

ALBERT PISSART \*

Liège

## DÉFORMATIONS DE CYLINDRES DE LIMON ENTOURÉS DE GRAVIERS SOUS L'ACTION D'ALTERNANCES GEL/DÉGEL

### EXPÉRIENCES SUR L'ORIGINE DES CRYOTURBATIONS

#### Résumé de l'auteur

Des cylindres, composés de couches colorées de loess éoliens, ont été entourés de graviers sans matrice et soumis à des alternances de gel et de dégel. Quand la température était au-dessus de 0°C, les graviers ont été mis sous eau. Cette eau a été enlevée avant le début de chaque gel.

Deux types d'expériences ont été effectuées; elles ont provoqué des déformations considérables des cylindres.

Dans le premier type, l'eau a été soigneusement enlevée plusieurs heures avant le début du gel de telle sorte que, quand l'ensemble était gelé, les petits cailloux n'étaient pas du tout cimentés par de la glace. La principale déformation observée est un redressement des couches colorées au contact avec le gravier (Fig. 3). Ce mouvement résulte probablement de l'adhérence des cylindres contre les graviers au moment du dégel, c'est-à-dire au moment où le cylindre, diminuant de volume, retombe.

Des mouvements de masse, observés au centre de polygones décimétriques triés dans les Alpes (Chambeyron, voir Fig. 1) ont probablement la même origine.

Dans le second type d'expérience, l'eau a été retirée immédiatement avant le gel. Il en restait cependant assez pour cimenter entre elles les petites pierres. Suite aux alternances gel/dégel, les couches colorées ont été non seulement déformées au contact avec le gravier mais, en outre, en surface, le diamètre des cylindres a diminué progressivement tandis que, en profondeur, un élargissement était constaté. Ces modifications de forme du cylindre se sont accompagnées d'une descente des matériaux au centre de ceux-ci (Fig. 4). Ces mouvements résultent de la cimentation par la glace du cailloutis et des cylindres de loess, cimentation ne permettant pas, au moment du gel, une dilatation des cylindres vers la surface.

Cette expérience montre: (1) que des déformations considérables peuvent être progressivement acquises (Fig. 5) par l'action du gel sans que le matériau ne passe à un moment donné à l'état liquide; (2) que du matériel fin est, dans les conditions de la seconde expérience, déplacé dans la direction de la progression du gel.

#### Abstract

Cylinders, composed of coloured and uncoloured layers of aeolian loess and surrounded by openwork gravel, were placed in wooden containers and subjected to cycles of slow freezing and rapid thaw in a cold chamber. When the temperature was above 0°C, the gravel was filled up with water. This water was removed before the beginning of the freezing.

Two kinds of experiments were made giving considerable deformation of the cylinders.

In the first one, the water was removed several hours before the freezing and the small stones were uncemented when the container was frozen. The main deformation was an uplift of the coloured beds at their contacts with the gravel (Fig. 3). This movement probably resulted from the adherence of this material to gravel at the moment of thaw.

The uplift of the coloured layers in polygonal soils at Chambeyron (Fig. 1) probably results from the same action of relapse of fine materials uplifted by the frost.

In the second one, the water was removed just before the freezing. Enough water was left to cement with ice the small stones. Not only the coloured beds were deformed at their contacts with the gravel but, in the same time, the diameter of the cylinder, at the surface, progressively decreased, while the centres of the cylinders sank (Fig. 4). These movements result from the fact that gravel and loess were cemented by ice when dilatation of the cylinders occurred.

This experiment shows: (1) that considerable deformation can be progressively produced (Fig. 5) in the course of freezing, without the material being liquified; (2) that the fine material tends to be displaced in the direction of advance of the freezing front.

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

# INTRODUCTION. LES MOUVEMENTS RECONNUS DANS LES SOLS POLYGONAUX TRIÉS DU CHAMBEYRON

Diverses expériences réalisées dans le Massif du Chambeyron (Alpes françaises) nous ont permis de préciser (PISSART, 1977) comment apparaissent les sols polygonaux triés décimétriques. Les rôles respectifs des fissures de dessiccation, du soulèvement des cailloux par le gel et du déplacement des cailloux à la surface du sol en direction des fissures de dessiccation ont été clairement démontrés. En outre, l'existence de mouvements de masse dans les matériaux fins des centres des polygones a été reconnue en y disposant horizontalement des couches colorées. Des observations réalisées un, trois et cinq ans après l'installation de ces marques ont montré l'existence de déformations nettes de ces couches. Les mécanismes responsables de ces déformations ne sont cependant pas expliqués bien que les directions des mouvements soient toujours semblables, à savoir un redressement des couches en bordure des zones caillouteuses ainsi que la figure 1 en montre des exemples.

