique certaines particularités chimiques du sol, comme l'absence d'oxydation dans le IIC. De plus, étant située dans la zone atteinte par le gel saisonnier, elle permet aux processus de cryoturbation de jouer à l'intérieur des cellules de till, à l'occasion de certaines conditions climatiques favorables.

2) Les cryoturbations récentes. Elles semblent interférer directement avec le pédogénèse. À première vue, le sol à l'intérieur du cercle de pierres paraît appartenir au sous-groupe des brunisols dystriques orthiques. En fait, la présence de variations de teintes dans les Bm ne cadre pas avec la genèse normale des B brunisoliques. D'autre part, l'absence d'horizons Ae et les analyses chimiques démontrent paradoxalement une faible podzolisation dans un milieu où tout, — texture, pH, climat et végétation climacique —, favorise ce processus. Un brassage mécanique, attribuable à la cryoturbation, aurait donc jusqu'à très récemment déterminé une rééquilibration du phénomène de podzolisation. Dès lors, il est permis de penser que nous sommes, à tout le moins, en présence d'un cryosol (statique) brunisolique subactuel.

Si les processus de type périglaciaire expliquent la complexité de certains profils pédologiques, ils peuvent également rendre compte, pour une part impor-

tante, de leur variation spatiale, comme va nous le montrer la station HÉVA II.

### CRYOPÉDOLOGIE ET VARIABILITÉ DES SOLS

La station HÉVA II, à trois kilomètres au nord d'HÉVA I, est localisée sur des sédiments lacustres limono-argileux. Une diffraction aux rayons X a montré que la fraction argileuse ( $<2\mu\text{m}$ ), se compose d'un mélange de chlorite et de vermiculite, avec un peu d'illite et des minéraux accessoires tels que des feldspaths, des amphiboles et du quartz. On trouve sur ces sédiments des ostioles, des thufurs, des buttes minérales cryogènes et de grands cercles de pierres aux endroits où se rencontrent d'abondants blocs glaciels.

Une pessière noire très ouverte avec quelques pins gris et quelques mélèzes colonise le site. Les épinettes ne dépassent pas 10 m de hauteur. En sous-bois, sur certaines micro-buttes, poussent les arbustes suivants : *Ledum groenlandicum* Retzius, *Vaccinium angustifolium* Ait., *Vaccinium myrtilloides* Michx., *Chiogenes hispidula* (L.) T. et G., *Salix pyrifolia* Anderss., *Lonicera villosa* (Michx.) R. et S., ainsi que *Kalmia polifolia* Wang. aux endroits ouverts et plus humides. Entre les micro-buttes croissent des mousses (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Polytrichum strictum* Brid.) et quelques petites colonies de sphaignes dont *Sphagnum capillaceum* (Weiss) Schrank. Les Sphaignes forment également un tapis de 15 à 30 cm d'épaisseur sur certaines micro-buttes colonisées par des éricacées. Parmi les lichens c'est *Baeomyces roseus* Pers. avec sa tête rosée qui attire l'attention car on le retrouve seulement sur le sol minéral nu.

#### 1) LES OSTIOLES<sup>1</sup>

Ils forment des taches d'argile trouant le tapis d'humus et de litière (fig. 8c et 9c); alors que certains commencent à être colonisés par *Baeomyces roseus* Pers., d'autres, trop récents, ne montrent qu'une surface nue. Ils ne sont jamais de forme circulaire mais présentent un étirement qui semble plus ou moins relié à la faible pente du terrain. Leurs longueurs varient de 1,60 m à 2,70 m; leur largeur se situe entre 0,85 m et 1,80 m. Ils sont généralement bordés par un bourrelet d'humus et de litière atteignant 15 à 20 cm de haut.

Une tranchée creusée perpendiculairement au grand axe d'un ostiole actuel mais ne passant pas par sa largeur maximale, permet d'en étudier la structure (fig. 5).

L'ostiole sépare deux zones de pédogénèse contrastées. À sa droite (fig. 9a), apparaissent des horizons fossiles. L'ensemble a subi une évolution relativement avancée. La pédogénèse a, ici, interféré avec des processus de sédimentation. À gauche de l'ostiole par contre (fig. 9b), le solum plus mince (moins de 35 cm

et souvent moins de 10 cm d'épaisseur) présente une évolution chimique moins poussée. Dans cette partie de la tranchée, la pédogénèse pourrait avoir alterné avec des processus de brassage ou même d'ablation. Dans cette coupe, le solum ne présente qu'en deux points un horizon Ae, d'ailleurs toujours mince et peu évolué (Aej).

L'eau circule dans l'horizon C de part et d'autre de l'ostiole. Sur sa limite droite, elle suit une zone à structure lamellaire grossière. À l'extérieur de sa bordure gauche, elle suinte le long d'une concentration de blocs glaciels, descendants jusqu'à 80 cm de profondeur et masqués, en surface, par la litière. Cela nous porte à croire qu'un réseau naturel de drainage, analogue à celui produit par les réseaux de polygones ou cercles de pierres, qui existent ailleurs dans cette station, s'est développé dans ces sédiments limono-argileux, par le biais d'une structure lamellaire grossière, fortement développée là où les pierres sont absentes pour jouer ce rôle.

La cloison de blocs compartimente la partie à solum mince en deux unités. Il convient d'étudier, à l'intérieur de chacun des compartiments en présence les profils pédologiques. Les observations seront localisées à partir des coordonnées (abscisse-profondeur) de la figure 5.

a) De 0,20 m à 1,00 m : sous une couche L-H de  $8(4-12)^2$  cm d'épaisseur apparaît un horizon B, brun-jaunâtre (10YR 5/4h), mince, de 5(5-10) cm d'épaisseur reposant directement sur un Cgj massif. Malgré la teneur élevée (1,62%) en Al et Fe libres, cet horizon, à cause de sa teneur élevée en argile, se situe à la limite entre les B podzoliques et les B brunisoliques (tabl. IV). Toutefois, à cause de sa couleur et de sa structure il doit être classé Bm. De plus, il n'est pas et n'a jamais été surmonté d'un horizon Ae. La grande quantité d'Al et de Fe libres qu'on y retrouve proviendrait de la libération sur place de l'Al et du Fe des minéraux argileux. La présence de cet horizon Bm nous incite à classer ce profil dans l'ordre brunisolique, bien qu'il intergrade vers les gleysols. Le Cgj, de couleur gris olive pâle (5Y 6/2h), sous ce mince Bm, ne présentant pas de marbrures très marquées, à cause de la présence d'un réseau de blocs, où l'eau est canalisée et évacuée, améliorant d'autant le drainage des micro-buttes adjacentes. L'absence de Ah, le pH  $\text{CaCa}_2 < 5,5$  nous le fait placer dans le grand groupe des brunisols dystriques et plus précisément dans le sous-groupe des brunisols dystriques gleyifiés. Cependant, considérant que l'action du gel se fait sentir d'une façon aussi importante à moins de deux mètres (ostiole actuel), on peut penser qu'il s'agit d'un cryosol.

2.  $8(4-12)$  cm, le premier chiffre indique l'épaisseur moyenne tandis que les chiffres entre parenthèses donnent les épaisseurs minima et maxima.

1. ROUSSEAU (1949)

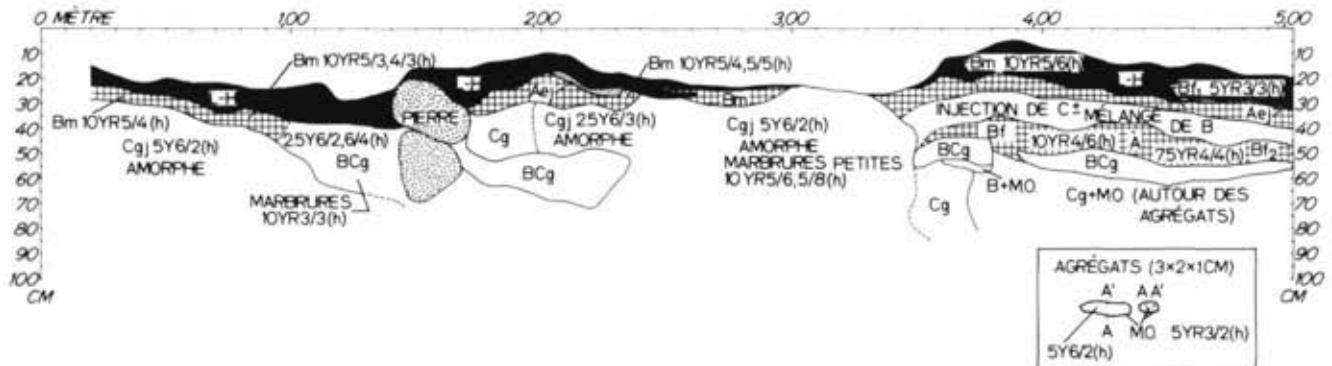


FIGURE 5. Coupe II, pratiquée perpendiculairement à l'axe principal d'un ostiole, illustrant les principaux horizons du sol dans cet ostiole et à proximité de celui-ci.

