

Wadia, D.N., 1964 *The Himalayas, Geology and Geography, Age, Origin, etc.*, Meghnad Saha Gold Medal Award Lecture, Nat. Inst. Sci. India (New Delhi).
 Wadia, D.N., 1966 *Rejuvenation of Hima-*

layan rivers, Geology of India, rev. ed. (Macmillan), pp. 29, 48, 389, 436.
 Wager, L.R., 1937 *Arun river drainage pattern and the rise of the Himalayas, J. Roy. Geog. Soc. (London)* 89, 139-50.

p0169

Mouvements de sols gelés subissant des variations de température sous 0° : résultats de mesures dilatométriques

ALBERT J.G. PISSART *Université de Liège, Belgique*

Lorsque la température est abaissée au sein d'un sol contenant de l'eau, des mouvements accompagnent non seulement le franchissement du seuil de 0°C, mais aussi les fluctuations de température se produisant à des températures inférieures. Ces mouvements ont été observés en laboratoire au moyen de quatre techniques différentes à savoir : au moyen de jauges de pression, de mesureurs de déplacement, de jauges de contrainte et aussi par la photographie des mouvements qui affectent des aiguilles partiellement enfoncées dans le sol gelé. Ils ne paraissent pas pouvoir s'expliquer par la simple dilatation thermique.

Ces mouvements ont été décrits dans des articles parus récemment (Pissart 1970). Comme ils ne pouvaient guère s'expliquer autrement que par des variations de volume des matériaux soumis au gel, nous en avons soumis des échantillons à des mesures dilatométriques.

Pour cette étude, nous avons fait construire des dilatomètres en verre d'une capacité proche de 500cm³. La température au sein de ces dilatomètres est mesurée au moyen de thermocouples cuivre-constantan. Cet appareil est placé dans une chambre froide et raccordé par un mince tuyau, à une burette de 10cm³ graduée au 1/100 de cm³ et disposée à l'intérieur de la chambre froide. Grâce à ce dispositif, les variations de volume se produisant au sein du dilatomètre provoquent des variations du niveau du liquide dans le tube capillaire. En apportant les corrections nécessaires, un calcul a montré qu'à la température de 0°C, l'erreur était inférieure à 0.02cm³, qu'elle atteignait 0.05cm³ à -10°C, et 0.08cm³ à -20°C.

Grâce à cet appareillage, des mesures de variations de volume en fonction des différences de température sous 0°C ont été effectuées dans plusieurs matériaux pour diverses teneurs en humidité. Dans la note que nous

présentons ici, une seule courbe dilatométrique est examinée. Elle concerne un échantillon de limon éolien non remanié qui a été légèrement réhydraté en laboratoire. Cet échantillon avait un volume de 434.6cm³ et contenait 125.26cm³ d'eau. Cette humidité a été déterminée en mesurant la perte de poids d'une partie de l'échantillon après qu'il ait séjourné 24 heures dans une étuve à 110°C.

Cet échantillon n'a pas subi un seul cycle de gel-dégel rapide mais au contraire a été maintenu à une température inférieure à 0°C pendant près de trois semaines au cours de trois cycles successifs de gel-dégel.

Nous reproduisons à la figure 1 la courbe

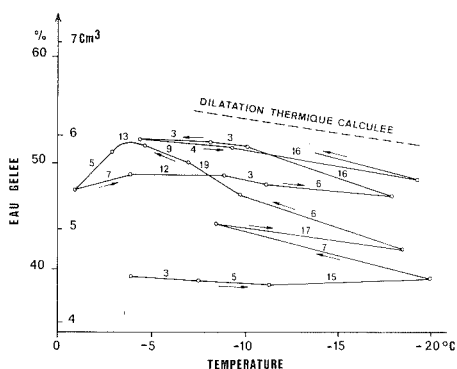


Fig. 1. Variations de volume d'un échantillon de loess contenant 16.89 pour cent de H₂O (soit 125.26cm³ d'eau) au cours d'une période de gel de 170 heures. Les valeurs inscrites sur l'ordonnée ont pour origine le volume de l'échantillon à la température de 0°C avant le début du gel; 100 pour cent d'eau gelée correspond à l'augmentation de volume qui se produirait si toute l'eau de l'échantillon se transformait en glace I. Les chiffres inscrits sur la figure indiquent le nombre d'heures qui se sont écoulées entre deux mesures.

dilatométrique obtenue lors du troisième gel qui a duré 170 heures. Les résultats que donne cette courbe sont identiques à ceux obtenus lors des premiers cycles de gel; ils peuvent être détaillés comme suit :

1. Le passage du seuil de 0°C engendre une dilatation importante qui correspond incontestablement à l'apparition de glace I. Cette dilatation n'est pas limitée à 0°C mais se poursuit si la température s'abaisse jusqu'aux environs de -4°C. Ce phénomène est sans doute dû au gel d'eau capillaire. De la sorte, pour l'échantillon étudié, ce n'est donc qu'à des températures inférieures à -4°C que l'abaissement de température provoque une diminution de volume. Par ailleurs, un réchauffement au-delà de cette limite voisine de -4°C provoque de façon symétrique à ce qui est observé au moment du gel, une diminution de volume. Cela signifie clairement qu'une partie au moins de la glace apparue dans l'échantillon est maintenue sous des conditions telles (de pression sans doute) que la fusion apparaît au-dessous du seuil de 0°C.