Indépendamment de toute déformation de la couche colorée, les coupes de la figure 1 attestent de l'existence de mouvements de masse. En effet, sur ces dessins, on peut voir que des matériaux fins venus des centres des polygones s'appuient en porte-à-faux sur des bordures caillouteuses qui ne comprennent aucune matrice. Ils se trouvent là dans une position instable. L'action de la pluie, de même que les mouvements de percolation de l'eau doivent provoquer la disparition rapide de tels porte-à-faux. Ils témoignent donc de mouvements extrêmement récents.

Si l'on réfléchit par ailleurs sur l'évolution que doivent subir les petits polygones triés de ce type, indépendamment de tout mouvement de masse, il est évident qu'ils sont condamnés à disparaître car le matériau fin doit petit à petit descendre dans les vides entre les cailloux. Sous l'action de ces mouvements de masse qui ramènent des matériaux fins vers la surface, ils évolueraient incontestablement vers une disparition progressive.

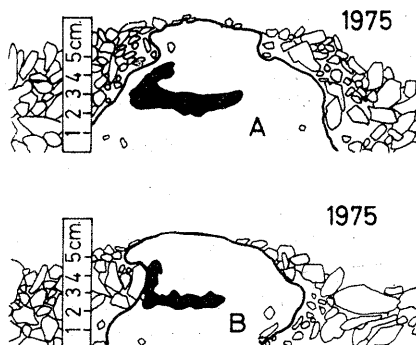


Fig. 1. Déformation, après 2 ans, de couches colorées disposées au sein de centres fins de petits polygones triés

La couche noire a été disposée en un lit horizontal en 1973. Elle a été repoussée latéralement à proximité des bordures caillouteuses

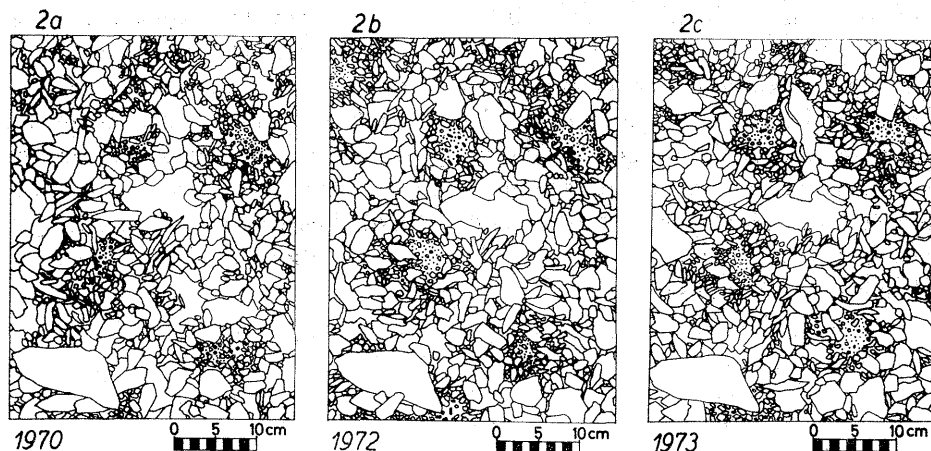


Fig. 2. En 1968, de petits polygones triés ont été recouverts d'une nappe de petits cailloux

La figure 2 a montre l'aspect de ces polygones en 1970: des plages de matériel fin apparaissent à la surface. En 1972 (Fig. 2b), ces plages se sont élargies. Dès 1973 (Fig. 2c), les polygones triés sont entièrement reconstitués

stablement vers un champ de pierres au milieu duquel aucun matériau fin ne serait visible. La persistance de champs de petits polygones triés implique donc l'action d'un processus soulevant les matériaux fins au milieu des matériaux caillouteux. L'ascension des centres des polygones a d'ailleurs été démontrée par d'autres expériences effectuées au Chambeyron (PISSART, 1977). Ainsi, un champ de polygones triés caractéristiques avait, en 1968, été entièrement recouvert d'une couche continue de petits cailloux. En 1970, les centres fins des petits polygones émergent au milieu des cailloux comme de petites îles de 2 à 5 cm de diamètre (Fig. 2 a). En 1972, les centres fins s'étaient considérablement élargis, les petits cailloux ayant été repoussés latéralement et s'étant souvent dressés en périphérie. En 1973, le sol polygonal était reconstitué et présentait un aspect comparable à celui qu'il avait avant le début de l'expérience (Fig. 2 c).

