

VITESSE DES MOUVEMENTS DE PIERRES DANS DES SOLS ET SUR DES VERSANTS PÉRIGLACIAIRES AU CHAMBEYRON (BASSES ALPES)

par A. PISSART¹

Liège

SUMMARY

In the Chambeyron massif at 2 800 metres above sea level, reference marks were painted on stones in 1947 by A. CAILLEUX, in 1963 and 1968 by A. PISSART. Their movement has been recorded in 1949 by A. CAILLEUX and J. MICHAUD, and in 1963, 1968 and 1970 by A. PISSART. These marks were located in the centres of polygons and of stone stripes, in block flows, on boulders on slopes which appeared to be moving down rapidly and on the front of a rock glacier.

The principal results are as follows :

I. — POLYGONS OF SEVERAL DECIMETRES DIAMETER :

- (a) Stone polygons of 30 cm diameter reform in 7 years, (1963-70).
- (b) Dessication cracks seem to play a fundamental role at the beginning of the formation of polygonal structures.
- (c) The movement of stones from the centre of polygons to the borders is very rapid, (mean movement, 2.5 cm per year). This movement does not cease at the edge of the stony borders but goes on well into them. Only pipkrakes can account for this movement.
- (d) Buried stones in the cores of polygons emerge very quickly from the fines and are found in the borders after 2 years.

II. — STRIPES OF SEVERAL DECIMETRES WIDTH :

- (a) When stripes are destroyed in an area, they do not reform *in situ*, but by the movement of higher stripes which extend down-slope.
- (b) Stones in the fine bands move less rapidly to the stony bands than in polygons. When the downslope movement is considerable, lateral sorting seems to be slower.
- (c) Buried stones in the fine bands emerge rapidly and move towards the stony bands.
- (d) Stripes whose width is measured in decimetres, experience a rapid downslope movement compared with stones situated on slopes of the same angle (2 to 10 cm per year).

¹ Lab. de Géologie et de Géographie Physique, Université de Liège, Place du XX Août, 7, 4000 Liège.

(e) In wider stone stripes (with fine bands 50 cm wide), the fine material moves much more rapidly than the stony bands.

III. — BLOCKS FLOW, TERRACETTES, ETC. :

Confirmation of results published in 1964 :

Measurements made on block flows moving down the talweg show a movement of 0.2 to 0.5 cm per year on slopes of 17°; boulders which appear to move rapidly on slopes record an advance of 1 to 2 cm per year. The important factor controlling the movements of stones on slopes are : (a) vegetation (b) granulometry (c) humidity (d) depth of the stones in the ground (e) inclination of the slope.

IV. — ROCK GLACIER :

The rock glacier of Chambeyron did not advance from 1947 to 1970; only isolated boulders moved down the frontal slope of 45°.

Dans un travail de précurseurs, J. MICHAUD et A. CAILLEUX ont peint en 1947 dans la haute vallée du Chambeyron à 2 800 m d'altitude, diverses marques de couleur sur des sols périglaciaires, des éboulis, un glacier rocheux, etc. En 1950, ils ont publié une note indiquant les mouvements subis par ces marques pendant la période 1947-1949. Grâce aux documents que A. CAILLEUX a eu l'amabilité de nous communiquer, nous avons retrouvé ces marques en 1963, soit 14 ans après qu'elles aient été tracées; nous avons publié peu après (A. PISSART, 1964), les indications que fournissaient leurs déplacements en ce qui concerne la vitesse et la dynamique des mouvements du sol dans cette haute vallée périglaciaire.

En 1968¹ et 1970, nous sommes retournés dans la haute vallée du Chambeyron; nous y avons établi chaque fois des marques nouvelles et nous avons enregistré les mouvements des marques établies précédemment. Nous en présentons ici les résultats principaux. Ceux-ci concernent surtout les sols polygonaux et striés décimétriques. C'est sur ceux-ci que le plus grand nombre de marques nouvelles avaient été établies car il est clairement apparu au cours des premières études que ces sols structuraux évoluaient assez rapidement de nos jours.

¹ En 1968, cette recherche a été subsidiée par le Fonds National de la Recherche Scientifique de Belgique, en 1970 par le patrimoine de l'Université de Liège. Nous leur exprimons notre gratitude. Nous avons reçu une aide précieuse en 1968, de M. H. COURTOIS, technicien à l'Université de Liège, qui a bien voulu nous accompagner sur le terrain. Nous l'en remercions très vivement.

