

ALBERT PISSART*
Liège

SOLS À BUTTES, CERCLES NON TRIÉS ET SOLS STRIÉS NON TRIÉS DE L'ÎLE DE BANKS (CANADA, N.W.T.)

Aspect en plan, en coupe et données génétiques

Abstract

Frost hummocks, unsorted circles and unsorted soil stripes have been studied on Banks Island. Sections cut through these features show direction of mass movement which produced them. Genetic hypotheses are suggested for their formation. It is hoped that the description given will help in the recognition of these structures in fossil periglacial context.

INTRODUCTION

L'aspect de surface des sols périglaciaires (sols polygonaux et striés, sols à buttes etc.), a été décrit par de nombreux auteurs et est actuellement bien connu. Par contre, les descriptions de coupes verticales réalisées au travers de ces structures restent peu nombreuses. Et cependant de telles coupes sont du plus haut intérêt parce qu'elles fournissent des indications sur les mécanismes génétiques responsables des sols étudiés et aussi parce qu'elles aident à mieux interpréter les structures fossiles. Comme le soulignait J. Goździk (1964) la confrontation de structures fossiles avec les structures actuelles reste très difficile et des progrès doivent encore être réalisés dans cette direction. Par cette voie cependant, on pourra sans doute préciser à quels aspects de surface correspondent des structures fossiles dont seul l'aspect en coupe est connu.

Dans cette ligne de recherche, nous avons dégagé sur l'île de Banks (arctique canadien) des coupes dans des sols à buttes, des sols polygonaux non striés et des sols striés non triés. Nous donnons ci-dessous la description de quelques-unes de ces coupes et nous nous efforçons d'expliquer comment ces formes se constituent.

L'île de Banks est située dans l'arctique canadien entre 71° et 75° de latitude nord et subit un climat très rigoureux. La température moyenne mensuelle à Sachs Harbour (71°57'N) est inférieure à -20°C de novembre à avril. Elle est supérieure à 0° de juin à août et atteint +5° en juillet. Sur tout l'île le pergélisol est profond et continu (430 m observé par un sondage dans la partie centrale de l'île d'après JUDGE, 1973). Les précipitations annuelles sont faibles (92 mm par an en moyenne

* Université de Liège, 7, Place du XX Août, Belgique.

de 1955 à 1960 à Sachs Harbour) et tombent surtout en été (24 mm en juillet, 16 en août, 16 en septembre et 12 en octobre). Située tout entière au-delà de la limite de la forêt, il n'existe sur cette île qu'une végétation de toundra plus ou moins fournie selon les endroits.

LES SOLS À BUTTES (EARTH HUMMOCKS)

Des étendues considérables de l'île de Banks sont couvertes par des sols à buttes (photo 1). Ces buttes sont dénommées en anglais *earth hummocks* (A. L. WASHBURN, 1973, p. 126). Sur l'île de Banks, elles ont 10 à 90 cm de diamètre et 10 à 30 cm de hauteur. Elles couvrent la plus grande partie de l'île et sont seulement absentes

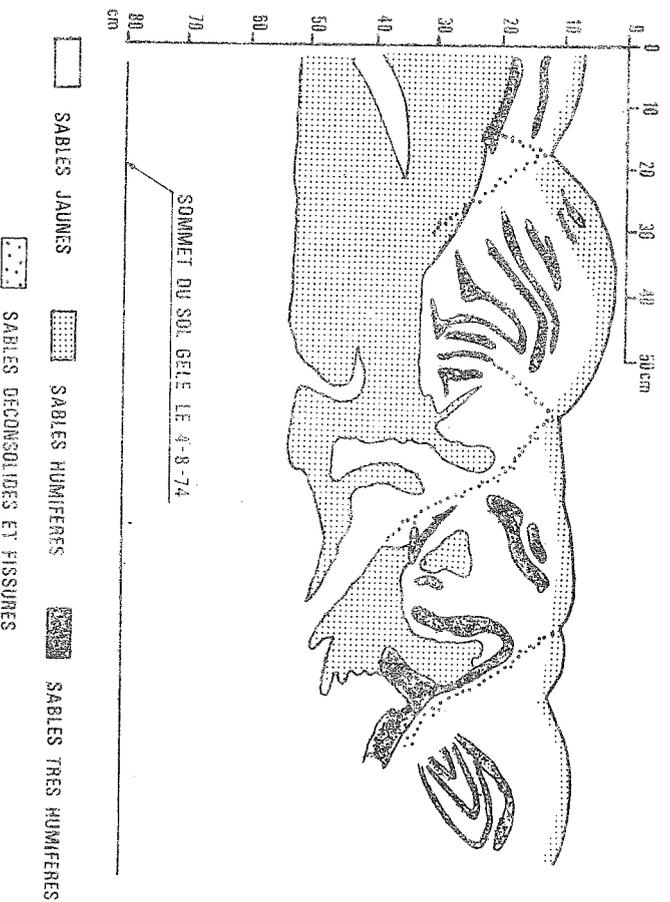


Fig. 1. Coupe dans un sol à buttes (Île de Banks, août 1974)
Les déformations des couches de teinte plus ou moins sombre en fonction de leur contenu en humus attestent de l'existence de mouvements de masse