Pour rechercher l'origine de ces mouvements, des expériences ont été réalisées dans une chambre froide du laboratoire de géomorphologie et de géologie du Quaternaire de l'université de Liège. Nous en donnons ci-dessous la description et les résultats.

#### LE PROTOCOLE DES EXPÉRIENCES

Dans des bacs carrés de 50 cm de côté et de 10 cm de hauteur, ont été placés des cylindres (9 par bac) de limon éolien ayant 73 mm de diamètre et 95 mm de hauteur. Chaque cylindre était constitué de six couches superposées de 16 mm d'épaisseur alternativement colorées et non colorées. Entre les cylindres, régulièrement répartis dans les bacs, des cailloux sans matrice de 5 à 10 mm de longueur ont été déposés. Lors de la préparation des expériences, une couche de graisse a été appliquée entre les parois et les éléments caillouteux de façon à limiter

l'adhérence du cailloutis contre celles-ci. Ces bacs ont été exposés à un gel très lent depuis la surface, la vitesse de progression du gel étant contrôlée par les températures de la surface et du fond des bacs. Les bacs ont été, en effet, placés sur le plan de séparation de deux chambres froides indépendantes et superposées de telle sorte que la température de la surface du bac soit déterminée par la chambre supérieure, et celle du fond par la chambre inférieure (cet équipement a été décrit par A. PISSART, 1972, 1976). Les programmeurs automatiques des températures des deux chambres ont été réglés de façon à ce que le gel suivant soit réalisé:

Après 24 h.	Temp. en surf.:	-5 °25;	Temp. à la partie inf.:	+1 °75;
48 h.		-11 °00		+0,75
72 h.		-11 °00		+0,25
96 h.		-11 °00		0 °

Après 96 heures, lorsque le bac était complètement pris par le gel, des cylindres de limon gelé ont été extraits, sciés en deux et examinés. Après le prélèvement, les portes des chambres froides ont été laissées ouvertes de façon à permettre un réchauffement rapide. Vingt-quatre heures plus tard, soit au moment où l'ensemble était dégelé, le cailloutis a été gorgé d'eau ce qui a permis une réhydratation des cylindres de limon. Après que le cailloutis ait été immergé pendant 3 jours, l'eau a été enlevée et un nouveau cycle de gel a immédiatement débuté.

Deux séries d'expériences différentes ont été réalisées. Dans la première, toute l'eau a été soigneusement retirée avant le gel. Après un premier siphonnement de l'eau contenue dans le cailloutis, le bac a été incliné pendant plusieurs heures et l'eau a de nouveau été siphonnée. Dans la seconde, après un siphonnement complet de l'eau contenue dans le cailloutis, le bac a été immédiatement soumis au gel. Nous verrons que, en fonction de ce facteur, c'est-à-dire d'un drainage plus ou moins complet de l'eau du cailloutis, les déformations des cylindres ont été très différentes.

D'autre part, dans la première expérience, des bacs de zinc remplis d'eau, de 3 cm de largeur, ont été interposés entre le matériau soumis au gel et les parois de bois. Ce dispositif a été mis en place pour limiter la pénétration latérale du gel. Nous avons constaté, en effet, que, malgré l'isolation thermique, le gel s'avancait plus rapidement depuis les parois vers les centres du bac. Dans la seconde expérience, de tels bacs de zinc n'avaient pas été mis en place.

#### EXPÉRIENCE I

Comme nous venons de la préciser ci-dessus, au cours de l'expérience I, les cylindres ont été exposés au gel après que l'eau ait été soigneusement retirée des graviers. Après 96 heures de gel, les petits cailloux étaient, sur les 2/3 de la hauteur du bac, complètement libres de glace. Ce n'est que sur une épaisseur d'environ 3 cm, à partir du fond, que les éléments caillouteux étaient cimentés par un peu de glace, qui s'était probablement formée par sublimation.

Avant le début du gel, les sommets des cylindres se trouvaient exactement à la surface du cailloutis voisin. Congelés, ils dépassaient de plus de 1 cm la surface du cailloutis, car l'apparition de glace de ségrégation au sein du loess avait augmenté considérablement la hauteur des cylindres.