L'existence de « sols périglaciaires » dans la haute vallée séparant les Aiguilles et le Brec du Chambeyron (commune de Serennes; lat N. 44° 50') a été reconnue depuis longtemps (GIGNOUX, 1937; DEMANGEOT, 1941; CAILLEUX, 1948). Ils sont remarquables entre 2 700 et 3 000 m d'altitude dans une morphologie glaciaire façonnée dans des calcaires et du flysch. A cette altitude, le climat est typiquement périglaciaire. Des névés persistent souvent tout l'été pendant lequel les gels nocturnes ne sont pas rares. Une couche de neige épaisse de plusieurs mètres recouvre la région pendant l'hiver.

LES RÉSULTATS.

I. — SOLS POLYGONAUX

a) *Destruction de sols polygonaux décimétriques — Vitesse de reconstitution.*

Le 7 août 1963, des polygones triés de 30 cm de diamètre ont été retournés à la bêche sur une profondeur de 20 cm et sur une surface rectangulaire de 125 × 55 cm¹. En 1968, des polygones triés étaient reconstitués; toutefois, leur aspect en plan ne présentait pas la même régularité qu'au départ. En août 1970, le triage s'est amélioré et les centres de matériel fin se sont élargis. La photo 1 montre l'aspect que présentait alors le centre de la zone retournée. Il semble en conséquence, qu'une dizaine d'années au moins soient nécessaires pour que réapparaisse la régularité initiale d'un champ polygonal perturbé.

b) *Importance des fissures de dessiccation au début de l'apparition des sols polygonaux.*

En août 1968, des polygones décimétriques (12 à 30 cm de diamètre) ont été retournés sur une profondeur d'environ 15 cm. Les mottes de matériel fin occupant les centres des polygones ont été soigneusement dispersées. Deux ans plus tard, en 1970, un réseau de fissures béantes de dessiccation découpait le sol retourné.

¹ Il n'est pas certain que le matériel fin et les cailloux aient, après cette opération, constitué un mélange parfaitement homogène.



Photo 1. — Sol polygonal trié reconstitué en 7 ans. Photo prise le 2 août 1970. Partie centrale d'un champ de polygones triés périglaciaires retourné à la bêche en 1963. La ficelle matérialise le centre du rectangle perturbé qui s'étendait sur une largeur de 55 cm entre la boîte d'allumettes et le crayon. La règle mesure 18 cm. Un triage efficace est en train de se produire. La forme en plan du matériel fin central n'est cependant pas régulière. De nouveaux petits centres de matériel fins apparaissent près de l'extrémité droite de la règle et à gauche de la boîte d'allumettes.

Les centres de ces polygones de dessiccation étaient nettement bombés (photo 2) et, plusieurs cailloux marqués à la peinture avaient basculé dans les fissures béantes.

Un champ naturel de fissures de dessiccation a par ailleurs été photographié et marqué en 1968. Les photos de 1970 montrent par comparaison avec celles de 1968, les faits suivants (photo 3 et 4)

a) Le réseau béant de fissures visible en 1968 est partiellement refermé en 1970.

b) Les centres des polygones se sont nettement bombés.

c) Presque tous les cailloux visibles en surface ont subi de faibles déplacements.

d) Ces déplacements s'effectuent le plus souvent de façon anarchique; toutefois, plusieurs cailloux sont tombés dans les fissures.

Ces observations confirmées en deux autres endroits montrent le rôle joué par les fissures de dessiccation au début de la formation