Cross-section II perpendicular to the main axis of a non-sorted circle (mudboil). Note the distribution of the main soil horizons inside and outside this circle.

TABLEAU IV

Caractéristiques chimiques des principaux horizons du sol d'un ostiole (coupe II)

Localisation en abscisse sur la coupe II	Horizon	pH (0,01 M CaCl <sub>2</sub> )	% C organique	% M.O.	% pyrophosphate			% (Al + Fe) - pyro. % argile
					Al	Fe	Al + Fe	
0,30 m	Bm	4,0	3,47	5,99	0,99	0,63	1,62	0,049
0,30 m	Cgj	4,8	0,21	0,36	0,12	0,05	0,17	0,007
1,00-1,40 m	BCg	4,0	1,37	2,36	0,33	0,50	0,83	0,032
	(dans coin bloc)							
2,00-2,30 m	BCg	4,5	1,20	2,08	0,68	0,57	1,25	0,033
2,70 m	Cgj	5,2	0,17	0,30	0,10	0,08	0,18	0,007
3,80-4,40 m	Bm	4,6	2,01	3,46	0,80	0,44	1,24	0,038
3,80-4,00 m	Injection de C mélangé au B	4,5	1,43	2,46	0,67	0,70	1,37	0,036
3,80-4,00 m	Bf	4,4	2,38	4,11	1,18	1,59	2,77	0,075
4,00 m	Cg + enduit M.O. sur agg.	4,4	1,91	3,30	1,07	0,89	1,98	0,056
4,80-5,00 m	Bf <sub>1</sub>	4,2	2,53	4,36	2,01	1,76	3,77	0,140
4,60 m	Injection de C mélangé au B	4,5	1,51	2,60	0,65	0,40	1,05	0,050
4,50-5,00 m	Bf <sub>2</sub>	4,5	3,18	5,48	1,34	1,54	2,88	0,099
Bourrelet de Bm en bordure de l'ostiole	—	4,4	3,81	6,56	0,77	0,49	1,26	0,036

D'ailleurs, sa forme convexe et la faible épaisseur de l'horizon B (<10 cm) nous incitent à croire qu'il s'agit d'un ancien ostiole où la roche mère (Cgj), qui a affleuré il y a plusieurs dizaines d'années, n'est altérée pédogénétiquement que dans le premier décimètre (fig. 9b).

b) De 1,00 à 1,70 m, la coupe passe par une légère dépression, où les quelques rares pierres présentes s'alignent en périphérie de l'ostiole. Elles tendent à se disposer en coin, les plus grosses en surface et les plus petites en profondeur. Dans cette partie de la coupe, l'eau suinte, les marbrures sont mieux développées et plus abondantes, le Bm est remplacé par un BCg ou Bg et le profil se classerait avec les gleysols.

c) À droite des pierres, de 1,70 à 2,40 m, s'observe une séquence différente avec, sous une épaisse couche d'humus de 8(6-11) cm, un Ae<sub>j</sub> présent seulement sur la moitié droite de ce nouveau profil ; un Bm ne dépassant pas 12 cm d'épaisseur repose sur une couche d'environ 20 cm d'épaisseur de Cg dans la moitié gauche et de Cgj amorphe dans la moitié droite, injecté entre l'horizon B et l'horizon BCg sous-jacent. Ce dernier horizon se brise en polyèdres angulaires qui se laissent fractionner à leur tour en granules fines. Cette structure facilite la circulation de l'eau à cet endroit.

d) De 2,40 à 3,00 m, le profil pourrait se classer de la même façon que celui de 0,20 à 1,00 m ; cependant,

une partie du Bm fait déjà partie de l'ostiole, étant exposé à l'air sans être recouvert d'une couche d'humus. De 3,00 à 3,50 m, l'affleurement de matériaux profonds (Cg) et, sur sa marge, de l'horizon B, forment l'ostiole.

L'horizon B est repoussé latéralement en un bourrelet localement bien développé. L'analyse chimique (tabl. IV) montre que sa teneur en Al + Fe libres (1,26%), ainsi que celle en M.O. (6,56%) se rapprochent de celles trouvées pour l'horizon Bm situé à 0,30 m sur la coupe, soit 1,62% pour l'Al et Fe libres et 5,99% pour la M.O. Le matériel parental qui affleure en surface dans l'ostiole s'en distingue nettement, non seulement par sa couleur gris olive pâle (5Y 6/2h), mais également par ses propriétés chimiques (tabl. IV): (Al + Fe) libres = 0,18%, M.O. = 0,30% et pH CaC<sub>12</sub> = 5,2. Cette partie de la coupe serait un cryosol turbique régosolique.

e) De 3,50 à 5,00 m apparaît le pseudo-profil à sol fossile. Sous une épaisse couche de L-H s'observent les traces d'un Aej mince et discontinu, puis un premier horizon B, dont les caractéristiques chimiques (Al + Fe libres = 3,77%, M.O. = 4,36%, % (Al + Fe) - pyro/% argile = 0,14) montrent que nous sommes en présence d'un Bf très évolué dans la partie la plus à droite sous le Aej, tandis que plus près de l'ostiole, là où le Aej est absent, ces mêmes critères chimiques, dont les valeurs respectives n'atteignent plus que 1,24%, 3,46% et 0,038, ne permettent plus de qualifier ce B de podzolique mais plutôt de B brunisolique. La couleur varie également dans le même sens, de brun-rougeâtre foncé (5YR 3/3h) sous le Aej, à brun-jaunâtre (10YR 5/6h) en l'absence de ce dernier, plus près de l'ostiole. Sous ce premier horizon B, une couche de sédiments de 10 cm d'épaisseur, de couleur olive pâle (5Y 6/3h) à brun-jaunâtre (10YR 5/8h), présente les caractères d'un mélange d'horizons C et B. La teneur en (Al + Fe) libres tombe à 1,05 et 1,37%. En profondeur, elle s'élève de nouveau, dans un Bf fossile, à 2,77% à 4,00 m et à 2,88% entre 4,50 m et 5,00 m. La teneur en matière organique suit un mouvement semblable: de 2,46 et 2,60% dans la strate brun-jaunâtre, elle atteint jusqu'à 5,48% dans le Bf fossile. Cette couche qui s'insère au milieu de l'horizon B, le partageant en deux tranches, a probablement été injectée à peu près en même temps que s'est produite la déchirure dans le solum qui a donné naissance à l'ostiole.

L'ensemble du solum repose sur un horizon Cg caractérisé par une structure lamellaire fortement développée, avec des agrégats mesurant de 3 à 4 cm de longueur, 1 à 2 cm de largeur et jusqu'à 1 cm d'épaisseur. Ils peuvent cependant se briser en lamelles beaucoup plus petites. Ces agrégats sont enrobés d'une couche de M.O., brune rougeâtre foncé (5YR 3/2h). L'intérieur des agrégats est gris olive pâle (5Y 6/2h) et peut renfermer de très petites taches de M.O. de couleur semblable à celle de l'enrobement ainsi que de

rare petites taches de gleyification jaune brunâtre (10YR 6/8).

Cette structure lamellaire d'abord induite par la nature même du dépôt (argile varvée) a pu être accentuée par un fendillement produit soit par dessiccation hivernale ou estivale, soit par une ségrégation de lentilles de glace à l'intérieur de zones renfermant des teneurs en eau différentes, selon les variations de textures à l'intérieur des varves. Un enrobement de matière organique véhiculée par l'eau percolant entre ces lamelles est venu par la suite stabiliser cette structure.

Pour expliquer le classement des quelques pierres en périphérie de la micro-butte de même que la formation de l'ostiole, plusieurs hypothèses ont déjà été avancées par différents auteurs. Selon WASHBURN (1956 et 1973) qui reprend et discute ces hypothèses, il semble qu'aucune ne puisse expliquer de façon satisfaisante l'ensemble de ces phénomènes. Ceux-ci sont plutôt polygéniques... «*a complete explanation involves processes and forms that are end members of a continuous system having combination processes and forms as intermediate products*» (WASHBURN 1956, p. 838).