Après 5 gels/dégels, le sommet des cylindres dépassait de quelques mm la hauteur du gravier et la surface des cylindres présentait une forme concave, le centre étant légèrement déprimé par rapport à la périphérie.

Des cylindres ont été retirés gelés après 3, 6, 9, 12 et 15 cycles de gel. Immédiatement après avoir été extraits, ils ont été sciés de façon à observer leurs structures internes. Celles-ci ont montré l'existence de déformations qui s'amplifiaient de plus en plus à chaque gel. Nous considérerons successivement deux cylindres différents montrant d'une manière typique les déformations enregistrées (Fig. 3).

#### CYLINDRE 3 A

#### Description

La Figure 3 A présente une section transversale dans un cylindre ayant subi 15 cycles gel/dégel. Ce cylindre était placé au centre du bac et ne subissait pas l'influence d'une pénétration latérale du gel plus rapide d'un côté que de l'autre.

La principale déformation enregistrée consiste dans le relèvement des couches stratifiées en bordure du cylindre. Ce relèvement est beaucoup plus important près de la surface qu'en profondeur.

Le diamètre du cylindre a, en outre, subi des variations. Etant donné que les observations ont été faites au moment où le cylindre était gelé, les mesures obtenues sont seulement indicatives. Elles indiquent un élargissement assez net du cylindre à 8 cm de la base et une diminution de celui-ci vers 5 cm.

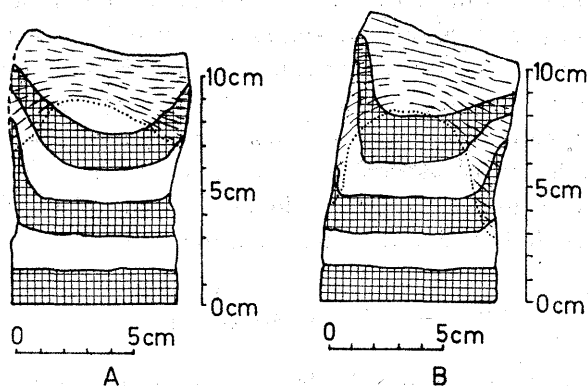


Fig. 3. Section transversale à travers un cylindre de limon ayant subi 15 cycles gel/dégel au milieu du petits cailloux complètement secs. Les déformations résultent essentiellement des mouvements d'affaissement du cylindre au moment du dégel. En 3B, les déformations sont les plus importantes du côté où les gels ont été le plus lents et ont provoqué le plus grand soulèvement

### *Interprétation*

Cette déformation est le résultat du soulèvement différentiel des cylindres par rapport au soulèvement des graviers. Ce soulèvement s'effectue au-dessus du front de gel quand apparaissent les lentilles de glace de ségrégation responsables de la plus grande part du soulèvement. Il affecte donc, au moment du soulèvement, un matériau pris par le gel et donc rigide. Il est vraisemblable qu'à ce moment aucune déformation des couches colorées ne se produit. Par contre, au moment de la fusion, quand le sol dégelé, et plastique, redescend, une déformation apparaît, inclinant progressivement les couches vers le centre du cylindre. Ces mouvements ont au total pour effet de soulever les bordures des cylindres en donnant un mouvement assez comparable à ce qui a été observé dans nos expériences du Chambeyron.

Ces mouvements latéraux suffisent également à expliquer les variations de diamètre mentionnées précédemment. Le départ de matériau dans une zone située vers 5 cm de profondeur entraînant un rétrécissement du cylindre à ce niveau.

#### CYLINDRE 3 B

### *Description*

Ce cylindre était aussi au centre d'un bac. Après l'extraction de cylindres au cours des premiers gels sur un côté du bac, la surface de ce cylindre 3 B a pris une forme très inclinée dans cette direction. La coupe transversale (Fig. 3 B) montre une déformation très différente de part et d'autre du cylindre.

### *Interprétation*

Les déformations principales résultent, ici aussi, de la descente du matériau au moment du dégel. Le développement asymétrique des déformations provient d'un soulèvement plus important du côté où la déformation est la plus grande. Ce soulèvement résulte vraisemblablement du gel plus lent de cette partie du cylindre. Il est remarquable que la couche supérieure a rempli la cuvette apparue entre les parties latérales très déformées. Ce mouvement s'est effectué vraisemblablement aussi au moment du dégel, lorsque la couche supérieure était sursaturée en eau lors de la fusion de glace de ségrégation.