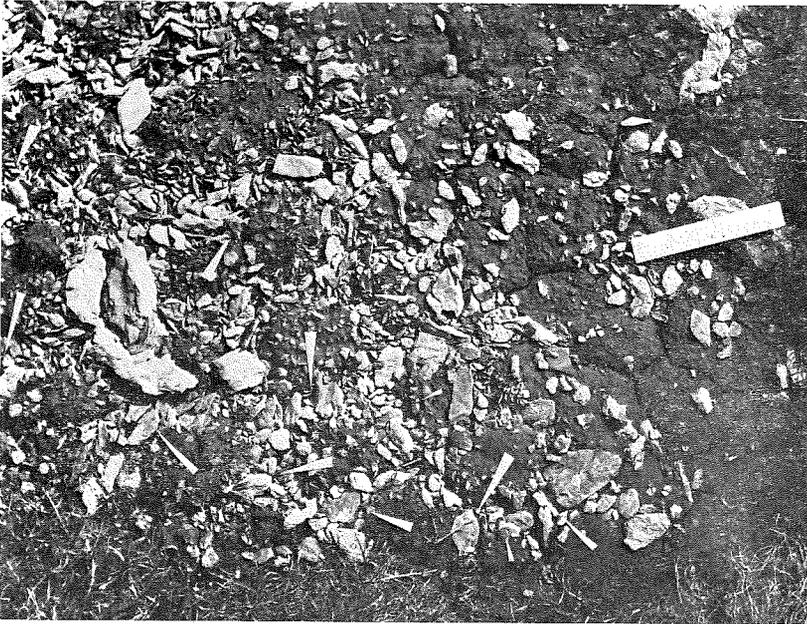
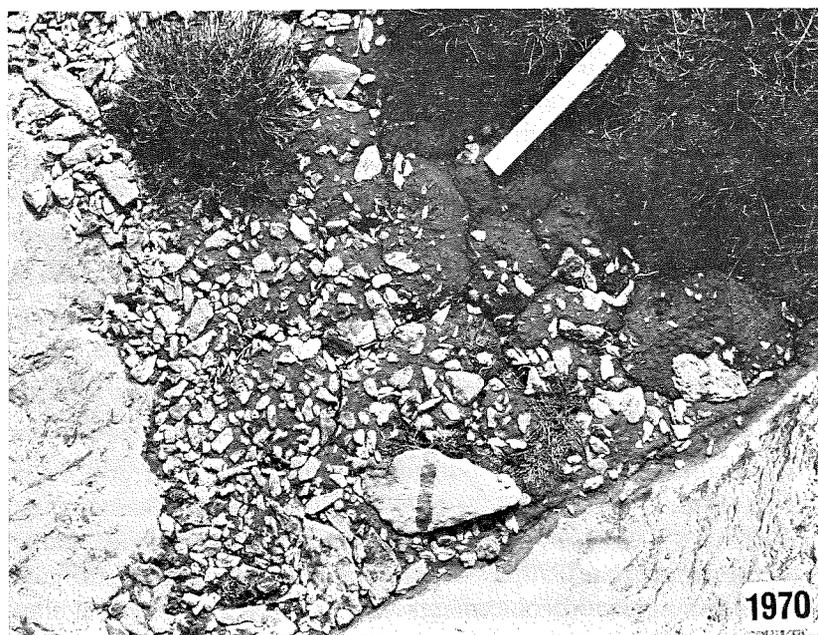


Photo 2. — Début de reconstitution d'un champ de polygones décimétriques triés et déplacements des cailloux dans ces polygones. Photo prise le 2 août 1970. La partie gauche du champ polygonal a été soigneusement mélangée en août 1968. Des fissures de dessiccation découpent le sol perturbé en polygones dont les centres sont légèrement bombés. Plusieurs cailloux sont descendus dans les fissures béantes. Au centre des polygones de la partie gauche de la photo, des cailloux colorés avaient été posés en surface. Les déplacements de ces cailloux sont figurés par des flèches. La règle mesure 18 cm.

des polygones triés. L'ouverture de fissures de dessiccation est le premier phénomène à apparaître; des cailloux tombent ensuite dans ces fissures, et ces mouvements semblent facilités par la forme bombée des centres des polygones.

c) *Mouvement des pierres à la surface des petits polygones triés : effet probable de pipkrakes.*

En chaque centre de 45 polygones triés ayant 12 à 30 cm de diamètre, nous avons enfoncé en 1968 sur $\frac{1}{2}$ de leur hauteur, un caillou long d'environ 1 cm, préalablement peint en rouge sur la $\frac{1}{2}$ de sa surface. En 1970, les déplacements subis par ces 45 cailloux ont été mesurés; ces déplacements varient entre 0 et 10 cm et sont



en moyenne de 4 cm (2 cm/an). Une partie de ces polygones est montrée sur la photo 2.

Dans un autre champ de polygones triés, où 22 cailloux avaient été disposés d'une façon identique, les déplacements enregistrés varient de 2 à 12 cm. 5 cailloux sont toujours sur le matériel fin du centre des polygones, 7 ont été amenés au centre des bordures caillouteuses, 10 sont arrivés au contact bordure caillouteuse/matériel fin du centre. Le déplacement moyen est ici de 6 cm en deux ans, soit de 3 cm par an.