Il n'est pas question de reprendre ici la discussion de tous les phénomènes qui auraient pu se produire ainsi que leur enchaînement logique. Soulignons cependant que contrairement aux observations faites par SHILTS (1978), il n'y a pas ici de carapace sableuse en surface, mais plutôt des horizons pédologiques limono-argileux à structure granulaire, ou le Cg massif qui affleure. Il n'y a pas non plus d'écoulement de boue qui recouvre l'horizon humifère de surface, mais plutôt soulèvement et déchirure de cet horizon, suivi d'un écartement des horizons superficiels. De plus, le phénomène semble ici relié au gel-dégel et non seulement au dégel. Bien que certains aspects de la genèse de l'ostiole restent encore à éclaircir, nous voudrions toutefois ajouter, à la lumière de nos observations, un mot sur le ou un des derniers phénomènes en liste, qui a présidé à la formation de l'ostiole. Mais auparavant, mentionnons que les quelques pierres en présence sont des blocs glaciels, donc déjà disposées à la surface ou près de la surface du sol et que leur classement en coupe verticale prend la forme d'un coin. Celui-ci s'enfonce dans le sol avec les plus petites pierres en profondeur et les plus grosses en surface.

La genèse immédiate de l'ostiole semble plus facile à expliquer que le classement des pierres, à l'aide de la coupe II et d'autres observations de terrain. En effet, l'alignement de pierres, disposées en coin en périphérie de l'ostiole, ainsi que la zone d'argile structurée située de l'autre côté forment un réseau naturel pour l'écoulement des eaux. Ceci a été mis en évidence dans la présente coupe par un fort suintement d'eau localisé

à ces endroits. En gelant, l'eau de ce réseau de drainage exerce des pressions qui convergent vers le centre des cellules qu'il entoure (fig. 6). La pression exercée au centre de ces cellules peut donc devenir très grande et ne se trouve plus équilibrée que dans une seule direction, soit vers le haut. Il peut s'en suivre un gonflement de la cellule, puis une déchirure en surface avec déplacement latéral du matériel de surface qui cède la place au matériel poussé depuis de plus grandes profondeurs. Du matériel profond peut être aussi injecté latéralement entre les horizons superficiels (fig. 6 et 9a), soulevant ainsi le pourtour de l'ostiole. Cette injection de matériel est facilitée par le fait que le matériel qui forme le centre de la cellule est lui-même saturé d'eau, ce qui le rend fluide sous l'action des pressions auxquelles il est soumis. De même, la forme allongée de l'ostiole dans le sens de la pente peut être liée à l'étirement dans le même sens du réseau de polygones et, par suite, du réseau de drainage.

En résumé, les différents phénomènes que révèle la coupe à travers l'ostiole peuvent s'ordonner selon la séquence suivante :

1) développement, dans des sédiments lacustres limono-argileux, d'un sol forestier dont le stade le plus évolué se retrouve sous le Ae<sub>j</sub>, dans la partie droite de la tranchée ;

2) dans la partie gauche, un ostiole ancien a troué le sol ; la pédogénèse en estompe présentement la cicatrice ;

3) à une période très récente, des perturbations mécaniques ont donné naissance à l'ostiole en activité que nous venons de décrire et injecté du matériel profond au travers de l'horizon B à droite de l'ostiole, pour fossiliser la partie sous-jacente du solum.

Dans l'ensemble, nous sommes en présence d'interactions entre pédogénèse forestière et morphogénèse de milieu froid. Ces deux familles de processus

ont joué concurremment pendant tout l'Holocène. Des diagrammes polliniques de la région (RICHARD, 1979) montrent que la forêt s'est installée sur les argiles lacustres peu de temps après la disparition du lac Barlow-Ojibouai ; il n'y a pas eu de période de toundra intermédiaire, comme l'a trouvé DIONNE (1978a) pour la région située plus au nord. On peut compter sur près de 7 900 ans de pédogénèse forestière au cours desquels les actions biochimiques ont déterminé, de manière lente et continue, une différenciation des terrains en horizons. Si les sols ne sont pas très développés, c'est à cause de processus antagonistes, des perturbations de nature périglaciaire jouant de manière discontinue dans le temps et dans l'espace. Leur fréquence au cours des derniers millénaires a été suffisante pour que leurs traces aient été reconnues dans tous les profils de sols étudiés dans la région.

La formation des ostioles n'est pas seule en cause. Dans la station HÉVA II, d'autres processus, dont certains relèvent de la morphogénèse périglaciaire et d'autres de l'activité biologique, se combinent pour déterminer le brassage des horizons pédologiques.

## 2) LES FORMES ASSOCIÉES

### a) Les micro-buttes

Une deuxième coupe (fig. 7), pratiquée à quelques dizaines de mètres de la première, passe par deux micro-buttes qui s'élèvent de 20 à 30 cm au-dessus des dépressions qui les entourent. Contrairement à la coupe précédente, on n'observe pas ici de remontée de matériaux depuis l'horizon C. La limite supérieure de cet horizon tend à être horizontale, bien qu'elle ondule quelque peu entre 0,50 et 1,50 m sur cette coupe. Elle tend aussi à se relever à l'extrémité droite de la coupe, soit de 4,00 m et plus. Bien que l'élévation de cette deuxième coupe ne soit que très faiblement supérieure à celle de la précédente, on constate une diminution marquée de la teneur en argile au profit de celle

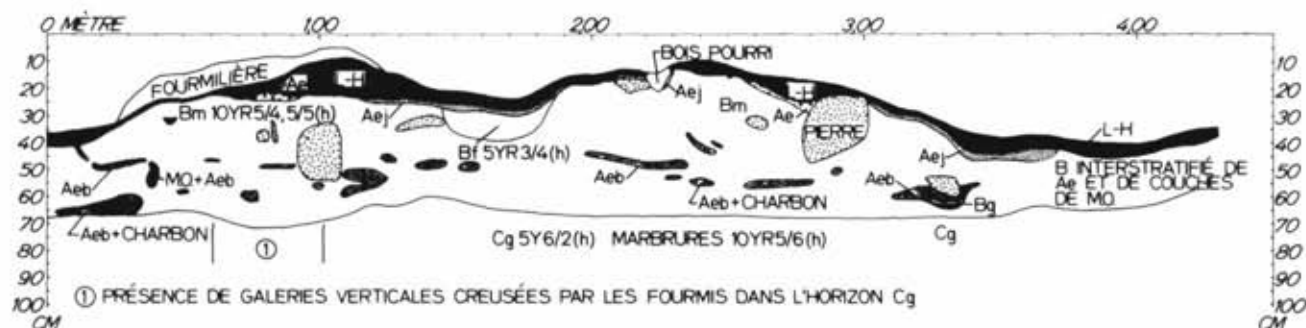
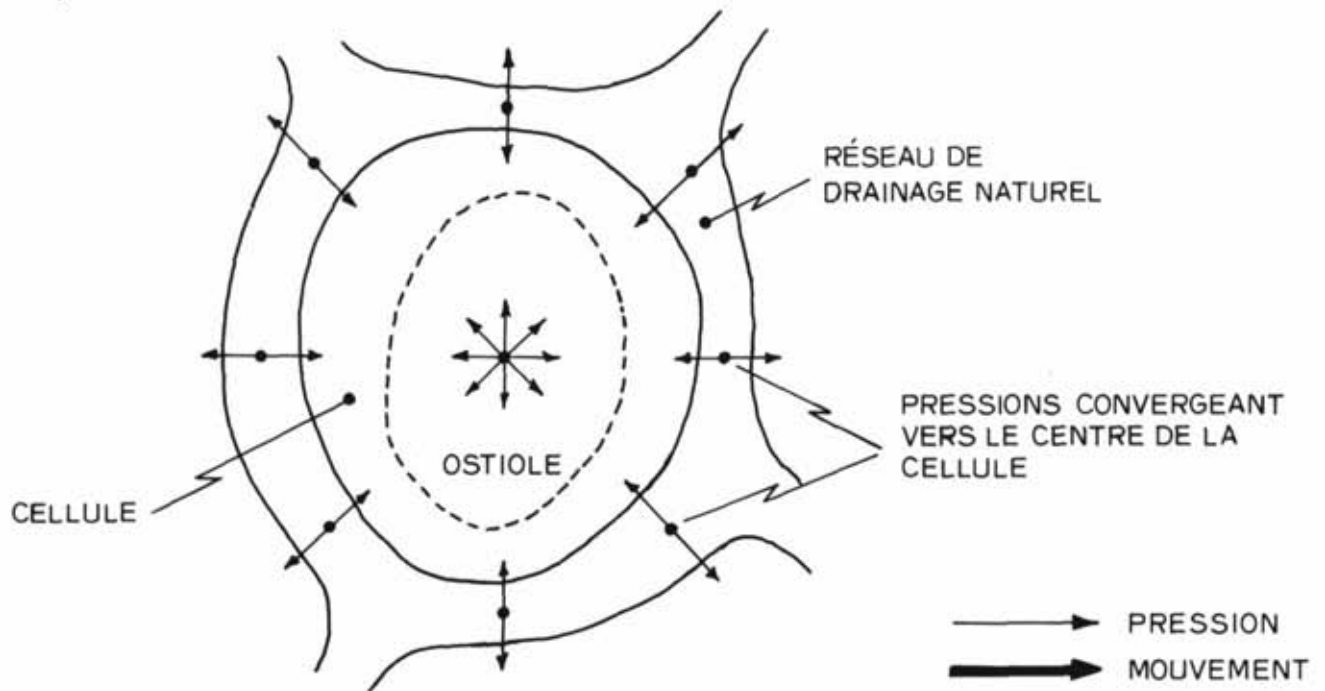


FIGURE 6. Coupe III montrant les perturbations des horizons du sol à l'intérieur de deux micro-buttes dont l'une est coiffée des déblais d'une fourmilière.