2. Cette dilatation, ainsi que l'avait observé Bouyoucos (1917) correspond seulement à la transformation en glace I d'une partie de l'eau contenue dans l'échantillon. Dans le cas de l'expérience analysée ici, si l'on apprécie la quantité d'eau gelée en admettant qu'au moment du gel l'eau du sol se dilate comme de l'eau libre, il n'y a pas eu au moment de la dilatation maximum plus de 55 pour cent de l'eau contenue dans l'échantillon qui ait été gelée.

3. Cette expérience aboutit à un résultat plus nouveau : une augmentation de volume s'est poursuivie pendant toute une semaine alors que l'échantillon était maintenu sous 0°C. L'augmentation de volume observée est supérieure à 1.5cm³, ce qui correspond à une dilatation de 0.35 pour cent de la masse totale de l'échantillon soumis au gel. Cet accroissement de volume se produit sans qu'aucun apport d'eau extérieure ne soit fourni. Il n'est pas lié aux fluctuations de température sous 0°C, car cette augmentation de volume se poursuit même quand la température est maintenue constante. Il ne peut provenir que d'une mobilisation très lente par le gel d'une partie de l'eau de l'échantillon.

4. Même sous 4°C, les variations de volume de l'échantillon ne sont pas contrôlées par le simple coefficient de retrait thermique. Remarquons spécialement que le premier refroidissement de -4°C à -20°C ne s'accom-

pagne que d'une faible diminution de volume, tandis que le réchauffement de -20° à -4° provoque une augmentation de volume considérable. C'est donc surtout au cours des réchauffements que de l'eau du sol paraît se transformer en glace I.

Les observations que nous venons de présenter montrent des phénomènes qui jouent incontestablement un rôle dans la genèse de divers mécanismes périglaciaires. Nous soulignerons spécialement leur importance dans la formation des cryoturbations et des fentes de gel.

En ce qui concerne les cryoturbations, soulignons spécialement l'augmentation de volume de 0.35 pour cent qui s'est produite en une semaine alors que l'échantillon était maintenu à des températures inférieures à 0°C. Cette dilatation s'est effectuée dans un matériel consolidé par de la glace. Elle engendre des tensions puis des déformations plastiques, surtout si des matériaux de granulométrie différente n'ayant pas les mêmes courbes de dilatation se trouvent en présence. Ainsi doivent se produire lors de chaque gel des déformations qui, bien que minimes, s'accroissent peu à peu, car elles se reproduisent à chaque période de gel. La dilatation se produisant entre 0 et -4°C doit jouer exactement le même rôle. Son influence est peut-être plus considérable vu la quantité d'eau plus grande qui est concernée. Au total, ces mesures dilatométriques cadrent parfaitement avec l'hypothèse que nous avons proposée précédemment (Pissart 1970, 45) pour expliquer que les cryoturbations peuvent apparaître indépendamment de l'existence d'un pergélisol.

A propos des fentes de gel, cette expérience montre qu'un retrait thermique ne se produit pas dès que la température descend sous 0°C, mais qu'elle peut seulement s'effectuer à une température plus basse (inférieure à -4°C, dans le cas de l'échantillon considéré). La dilatation constante se produisant pendant plus d'une semaine semble vouloir dire que les fentes de gel ne peuvent pas s'ouvrir lors des premiers froids. Cette courbe établit en outre que le retrait du sol, lorsque la température s'abaisse, n'est pas contrôlée uniquement par le coefficient de retrait thermique. D'autres facteurs interviennent certainement du moins pendant les premières semaines de gel. Des expériences calorimétriques sont actuellement entreprises pour savoir s'il s'agit d'un changement de phase de l'eau.

Bouyoucos, G.J., 1917 Measurement of the inactive, or unfree moisture in the soil by means of the dilatometer method, *J. Agric. Res.* 8 (6), 195-217.

Pissart, A., 1970 Les phénomènes physiques essentiels liés au gel, les structures périgla-

ciaires qui en résultent et leur signification climatique, *Ann. Soc. Géol. Belg.* 93, 9-51.

Winterkorn, H.F., 1943 The condition of water in porous systems, *Soil Sci.* 56, 109-15.