dans le lit des cours d'eau, sur les affleurements de roche en place et dans les zones très humides. Elles sont souvent le mieux développées dans les creux où la neige persiste plus longtemps et là où existe une couverture végétale herbacée dont les racines donnent au sol la cohésion nécessaire pour permettre la conservation des buttes. Lorsque la couverture végétale disparaît, les buttes deviennent de petits sols polygonaux décimétriques non très nets mais très nettement bombés (photo 1). La parenté génétique de ces formes est évidente comme l'a d'ailleurs souligné A. L. WASHBURN en 1969.

Sur les figures 1 et 2, nous présentons deux coupes qui ont été réalisées au travers de ces sols à buttes. Toutes les deux ont été creusées dans des sables éoliens provenant du remaniements des alluvions d'une rivière voisine.

La première coupe (fig. 1), observée non loin de la rivière Thomsen (lat. N 73°41'; long. O: 120°0'), montre clairement par des couches humifères bombées et plissées que ces buttes proviennent de soulèvements du sol, véritables bombements séparés par des dépressions se prolongeant par des zones déconsolidées et des fissures obliques plus ou moins remplies de matériel détaché des lèvres de la fissure. Sur cette coupe, seule la butte centrale est coupée en son centre et donne une image nette du phénomène.

La seconde (fig. 2), observée sur une pente atteignant 8° et située au bord d'une petite rivière (lat. N: 72°23'; long. O: 120°13') montre que les buttes résultent d'un déplacement d'un horizon peu profond qui s'accumule uniquement sous les buttes. Les fissures formées entre les buttes sont remplies de sable dont l'origine est vraisemblablement éolienne.

D'autres coupes ont été dégagées dans des sols à buttes identiques à proximité de la Big River (lat. N: 72°13'; long. O: 122°9'). Réalisées pendant la deuxième

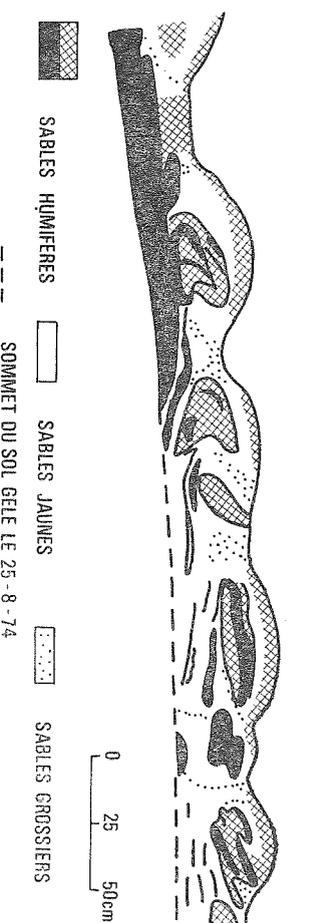


Fig. 2. Coupe dans un sol à buttes (Île de Banks, août 1974)
Les déformations des couches de teinte plus ou moins sombre en fonction de leur contenu en humus attestent de mouvements de masse

quinzaine du mois de juin (du 22-6 au 30-6-75), elles ont montré que les fissures situées entre les buttes étaient à ce moment remplies de glace. Celle-ci provient sans doute de la congélation d'eau libérée par la fusion de la couverture neigeuse au moment où le sol sous-jacent est toujours à une très basse température.

Nos observations s'accordent bien avec celles données par A. L. WASHBURN en 1969 (p. 159—164). Constatant aussi au Groenland la présence de fissures entre les buttes, il leur accorde une très grande importance puisqu'il écrit que ces formes sont sans doute essentiellement dues à l'action de la dessiccation. Nos coupes prouvent cependant, en plus, l'action de mouvements de masse dont A. L. WASHBURN soupçonnait l'existence sans en avoir la preuve, puisque dans son tableau de classification génétique des sols structuraux (1970, 1973), il laisse à ce sujet des points d'interrogation.