Cross-section III. Note the mixing of soil horizons inside two hummocks; one of them is topped by the fine material of an ant-hill.

A) VUE EN PLAN



B) VUE EN COUPE

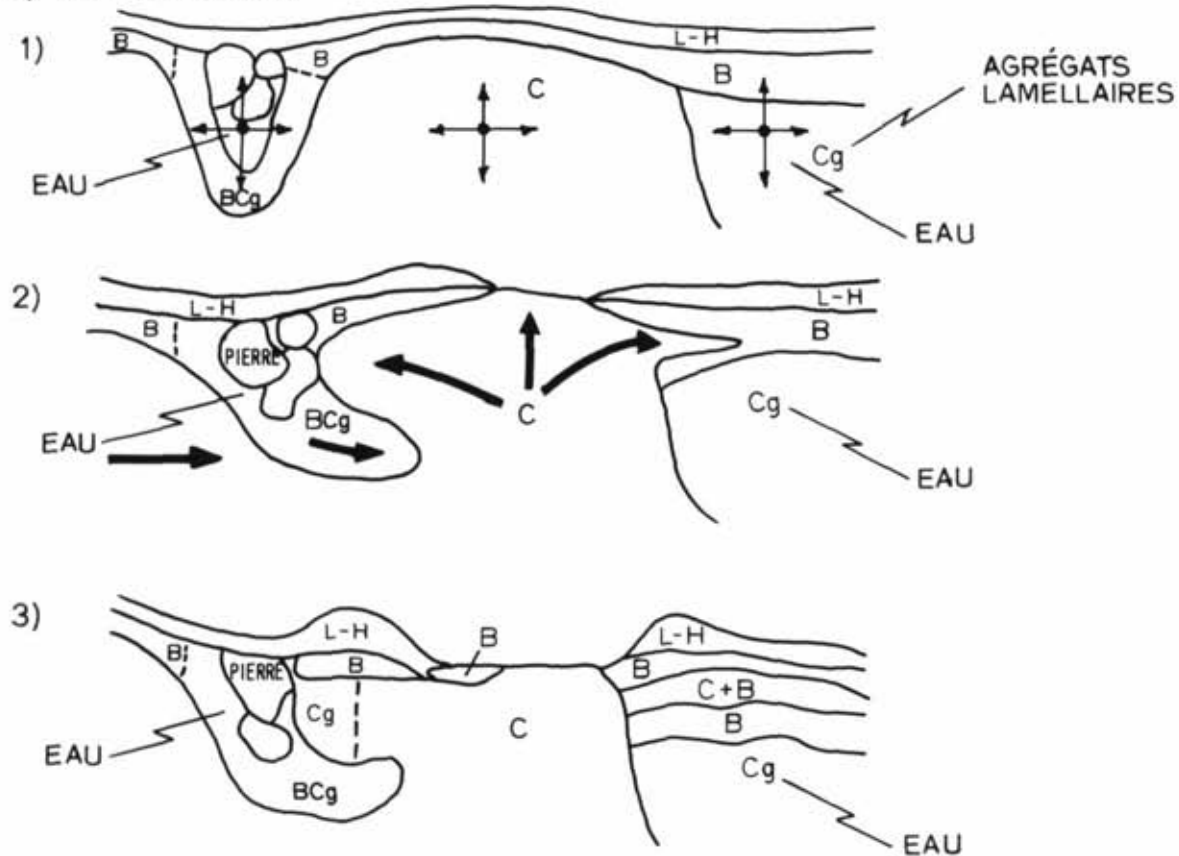


FIGURE 7. Genèse d'un ostiole. a) Vue en plan d'une microbutte et de son drainage annulaire et illustration des forces qui exercent une pression au centre de la cellule terreuse, au cours du gel. b) Vue en coupe, 1) forces en présence au début de l'engel, 2) déplacements de sol, 3) résultat final.

Interpretation of possible origin of a non-sorted circle. a) Ground-plan of a dome-shaped feature and its annular drainage pattern. Schematic representation of a set of forces in action-reaction pairs during frost of water. b) Cross-section showing 1) direction of force at beginning of frost action, 2) migration of sediments, 3) end-result.

en limon. En effet (tabl. V et VII), la teneur en argile de l'horizon C est ici environ deux fois moindre, soit 14% contre 26% qu'elle était dans la première coupe. Cette différence est encore plus marquée dans les horizons B où ces mêmes teneurs, qui dépassent généralement 30% dans la précédente coupe, n'atteignent plus que 16% au maximum. Sous ces sédiments lacustres fins, on a trouvé à un endroit, à environ 1 mètre de profondeur, un matériel sablo-graveleux qui ressemble à du till.

À la surface du sol, l'attention est d'abord attirée par un grand déblais de fourmière (fig. 10d), qui mesure jusqu'à 10 cm d'épaisseur et qui coiffe, de 0,25 m à 1,25 m, l'horizon humifère de surface (L-H). Cet horizon humifère présente sa plus grande épaisseur (>10 cm), de 0,90 à 1,30 m, sur le sommet de la première micro-butte, contribuant par ce fait à augmenter l'élévation de celle-ci. La présence de l'épaisseur maximum de l'horizon L-H au sommet d'une micro-butte est plutôt exceptionnelle et pourrait résulter soit de la décomposition sur place d'un tronc d'arbre, soit d'un repoussement latéral de la M.O. par de la matière minérale, un peu comme cela a été observé sur la coupe de la figure 5 à 2,00 m et à 4,00 m. Nos observations ne nous permettent pas actuellement d'opter pour l'une ou l'autre de ces hypothèses.

TABLEAU V

*Granulométrie des principaux horizons du sol de la coupe II, passant au travers de l'ostiole*

Localisation en abscisse sur la coupe II	Horizon	Texture	%		
			Argile <2 $\mu$ m	Limon 2-50 $\mu$ m	Sable >50 $\mu$ m
0,30 m	Bm	Loam argileux	33	41	26
0,30 m	Cgj	Loam limoneux	26	67	7
1,00-1,40 m	BCg	Loam limoneux	26	60	14
	(dans coin blocs)				
2,00-2,30 m	BCg	Loam limono- argileux	38	44	18
2,70 m	Cgj	Loam limoneux	26	65	9
3,80-4,00 m	Injection (C+B)	Loam argileux	38	42	21
3,80-4,00 m	Bf	Loam limono- argileux	37	44	19
4,00 m	Cg + enduit M.O. sur les agrégats	Loam argileux	35	38	27
4,80-5,00 m	Bf <sub>1</sub>	Loam	27	48	25
4,60 m	Injection (C+B)	Loam	21	46	33
4,50-5,00 m	Bf <sub>2</sub>	Loam argileux	29	42	29
Bourrelet en bordure de l'ostiole (Bm)		Loam limono- argileux	35	51	14

On constate, sous l'horizon L-H, la présence d'un horizon éluvié discontinu, mince et généralement peu évolué (Aej). Les premiers cm de l'horizon B prennent en certains endroits une teinte brun rougeâtre foncée (5YR 3/4h) et les teneurs en Al et Fe libres (tabl. VI) dans les 10 premiers cm de cet horizon satisfont les normes du B podzolique. À 1,60 m et 3,90 m, ces teneurs atteignent respectivement 2,61% et 0,72%, tandis que le quotient  $\%(\text{Al} + \text{Fe})$ -pyrophosphate par le  $\%$  d'argile s'élève à 0,16 et 0,10, ce qui est bien au-dessus du seuil requis de 0,05 pour classer ces horizons comme B podzoliques. Notons que ces plages podzolisées sont restreintes et localisées dans des micro-cuvettes où le processus de podzolisation semble favorisé par une plus grande quantité d'eau qui percole et par une texture exceptionnellement plus sablonneuse à ces endroits, avec des pourcentages de sable atteignant 34 et 51%. Cette plus forte concentration de sable à l'intérieur de ces micro-cuvettes peut être liée à un processus de sédimentation secondaire ou à une ségrégation de particules sous l'action du froid. Des variations texturales semblables ont déjà été notées par ZOLTAI et TARNOCAI (1974), qui rapportent de faibles enrichissements en sable et en limon pour les auges autour de micro-buttes minérales cryogènes, par rapport aux centres de ces dernières qui présentent des teneurs en argile plus élevées. Ces observations concordent également avec les travaux de CORTE (1966) qui a démontré en laboratoire une ségrégation des particules fines, qui migrent devant l'onde de gel.