Ces expériences montrent que les cailloux de petite taille des centres des polygones triés se déplacent rapidement vers les bordures caillouteuses. Ces cailloux ne s'arrêtent pas toujours à la limite entre le matériel fin des centres et le matériel caillouteux sans matrice; au contraire, ainsi que nous le voyons pour 4 cailloux sur la photo 6, ils peuvent arriver au centre de bordures caillouteuses qui n'ont aucune matrice. Un déplacement aussi important ne peut guère s'expliquer qu'en faisant appel à des pipkrakes qui, à la fin de l'été, grandiraient sur le matériel fin du centre des polygones et basculeraient les cailloux vers l'extérieur.

d) *Sortie de cailloux de petite taille enfouis au centre de petits polygones triés.*

Dans des polygones triés voisins et identiques à ceux que montrent les photos 5 et 6, des cailloux identiques de 1 cm de longueur ont été enfouis à une profondeur variant entre 1 et 10 mm. En 1970, c'est-à-dire deux ans plus tard, les 21 cailloux enterrés étaient visibles. 3 étaient encore au centre de polygones et ne paraissaient avoir subi qu'un soulèvement vertical tandis que les 18 autres

Photos 3 et 4. — Modification d'un sol découpé par des polygones de dessiccation et qui paraît évoluer vers des polygones triés. La photo 3 a été prise en 1968, la photo 4 en 1970. La surface d'un certain nombre de cailloux avait été colorée en rouge et apparaît en noir sur les clichés. En 1970, les fissures de dessiccation se sont en partie refermées, les centres des polygones se sont bombés. Pratiquement tous les cailloux se sont légèrement déplacés. Les mouvements sont souvent anarchiques, cependant on observe fréquemment un déplacement des cailloux en direction des fissures et comme ils basculent dans la fente béante, ils se disposent alors verticalement. Cela est particulièrement net à un endroit où la fente béante de dessiccation de 1968 a fait place en 1970 à un réseau de cailloux dressés. La longueur de la règle visible sur les photos est de 18 cm.



Photos 5 et 6. — Déplacements de cailloux à la surface de petits polygones. La photo 5 a été prise en 1968 tandis que la photo 6 date de 1970. Sur la photo 5, on remarque comme des taches sombres les petits cailloux colorés qui ont été déposés à la surface des polygones. Sur la photo 6 prise en 1970, nous avons inscrit d'un trait blanc le déplacement de chaque caillou.

étaient déplacés horizontalement de 1 à 10 cm. Le déplacement moyen horizontal de ces 21 cailloux est de 3 cm soit de 1,5 cm par an.

Cette expérience non seulement confirme le déplacement horizontal des cailloux, qui a été vu au paragraphe précédent, mais établit en outre que les cailloux sortent bien de terre au centre des polygones avant d'être déplacés vers les bordures de matériel caillouteux.

e) *Soulèvement du matériel fin des centres des polygones.*

En 1968, une vingtaine de petits polygones triés de 15 à 30 cm de diamètre ont été recouverts par de petits cailloux de 1 à 2 cm de longueur de façon à les masquer complètement. En 1970, les polygones réapparaissent en surface par émergence des parties fines correspondant au centre des polygones (photo 7). Ce ne sont encore que de petits pointements de fins soulignés par des cailloux plus petits, mais ces pointements paraissent témoigner d'une ascension effective du matériel fin au milieu des cailloux.