Après A. L. WASHBURN (1969), nous sommes convaincus de la similitude de genèse de ces buttes avec les sols polygonaux non triés, car nous avons observé le passage latéral d'une forme à l'autre, les sols à buttes existant sous une couverture végétale, les sols polygonaux non triés les relayant en l'absence de toute couverture végétale (photo 1).

ORIGINE DES SOLS À BUTTES ET DES PETITS SOLS POLYGONAUX TRIÉS ET NON TRIÉS

Nous croyons aujourd'hui que les mouvements de masse responsables des sols à buttes et des petits sols polygonaux non triés résultent des variations de volume que subissent les terres humides sous l'action du gel; aussi, avant de présenter une hypothèse génétique, nous rappellerons brièvement comment varie le volume des sols humides soumis au gel (A. PISSART, 1972).

Au-dessus de 0°C quand la température s'abaisse, le volume du sol diminue (fig. 3). Cette diminution peut se poursuivre sous 0°C, quand se produit un phénomène de surfusion. La surfusion est toutefois un accident temporaire et sous 0°, l'eau contenue dans le sol commence à geler en provoquant une augmentation de volume. Mais dans les sols, seule l'eau libre change de phase à 0°C; l'eau non libre, tenue par des forces diverses, et notamment les forces capillaires gèle à une température inférieure. De telle sorte que toute l'eau ne gèle pas à 0°C, mais que avec l'abaissement de la température sous 0°C, se poursuit une augmentation de volume du sol. Dans des argiles, la dilatation peut se poursuivre jusqu'à des températures inférieures à -10°C, tandis que dans les sables grossiers qui ne contiennent que de l'eau libre, elle se termine à 0°C. Au-delà d'une température variable caractéristique pour chaque sol, le retrait thermique devient le plus important et il se produit une diminution de volume avec l'abaissement de la température. Inversement, le réchauffement d'un sol fin gelé contenant une certaine quantité d'eau provoque une diminution de volume avant que soit atteinte la température de 0°C. Ce phénomène, dont on n'a pas assez tenu compte en géomorphologie, indique donc que le comportement de l'eau libre qui gèle et qui réapparaît lorsque l'on passe le seuil de 0°C, est très différent du comportement de l'eau comprise dans le sol, qui change de phase à des températures inférieures. Et ce phénomène provoque dans les sols gelés humides des variations de volume lorsque la température fluctue sous 0°C, même si elle ne franchit pas cette valeur.

Par ce phénomène, les veines de glace observées au dégel dans les fissures séparant les buttes, jouent probablement un rôle fondamental. Nous pensons, comme A. L. WASHBURN, qu'il s'agit au départ de fissures de dessiccation. Toutefois, elles se remplissent de glace lorsqu'arrive de l'eau provenant de la fusion de la neige, soit à un moment où le sol est toujours sous la neige et à une température inférieure à 0°C¹. L'arrivée d'eau dans ces fissures et sa congélation détermine un réchauffe-

¹ Cette origine de la glace est attestée par le fait que les trous de termites étaient aussi remplis de glace à proximité des fissures observées.