Ailleurs, la couleur de l'horizon B est plus jaune (10YR 5/4 à 5/5h) et il ne fait plus les normes du B podzolique. Il s'agit plutôt d'un horizon B brunisoli-que. Il possède dans sa partie supérieure une structure granulaire fine à moyenne. Ces granules présentent généralement au centre une couleur semblable à celle de l'horizon C, tandis que l'enrobage est plus brun.

Ce qui attire le plus l'attention, c'est la présence d'horizons Aeb, renfermant souvent des fragments de charbon de bois qui se répartissent dans le solum sur toute la longueur de la coupe et même à l'occasion jusqu'au contact de l'horizon Cg. Ces horizons Aeb montrent quelques rares involutions mais le plus souvent se présentent en plages horizontales. On remarque aussi, mais plus rarement, des quantités plus importantes de M.O. enfouie, ainsi que la présence de quelques pierres qui semblent être distribuées au hasard dans le solum. Ces pierres sont absentes ou pas apparentes à la surface du sol dans le voisinage immédiat de cette coupe.

L'enfouissement de la M.O. et de l'horizon Ae peut s'expliquer par deux phénomènes, l'un n'excluant pas l'autre, soit le chablis, soit la cryoturbation. Dans les deux cas, ces phénomènes se sont produits à la suite d'un feu qui a laissé d'abondantes traces sous forme

TABLEAU VI  
*Caractéristiques chimiques des principaux horizons du sol  
 de la coupe III, pratiquée au travers de micro-buttes et de déblais  
 d'une fourmière dans des sédiments lacustres limoneux*

Localisation en abscisse sur la coupe III	Horizon	pH (0,01 M CaCl <sub>2</sub> )	% C organique	% M.O.	% pyrophosphate			% (Fe + Al) - pyro. % argile
					Al	Fe	Al + Fe	
0,30-1,20 m	Déblais de fourmière	4,4	2,75	4,74	0,31	0,12	0,43	0,027
0,30 m	Aeb + charbon	4,4	1,31	2,26	0,24	0,16	0,40	—
0,60 m	Bm (10 cm)	5,1	1,02	1,76	0,29	0,09	0,38	0,029
1,20 m	Bm (10 cm)	4,7	1,39	2,40	0,34	0,08	0,42	0,053
1,50 m	Cg	4,6	0,06	0,10	0,07	0,02	0,09	0,006
1,60 m	Bf	4,0	4,82	8,32	0,95	1,66	2,61	0,163
3,80-4,40 m	Bfg	4,2	1,92	3,31	0,24	0,48	0,72	0,103
4,00 m	Cg	4,7	0,06	0,11	0,04	0,02	0,06	0,004
Till sous le dépôt lacustre	IIC	4,7	0,31	0,54	0,13	0,10	0,23	0,021

de cendres et de charbons de bois localisés çà et là dans le solum et qui se retrouvent particulièrement dans l'horizon Aeb. Il a dû y avoir bien sûr des renversés à la suite du feu, mais la distribution des horizons enfouis ne correspond à aucun modèle de perturbation et d'enfouissement des horizons par des renversés, tel que déjà étudié par l'un des auteurs (BROWN 1977). Les différentes zones ou taches d'horizon Aeb ainsi que la M.O. de surface qu'on retrouve çà et là dans le solum résulteraient plutôt d'un brassage dû à l'action du gel dont la morsure a été ravivée par la destruction du manteau protecteur que constituait la végétation forestière. Ces mêmes phénomènes pourraient également expliquer la présence de couches de Ae et de M.O. interstratifiées avec l'horizon B dans la partie du solum située dans la tranchée de 3,70 à 4,30 m.

Deux autres observations méritent aussi d'être signalées, soit la profondeur de la nappe phréatique et la présence de galeries verticales creusées par les fourmis (*Formica podzolica* Francœur) jusque dans l'horizon Cg, à plus de 90 cm de profondeur. L'eau, qui était absente de cette tranchée jusqu'à ce qu'on atteigne une profondeur d'environ 80 cm sous le déblai de la fourmière, l'a par la suite envahie assez rapidement en suintant depuis l'extrémité gauche de la tranchée pour noyer les galeries de la fourmière jusque dans la partie inférieure du solum. La circulation de l'eau dans cette station se fait donc encore surtout dans des zones préférentielles, tout comme on l'avait déjà souligné à la suite de l'étude de la tranchée précédente (fig. 5). En effet, la nappe phréatique est absente sous la fourmière, tandis qu'à moins d'un mètre latéralement elle se retrouve perchée à quelques décimètres de la surface du sol. De plus, étant donné le volume du déblai de la fourmière, il ne se serait pas produit de perturbations à cet endroit précis de la station depuis près de 10 ans selon A. Francœur (communication verbale).

TABLEAU VII  
*Granulométrie des principaux horizons de sol de la coupe III,  
 effectuée au travers de micro-buttes et de déblais d'une  
 fourmière*

Localisation en abscisse sur la coupe III	Horizon	Texture	%		
			Argile <2µm	Limon 2-50µm	Sable >50µm
0,30-1,20 m	Déblais fourmière (Bm)	Loam limoneux	16	70	14
0,60 m	Bm (10 cm)	Loam limoneux	13	68	19
1,20 m	Bm (10 cm)	Loam limoneux	8	69	23
1,50 m	Cg	Loam limoneux	14	71	15
1,60 m	Bf	Loam limoneux	16	50	34
3,80-4,40 m	Bfg	Loam sableux	7	42	51
4,00 m	Cg	Loam limoneux	14	78	8
Till sous dépôt lacustre	IIC	Loam sableux	11	22	67

N'ayant pas observé de lentilles ou de cristaux de glace dans cette coupe, ni mesuré la température du sol, il n'est pas possible de classer catégoriquement ses profils dans l'ordre cryosolique. Cependant, la présence dans le solum de plusieurs zones de Aeb et de M.O. dont la répartition et la disposition ne peuvent facilement s'expliquer par les seuls chablis, et la situation de cette coupe à proximité de la coupe II, où l'action récente du gel a été observée, nous portent à penser, bien qu'étant au sud de la limite de la zone de pergélisol sporadique, qu'il y a eu un brassage des horizons semblable à celui qui se produit dans des cryosols turbiques. Ce phénomène, qui a eu lieu il y a plusieurs années, aurait été amorcé à la suite d'un feu qui, en détruisant le couvert végétal, aurait permis au





a)



a)



b)



b)



c)

FIGURE 8. a) Nid de pierres à l'intersection d'embranchements du réseau de pierres. À remarquer le classement parfait des pierres, depuis les plus gros blocs en périphérie jusqu'aux plus petits cailloux au centre. b) Gélifraction et exfoliation de pierres exposées à la morsure du froid. c) Vue d'ensemble d'un ostiole. À remarquer les rares pierres classées en périphérie. La grosse pierre plate à droite est redressée du côté de l'ostiole. À gauche, le couteau indique la légère dépression en bordure de cette micro-butte tandis que la fiche est plantée au sommet, sur une plage d'argile nue. Les lichens recouvrent ailleurs cet ostiole là où l'argile n'a pas ou peu bougé au cours des dernières saisons.

a) Stone nest at the intersection of the segments of a patterned ground net. Note the perfect sorting of pebbles going from boulders at the periphery to small pebbles in the center. b) Frost-shattered blocks. c) Non-sorted circle. Note the slightly sorted pebbles at the periphery. On the right side of figure 8c, a flat stone is upturned toward the non-sorted circle. The marker is on the top of the mudboil. The outcrop of bare clay has been active recently while the area covered by lichens has not.

gel de se manifester dans ce sol, jusqu'alors suffisamment stable, sur des périodes assez longues pour permettre le développement d'horizons éluviés. Les phénomènes décrits ci-dessus semblent liés à ce qu'HAMELIN et COOK (1967) appellent le gélisol temporaire aux latitudes moyennes.