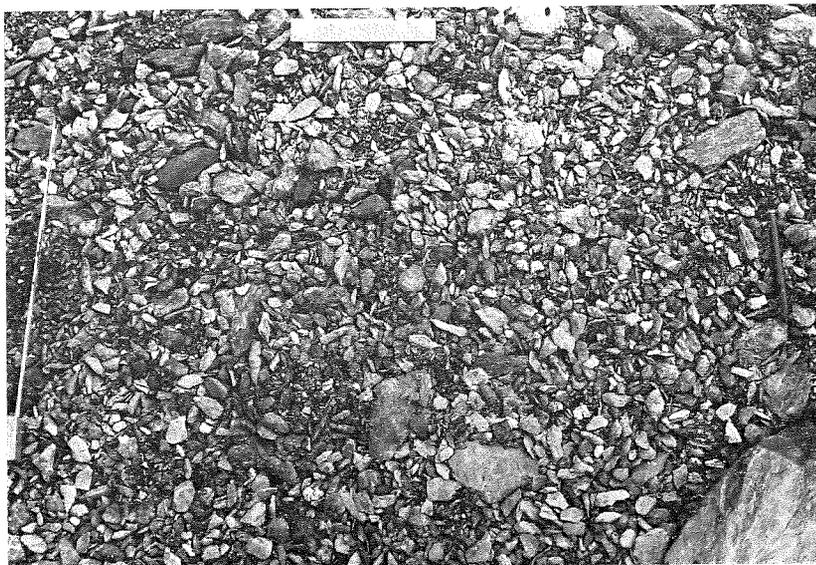


Photo 7. — Un sol polygonal décimétrique trié a été recouvert en 1968 de petits cailloux de façon à masquer complètement la structure et aussi de façon à dissimuler les plus gros cailloux. En 1970, comme le montre cette photo, non seulement les plus gros cailloux sont venus à la surface, mais en outre les centres fins des petits polygones réapparaissent à l'emplacement exact où ils étaient auparavant. La règle mesure 18 cm.

Ce processus de montée du matériel fin au milieu d'un champ caillouteux est connu à une échelle plus grande dans les régions arctiques où il donne naissance aux cercles de pierres. Le même phénomène pourrait donc jouer un rôle dans la formation des petits polygones triés, du moins lorsque le pourcentage de pierres est très considérable. Ces polygones ne résultent donc pas uniquement de l'ouverture de fissures de dessiccation et du déplacement des cailloux en surface.

II. — SOLS STRIÉS

a) *Les sols striés détruits ne paraissent se reconstituer que par descente des stries situées en contrehaut.*

En août 1963, un sol strié décimétrique (une bande de fins + une bande de cailloux = 13 cm) a été retourné à la bêche suivant un rectangle de 100 cm × 40 cm, allongé perpendiculairement à la pente. En 1968, la limite supérieure du sol perturbé est descendue de 7,5 cm bien que la pente ne soit que de 3°. En 1970, la descente de cette limite supérieure est de 10 cm. En aval de cette limite, des stries ne se reconstituent pas, mais au contraire, un polygone trié est en cours de formation (photo 8).

En août 1968, un sol strié décimétrique s'étirant sur une pente de 15° a été entièrement perturbé sur une surface rectangulaire perpendiculaire à la pente de 240 cm × 40 cm. Deux ans plus tard, les stries d'amont se sont prolongées de 7 à 9 cm dans la zone perturbée. A la limite aval, la zone perturbée paraît avoir gagné environ 10 cm. Au sein de la partie où les structures ont été détruites, aucune reconstitution de strie n'était visible. On y observait seulement un réseau polygonal de dessiccation.

Ces valeurs confirment le déplacement rapide vers l'aval des sols striés que nous avons signalé en 1964; en outre, ces observations indiquent que les stries ne se reconstituent après avoir été détruites, que par la descente des stries d'amont.

Des phénomènes de triage s'effectuent dans les sols striés décimétriques.

En 1968, 31 cailloux enduits de peinture ont été déposés à la surface du matériel fin d'un sol strié décimétrique s'étirant selon



Photo 8. — Sol strié décimétrique photographié en août 1970. La partie visible à l'avant plan et s'étendant jusqu'à la ficelle a été retournée à la bêche en 1963. Les stries se sont étendues en 7 ans de 10 cm dans la zone perturbée. Pente 3°.

la ligne de plus grande pente avec une inclinaison variable dont la valeur qui n'a pas été mesurée est sans doute comprise entre 10 et 15°. En 1970, ces cailloux avaient subi un mouvement de descente variant entre 0 et 16 cm, avec une valeur moyenne de 7,5 cm; 24 d'entre-eux, soit à peu près 80 % avaient migré au cœur ou en bordure des bandes de matériel grossier, les autres étant restés sur le matériel fin.

Dans le même sol strié, 10 cailloux avaient été enfouis sous 5 ou 6 mm de terre au milieu des bandes constituées de matériel fin. Ces dix cailloux étaient 2 ans plus tard tous apparus à la surface. Ils avaient tous subi un déplacement horizontal selon la ligne de pente, les valeurs de ces déplacements étant les suivantes : 1,9 cm, 4,5 cm, 5,5 cm, 6 cm, 6 cm, 7 cm, 7 cm, 8,5 cm, 10,5 cm, 10 cm. (photo 9). Un seul de ces cailloux, celui qui est déplacé vers l'aval de 5,5 cm est resté sur le matériel fin, les autres sont arrivés en bordure ou au centre des stries grossières.