#### EXPÉRIENCE II

Au cours de cette expérience, le drainage de l'eau du cailloutis a été moins complet avant chaque gel. De ce fait, les petits cailloux étaient fortement cimentés les uns aux autres par de la glace lorsque le bac était gelé. A ce moment, l'utilisation d'un marteau et d'un burin était nécessaire pour libérer les cylindres enfouis milieu du cailloutis.

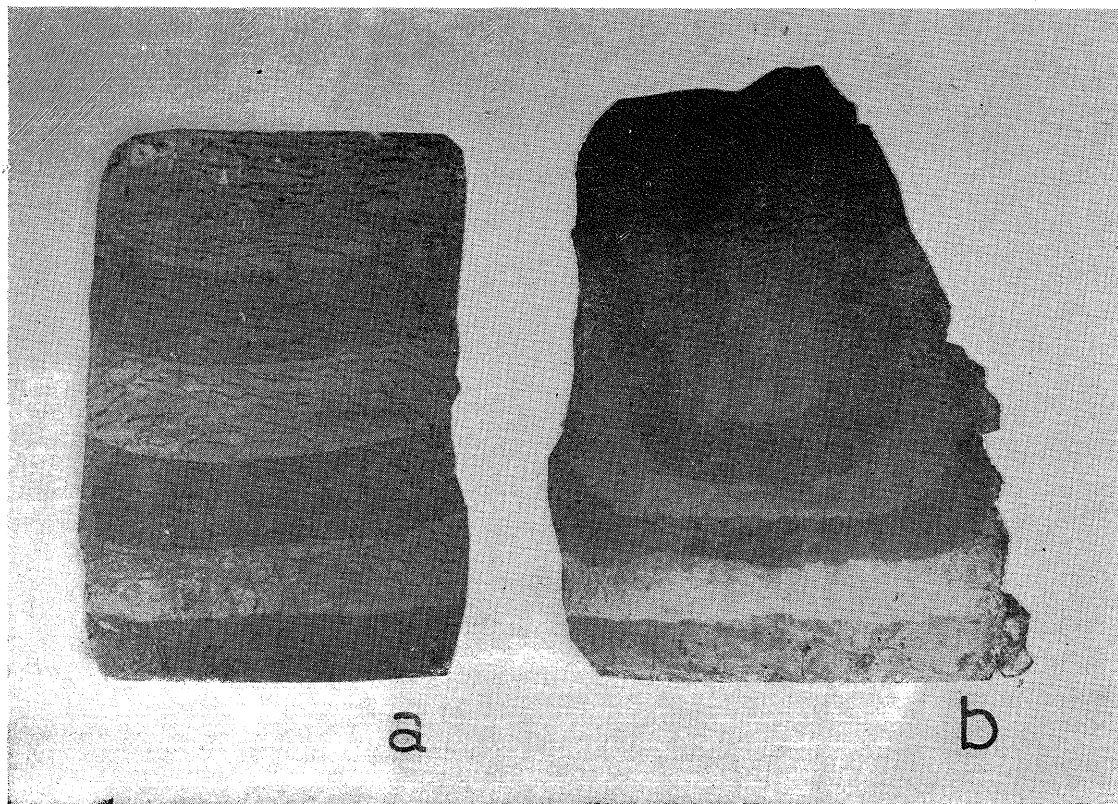


Photo 1. Photos de cylindres gelés qui ont subi 4 et 22 gels dans le cadre de l'expérience II (cylindres enfouis dans des graviers qui, au gel, sont couverts par de la glace). Remarquer la disposition et la répartition des lentilles de glace de ségrégation

Deux séries de bacs ont subi successivement 22 gels dans ces conditions; des cylindres ont été prélevés tout d'abord après chaque gel lors des 10 premiers cycles. Par la suite, des prélèvements ont été réalisés tous les 3 cycles. Quelques cylindres ont, en outre, été prélevés au cours de la progression du gel afin d'observer directement si la profondeur de celui-ci correspondait bien aux indications fournies par les thermocouples immergés dans les bacs, et aussi, afin de voir quelle était la disposition du front de gel dans les cylindres.