#### b) Les cercles de pierres

À la différence du champ de géliformes à triage décrit dans la première partie de l'article, les cercles de pierre de la station HÉVA II se développent, non pas dans du till, mais dans des sédiments lacustres limono-argileux contenant des blocs d'origine glacielle. Ils sont composés de cellules argileuses, de 3 à 3,70 m de diamètre, et de bordures caillouteuses, larges de 1,50 à 2 m, pénétrant en coins dans le matériel encaissant, sur environ 1 m de profondeur. De l'eau stagne à la partie inférieure de ces coins de pierres. Le sol qui se développe dans la cellule limono-argileuse est du type brunisol et ne présente aucune trace d'éluviation. Les ostioles actuels se développent à une dizaine de mètres à l'écart des géliformes à triage. Ils semblent se concentrer aux endroits où les pierres sont plus rares et le réseau de pierres peu apparent. Lorsque ce réseau est très bien développé, le drainage du sol en est d'autant amélioré, et la quantité d'eau nécessaire au développement de ce phénomène peut devenir insuffisante.

#### c) Les buttes minérales cryogènes et les thufurs

À proximité des cercles de pierres, mais là où celles-ci se font plus rares, s'observent certaines buttes minérales cryogènes avec ou sans ostiole qui ressemblent par leurs dimensions et leur morphologie aux « earth hummocks » décrit en milieu arctique et subarctique, par ZOLTAI et PETTAPIECE (1973), et par TARNOCAI et ZOLTAI (1978). Dans plusieurs cas, la M.O. remplit la dépression autour de la micro-butte. Les rares pierres présentes s'y trouvent alors enchassées (fig. 10b).

Enfin, à proximité des formes précédentes mais un peu plus bas sur une légère pente, où le régime hydrique est un peu plus humide, se rencontrent des thufurs mesurant 1 à 2 m de diamètre. La figure 10a présente une coupe dans l'une de ces micro-buttes. On peut y voir, sous les éricacées (*Cassandra calyculata* (L.) D. Don, *Ledum groenlandicum* Retzius, *Vaccinium* spp.), une couche de sphaignes mortes de 30 cm d'épaisseur coiffant un dôme d'argile qui s'élève lui-même, abruptement, jusqu'à 30 cm au-dessus du niveau du sol minéral avoisinant. Entre la couche de sphaignes mortes et l'argile, une importante couche de M.O. carbonisée souligne le passage d'un feu. D'autres couches de M.O. ou de minces couches minérales enrichies de M.O. s'intercalent dans ce dôme d'argile, qui pour le reste présente un agencement complexe de couleurs passant du gris à différentes teintes de brun, dénotant

ainsi un ensemble complexe d'horizons minéraux disposés comme s'ils avaient été, en quelque sorte, vigoureusement brassés.

Cette coupe révèle, au minimum, la séquence suivante: 1) pédogénèse forestière caractérisée par un sol lessivé; 2) passage d'un feu possiblement suivi d'un brassage des horizons du sol, avec enfouissement de matière organique et de fragments d'horizon Ae; 3) développement d'un type de pédogénèse nouveau, caractérisé par la formation de tourbe; le feu, en détruisant le couvert ligneux, a sans doute déterminé un rehaussement de la nappe phréatique locale, commandant à son tour l'envahissement du milieu par des sphaignes. Celles-ci, une fois apparues, ont entretenu un milieu suffisamment humide pour assurer leur développement sur une trentaine de centimètres d'épaisseur. 4) Mais en s'épaississant, le manteau de sphaignes a modifié les caractéristiques thermiques dans la couche minérale (sol fossile) sous-jacente formant écran thermique contre les chaleurs de l'été et accentuant la pénétration du froid hivernal. Il en est résulté la croissance du thufur qui, en soulevant le sol, assèche la sphaigne et bloque, semble-t-il, son évolution ultérieure. Nous sommes en présence d'une boucle de rétroaction négative typique.

## CONCLUSIONS

Les géliformes et les sols des stations HÉVA I et II sont instructifs à plus d'un titre.

1) D'un point de vue paléoclimatique, les géliformes à triage indiquent l'existence, en Abitibi, après le retrait du lac Barlow-Ojibouai, d'un ancien pergélisol. Selon la synthèse de GOLDTHWAIT (1976), il semble que les cercles de pierres de diamètre supérieur à 2 m ne se développent qu'en milieu de pergélisol. KARTE et LIEDTKE (1979) précisent qu'ils exigent, pour apparaître, des températures moyennes annuelles inférieures à  $-4^{\circ}\text{C}$ , ce qui implique pour cette région de l'Abitibi, un abaissement des températures d'au moins  $6^{\circ}\text{C}$  par rapport au climat actuel. L'âge de ce pergélisol holocène ne peut pas être précisé; il aurait pu apparaître dès le retrait du lac Barlow-Ojibouai, entre 8000 et 6000 BP, alors que des masses de glace d'inlandsis en récession s'attardaient encore du côté de Schefferville. Depuis, le pergélisol s'est retiré à plusieurs centaines de kilomètres au nord. Les géliformes à triage sub-actuelles semblent atteindre leur limite méridionale près du  $51^{\circ}$  de latitude, en bordure du lac Mistassini (LAVERDIÈRE et GUIMONT, 1977) soit environ 3 degrés de latitude au nord de notre région, et encore il s'agit probablement de formes embryonnaires (DIONNE, 1978b). De plus, ces formes sont liées aux rivages lacustres, milieu particulier qui semble favoriser leur genèse (DIONNE, 1974).

2) D'un point de vue morphoclimatique, des formes périglaciaires telles que les thufurs ou les ostioles contiennent d'être façonnées, actuellement, dans le domaine climacique de la sapinière à bouleau blanc, comme le montrent les cas analysés dans cet article. S'agit-il de cas limites, de phénomènes exceptionnels? Ou nos observations peuvent-elles être généralisées à l'ensemble de l'Abitibi? Le climat n'est qu'une condition nécessaire au façonnement des géliformes; encore faut-il des terrains favorables à leur genèse.

Ces formes sont habituellement attribuées à des phénomènes liés au gel-dégel en présence du pergélisol. L'existence de tels phénomènes, à plusieurs centaines de kilomètres au sud de la zone de pergélisol, montre que le gel-dégel peut dans certaines conditions produire dans le sol des perturbations similaires à celles qu'il provoque dans la couche active des pergélisols. D'ailleurs PAYETTE (1968), dans son étude des sols de l'Ungava, a déjà fait des observations dans ce sens... «... nous pensons toutefois qu'il (le rôle du permagel) devient secondaire, car le gel-dégel, pour être efficace, n'exige pas sa présence exclusive. Il suffit d'une couche imperméable, ...» (p. 66). Cet auteur s'appuie sur des cryoturbations (autobrassage du sol) où le pergélisol est absent ou encore situé hors des limites du profil, c.-à-d. trop profond pour influencer le solum.

Cependant, pour que de tels phénomènes se produisent au Québec méridional, où le climat est beaucoup plus clément que dans les régions polaires et sous-polaires, il faut bien sûr des conditions climatiques rigoureuses avec une couverture de neige mince, mais aussi des conditions édaphiques particulières qui favorisent la pénétration du gel à grande profondeur. La saturation en eau du sol est une de ces conditions qui permet au gel de descendre à de grandes profondeurs dans le sol, même sous les climats relativement cléments de certaines régions du Québec méridional. PLAMONDON et GRANDTNER (1975) ont observé, dans la Forêt Montmorency, à la latitude 47°49' nord, sous une sapinière à *Hylocomium* croissant à 670 m d'altitude, sur une terrasse fluvio-glaciaire modérément bien drainée, que le sol était encore gelé un 18 juin à une profondeur de 90 cm. La profondeur maximale à laquelle descendait la gelée dans cette station n'a cependant pas été déterminée. Une observation similaire a été faite par J. C. DIONNE (communication personnelle) dans la plaine argileuse du Lac St-Jean, près de St-Jérôme; le 20 juin 1967 de minces lentilles de glace de ségrégation ont été aperçues à plus d'un mètre de profondeur. La saturation en eau du sol est aussi nécessaire pour lui conférer une certaine plasticité qui facilite l'autobrassage (*frostchurning*) lorsqu'une couche de sol non gelée se trouve comprimée entre la partie supérieure du sol déjà gelée et une assise rigide plus en profondeur (CAILLEUX et TAYLOR, 1954).

Cette assise rigide, qui joue le rôle de la couche pergelée, peut être tout simplement le socle rocheux, un banc d'argile compacte et imperméable, ou encore une couche de gélisol temporaire ou annuel qui n'aurait pas dégelée avant que ne survienne un autre gel.