Cette expérience confirmée dans d'autres sols striés du Chambeyron montre que non seulement un déplacement selon la ligne de plus grande pente s'effectue dans les sols striés décimétriques,



Photo 9. — Sol strié décimétrique. Des cailloux colorés ont été enterrés à 0,5 m de profondeur au centre des bandes fines en 1968. Sur cette photo prise en 1970, les flèches indiquent les déplacements effectués en 2 ans par ces cailloux qui tous sont visibles en surface. Le triage était beaucoup plus apparent en 1968.

mais que, en outre, ces mouvements s'accompagnent de phénomènes de triage. Ce triage se réalise d'une façon identique à ce qui se passe dans les sols polygonaux de petite taille, à savoir par l'expulsion de cailloux compris dans le matériel fin et déplacement latéral des éléments apparus en surface vers la bordure de cailloux. Seule l'action de piprakes semble pouvoir expliquer ces déplacements rapides des cailloux et leur arrivée au centre des bandes caillouteuses.

b) *Vitesse de déplacement élevée des sols striés décimétriques.*

En 1968, une ligne de couleur a été inscrite sur un sol strié décimétrique situé sur une pente de $5,5^\circ$. La descente de ce sol paraît extrêmement rapide puisque en 2 ans un caillou est descendu de 34 cm, plusieurs autres sont descendus de 15 à 16 cm.

En 1968 également, sur une pente de 16° , des cailloux colorés ont été alignés sur une longueur de 260 cm perpendiculairement à la ligne de plus grande pente d'un sol strié. Une bande de cailloux

et une bande de fins de ce sol avaient en moyenne ensemble une largeur de 15 cm. En 1970, les cailloux colorés étaient descendus d'une longueur variant entre 2 et 15 cm. Comme les marques à la peinture permettaient de distinguer les cailloux placés dans les bandes caillouteuses et les cailloux placés dans les bandes de matériel fin, il a été possible de se rendre compte que dans ce cas, les déplacements vers l'aval n'étaient pas plus importants pour les uns que pour les autres. Signalons cependant que, en 1970, le triage paraissait moins net qu'en 1968 et aussi que quelques touffes herbacées apparues dans le matériel fin freinaient de manière très efficace la descente du matériel situé en contrehaut.

A la surface d'un sol strié plus large (une strie de matériel fin et une strie de cailloux ont ensemble une largeur moyenne de 70 cm), sur une pente voisine de 7° , une ligne de couleur avait été inscrite en 1963. Dans ce sol strié, le déplacement du matériel fin s'effectue beaucoup plus vite que dans le matériel grossier. Les mesures de 1968 et de 1970 confirment que la vitesse de descente du matériel fin est d'environ 2 à 6 cm par an alors que dans les bandes caillouteuses, la vitesse est comprise entre 0,2 et 3 cm par an. Les photos



Photo 10. — Sol strié photographié en août 1970. La ficelle est tendue à l'emplacement où un alignement a été réalisé en 1963. Le trait blanc dessiné rejoint les marques de couleur visibles sur des cailloux. Pente $\pm 7^{\circ}$ vers la gauche. Le canif mesure 6,5 cm.

que nous reproduisons ici montrent que le matériel fin flue véritablement et présente la vitesse de progression la plus élevée au centre de la bande de fin. Cette variation de vitesse a pour conséquence immédiate le déplacement des cailloux, au moins en surface des bandes de matériel fin, vers les bandes caillouteuses et cela sans l'intervention d'aucun piprake. A première vue donc, l'évolution des sols striés décimétriques et des sols striés plus larges ne paraît pas être absolument identique.

Les marques que nous avons inscrites sur les sols striés nous permettent donc de confirmer que les vitesses de descente au sein de ces structures sont élevées comparativement aux vitesses enregistrées en dehors d'elles. Pour les stries les moins larges, il n'a pas été démontré que la vitesse des bandes fines soit supérieure à celle des bandes grossières. Une telle variation de vitesse a été par contre démontrée dans des stries plus larges. Il est apparu clairement en plusieurs endroits que des touffes végétales même très peu importantes contrariaient de manière efficace les mouvements de descente.

III. — COULÉES DE BLOCAILLES, ÉBOULIS, BLOCS ÉPARS SUR DES VERSANTS, TERRASSETTES

Vitesse des mouvements et facteurs principaux.