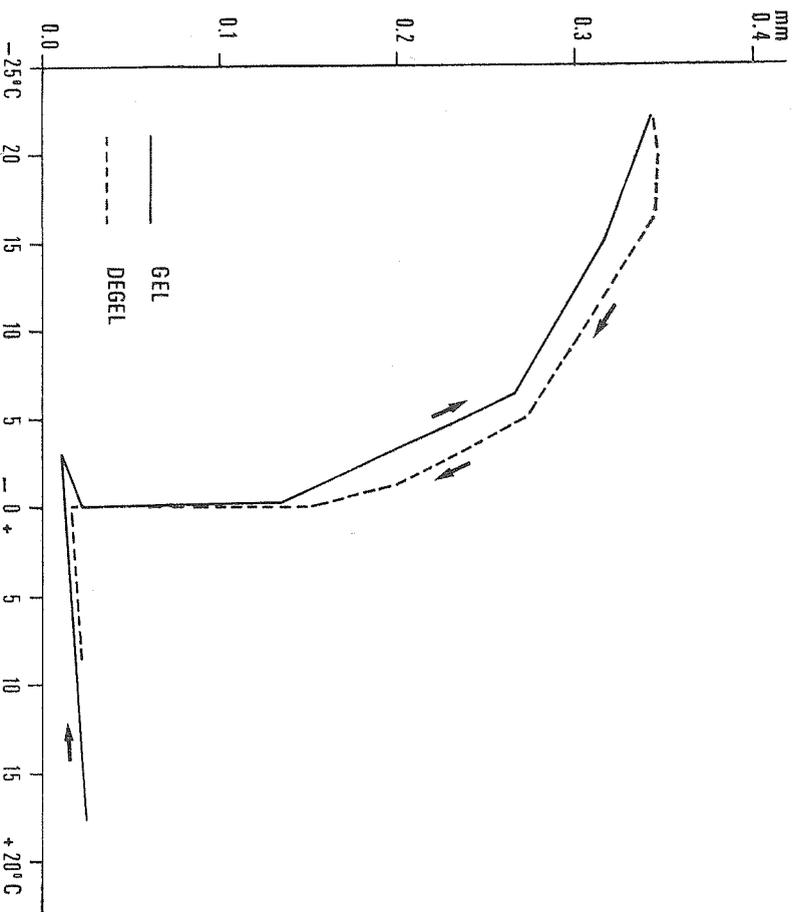


Fig. 3. Variations de longueur d'un échantillon de limon éolien, long de 10,5 cm (largeur de 5 cm) soumis à un gel puis un dégel
Teneur en eau au départ: 21,6%. Refroidissement latéral. Les courbes sont comparables à celles qui ont été obtenues par des mesures dilatométriques volumétriques (A. PISSART, 1972)

tion du sol. Cependant, à ce moment, toute expansion latérale est bloquée par la glace apparue dans les fissures. La dilatation qui s'effectue provoque alors une déformation du sol gelé.

Les fluctuations de température sous 0°C, pour autant qu'elles s'accompagnent du remplissage des fissures par la glace au moment du retrait maximum, ont ainsi pour effet d'élargir progressivement les fissures et de bomber fortement les parties situées entre elles.

Dans cette explication des sols à buttes, le rôle joué par la végétation est passif. Il protège les buttes de la destruction par la pluie et empêche l'affaissement du sol dans les fissures. Quand ce dernier phénomène se produit, les buttes se transforment en sols polygonaux non triés. Le rôle de la couverture neigeuse est tout aussi fonda-

mental dans cette évolution puisqu'elle fournit au dégel l'eau qui s'infiltre dans les fissures. Ainsi s'explique le développement remarquable de ces formes en des endroits où la neige s'accumule.

Les mêmes bombements sont essentiels dans la formation des sols polygonaux triés que nous avons étudiés dans les Alpes (A. Pissart, 1973). En effet, nous avons montré, expérimentalement l'existence de mouvements de masse dans ces formes, et le soulèvement du matériel fin.

La différence entre les sols à buttes et les sols polygonaux triés consiste seulement dans la présence des cailloux qui sortent du sol sous l'action du gel, se déplacent ensuite en surface sous l'action des piprakes et tombent dans les fissures apparues sous l'action de la dessiccation et agrandies par l'action de coins de glace dont nous venons de parler. Les cailloux contribuent à conserver les fissures béantes mais ne jouent pas un rôle fondamental dans l'apparition du phénomène.

Le passage de sols polygonaux aux sols striés lorsque la pente est suffisante s'explique par la fermeture par le creep et la solifluxion des fissures perpendiculaires à la pente tandis que se conservent les fissures parallèles à celles-ci. Ainsi, seules les fissures parallèles se développent et participent à l'évolution ultérieure du sol.

LES CERCLES NON TRIÉS OU OSTIOLES DE TOUNDRA

Les „non sorted circles and related forms” de A. L. WASHBURN (1969) ont été dénommés *frost scars* par D. M. HOPKINS et R. S. SIGAFOOS (1950), *ostioles de toundra*, *flagues de terre* et *blois terreux* par A. CAILLIEUX et G. TAYLOR (1954). Il s'agit de plages circulaires, ovales ou irrégulières sans végétation qui apparaissent au milieu de la toundra (photo 2). Leur diamètre varie de quelques décimètres à un ou deux mètres.

Nous avons étudié des formes de ce type sur une basse terrasse de la Big River (lat. 72°13'N, long. 122°9'0) dont la surface est restée 70 cm au-dessus du niveau maximum des eaux de printemps 74. Aussi, nous supposons que les crues n'atteignent plus la surface étudiée qui, cependant, reçoit quelques sables soulevés par le vent dans le lit de la Big River. Sur cette basse terrasse, les ostioles de toundra sont plus ou moins nombreuses selon les conditions locales. En certains endroits qui ne sont ni les plus humides, ni les plus secs, elles sont si fréquentes que la surface de terre nue occupe près de 30% de la surface du sol.

Les coupes dégagées dans les berges de la rivière ont montré que le cailloutis fluvial est surmonté de 40 à 60 cm de sables alluviaux plus ou moins humifères. Ces variations de composition ont donné des différences de coloration très marquées qui soulignent les déformations que le sol a subies.