L'étude du site HÉVA permet donc de constater que les phénomènes de cryoturbations dus aux cycles gélivaux ne nécessitent pas toujours la présence du pergélisol pour produire un brassage important du sol et contrebalancer ainsi l'action d'autres processus pédo-

FIGURE 9a. Montage de deux photos, montrant chacune par tranche de 1 mètre une partie de la coupe II. La photo de gauche permet de voir, pour les premiers 50 cm (moitié gauche de cette photo), une partie de la masse d'argile gris olivâtre pâle poussée depuis les profondeurs jusqu'en surface, où elle affleure pour former l'ostiole. Sur l'autre moitié et sur la photo suivante, on remarque dans le solum une couche anormalement pâle qui serait une injection d'argile profonde plus ou moins mélangée avec le matériel de couleur foncée du solum au travers duquel elle s'est infiltrée. Au bas de la photo se trouve une zone d'argile à structure lamellaire d'où suinte l'eau (REM. le 2 m sur le ruban horizontal correspond à 4 m sur le dessin de la coupe II).

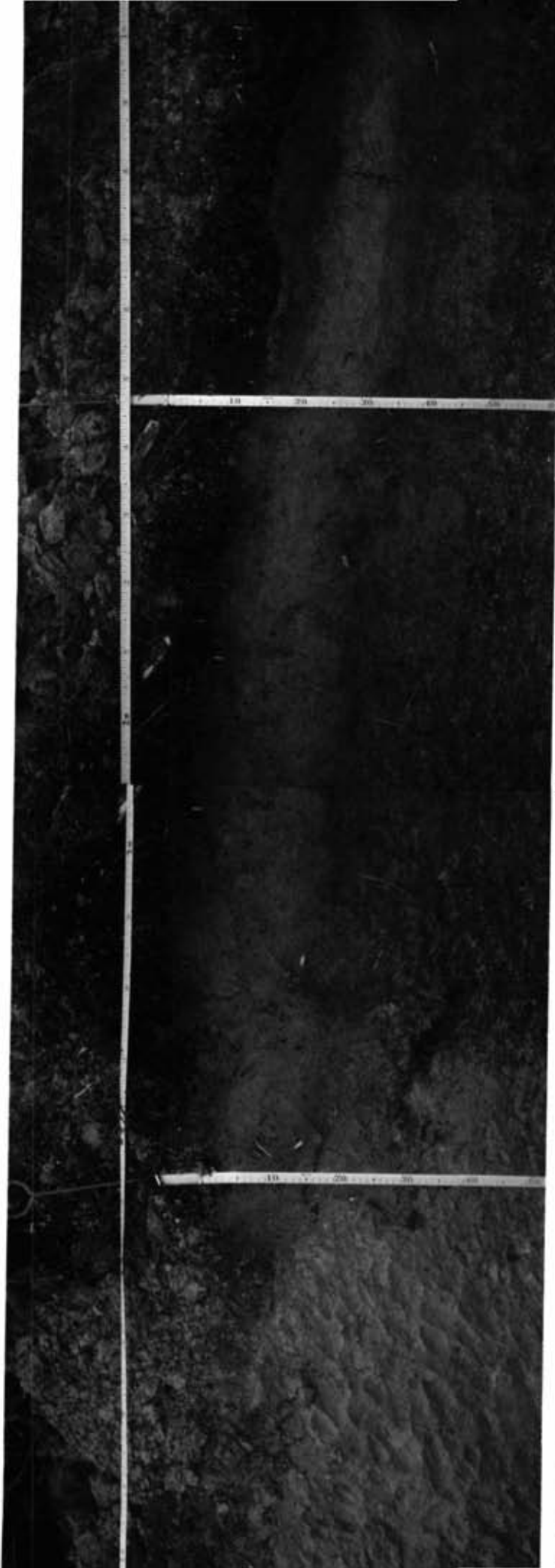
a) Montage of two photos showing cross-section II; at the left side of the photos, a mudboil can be seen with the grey-olive hued clay bulging upwards. The other part of the photos shows a light-coloured bed inside the solum which may be related to an injection of underlying clay, more or less mixed with darker material from the solum. Water seeps through the platy structure of a clay bed found at the bottom of the photos. (The 2 m mark on the tape corresponds to the 4 m mark on figure 5).

FIGURE 9b. Vue d'une autre partie de la coupe II illustrant le classement des rares pierres présentes en périphérie de l'ostiole. À noter l'accumulation de l'eau dans cette partie de la tranchée et la couleur plus terne de l'argile au voisinage de ces pierres où se fait une circulation de l'eau. À l'extrême gauche, remontée d'argile profonde qui n'est coiffée que d'un mince Bm (<10 cm d'épaisseur).

Note the few sorted pebbles outside the mudboil. Around the pebbles, where the clay is darker, there is water seepage. At the left side of photo 9b, the upward rising clay only supports a thin Bm (<10 cm).

FIGURE 9c. Vue sur une longueur d'un mètre, de l'autre face de la coupe II montrant à la fois en coupe une partie de l'ostiole et, à la surface du sol, une partie de l'affleurement d'argile profonde qu'il a provoqué. À noter aussi l'eau qui s'accumule jusqu'à environ 30 cm de la surface de l'ostiole; cette eau, d'abord absente de la coupe, a suinté dans celle-ci, depuis la zone d'argile à structure lamellaire (fig. 9a) et aussi entre les blocs (fig. 9b).

View of the other face of cross-section II showing the non-sorted circle both in ground-plan and in section. Phreatic water seeping through the platy structure and the stony area of the clay beds filled up the trench and reached a stable level 30cm beneath the soil surface.



A



B



C

FIGURE 9.



FIGURE 10.

FIGURE 10a. Coupe dans la moitié d'une micro-butte (thufur) recouverte d'une couche de sphaignes mortes mesurant jusqu'à 30 cm d'épaisseur et colonisée par des éricacées.

*Cross-section through a thufur covered by sphagnum peat reaching 30cm in thickness. Ericales are growing on top of the peat.*

FIGURE 10b. Coupe effectuée dans la station HÉVA II, au travers d'une micro-butte, laissant voir un cryosol turbique, tel que décrit dans le système canadien de classification des sols (C.C.P., 1978), mais en l'absence de la nappe de pergélisol. Sur la droite, on aperçoit la dépression remplie de matière organique, au milieu de laquelle se trouve une pierre. Dans la micro-butte au-dessus de l'horizon C, se remarque un désordre dans l'horizonation, avec des zones plus foncées et plus riches en M.O. que celles qui les surmontent, tandis que sur le versant gauche de cette micro-butte une couche plus épaisse de matière organique, colonisée par des éricacées, semble avoir été repoussée du sommet vers cet endroit. À l'arrière plan, s'observe un ostiole.

*Cross-section through a hummock of Héva II station showing turbic cryosol looking like those described in the Canadian System of Soil classification. The site of Héva II is in a non-permafrost region. On the right, a depression is filled by organic matter. Inside the hummock a mixing of several horizons has taken place. The horizon just above the C is richer in organic matter than horizons farther up. A mudboil can be seen in the background.*

FIGURE 10c. Profil de sol dans la cellule terreuse des géliformes à triage développées sur till (HÉVA I).

*Soil profile in central part (till) of a sorted circle (Héva I).*

FIGURE 10d. Profil de sol dans une micro-butte argileuse recouverte de déblais de fourmière. À noter, la présence de nombreuses plages de Aeb clair, à plusieurs endroits dans le solum et, plus particulièrement, au-dessus du couteau, au contact de l'horizon C.

*Soil profile in a clay-cored hummock topped by ant-hill material. Note the occurrence of light-coloured Aeb horizons in several places, particularly at the top of the C horizon (above the knife).*

génétiques qui développent une séquence bien ordonnée des horizons du sol.

Pour bien comprendre de tels profils de sols, il faut donc les envisager comme des résultantes de deux familles de processus antagonistes: des processus tendant à une différenciation des terrains en horizons, qui sont principalement de nature biochimique, et des processus de brassage, principalement (mais non exclusivement) de nature mécanique; leur diversité est mise en évidence par la station HÉVA II où interviennent: 1) l'action des fourmis, par la fossilisation, localement, d'un sol; 2) le renversement des arbres dont l'action se devine dans certaines micro-buttes, même si nous n'en n'avons pas les preuves tangibles dans la station même; 3) les phénomènes périglaciaires.

Ceux-ci interfèrent avec la pédogénèse sous deux aspects: les géliformes à triage, héritées de conditions paléoclimatiques, interviennent indirectement, par 1) la constitution d'une roche-mère originale, distincte par sa texture et son hétérogénéité du dépôt sédimentaire initial et 2) par la modification des conditions de drainage; celui-ci est fortement cloisonné.