#### ASPECT EXTÉRIEUR DES BACS

La surface supérieure des bacs était strictement horizontale au début des expériences. Lorsque les bacs ont été entièrement gelés, cette surface a pris une forme générale bombée, le centre étant soulevé de plus de 1 cm au-dessus des bords du bac. Cet aspect bombé a disparu au premier dégel. Il est réapparu au gel suivant et s'est très progressivement conservé au point d'être visible même lorsque le bac est entièrement dégelé.

Les cylindres de limon, quant à eux, ont grandi suite à l'apparition de glace de ségrégation et, gelés, ils émergent au-dessus de la surface du bac, sur une hauteur voisine de 10 mm. Au dégel, les sommets des cylindres se sont tassés suite à la fusion de la glace de ségrégation, et sont revenus au niveau de la surface des graviers. Toutefois, très progressivement, au fur et à mesure où les gels se sont multipliés, une dépression est apparue au centre des cylindres tandis qu'ils s'affaissaient sous la surface des cailloux.

#### ASPECT EXTÉRIEUR ET INTERNE DES CYLINDRES RETIRÉS DES BACS

##### *Observations réalisées avant le gel complet des cylindres*

Des cylindres ont été retirés alors que le gel se trouvait aux profondeurs de 3,6 cm, 4,8 cm et 6,4 cm. Dans chaque cas, le contact entre la masse gelée et la couche non gelée inférieure présentait une forme convexe vers le haut, témoignant de ce que le gel au centre des cylindres se produisait avec un certain retard par rapport au gel des parties latérales du cylindre. Le creux que présentait cette convexité était compris entre 5 et 10 mm.

Lorsque les cylindres extraits se trouvaient dans les bacs à proximité des parois, le gel avait pénétré plus profondément dans le cylindre du côté de la paroi voisine, attestant aussi que malgré l'isolation latérale des parois des bacs, le gel pénétrait plus rapidement près de celles-ci.

##### *Observations faites dans la partie interne des cylindres*

Les Figures 4 a et 4 b montrent l'aspect que présentent les cylindres sciés en deux après 10 et 22 alternances de gel/dégel. L'évolution ayant été suivie au cours de toute l'expérience, il est démontré que les déformations enregistrées se sont produites très progressivement, en s'accroissant toujours dans le même sens à chaque période de gel.



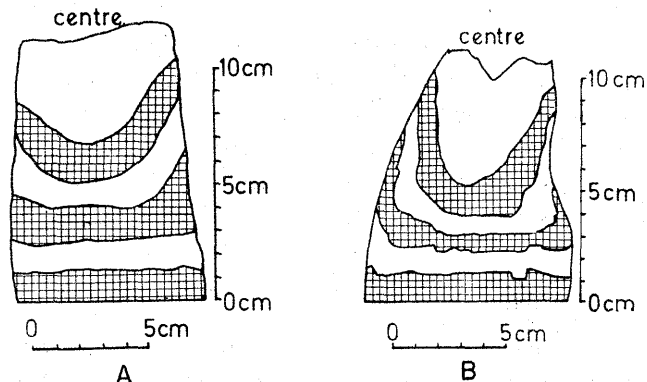


Fig. 4. Sections transversales à travers des cylindres de limon placés au centre des bacs et ayant subi respectivement 10 (Fig. 4a) et 22 (Fig. 4b) cycles de gel/dégel

Ces cylindres étaient placés au milieu de petits cailloux qui, gelés, étaient cimentés par de la glace. Noter le rétrécissement de la partie supérieure, l'élargissement de la base du cylindre, la descente des couches au centre et le soulèvement de celles-ci en bordure du cylindre

Les déformations si apparentes sur ces figures peuvent être classées en 3 types de mouvements bien distincts que nous considérerons successivement lorsque nous nous efforcerons d'expliquer les phénomènes:

(a) *Un relèvement des bords des cylindres.* Les couches ont nettement subi au contact des graviers un mouvement de soulèvement. La comparaison avec la forme originelle des cylindres montre bien que l'allure redressée des couches à proximité des parois ne provient pas seulement de l'affaissement du centre, mais également d'un soulèvement de la bordure des cylindres. Cette déformation est identique à celle qui a été enregistrée lors de la première expérience.

(b) *Une descente du limon au centre du cylindre avec des mouvements associés, à savoir :*

1. le rétrécissement du diamètre du cylindre dans sa partie supérieure;
2. l'apparition d'un creux central à la surface du cylindre;
3. la diminution de hauteur du cylindre;
4. l'élargissement de la base du cylindre;
5. l'apparition de petites ondulations au contact des couches profondes.