Une dizaine de coupes ont été dégagées dans ces structures. Nous en reproduisons 2 (fig. 4 et photo 3). Ces deux coupes, comme les autres que nous avons observées, montrent indiscutablement que les ostioles de toundra résultent du mouvement ascendant d'une masse de matériel fin (sable limoneux) au milieu d'un matériel plus grossier (sables et cailloux). Ce matériel fin migre jusqu'à la surface

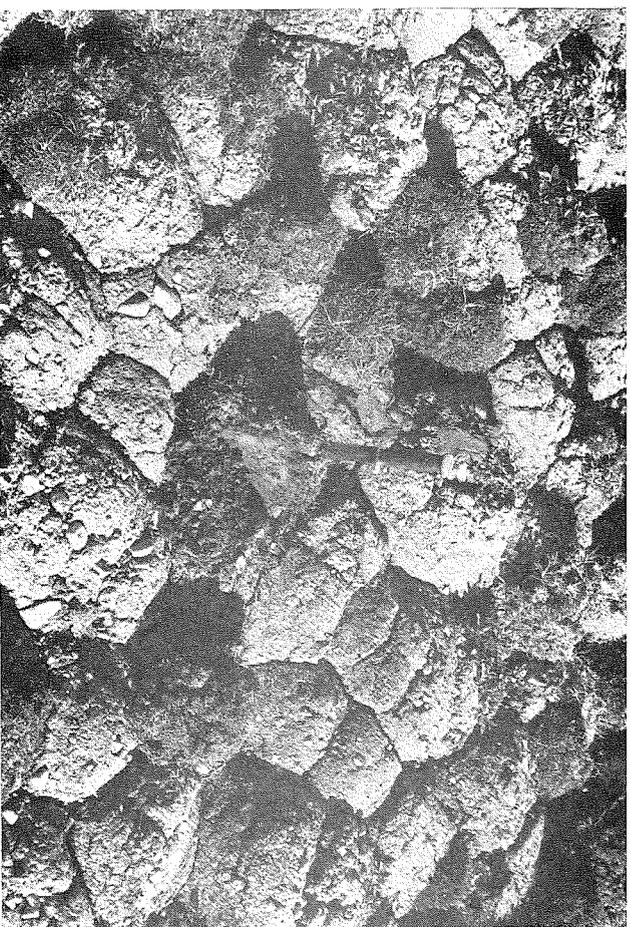


Photo 1. Sol à buttes (Iles de Banks, août, 1974)
Le couteau est planté dans une butte couverte de végétation dont une moitié a été enlevée. Comme le montre cette photo en l'absence de couverture végétale, les buttes s'aplatissent et deviennent des polygones décimétriques non triés

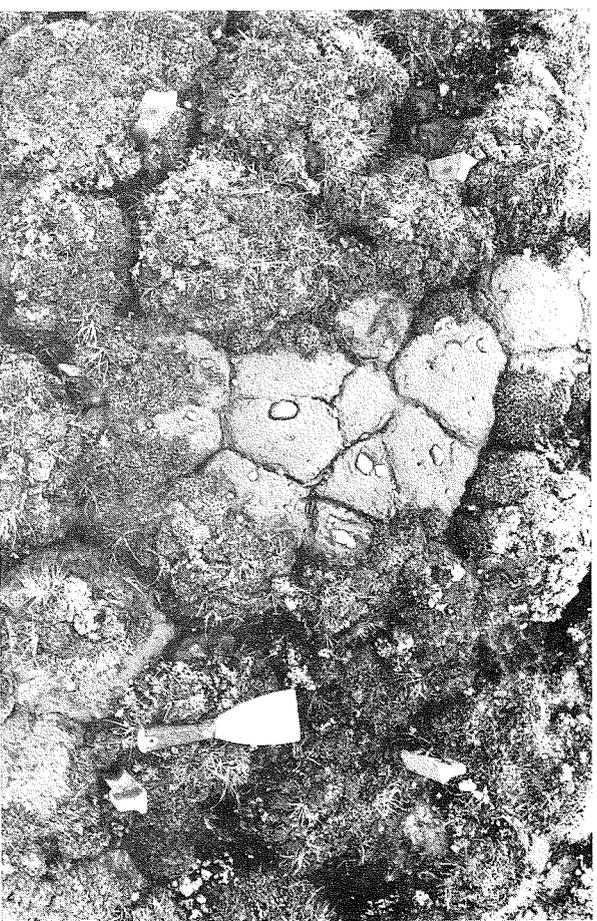


Photo 2. Ostiole de toundra formée au milieu d'un sol à buttes
Cette tache de terre nue a été excavée et des structures ont été observées sous elle qui montrent l'ascension du matériel
(Ile de Banks, 72°13'N, 122°9'0 — juin 1974)