Les résultats que nous avons publiés en 1964 sont confirmés : les déplacements enregistrés de 1963 à 1970 témoignent de déplacements annuels comparables à ceux qui avaient été observés après la période 1947-1963. C'est ainsi que des blocs de 80 cm d'une coulée de blocailles sans matrice se sont déplacés de 1947 à 1963 sur une pente de 17° à une vitesse moyenne comprise entre 0,2 et 0,5 cm par an alors que les valeurs pour la période 1963-1970 étaient de 0,3 à 0,6 cm par an ; le bloc donné sur la photo 3 de notre article de 1964 a avancé sur une pente de 14° de 2,4 cm par an entre 1963 et 1968, alors que le déplacement annuel moyen était de 1,5 cm de 1947 à 1963...

Cet exemple montre bien que l'on ne retrouve pas exactement les mêmes valeurs pour les deux périodes considérées, mais des valeurs approchées. La vitesse de déplacement est évidemment influencée par les conditions climatiques qui n'ont pas été identiques chaque année. Ce facteur n'est cependant pas le seul qui intervient,

la vitesse de déplacement n'a pas été systématiquement réduite ou augmentée au cours d'une des deux périodes considérées; au contraire, dans le même site, certaines vitesses se sont accrues et d'autres se sont réduites. Le déplacement des dépôts de pente par les processus de creep que nous considérons ici ne s'effectue pas de manière régulière et des mesures portant sur une dizaine d'années sont nécessaires pour obtenir des valeurs significatives.

Il nous paraît d'un intérêt fort mince d'examiner des chiffres qui ne trouvent leur signification qu'après une description complète des conditions où les mesures ont été effectuées. De multiples facteurs interviennent et les principaux qui apparaissent sur le terrain sont les suivants :

a) La végétation. Ainsi que nous l'avons vu précédemment pour les sols striés, des touffes végétales éparses freinent efficacement les mouvements. Nous avons noté en 1963 que des terrassettes (t. périglaciaires dont la surface horizontale est dénudée et dont l'abrupt en forme de croissant est formée de plantes herbacées) stabilisent des pentes atteignant 43°. Des marques faites sur plusieurs d'entre elles, ne montrent aucun déplacement pendant la période 1963-1970 et confirment notre affirmation.

b) L'abondance du matériel fin dans le sol superficiel. Nous avons rappelé plus haut que des coulées de gros blocs paraissant reposer directement sur le bed rock subissent un déplacement faible. Sur les versants, les vitesses de déplacement sont plus rapides si le pourcentage de cailloux est moins élevé.

c) L'influence de l'humidité du sol est, comme le soulignait A. L. WASHBURN (1967, p. 117), un facteur capital. La présence de névés en contrehaut accélère considérablement les mouvements.

d) L'enfoncement des blocs dans le sol. Comme la vitesse du sol est plus élevée en surface qu'en profondeur, lorsque des blocs sont seulement posés sur le sol, ils descendent plus rapidement que lorsqu'ils sont enfoncés dans celui-ci.

e) L'inclinaison du versant est évidemment un facteur fondamental. Nous le plaçons cependant en dernier lieu pour souligner que les vitesses de déplacement observées ne sont pas directement expliquées par la pente. Les facteurs mentionnés précédemment sont aussi importants bien qu'une pente soit évidemment nécessaire pour provoquer un mouvement de descente.

IV. — GLACIER ROCHEUX DU CHAMBEYRON

Depuis 1947, le glacier rocheux du Chambeyron n'a pas progressé. De nombreux blocs parfois volumineux ont dégringolé le front du glacier rocheux dont la pente est de 45°. Sur des photos, nous avons reconnu les principaux déplacements qui ont été observés entre 1968 et 1970. Il s'agit de mouvements individuels de blocs qui ne témoignent pas d'un déplacement en masse du glacier rocheux. L'avance d'une centaine de mètres en 58 ans que J. MICHAUD et A. CAILLEUX ont calculée pour la période antérieure à 1949 à partir de documents cartographiques est actuellement terminée.

BIBLIOGRAPHIE

- A. CAILLEUX, 1948. — Répartition en altitude des aspects du sol liés au froid. *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, 1^{er} mars 1948, p. 92-93.
- J. DEMANGEOT, 1941. — Contribution à l'étude de quelques formes de nivation. *Revue Géogr. Alpine*, t. 2, 1941, p. 337-352.
- M. GIGNOUX, 1936. — Un bel exemple de sols polygonaux dans les Alpes Françaises. *Bull. Soc. Scient. du Dauphiné*, 56, Grenoble, p. 453-464.
- J. MICHAUD et A. CAILLEUX, 1950. — Vitesses des mouvements du sol au Chambeyron (Basses Alpes) *C. R. Acad. Sci.*, t. 230, p. 314-315, séance du 16 janvier 1950.
- A. PISSART, 1964. — Vitesses des mouvements du sol au Chambeyron (Basses Alpes) *Biuletyn Peryglacjalny*, 14, p. 303-309.
- A. L. WASHBURN, 1967. — Instrumental observations of mass-wasting in the Mesters Vig district, Northeast Greenland-Meddelelsler om Grøland. Band 166, nr 4, 297 p, C. A. Reitzels Forlag, København.