Les géliformes actuelles interviennent surtout par leur effet de brassage des sols, contrecarrant ainsi le processus de podzolisation ou de lessivage normal et engendrant également une grande variabilité de certains sols tant en profondeur que sur de courtes distances horizontales. Ceci est particulièrement évident à la station HÉVA II (fig. 9 et 10a, b et d) où le choix de pédons est rendu particulièrement difficile.

Les géliformes actives sont de plus en plus rares à mesure qu'on s'éloigne de la zone de pergélisol. Dans le Québec méridional, ces phénomènes demeurent confinés à certains milieux où se rencontre une combinaison favorable de facteurs édaphiques (eau, texture fine) et climatiques (température, couverture de neige, etc.). Cependant, une meilleure connaissance de ces phénomènes, de leur existence et des milieux où ils sont susceptibles de se produire permettra peut-être aux pédologues d'en reconnaître plus souvent les traces au sud de la zone de pergélisol.

Sur le plan de la systématique, bien qu'on l'ait déjà proposé à la réunion de 1973 de la Commission Canadienne de pédologie (C.C.P.), ce n'est que dans l'édition de 1978 que *Le Système Canadien de Classification des Sols* (Commission canadienne de pédologie, 1978) élève au rang de l'ordre les sols développés sur pergélisol. Ceux-ci étaient relégués auparavant au rang de sous-groupe. Le projet du pipeline de la vallée du Mackenzie leur a valu un regain d'intérêt. Les travaux de ZOLTAI et PETTAPECE (1973) décrivent, dans la partie nordique des vallées du Mackenzie et du Yukon, entre 65°30'N et 68°N de latitude, des relations entre formes périglaciaires et profils pédologiques analogues à celles que nous venons de décrire pour l'Abitibi. Dès lors, on peut se demander s'il n'y aurait pas lieu d'étendre l'ordre des sols cryiques à tous les sols fortement perturbés par les phénomènes liés au gel-dégel, plutôt que de les confiner au seul domaine du pergélisol, ou de prévoir des sous-groupes intergrades cryoturbiques à l'intérieur des autres ordres concernés.

#### REMERCIEMENTS

Cet article a bénéficié de l'aide de plusieurs personnes. Messieurs Bernard BERNIER de l'université Laval, André CAILLEUX de Paris, J. A. McKEAGUE d'Agriculture Canada, Jean-Claude DIONNE du ministère de l'Environnement (Québec) et Fabien CARON du ministère de l'Énergie et des Ressources ont bien voulu relire le texte et suggérer d'importantes améliorations.

Messieurs Daniel LABEL, Benoit ALLEN, Yvan AUGER et Lévis BEAULIEU nous ont été d'une aide précieuse pour les levés de terrain, les analyses de laboratoire et le dessin des figures. M<sup>lle</sup> Linda GAGNÉ a dactylographié le texte. Que tous trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance. Une partie des recherches a été financée par une subvention de FCAC; grâce à une contribution généreuse du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, nous avons pu faire paraître les deux planches de photos couleurs.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, (1968): *Normales climatiques*, t. 6, Données de gel, Can. Min. Transports, dir. météo. Toronto, Can., 51 p.
- BROWN, J.-L., (1977): Étude de la perturbation des horizons du sol par un arbre qui se renverse et de son impact sur la pédogénèse, *Can. J. Soil Sci.*, 57: 173-186.
- BROWN, R.J.E., (1974): *Pergélisol*, Carte à l'échelle 1:15 000 000, Modification de la carte «Permafrost in Canada» (carte 1246A, Commission géologique du Canada 1967) in *Atlas national du Canada*, 4<sup>e</sup> édition (révisée), Macmillan Company of Can. Ltd, Toronto, Ont., avec le concours du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources et d'Information Canada, Ottawa, Canada.
- CAILLEUX, A., et TAYLOR, G., (1954): Cryopédologie, Étude des sols gelés, Actualités scientifiques et industrielles 1203, Expéditions polaires françaises, Mission Paul-Émile Victor IV, Hermann et Cie, Paris, 231 p.
- COMMISSION CANADIENNE DE PÉDOLOGIE, (1978): *le Système canadien de classification des sols*, publication 1646, min. Agriculture Can., Ottawa, 170 p.
- CORTE, A., (1966): Particules sorting by repeated freezing and thawing, *Biuletyn Peryglacjalny* 15: 175-240.
- DENNY, C.S., (1952): Late Quaternary Geology and Frost Phenomena along Alaska Highway, northern British Columbia and southeastern Yukon, *Geol. Soc. America Bull.*, 63: 883-921.
- DIONNE, J. C., (1974): Cryosols avec triage sur rivage et fond de lacs, Québec central subarctique, *Rev. Géogr. Montr.*, Vol. XXVIII, n° 4: 323-342.
- (1978a): Radiocarbon dates on peat and tree remains from James Bay area, subarctic Quebec, *Can. J. For. Res.* 9: 125-129.
- (1978b): *Formes et phénomènes périglaciaires en Jamésie*, Québec subarctique, *Géogr. phys. Quat.*, Vol. XXXII (3): 187-247.
- GOLDTHWAIT, R. P., (1976): Frost sorted Patterned Ground, A review, *Quat. Res.*, vol. 6, 1:27-36.
- GRANDTNER, M. M., (1966): *La Végétation forestière du Québec méridional*, Press. Univ. Laval, Québec, 216 p.
- HAMELIN, L.-E. et COOK, F.A., (1967): *le Périglaciaire par l'image / Illustrated Glossary of Periglacial Phenomena*, Québec, Press. Univ. Laval, 237 p., 12 fig., 117 phot.
- KARTE, J. et LIEDTKE, H., (1979): The theoretical and practical definition of the term Periglacial in its Geographical and Geological Meaning, *Biuletyn Peryglacjalny*, sous presse.
- LAVERDIÈRE, C. et GUIMONT, P., (1977): *le Littoral des lacs Albanel et Mistassini (aspects physiques)*, Montréal, SDBJ, Rapp. préél., 93, 64 p.
- McKEAGUE, J. A., (1967): An evaluation of O.I.M. pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in podzols and some other soils, *Can. J. Soil Sci.* 47: 95-99.
- McKEAGUE, J. A. (ed.), (1977): *Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols*, préparé par le sous-comité des méthodes d'analyses (Comité canadien de pédologie), Soil Research Institute, Ottawa, Can. 223 p.
- PAYETTE, S., (1968): Étude pédologique au 60° parallèle nord, Ungava, Québec. Québec, Centre d'études nordiques, Trav. divers, n° 23, 90 p., 27 fig.
- PLAMONDON, A. P. et GRANDTNER, M. M., (1975): Microclimat estival d'une sapinière à *Hylocomium* de la Forêt Montmorency, *Nat. can.*, 102: 73-87.
- RICHARD, P., (1978): Aires ombrothermiques des principales unités de végétation du Québec, *Nat. can.*, 105: 195-207.
- (1979): Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec, Service de la recherche en analyse pollinique, Rapport de recherche pour la Commission archéologique du Canada, 50 p.
- ROUSSEAU, J., (1949): Modification de la surface de la toundra sous l'action d'agents climatiques, *Rev. Can. Géogr.*, vol. 3, nos 1-4: 43-51.
- SHILTS, W. W., (1978): Nature and genesis of mudboils, central Keewatin, Canada. *Can. J. earth sci.*, vol. 15: 1053-1068.
- TARNOCAI, C. et ZOLTAL, S. C., (1978): Earth hummocks of the canadian arctic and subarctic, *Arctic and Alpine Research*, vol. 10, n° 3: 581-594.
- VILLENEUVE, G. H., (1967): *Sommaire climatique du Québec*, vol. 1, Min. Rich. Nat. Qué., Rapp. M-24, 168 p.
- WALKLEY, A. et BLACK, I. A., (1934): An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Sci.* 37: 29-38.
- WASHBURN, A. L., (1956): Classification of patterned ground and review of suggested origins, *Geol. Soc. Am. Bull.* 67: 823-866.
- (1973): *Periglacial processes and environments*, Edward Arnold, New York, 320 p., 145 fig.
- ZOLTAL, S. C. and W. W. PETTAPECE, (1973): Studies of vegetation, landform and permafrost in the Mackenzie valley: Terrain, Vegetation and permafrost Relationships in the Northern Part of the Mackenzie Valley and Northern Yukon, *Information Can.*, Cat. n° R72-7973, 105 p.
- ZOLTAL, S. C. et TARNOCAI, C., (1974): Soils and vegetation of hummocky terrain; Env.-Soc. Program, Northern Pipelines, Report 74-5.