Photo 4. Vue du sol strié non trié où a été réalisée la coupe représentée à la figure 5 (Ile de Banks, août, 1974)

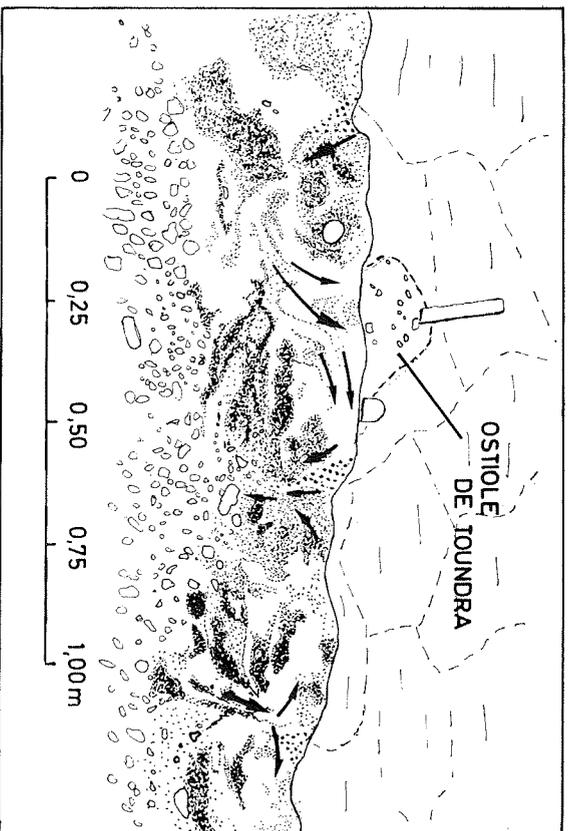


Photo 3. Photo et dessin d'une coupe réalisée dans une ostiole de toundra près de la Big River montrant clairement la direction des mouvements affectant la partie supérieure du sol (Ile de Banks, 72°13' N; 122°9'0; juin 1974)



Fig. 4. Coupe dégagée dans une ostiole de toundra qui était visible en surface entre les deux trains. La structure que montrent les sables plus ou moins humifères attestent de l'ascension du matériel. Le mouvement a dû se produire d'abord selon la flèche 1, puis selon la flèche 2. Ce second mouvement a créé l'ostiole de toundra actuelle. Un affaissement formant une fissure en partie colmatée par des sables récents se produit actuellement en 3. Les cailloux à la partie supérieure du gravier fluvial sous-jacent, sont tous dressés. (Ile de Banks, 72°13'N; 122°9'O; 29-6-74)

ou il s'étale plus ou moins largement. De part et d'autre de cette masse en mouvement ascendant, des couches humifères attestent d'un mouvement descendant de matériel voisin.

LES SOLS STRIÉS NON TRIÉS

Sur les pentes faibles de l'île de Banks, existent en de nombreux endroits, de sols striés non triés. Ce type de sol structural consiste en une alternance de bandes couvertes de végétation et de bandes de sols plus ou moins dénudés, ces bandes parallèles étant orientées suivant la ligne de plus grande pente (photo 4). Ajoutons encore que de légères dépressions correspondent aux bandes couvertes de végétation.

Lorsque la pente devient très faible, ces stries passent à des sols polygonaux non triés semblables à ceux que nous venons de décrire plus haut, des ponts de végétation apparaissant entre les stries parallèles.

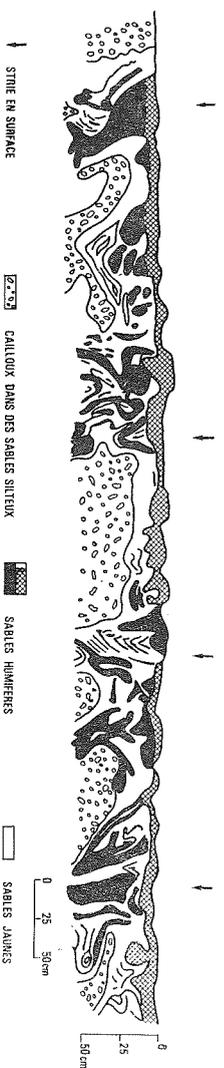


Fig. 5. Coupe dans le sol strié non trié montré sur la photo 4 (Île de Banks, août 1974)

Deux coupes ont été réalisées dans ces sols structuraux; elles ont donné des indications semblables, aussi nous reproduisons seulement l'une d'elles (fig. 5) réalisée sur la rive droite de la rivière Thomsen à la latitude 73°41'20" N et la longitude 120° O. Le sol en cet endroit est constitué de sables éoliens déposés sur un cailloutis emballés dans des sables limonneux. En outre, des couches humifères existent en surface et ont été entraînées à des profondeurs variables. L'excavation a été réalisée jusqu'à une profondeur de 50 cm, profondeur à laquelle se trouvait le sommet de sol gelé le 4.8.74.