La Figure 5 montre clairement que la diminution du diamètre dans sa partie supérieure et son augmentation dans la partie inférieure a été très progressive.

(c) *Un déversement des cylindres vers le centre des bacs* (mouvement observé à proximité des parois du bac). Les cylindres situés à proximité des parois des bacs montraient un autre type de déformation qui est bien visible sur la Figure 6.

Gelés, les cylindres montraient des lentilles de glace de ségrégation. Comme l'attestent les photos (Photo 1) prises après le 4<sup>e</sup> le 22<sup>e</sup> gel, les lentilles de glace sont surtout importantes à la partie supérieure du cylindre, et ce pour deux raisons: (1) à la fin de l'expérience, le gel a été rapide, sans permettre la forma-

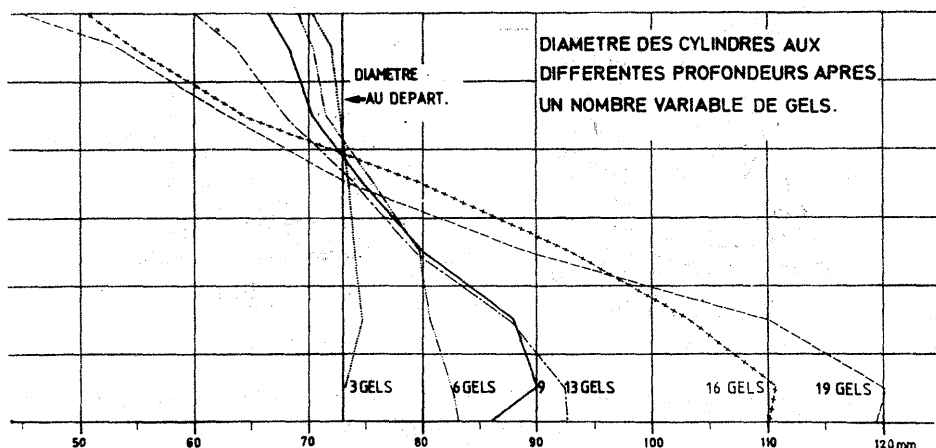


Fig. 5. Diagramme montrant les variations très progressives du diamètre des cylindres au fur et à mesure que les alternances de gel/dégel se sont succédées au cours de l'expérience II (cylindres enfouis dans des graviers qui, au gel, sont cimentés par de la glace). La distance séparant les droites horizontales est de 17 mm

tion de semblables lentilles; (2) dans la couche non gelée, l'humidité a progressivement diminué étant donné que l'eau a été attirée vers le front de gel. Sur la photo 1 a, après le 4e gel, la disposition des lentilles de ségrégation qui toujours suivent assez bien le front de gel, témoigne que le gel a pénétré plus rapidement sur les côtés qu'au centre. Sur la photo 1 b, après le 22e gel, les lentilles de glace de ségrégation sont bien visibles. Elles sont nombreuses sur les côtés du cylindre et n'apparaissent pratiquement pas dans la partie centrale inférieure de celui-ci. Cette observation résulte également de ce que la surface de l'onde de gel était convexe vers le haut au moment du gel.

#### INTERPRETATION DES DÉFORMATIONS OBSERVÉES

Rappelons tout d'abord que la différence expérimentale principale avec la première expérience consiste dans le fait que, ici, les cailloux sont cimentés par le gel, de telle sorte qu'ils forment à la surface du bac et sur les côtés une couche gelée cohérente. Comme cette couche adhère aux bords des bacs et comme, d'autre part, le gel pénètre plus rapidement sur les côtés de ceux-ci, il se constitue donc au moment du gel un système fermé contrariant la libre dilatation des cylindres.

Ce phénomène explique très facilement le bombement de la surface du cylindre au moment du gel. Ce bombement résulte en effet de ce que la couche gelée supérieure se déforme le plus à l'endroit le plus écarté des parois, c'est-à-dire au centre. Ce bombement est dû au déplacement de matériaux en profondeur, déplacement en direction du centre du bac. Ainsi s'explique la migration de la partie inférieure des cylindres, comme le montrent les cylindres des Figures 6a et 6b. Les déplacements sont d'autant plus importants que l'on se trouve près du fond du bac.