DISCUSSION

- T. PIPPAN : 1. In what months the rate of movement is highest ?
 2. How thick is the snow cover above the patterned ground ?
 3. What is the exposition of the slopes or flat areas where movement occur ?
 4. What is the limit value for the gradient as to the rate of movement ?

A. PISSART : 1. J'ai seulement des observations pendant les mois d'août 1963, 1968, et 1970 et je ne connais rien des variations de vitesse des phénomènes pendant l'année.

2. La couverture neigeuse est l'hiver, extrêmement épaisse et atteint plusieurs mètres.

3. Les mouvements décrits paraissent se produire sur toutes les pentes indépendamment de leur exposition.

4. La photo 8 montre le mouvement d'un sol strié sur une pente de seulement 3°. Des mouvements appréciables peuvent se produire sur des pentes encore plus faibles du moins si le sol est humecté par la fonte d'un névé par exemple. Remarquons encore que beaucoup des déplacements de cailloux observés se produisent dans des champs de polygones où la pente est nulle.

L. VOISIN : A la fin de l'hiver 1955-56, qui fut très froid, des polygones limités par des fentes de dessiccation ont été observés en Ardenne sud occidentale au niveau du radier d'exploitation d'une sablière. (Meillier-Fontaine).

Au centre des polygones inscrits dans un épandage limoneux, des associations serrées de pipkrakes créaient un bombement de quelques centimètres de flèche qui expliquait de façon évidente le rejet vers les fentes ouvertes des particules plus grossières, (débris schisteux), d'abord soulevées puis glissées.

Ceci confirme les idées de Monsieur PISSART.

S. RUDBERG : I want to ask a question about the distribution of your small scale pattern of sorted circles compared with large scale patterns of the similar form. In Scandinavia, we think that the small scale patterns are mainly formed in dry localities, wind eroded localities, which means that they are exposed — from early spring already — to a high number of freeze thaw cycles of short duration. How is it in your area ?

A. PISSART : Les plus beaux champs de petits polygones sont effectivement sur des sommets ou à proximité, c'est-à-dire en des endroits où la déflation peut limiter la couverture neigeuse. Les polygones de plus grande taille (+ de 40 cm) me paraissent être toujours, comme le propose le Professeur RUDBERG, dans des sites différents très humides, c'est-à-dire dans des dépressions et souvent à proximité de lacs. La répartition des formes observées en Scandinavie paraît donc se retrouver dans la haute vallée du Chambeyron.

A. JAHN : The action of needle ice depend on the moisture of the soil. Have you measured the content of water in the ground ?

A. PISSART : De telles mesures n'ont pas été faites quoiqu'elles présenteraient un grand intérêt. Il faudrait cependant qu'elles soient réalisées au moment où les pipkrakes sont actifs, c'est-à-dire à la fin de l'été.

A. L. WASHBURN : There are many problems concerning the origin of patterned ground, and it will be mainly trough experiments, both in the field and the laboratory that some of these problems will be resolved. Work such as those being carried out by Dr PISSART and Dr CORTE is most important and I would like to congratulate them.

J. DRESCH : J'insiste sur l'origine commune de fissures en régions froides et arides chaudes à partir de fentes de dessiccation. Mais en

région aride des indurations de sol et surtout de gypse de types divers soulignent les fentes. En région froide, les pipkrakes peuvent, quand le gel et le dégel alternent en 24 heures, soulever des débris, mais ces phénomènes ne sont pas contradictoires avec d'autres formes de mouvements.

P. ROGNON : Je voudrais signaler une expérience réalisée au Sahara à Tamanrasset qui confirme le rôle de la dessiccation dans la remontée des débris grossiers vers la surface. En effet des câbles de mesures telluriques posés à 1 mètre de profondeur dans les tranchées ensuite rebouchées dans des limons argileux à montmorillonite ont été ramenés à la surface au bout de quelques années par les variations d'humidité et de sécheresse.