Le sommet de la couche graveleuse est très irrégulier. Il dessine de très beaux bombements qui sont toujours localisés entre les stries de végétation superficielle. Sous-celles-ci, existent des masses sableuses plus ou moins humifères, d'allure fort complexe qui paraissent dues à l'entraînement en profondeur de l'*humus* superficiel.

La similitude des polygones non triés et des stries non triées a été soulignée par A. L. WASHBURN (1973) sur la base de leur aspect de surface. Notre photo 4 montre que, en coupe aussi, leur allure est identique et établit mieux encore la similitude de leur origine.

L'ORIGINE DES CERCLES ET DES SOLS STRIÉS NON TRIÉS

Les observations que nous avons rapportées ci-dessus attestent, aussi bien pour les cercles non triés que pour les sols striés non triés, de mouvements de soulèvement du matériel de granulométrie fine et des mouvements de descente de matériel grossier.

Les auteurs qui ont étudié ces formes ont tous noté que les cercles non triés correspondent à l'ascension de matériel fin (D. M. HOPKINS et R. S. SIGARFOOS, 1950; A. CALLEUX et G. TAYLOR, 1954; A. L. WASHBURN, 1969). Dans le dernier ouvrage cité se trouve la synthèse la plus récente des connaissances sur le sujet et la meilleure présentation des différentes hypothèses génétiques qui ont été proposées. Dans ce travail, A. L. WASHBURN pense que si les mouvements peuvent être dus, soit à la pression cryostatique, soit à des différences de densité au dégel et regarde la seconde hypothèse comme la plus probable. Il souligne qu'il faut rendre compte

non seulement du mouvement vers la surface du matériel fin, mais encore de la descente du matériel voisin.

Dans ces mouvements, les variations de volume en fonction de la température tels que nous les avons figurés sur la figure 3 jouent sans doute le plus grand rôle. Le mécanisme serait sans doute le suivant: au moment du gel du sol, le matériel grossier gèle le premier. Il peut se dilater au détriment du matériel plus fin qui gèle à une température inférieure et reste plus longtemps plastique. Quand ce matériel fin gèle à son tour, son expansion latérale est bloquée par le matériel gelé et sa dilatation ne peut se produire qu'en s'accompagnant d'une déformation qui consiste en un mouvement vers la surface. Au moment du réchauffement, un phénomène de déformation plastique inverse ne se produit sans doute pas. Le retrait consécutif au réchauffement du sol crée dans le sol grossier voisin des fissures, puis des affaissements qui, petit à petit, entraînent les éléments en profondeur.

Le pergélisol ne semble jouer aucun rôle dans l'apparition des ostioles de toundra que nous avons étudiées. Près de la Big River (photo 3) ces structures n'affectent en effet qu'une couche de 40 à 60 cm de sables plus ou moins humifères, alors que la zone active en cet endroit dépasse certainement un mètre. Entre le pergélisol et les sables cryoturvés s'interposent en effet des graviers qui ne sont pas affectés par les cryoturbations. Cette observation montre indiscutablement que toutes les cryoturbations ne résultent pas, comme l'admet la théorie la plus fréquemment proposée, de la congélation du matériel coince entre d'une part le pergélisol et d'autre part la partie sommitale de la zone active en train de regeler (R. P. SHARP, 1942).

SOLS À BUTTES ET CERCLES NON TRIÉS FOSSILES

Pour terminer, nous soulignerons que quelques auteurs ont comparé des structures périglaciaires fossiles avec des structures actuelles semblables à celles que nous venons de décrire sur l'île de Banks.

En ce qui concerne les sols à buttes, A. JAHN (1956) et J. DYLIK (1956) considèrent que involutions liées, en dôme, correspondent aux thufurs et J. GOZDZIK (1964) les rapproche des buttes de terre. R. PAPE et A. PRSSART (1969) ont reconnu en Belgique des traces de sols à buttes dans les coupes de loess. Décrites sous le nom de „small frost wedges row”, ces structures sont, d'après R. PAPE, caractérisées de 4 périodes au cours de la dernière glaciation: la première a suivi le Brørup, la seconde le stade d'Arcy-Stillfried B (ancien Paudorf), la troisième le Bølling et la quatrième l'Allerød. Les observations que nous avons effectuées au cours de cette recherche confirment que ces „small frost wedges” sont bien les témoins de sols à buttes existant au moment du dépôt du loess.