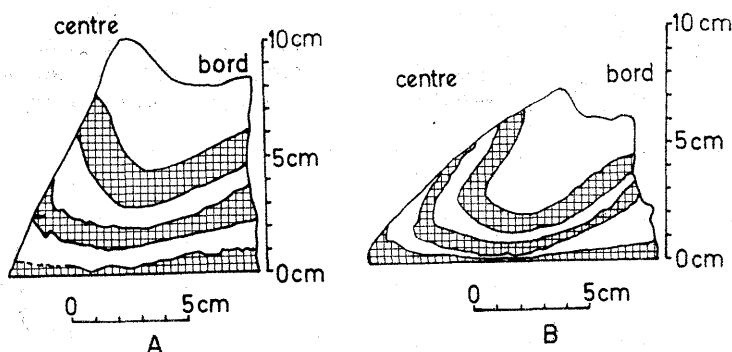


Fig. 6. Section transversale à travers des cylindres de limon ayant subi 10 (Fig. 6a) et 19 (Fig. 6b) alternances de gel/dégel.

Ces cylindres étaient placés près des parois des bacs et étaient entourés de petits cailloux qui, lorsque tout était gelé étaient cimentés par de la glace. Outre les déformations décrites dans la légende des figures 3 et 4, noter le déplacement du matériel en profondeur vers le centre du bac.

Le relèvement des couches stratifiées au contact du cailloutis se produit au cours de cette expérience d'une façon identique à ce que nous avons observé au cours de la première expérience. Le mouvement est toutefois moins important parce que les cylindres, lorsqu'ils deviennent solidaires du cailloutis gelé, ne sont pas libres d'augmenter de hauteur.

Le rétrécissement de la partie supérieure du cylindre, l'apparition d'une dépression centrale à la surface de celui-ci, la descente de matériaux au centre du cylindre, l'élargissement de sa partie inférieure, toutes ces modifications paraissent provenir d'un seul mouvement de matières. Celui-ci a pour origine le fait que les cylindres, lorsqu'ils adhèrent au cailloutis, ne peuvent plus s'étendre en hauteur au moment du gel. L'effort de soulèvement se transforme donc en une pression vers le bas qui s'exerce au centre des cylindres. Ce mouvement de descente se concentre au centre du cylindre parce que le front de gel présente au sein du cylindre une forme convexe vers le haut. Or, comme l'effort de poussée dû à l'apparition de glace de ségrégation s'exerce perpendiculairement à la surface du gel, c'est la partie centrale du cylindre qui est poussée vers le fond du bac, en provoquant l'élargissement de sa base.

#### CONCLUSION

Ces expériences nous aident à mieux comprendre les déformations qui ont été observées au sein des sols polygonaux du Chambeyron: elles nous éclairent aussi sur l'origine de certaines cryoturbations. Elles montrent:

1. Que le relèvement des couches, observé en bordure des sols polygonaux triés du Chambeyron, à la bordure du cailloutis, est vraisemblablement dû au soulèvement différentiel du sol fin au milieu des cailloux.

2. Que des mouvements importants peuvent se produire petit à petit sous l'action d'alternances de gels/dégels, sans jamais passer par un état boueux liquide qu'évoque malheureusement le terme de *mollisol*, généralement utilisé en langue française comme l'équivalent de zone active. Nous voyons dans ces lentes déformations la démonstration de l'apparition très progressive des cryoturbations.

3. Que, si les sédiments grossiers sont cimentés par de la glace au moment du gel, les matériaux fins doivent s'enfoncer et descendre progressivement au sein du sol. Si, par contre, les matériaux grossiers ne sont pas cimentés par de la glace, les matériaux fins peuvent, sous l'action du gel, se diriger vers la surface.

Des expériences sont tentées pour vérifier la valeur de ces conclusions indépendamment de tout effet de paroi.

#### Bibliographie

- PISSART, A., 1972 — Le laboratoire de géomorphologie périglaciaire de l'Université de Liège. Equipement et recherches effectuées de 1959 à 1971. *Les Congrès et Colloques de l'Université de Liège*, 67; p. 335—339.
- PISSART, A., 1976 — Reports on the laboratory experiments. Université de Liège. *Biul. Peryglacjalny*, 26; p. 118—127.
- PISSART, A., 1977 — Apparition et évolution des sols structuraux périglaciaires de haute montagne. Expériences de terrain au Chambeyron (Alpes, France). *Abhandl. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl.*, 3 F., 31; p. 142—156.