POSER (1947) puis HOPKINS et SIGARFOOS (1950) ont montré que les ostioles de toundra correspondaient à des cryoturbations et ont souligné que dans des régions ayant subi autrefois un climat périglaciaire ces structures pouvaient avoir été conservées. Nous pensons après eux qu'un très grand nombre de cryoturbations qui

ont été retrouvées en Europe occidentale ont cette origine. La complexité des structures résulte souvent de l'apparition successive de plusieurs „ostioles de toundra” voisines.

REMERCEMENTS

Cette étude a été réalisée grâce à une bourse de recherche que m'a octroyée le Conseil des Arts du Canada pour me permettre de travailler dans l'Arctique pendant l'été 1974. Sur le terrain j'ai reçu un support matériel complet de la Commission Géologique du Canada (projet 640004) et du „Polar Continental Shelf Project”. Je tiens à assurer de ma gratitude les responsables de ces organisations et spécialement le Dr B. CRAIG et le Dr G. HOBSON pour l'aide qu'ils m'ont accordée. Par ailleurs, tous les travaux de terrain et spécialement les dégagements et descriptions de coupes ont été réalisés avec M. MARC ST ONGE qui m'a accompagné et aidé généreusement pendant toute cette campagne. Je l'en remercie encore très vivement.

Bibliographie

- CHATELUX, A. et TAYLOR, G., 1954 — Cryopédologie. Etude des sols gelés. *Actualités scientifiques et industrielles*, n° 1203: Expéditions polaires françaises. Mission Paul-Emile Victor; Paris, Herman et Cie Editeurs; 220 p.
- DYLIK, J., 1952 — Periglacial structures in the Pleistocene of middle Poland. *Bull. Państw. Inst. Geol.*, t. 66; p. 53—113.
- DYLIK, J., 1956 — Coup d'oeil sur la Pologne périglaciaire. *Bull. Peryglaciolny*, 4; p. 195—238.
- GOZDZIK, J. S., 1964 — L'étude de la répartition topographique des structures périglaciaires. *Bull. Peryglaciolny*, 14; p. 217—249.
- HOPKINS, D. M. and SIGARFOS, R. S., 1950 — Frost action and vegetation patterns on Seward peninsula, Alaska. *Geol. Surv. Bull.*, 974—C; 100 p.
- JAHN, A., 1956 — Some periglacial problems in Poland. *Bull. Peryglaciolny*, 4; p. 164—183.
- JUDGE, A. S., 1973 — Deep temperature observations in the Canadian North. *North American contribution, Permafrost second international conference, 13—28 July 1973*; National Academy of Sciences. Washington, D. C., p. 35—40.
- KOZARSKI, S. and ROTNICKI, K., 1964 — Involutions dans le sandr du stade de Poznań au sud de Gniezno. *Bull. Peryglaciolny*, 13; p. 15—52.
- PAPE, R. et PISSART, A., 1969 — Periglacial structures in the late-pleistocene stratigraphy of Belgium. *Bull. Peryglaciolny*, 20; p. 321—336.
- PISSART, A., 1972 — Mouvements de sols gelés subissant des variations de température sous 0°: résultats de mesures dilatométriques. *International Geography: Communications présentées au 22e Congrès International de Géographie, Montréal, Canada*. University of Toronto Press; p. 124—126.
- PISSART, A., 1973 — L'origine des sols polygonaux et striés du Chambevron (Basses Alpes). Résultats d'expériences de terrain. *Bull. Soc. Géogr. Liège*, n° 9; p. 33—53.
- POSER, H., 1947 — Dauerfrostboden und Temperaturverhältnisse während der Würm-Eiszeit im nicht vereisten Mittel- und Westeuropa. *Naturwissenschaften*, 34; p. 10—18.
- SHARP, R. P., 1942 — Periglacial Involutions in North-Eastern Illinois. *Jour. Geology*, 50, 2; p. 113—133.
- WASHBURN, A. L., 1969 — Weathering, frost action and patterned ground in the Mesters Vig district, northeast Greenland. *Meddelelser om Grønland*, 176 (4); 303 p.
- WASHBURN, A. L., 1970 — An approach to a genetic classification of patterned ground. *Acta Geographica Lodziana*, n° 24; p. 437—446.
- WASHBURN, A. L., 1973 — Periglacial processes and environments. Edward Arnold Ltd. 25, Hill Street, London; 320 p.